РАЗВИТИЕ ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ В РОССИИ

АКАДЕМИЯ НАУК СССР
ИНСТИТУТ ИСТОРИИ ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ И ТЕХНИКИ

РАЗВИТИЕ ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ В РОССИИ

(XVIII—начало XX века)

Под редакцией
С. Р. МИКУЛИНСКОГО
А. П. ЮШКЕВИЧА



ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА»
МОСКВА
1977

S+ (09)
Р-17

УДК 57(09)

В книге прослеживается развитие естествознания и математики в России с начала XVIII века до 1917 года в тесной связи с изменением социально-экономических и культурно-исторических условий в стране. Книга рассчитана на широкий круг научных работников и историков науки.

Книга подготовлена коллективом сотрудников
Института истории естествознания и техники Академии наук СССР
в составе:

И. В. БАТЮШКОВА, Л. Я. БЛЯХЕР, Г. В. БЫКОВ,
А. Т. ГРИГОРЬЯН, Я. Г. ДОРФМАН, И. М. ЗАБЕЛИН,
Г. М. ИДЛИС, Б. М. КЕДРОВ, Ю. Х. КОПЕЛЕВИЧ, И. В. КРУТЬ,
Б. Г. КУЗНЕЦОВ, О. А. ЛЕЖНЕВА, С. Р. МИКУЛИНСКИЙ,
Г. В. НАУМОВ, Н. И. НЕВСКАЯ, Б. А. РОЗЕНФЕЛЬД,
Ю. И. СОЛОВЬЕВ, А. П. ЮШКЕВИЧ

Работа по подготовке рукописи к печати
и составлению именного указателя выполнена
Г. А. ФИРСОВОЙ

Библиография составлена
Л. В. КАМИНЕР и А. И. ПОЛЕКУТИНОЙ

Иллюстрации подобраны
М. В. ШЛЕЕВОЙ

465634
Центральная научная библиотека Академии наук Укр. ССР

Р $\frac{21001,\ 30101-216}{055(02)-77}$ 760—1975

© Издательство «Наука», 1977 г.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Цель этой книги — осветить развитие естествознания в России с XVIII до начала XX в., точнее до Великой Октябрьской социалистической революции 1917 г.

Наука в России прошла большой и славный путь. Ее история — неотъемлемая часть общей истории страны, истории культуры народов России.

Происхождение и развитие науки тесно связано с практической деятельностью людей, общественно-историческим творчеством народа, в ходе которых люди преобразуют условия своей жизни, природу и самих себя. Как и везде, научная деятельность в России являлась одним из проявлений социальной активности. Направления и темпы развития науки определялись социально-экономическими, политическими и культурно-историческими условиями России в разные периоды ее истории. Первостепенное значение имело также взаимодействие с прогрессом научной мысли других народов. Наука в России развивалась как составная часть мировой науки. Без учета такой взаимной связи невозможно правильно отразить процесс развития науки в целом и в любой отдельно взятой стране. Вместе с тем развитие науки в каждой стране имеет свои специфические черты, обусловленные особенностями исторических судеб, а также научными и культурными традициями разных народов и стран. Эти специфические черты никогда не должны упускаться из виду, поскольку они помогают понять и раскрыть как общие закономерности процесса развития науки, так и оригинальный вклад каждого народа в мировой прогресс научного знания.

Труд по истории науки не должен быть каталогом открытий и изобретений, и авторы в меру своих сил стремились раскрыть и показать, как возникали и развивались передовые научные идеи, как они пробивали себе дорогу в борьбе с антинаучными или устаревшими представлениями. Эта борьба была трудной всюду. Особенно тяжелой она была в условиях царской России.

Длившееся несколько веков иго монголов-кочевников, которого не пережила Западная Европа, затем затянувшееся по сравнению с другими странами Европы господство феодально-крепостнического строя, наконец, сохранение вплоть до начала XX в. пережитков феодализма привело к экономической и политической отсталости России. Отсталость, тупость

и деспотизм царских властей мешали раскрытию способностей и талантов, таившихся в народе, тормозили развитие науки, образования и культуры. Царское самодержавие в союзе с церковью подавляло все прогрессивное в науке и культуре. Каждый шаг вперед в этих условиях достигался огромными усилиями. Подлинный простор для развития науки, образования и культуры в России открыла только Великая Октябрьская социалистическая революция.

История науки в России с XVIII до начала XX в. может быть естественно разделена на три крупных периода, обусловленных в конечном счете изменениями социально-экономических условий в стране. Соответственно им книга разделена на три части.

Первая часть книги посвящена науке XVIII в. Начало этого периода знаменуется реформами Петра I, которые всколыхнули Россию, привели к укреплению русского национального государства, росту промышленности и торговли, способствовали разложению феодальных отношений. Петр стремился преодолеть отсталость России, усилить централизацию государственной власти и не останавливался при этом, по выражению В. И. Ленина, перед «варварскими средствами борьбы против варварства» [1].

Добиваясь своих целей, Петр I и его сподвижники приняли энергичные меры для обеспечения подготовки квалифицированных национальных кадров технических и военных специалистов, врачей, аптекарей, учителей и ученых. В короткие сроки было создано большое число специальных училищ, создана русская учебная и научная литература по естествознанию и математике. Многообразная деятельность по распространению светского образования, забота о развитии экономики страны, ее мощи, изучении и использовании ее природных богатств, требовавших развития и применения научных знаний, нашли одно из великолепных и исключительно важных по своим последствиям воплощений в основании Петергургской академии наук.

Несмотря на все трудности, с которыми пришлось встретиться новой Академии наук, ее деятельность в различных направлениях научных исследований, а также в воспитании первых поколений русских ученых оказалась необыкновенно плодотворной. Петербургская академия наук уже в первые десятилетия своего существования становится одним из крупнейших центров мировой науки.

В 1755 г. по инициативе М. В. Ломоносова был создан Московский университет, сыгравший впоследствии выдающуюся роль в развитии науки и культуры в России.

Во второй части книги освещается развитие науки с начала XIX в. до 60 годов — в период острого кризиса феодальных отношений и начала

[1] *В. И. Ленин.* Полн. собр. соч., т. 36, с. 301.

развития капитализма в России. Освободительная война против нашествия Наполеона привела к быстрому росту национального самосознания. Обостряются противоречия феодально-крепостнического строя. Зарождается первое организованное революционное движение в России, апогеем которого было восстание декабристов в 1825 г. Восстание было подавлено, но глухое недовольство самодержавно-крепостническими порядками росло. На смену дворянским революционерам приходят разночинцы. Зарождается идеология революционной демократии, первыми выразителями которой стали В. Г. Белинский и А. И. Герцен. Уже в первые годы XIX в. резко возрастает, хотя по абсолютному уровню все еще остается недостаточной, сеть средних и высших школ. Ведущую роль в развитии науки начинают разделять с Академией наук университеты в Москве, Дерпте (ныне Тарту), Казани, Харькове, Петербурге и Киеве. Совершается новый рывок в развитии науки. Появляются такие замечательные ученые, как Н. И. Лобачевский и М. В. Остроградский в области математики, В. Я. Струве — в астрономии, В. В. Петров — в физике, А. А. Воскресенский и Н. Н. Зинин — в химии, И. Е. Дядьковский, Н. И. Пирогов, С. П. Боткин и К. Ф. Рулье — в биологии и медицине, А. И. Герцен и В. Г. Белинский — в философии.

В третьей, и последней, части книги исследуется развитие науки с 60-х годов XIX в. до начала XX в., т. е. в то время, когда вслед за отменой в 1861 г. крепостного права начинается ускоренный рост капиталистических отношений, хотя и сдерживаемый все еще сильными и мучительными для народа пережитками феодально-помещичьего строя. В начале 60-х годов поднимается небывало высокая волна крестьянских выступлений. Выразителями чаяний крестьянских масс становятся революционные демократы во главе с выдающимся публицистом и философом Н. Г. Чернышевским. Растут демократические тенденции в среде передовой интеллигенции. В последней четверти XIX в. возникают первые в России марксистские группы. На историческую сцену выходит рабочий класс. На рубеже XIX и XX вв. создается партия большевиков во главе с В.И. Лениным.

В этот период Россия достигает блестящих вершин в литературе, музыке, живописи. В науке на смену поре великих одиночек приходит пора первых больших научных школ: школы П. Л. Чебышева в математике, Н. Е. Жуковского и С. А. Чаплыгина — в механике, А. Г. Столетова и П. Н. Лебедева — в физике, Д. И. Менделеева и А. М. Бутлерова — в химии, Е. С. Федорова — в кристаллографии, А. П. Карпинского — в геологии, В. В. Докучаева — в почвоведении и географии, В. И. Вернадского — в минералогии и геохимии, И. М. Сеченова и И. П. Павлова — в физиологии. Русские ученые становятся основоположниками новых отраслей знания — почвоведения, эволюционной палеонтологии, эволюционной эмбриологии; важнейшее значение в мировой науке приобрета-

ют созданные русскими учеными теория химического строения, учение о периодичности химических элементов, учение о центральном торможении, объективные методы изучения высшей нервной деятельности и учение об условных рефлексах, теория марковских цепей и процессов, исследования по аэродинамике и теории самолета и многие другие открытия.

Но подлинный простор для развития науки и культуры в России создала только Великая Октябрьская социалистическая революция. Она впервые открыла путь в науку массам трудящихся, коренным образом изменила организацию исследовательской работы и создала материальные и духовные условия для невиданного, да и невозможного ранее, прогресса науки и культуры всех народов нашей многонациональной страны. Возникли крупные новые научные центры и научные школы, в том числе в тех окраинных союзных республиках, в которых в прежнее время не только не было университетов и научных учреждений, но где почти все население было неграмотным.

Быстрое и широкое развитие образования, науки и техники в СССР после Великой Октябрьской социалистической революции — яркое свидетельство влияния социально-экономических условий на рост науки и культуры, убедительное доказательство того, что социализм и наука неотделимы. Освещение истории этого новейшего периода в истории науки в СССР — предмет специального труда, над которым в настоящее время работает Институт истории естествознания и техники Академии наук СССР.

Предлагаемая книга, естественно, не претендует на полноту освещения истории естествознания в России. Этого невозможно достичь в одной книге. Авторам и редакторам приходилось ограничивать себя и отбирать из имеющегося огромного материала только наиболее существенное. Основное место в книге занимает история научных идей и открытий; биографические сведения, за некоторыми исключениями, весьма кратки.

Авторы и редакторы будут признательны за все замечания и предложения, направленные к улучшению настоящего труда.

С. Р. Микулинский

ЧАСТЬ ПЕРВАЯ

ЕСТЕСТВОЗНАНИЕ В РОССИИ в XVIII веке

—✻—

Глава первая

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ в XVIII веке

В истории русской науки XVIII в. занимает особое положение. Уже в первой его четверти происходят резкие изменения в развитии науки и культуры в России. В 1724 г. возникает Петербургская академия наук, которая уже в первые десятилетия своей деятельности стала играть выдающуюся роль в развитии русской и мировой науки. Никогда еще с такой быстротой не менялись стиль и содержание научного творчества. За короткий срок наука в России радикально преобразуется. Россия становится одним из мировых центров развития естествознания.

Причиной и движущей силой столь быстрых перемен были глубокие изменения в экономической, социальной и политической жизни России на рубеже XVII и XVIII вв., связанные с реформами Петра I, которые в свою очередь определялись ходом исторического развития России. Однако столь значительные и быстрые изменения в развитии науки невозможны, если предшествующим ее развитием не подготовлена для этого почва. В XVIII в. русская наука вышла на мировую арену, но это не означает, что она возникла лишь в XVIII в. Ее формирование началось на много веков раньше. Уже в IX в. Киевская Русь имела высокую для того времени материальную и духовную культуру. Высокого уровня достигли строительная техника, ремесла, живопись, ювелирное искусство.

Принятие в 988 г. христианства способствовало объединению славянских племен и расширению их культурных связей с Византией и южнославянскими государствами. Из Болгарии проник и получил распространение на Руси созданный в середине IX в. братьями Кириллом и Мефодием славянский алфавит, который послужил основой созданного в начале XVIII в. русского алфавита. О развитии культуры, распространении грамотности, математического счета среди городского населения свидетельствуют в частности новгородские берестяные грамоты XI—XV вв. В IX — XI вв. возникла богатая славянская переводная и оригинальная литература, в том числе научная. В Киеве, Новгороде и других городах воздвигаются замечательные архитектурные сооружения, расцветают искусство и ремесла, возникают школы, при монастырях накапливаются библиотеки. Сохранившиеся литературные памятники тех времен свиде-

тельствуют об интенсивном процессе духовного развития, подобном происходившему в странах Западной Европы, в частности о распространении натурфилософских воззрений Аристотеля (разумеется, в их тогдашней теологической интерпретации), математических, астрономических, естественнонаучных знаний.

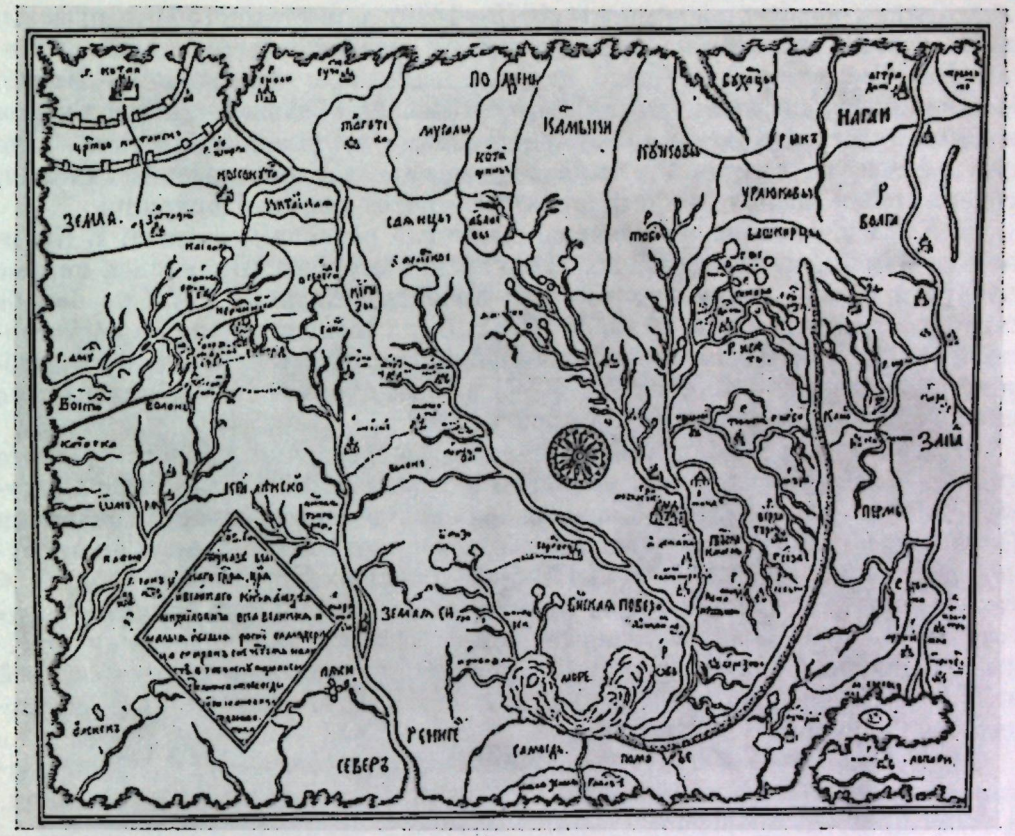
Этому культурному прогрессу был нанесен тяжелый урон во второй четверти XIII в. нашествием монголов-завоевателей, принесшим с собой разрушение городов, гибель культурных ценностей, упадок ремесел. В условиях двухсотлетней борьбы за свержение ига кочевников-завоевателей постепенно возрастает роль Москвы в создании единого централизованного русского государства. Освоение новых земель, строительство крепостей и городов, особенно после освобождения России от завоевателей, необходимость усовершенствования военной техники способствовали развитию и использованию научных и технических знаний.

С расширением торговли и ростом числа чиновников, занятых учетом земель и налоговым обложением, возрастает интерес к арифметике и элементарной геометрии; быстро распространяется самобытный счетный прибор, который впоследствии получил во всем мире название «русских счетов». Размножаются рукописные руководства, содержащие правила счета и решения арифметических задач, а также правила измерения важнейших фигур. Сохранившиеся в Москве, Новгороде, Пскове и других древних русских городах памятники зодчества этой эпохи свидетельствуют о высоком уровне познаний их создателей в практической механике. При строительстве применялись подъемные механизмы. Искусство, с каким использовались эти механизмы русскими мастерами, поражало приезжих иностранцев. Появились часовые мастера и создатели сложных механических игрушек.

Широко распространились гидросиловые установки разного назначения. В XVI — XVII вв. даже на Урале и в Сибири было множество водяных мельниц. Водяные колеса обслуживали медеплавильные, чугуноплавильные и другие заводы. В XVII в. наряду с кустарными предприятиями возникли крупные по тому времени железоделательные заводы. Истощение лесных богатств — единственного вида топлива — вызывало продвижение таких заводов из районов Средней России все дальше на север и восток. Производительность заводов, на которых применялись лучшие для своего времени механизмы, была сравнительно высокой. Поиски новых рудных месторождений, бывшие прежде побочным занятием местных крестьян, стали заботой государственных учреждений, направлявших для этой цели специальные экспедиции.

Развитие старых русских промыслов — мыловарения, изготовления красок и чернил, гончарных изделий и декоративной керамики, ювелирного дела — требовало от ремесленников расширения эмпирических знаний в области химической технологии. По добыче и химической переработке природных продуктов, таких, как поташ, смола, деготь, Россия занимала одно из первых мест в мире. Росла техника добычи поваренной соли. В 1665 г. под Москвой был создан первый пороховой завод.

Потребности государственного управления и защиты отдаленных границ, развитие всероссийского рынка и торговли с соседними странами вызывали необходимость в более точных сведениях о природных условиях различных областей и о населяющих их народах, о морских и речных путях сообщения. Это стимулировало развитие географических исследова-



Карта Сибири Петра Годунова. 1667 г.

ний. В XVI—XVII вв. были составлены первые карты, или «чертежи», Сибири. Они не имели еще математической основы, но отличались большой детализацией. Расстояния между пунктами обозначались в днях пути. Эти «чертежи» служили основным источником сведений о географии России и для изображения ее территории на зарубежных картах. Особый интерес на Западе вызывало освоение северных морских берегов Сибири, с которыми связывались мечты об открытии Северного морского пути в Китай и Индию. Уже в XVI в. русские мореходы хорошо освоили морской путь к устью Оби, где в конце века вырос сказочно разбогатевший торговый город Мангазея. К началу XVII в. они продвинулись к Енисею и восточнее Енисея, а сухопутные отряды проникли в заенисейские земли, к середине века достигли Лены, морем доходили до Колымы, по суше проникли на Байкал и на Амур и вышли к Тихому океану. В 1648 г. холмогорец Федот Алексеевич Попов и казак Семен Дежнев обогнули морем Чукотский полуостров и вышли в пролив, позднее названный Беринговым. Таким образом, к середине XVII в. русскими мореходами был поэтапно пройден весь Северный морской путь. На «чертеж» Сибири, изготовленный в 1667 г. Петром Годуновым, были нанесены новые освоенные районы, течение сибирских и дальневосточных рек.

Участились путешествия в соседние восточные государства — Хиву, Бухару, Китай. Особенно богатые сведения о восточных районах Сибири

и о Китае собрала экспедиция (1675—1678) в составе 150 человек во главе с находившимся на русской службе молдавским писателем и философом Николаем Спафарием, направлявшимся с посольством в Китай. Помощником Спафария был Никифор Венюков, большой знаток Сибири и соседних стран. Получили распространение в рукописях разного рода географические описания, была переведена «Селенография» Гевелия, содержавшая изложение гелиоцентрического учения Коперника.

В XVII в. дальнейшее развитие получила русская медицина. В Кремле и в Измайлове были созданы аптекарские огороды. Появились первые лекари в армии, стали приниматься правительственные меры по борьбе с распространением эпидемий. В 1654 г. была создана школа по подготовке лекарей. В большом количестве распространялись рукописные «лечебники» и «травники». В 50-е годы XVII в. был сделан перевод знаменитого анатомического сочинения Андреаса Везалия.

В XVIII в. появились первые учебные заведения университетского типа — Киево-Могилянская коллегия (основана в 1631 г.; с 1701 г. получила название академии) и Московская славяно-греко-латинская академия (основана в 1685 г.). Они давали хорошие знания языков, в остальном обучение в них подчинялось интересам церкви. Естественнонаучное и техническое образование в стране почти отсутствовало, если не считать подготовки лекарей. Православная церковь препятствовала общению с научными центрами Запада и распространению научных знаний. Построенный в 1561 г. в Москве Печатный двор до начала XVIII в. издавал почти исключительно церковную литературу.

На рубеже XVII и XVIII вв. экономические и политические преобразования резко повысили потребность в научных и технических знаниях, и были приняты энергичные меры к удовлетворению этой потребности.

Азовские походы 1695—1696 гг., предпринятые с целью открыть для России выход в Черное море, убедили Петра I в необходимости создания морского флота. Под Воронежем была заложена судоверфь, и началось строительство десятков крупных и сотен мелких кораблей.

Появление судостроения вызвало к жизни и другие мануфактуры. В начале XVIII в. в короткий срок было выстроено пять новых металлургических заводов в старом металлургическом районе — Малоярославецком (под Москвой), два в Воронежском, и было создано два новых центра металлургии — на Урале и в Олонецком крае. В Олонецком крае руда была хуже, но расстояние до Балтийского моря было меньше, и там также в 1707 г. было создано четыре завода. Под Петербургом в Сестрорецке был создан крупнейший оружейный завод под руководством выдающегося инженера В. И. Геннина. Всего при Петре I, который уделял много внимания и энергии созданию русской промышленности, было сооружено 15 казенных и 30 частных чугуноплавильных и оружейных заводов, а также свыше 10 медеплавильных, главным образом на Урале. В 1724 г. на русских доменных заводах было выплавлено 1165 тыс. пудов чугуна против 150 тыс. в начале века, т. е. производство чугуна возросло до 776%. Всего за первую четверть XVIII в. было создано более 200 предприятий мануфактурного типа, из которых свыше трети составляли металлургические и металлообрабатывающие заводы. Многие из них по качеству выпускаемого металла не уступали предприятиям Англии и Швеции, издавна славившимся своей металлургией. В этот же период были построены крупные судостроительные верфи в Петербурге, десятки новых оружейных, порохо-

вых, суконных, парусных, канатных, кожевенных и других предприятий.

Высокого совершенства достигли гидротехнические сооружения. Это позволило поставить задачу соединения Волги с Балтийским морем. Она была решена в 1719—1722 гг. устройством Вышневолоцкой системы каналов. Это был первый в стране искусственный водный путь, успешно работавший в течение нескольких столетий.

Славяно-греко-латинская академия в Москве. Гравюра XIX в.



Создание флота, строительство металлургических и железоделательных мануфактур, освоение территории России, строительство дорог и т. д. настоятельно требовали большого числа людей, обладавших новейшими научными и техническими знаниями,— подготовки моряков, судостроителей, металлургов, знатоков горного дела, строителей, артиллеристов, оружейных мастеров, картографов, наконец, достаточно широко образованных людей для быстро обновлявшегося и разраставшегося государственного аппарата. Посылка молодых людей для обучения за границу могла решить эту задачу лишь частично и только на короткое время. Необходимо было организовать подготовку специалистов в России.

Петр I понимал, что это невозможно без общего роста грамотности, развития книжного дела и издания научной и технической литературы, без усвоения и дальнейшего развития достижений современной науки и техники. Поэтому еще в 1697—1698 гг. во время поездки в составе «Великого посольства» в Голландию и Англию, Петр изучал там не только корабельное дело, но и знакомился с академиями, университетами, библиотеками, музеями, с работой отдельных ученых. Его помощники — в их числе были сподвижник Петра Яков Брюс и первый русский доктор медицины (он учился в Падуе) П. В. Постников — покупали приборы и книги, нанимали преподавателей для работы в училищах, которые было намечено открыть в России. В 1699 г. в Москве при Пушечном дворе была организована артиллерийская школа; в 1701 г. была создана школа математических и навигационных наук («Навигацкая школа»), которая в сущности была первым специальным высшим учебным заведением. Здесь готовили моряков, геодезистов, картографов. В 1703 г. в ней обучалось уже 180 учеников из самых разнообразных сословий, а к 1712 г. их число достигло 517 человек. Среди преподавателей этой школы выделяются Л. Ф. Магницкий и шотландец А. Фарварсон. Магницкий был автором вышедшей в 1703 г. «Арифметики», содержавшей изложение не только арифметических знаний, но и элементов алгебры и тригонометрии, а также решение ряда геометрических задач, сведения по геодезии и практической астрономии.

При школе была создана типография, в которой печатались учебные пособия и карты.

Из этой школы вышел один из самых знаменитых русских механиков XVIII в. А. К. Нартов. Главным его изобретением был механический суппорт токарного станка, давший возможность повысить точность обработки и изготовлять стандартные детали. Суппорт, т. е. механический держатель режущего инструмента, не только совершивший революцию в токарном деле, но явившийся тем изобретением, которое создало одну из важнейших технических предпосылок к переходу от ремесленного производства к фабричному, в западноевропейских странах вошел в употребление только в 90-е годы XVIII в. Нартов изобрел также скорострельную батарею (1741), подъемный винт для регулирования угла возвышения, машину для обточки орудийных цапф и многие другие механизмы.

Вслед за «Навигацкой школой» в Москве были открыты инженерное (1711) и артиллерийское (1712) училища, а в 1715 г. на основе старших курсов «Навигацкой школы» — Морская академия в Петербурге. Московская «Навигацкая школа» сохранилась как подготовительное училище. Оба эти учебных заведения к концу первой четверти XVIII в. почти полностью обеспечили русский флот отечественными офицерами и подготовили значительное число квалифицированных геодезистов, гидрографов, преподавателей начальных («цифирных») школ, созданных к тому времени в ряде городов России. Морская академия также имела свою типографию. Ее первым изданием была «Наука статическая, или механика» (1722) Г. Г. Скорнякова-Писарева, в то время руководившего академией. В Петербурге же в 1719 г. было создано высшее инженерное училище — Инженерная рота, а в 1720—1721 гг. в связи с потребностями горного дела

Сухарева башня в Москве, где помещались Математико-навигационная школа и ее обсерватория



при центральном управлении горным делом (Берг-коллегии) была организована химическая лаборатория.

Наряду с техническим и математическим образованием быстро стали развиваться медицинское, химико-фармацевтическое и естественнонаучное.

В 1707 г. по указу Петра I была создана в Москве первая медицинская «госпитальная» школа. Ее организация была поручена питомцу Лейденского университета, приглашенному Петром I, Николаю Бидлоо. Нужно сказать, что на первых порах создание этой школы, как и некоторых других русских школ, встретило весьма сильное сопротивление. Многие были недовольны распространением образования и подготовкой русских специалистов из людей разных сословий. Это недовольство шло со стороны церкви, бояр и части иностранных специалистов, практиковавших в России и боявшихся утратить свою монополию. Впрочем, к чести иностранных ученых нужно отметить, что далеко не все они занимали такую позицию.

В 1733 г. медицинские школы были открыты в Петербурге и Кронштадте. Вместе с московской они сыграли большую роль не только в подготовке русских врачей, но и в распространении анатомо-физиологических, ботанических и зоологических знаний.

Примерно в то же время значительно продвигается вперед подготовка русских специалистов в области горного дела, геологии и географии. С этой целью на Урале были созданы горные школы. Большие заслуги в этом принадлежат талантливому ученому и сподвижнику Петра В. Н. Татищеву, который руководил горными заводами на Урале и был автором нескольких замечательных научных исследований по геологии и географии.

Новый дух до известной степени проник также в старые церковные школы (Киево-Могилянскую, Московскую славяно-греко-латинскую академии). Многие выходцы из этих школ — в их числе был Ломоносов — трудились потом на светском поприще.

Образование во всех этих училищах тесно связывалось с прикладными задачами. Их ученики, а также многие преподаватели в своем абсолютном большинстве были выходцами из низших сословий. Именно эти круги были питательной средой русской науки XVIII в.

Начавшаяся широкая подготовка специалистов вызвала потребность в новой научно-технической литературе. После неудачной попытки наладить печатание такой литературы на русском языке в Голландии ее издание было организовано в Москве, а затем в Петербурге и других городах. Первыми были выпущены упомянутая «Арифметика» Магницкого и «Таблицы логарифмов и синусов, тангенсов и секансов» (1703). В 1708 г. была проведена реформа алфавита и правописания, приспособившая их к живому разговорному русскому языку, и введен новый шрифт. Первой книгой, набранной новым шрифтом, явился перевод с немецкого — «Приемы циркуля и линейки» (1708). С этого времени Московская типография, печатавшая ранее главным образом церковные книги, начала выпускать руководства по математическим наукам, географии, военному делу, геодезии, технике, истории, политике.

В 1714 г. в Петербурге на основе личной библиотеки Петра I, пополненной книгами из многих других собраний, была открыта первая общедоступная библиотека. К 1725 г. она имела около 12 тыс. книг и ценное собрание рукописей.

В те же годы было положено начало относительно широкому изготовлению в России научных приборов и инструментов, необходимых в практической деятельности (на флоте, при строительстве дорог, каналов и укреплений и т. д.) и школьном обучении, началось конструирование зрительных труб.

В связи с практическими потребностями на новый уровень было поднято и географическое изучение России. Началась подготовка к проведению генеральной съемки территории страны. Во многие районы были направлены экспедиции, в том числе в 1714—1717 гг. в Среднюю Азию и в район Каспийского моря (А. Бекович-Черкасский и другие); материалы, собранные этой экспедицией, позволили впервые нанести на карту (Ф. И. Соймонов, К. Верден) близкие к действительности очертания Аральского и Каспийского морей; в 1717—1720 гг.— в район бывших Казанского и Астраханского царств и пограничные с Турцией области Кавказа; в 1719 г.—в Сибирь (Д. Г. Мессершмидт) и в том же году — на Камчатку (И. Евреинов и Ф. Лужин) и др.; все эти экспедиции собрали ценные для науки географические, ботанические, зоологические, геологические, этнографические и другие материалы.

В 1719 г. был открыт первый русский естественнонаучный музей — знаменитая Кунсткамера.

*

Радикальные преобразования, которые произошли в экономической, политической и культурной жизни России в конце XVII и первой четверти XVIII в., подготовили почву для создания в 1724 г. Петербургской академии наук и превращения ее в один из крупнейших центров мировой науки. С возникновением Академии наук начинается качественно новый этап в развитии науки в России.

Петербургская академия наук, в отличие от большинства существовавших в то время академий, с самого начала была задумана как государственное научное учреждение, целью которого является не просто развитие науки, но удовлетворение научных и технических потребностей страны. Одновременно на Академию возлагалась подготовка научных кадров, для чего при ней были организованы гимназия и университет. Это во многом определило ее своеобразие, дальнейшее развитие и роль в жизни России.

Петербургской академии наук посвящена специальная глава. Здесь же отметим только два обстоятельства общего характера.

Прежде всего следует подчеркнуть, что если в главных своих направлениях развитие естествознания и математики в России XVIII в. шло в общем русле прогресса мировой науки, то во многих частностях, иногда весьма существенных, это развитие определялось прямыми потребностями России. Это относится не только к географическим, ботаническим, зоологическим исследованиям, изучению полезных ископаемых и т. п. Даже работы по теоретической механике и математике испытывали на себе прямое или косвенное влияние запросов русской жизни. Академия наук нередко направляла внимание своих членов на разработку проблем, от решения которых ожидали непосредственного практического эффекта. Примером могут служить занятия Д. Бернулли гидродинамикой и гидравликой. В предисловии к своей знаменитой «Гидродинамике» (1738) Бернулли писал: «Я охотно объявляю, что главнейшая часть этой работы обязана

руководству, замыслам и поддержке со стороны Петербургской Академии наук... все усилия которой направлены к тому, чтобы содействовать росту и общественной пользе благих наук» [1]. Точно так же по поручению Академии была подготовлена двухтомная «Морская наука» Л. Эйлера (1749), посвященная проблемам кораблестроения и навигации. При всей своей практической направленности оба эти труда содержали теоретические обобщения, оказавшие огромное влияние на последующий прогресс различных отделов механики и физики. Такие примеры можно без труда умножить; мы ограничимся еще упоминанием той многосторонней работы, которую вел в области картографии, и в первую очередь изготовления карт России, Эйлер и с которой переплетались его работы по математике — от тригонометрии до теории функции комплексного переменного.

Слова Бернулли о роли руководства и поддержки со стороны Академии наук не были просто долгом вежливости в отношении учреждения, в котором он работал в течение восьми лет и с которым и по возвращении в Швейцарию продолжал поддерживать тесную связь. В Академии наук действительно существовали благоприятные условия для творческой научной работы: большой по тем временам коллектив энергичных ученых с общими интересами, превосходно оборудованные кабинеты, собственная типография и т. д. Л. Эйлер, приехавший в Петербург в 20-летнем возрасте и ставший затем одним из крупнейших ученых мира, в письме И. Шумахеру от 18 ноября 1748 г. писал, что всем, чего он достиг, он обязан своему пребыванию в Петербургской академии наук.

Крупнейшей вехой в русской науке стала многогранная творческая деятельность Ломоносова. В его личности и творчестве нашли наиболее яркое выражение особенности той эпохи в истории России, когда под влиянием реформ Петра I началось стремительное развитие производительных сил России, культуры и национального самосознания русского народа, когда Россия энергично вышла на международную арену.

О главных достижениях Ломоносова в области физики, химии, астрономии, географии, геологии будет рассказано в соответствующих главах. Здесь же мы попытаемся хотя бы в общих чертах передать творческий облик этого замечательного ученого и человека.

А. С. Пушкин сказал о Ломоносове, что он не только создал первый русский университет (имеется в виду Московский университет), но сам был первым русским университетом.

Выдающийся физик и химик, мыслитель, публицист и поэт, Ломоносов включает в круг своих интересов и кипучей деятельности рудное дело и металлургию, астрономию и мореплавание, географию и этнографию, историю и просвещение, вопросы развития промышленности и экономики. В то же время он, как большинство по-настоящему разносторонне одаренных людей, был удивительно цельной личностью.

Главную задачу своей жизни Ломоносов видел в создании единого объяснения физических, химических и других явлений природы на основе атомистической концепции и закона сохранения вещества и движения, который он считал универсальным законом природы.

Ломоносов родился в 1711 г. в деревне Мишанинской в дельте Северной Двины. В этом крае издавна достигли сравнительно высокого разви-

[1] *Д. Бернулли.* Гидродинамика, или Записки о силах и движении жидкостей. Л., Изд-во АН СССР, 1959, с. 9.

тия промышленность, торговля и культура. Жители побережья Северной Двины и Белого моря, потомки новгородцев, поселившихся здесь издавна, не знали татарского ига и, впоследствии, помещичьего землевладения. В начале XVIII в. хозяйственная жизнь здесь была оживленной. Возникли новые ремесла, в сравнительно крупных масштабах шла торговля, в том числе с глубинными областями страны. На берегах Белого моря и Северной Двины нередко встречались грамотные люди. На крупной Вавчугской верфи, расположенной вблизи Мишанинской, строились и оснащались военные и торговые корабли, находились различные мастерские.

Ломоносов принадлежал к среде, издавна связанной с морским рыбным промыслом. Вместе с отцом он иногда выходил в довольно далекие плавания. Наблюдая на Вавчугской верфи работу водяных колес, лесопилок и различных станков, он знакомился с техникой; тогда же он научился разбираться в технических чертежах.

Жажда знания увлекла Ломоносова в Москву, где он поступил в Славяно-греко-латинскую академию. Вскоре Ломоносов перешел в Петербургский академический университет, который представлял собой небольшую группу молодых людей, обучавшихся у профессоров Академии наук. Здесь он познакомился с основами экспериментального естествознания. В это же время у него стали проявляться самостоятельные литературно-филологические взгляды, в особенности на поэзию.

В конце 1736 г. Ломоносов уехал в Германию, где он учился в Марбурге у Христиана Вольфа. Через два года, еще будучи студентом, он написал два сочинения: «О превращении твердого тела в жидкое, в зависимости от движения предсуществующей жидкости» (октябрь 1738) и «Физическую диссертацию о различии смешанных тел, состоящем в сцеплении корпускул» (март 1739); во второй из этих работ говорится об элементарных неделимых частицах и состоящих из них производных корпускулах. Эти первые научные идеи Ломоносова получили дальнейшее развитие в его классических трудах, написанных в начале 40-х годов.

В это же время Ломоносов выступил со своим первым крупным поэтическим произведением — «Одой на взятие крепости Хотин» (1739). Крупнейший русский критик В. Г. Белинский считал эту оду началом новой русской литературы. Посылая оду в Петербург, Ломоносов приложил к ней свой первый филологический трактат «Письмо о правилах российского стихотворства», в котором обосновывал новую (тоническую) систему русского стихосложения. Этот трактат подвергался нападкам со стороны защитников традиционной поэзии, однако после длительной борьбы система Ломоносова одержала победу.

В июле 1739 г. Ломоносов переехал во Фрейберг, где занимался под руководством известного специалиста по химии и горному делу Генкеля. Генкель защищал старые представления о «скрытых сущностях», которые якобы являются причиной химических свойств и химических реакций, Ломоносов же стремился объяснить их на основе атомистических представлений и создать механику мельчайших частиц. Между Генкелем и Ломоносовым происходили на этой почве частые размолвки.

Летом 1741 г. Ломоносов вернулся на родину. В январе 1742 г. он стал адъюнктом Академии, а через три года был избран профессором, т. е. действительным членом Академии. Он принял горячее участие в борьбе за обновление деятельности Академии наук после смещения временщика

Центральная научная БИБЛИОТЕКА

Бирона, а вскоре стал руководителем этой борьбы. Одновременно он развернул напряженную научную деятельность, охватившую самые различные вопросы науки и техники, и в то же время создавал замечательные поэтические произведения.

В начале 40-х годов Ломоносов написал «Первые основания металлургии или рудных дел». Это была поистине энциклопедия горнометаллургической науки. О ней будет подробно рассказано в главе, посвященной развитию геологии в XVIII в.

В 1741—1744 гг. одновременно со статьями и набросками по атомистической химии, теории теплоты и физике эфира Ломоносов написал работу «О составляющих природные тела нечувствительных физических частицах, в которых заключается достаточное основание частных качеств». Первым вариантом ее был «Опыт теории о нечувствительных частицах тел и вообще о причинах частных качеств». В этих рукописях изложены основные принципы атомистической картины мира. В те же годы Ломоносов накоплял заметки для последующих работ, в которых атомистические идеи должны были получить применение к различным проблемам физики и химии. В 1741 г. написана также известная работа «Элементы математической химии», где дано четкое определение атомов («элементов») и молекул («корпускул»).

В 1744 г. в работе «Размышления о причине теплоты и холода», развивая идеи Р. Бойля, Д. Бернулли и др., Ломоносов обосновал кинетическое представление о теплоте. Эта работа была доложена в Академии в начале 1745 г., но увидела свет в переработанном виде лишь в 1750 г. Она встретила резкие возражения сторонников теплорода и высокую оценку и полную поддержку Эйлера.

В 1756 г. Ломоносов производит классический опыт по окислению металла при нагревании в запаянном сосуде и показывает, что общий вес сосуда при этом не изменяется. Тем самым было экспериментально доказано, что «материя огня» не проникает сквозь стекло, как полагал Бойль; это было шагом на пути к экспериментальному доказательству сохранения массы при химических превращениях.

В 1752—1753 гг. развернулись исследования Ломоносова в области электричества, которые он вел в значительной мере совместно с Г. В. Рихманом. Результаты этих исследований будут изложены в главе, посвященной физике. Отметим лишь, что идеи Ломоносова в области теории электричества были органически связаны с его общим представлением о строении материи. От теории электричества Ломоносов закономерно перешел к общей теории эфира. Среди рукописей Ломоносова сохранились заметки об электричестве и эфире, план работы «Теория электричества, изложенная математически» и часть ее текста (1756). В них явно видно стремление создать единую теорию, охватывающую различные формы движения эфира и не только объясняющую электрические явления и происхождение света, но включающую также и теорию цветов. Проблема цвета была поставлена в его трудах в связь с общими атомно-корпускулярными представлениями и с физикой эфира. В этом отношении первостепенный интерес представляет «Слово о происхождении света, новую теорию о цветах представляющее», прочитанное им в Академии наук в 1756 г. Вместе с тем Ломоносов вел и собственно оптические исследования, результатом которых было создание прибора, позволяющего более отчетливо видеть земные предметы в сумерки,— «почезрительной трубы». В полемике

по поводу этого своего изобретения Ломоносов вышел за рамки чисто геометрической оптики и предвосхитил некоторые представления возникшей значительно позже физиологической оптики.

Работа по созданию промышленности цветного стекла, прежде всего для мозаики, в течение долгих лет стояла в центре теоретических и прикладных интересов Ломоносова. Познакомившись с классическими образцами мозаичных картин, Ломоносов решил пользоваться, в отличие от итальянских мозаик, не природными минералами, а окрашенными стеклами. В результате длительных химико-технических экспериментов он получил цветные непрозрачные стекла, из которых и создавал картины, в том числе знаменитую «Полтавскую баталию», которую можно и ныне видеть в здании Академии наук СССР в Ленинграде.

В начале 50-х годов Ломоносов построил в Усть-Рудице близ Петербурга фабрику, производившую бисер, стеклярус и окрашенные стекла для мозаики. При этом он сам конструировал для этой фабрики водяные колеса, механические трансмиссии, станки, печи и т. д.

Стремление к обогащению русской культуры, организации новых отраслей русской промышленности наталкивалось на сопротивление со стороны некоторых придворных кругов и ряда деятелей Академии наук; Ломоносову приходилось все время вступать в острые конфликты с этими, как он говорил, «неприятелями наук российских».

Полемические выступления Ломоносова имели принципиальное значение. В ответ на нападки своих противников, выступавших против мозаичной промышленности, Ломоносов в 1752 г. написал стихотворное послание графу И. И. Шувалову, оказывавшему поддержку некоторым начинаниям Ломоносова.

Это послание — «О пользе стекла» — образец дидактической и публицистической поэзии. Ломоносов пишет в нем об эстетической ценности стеклянной глазури и стеклянных украшений, вспоминает в этой связи о купцах, менявших в Америке бисер на золото и серебро, и возмущается колониальными грабежами. Он описывает тяжелую жизнь порабощенных туземцев Америки, а затем переходит к яркому выступлению против реакционных воззрений, тормозящих поступательный ход науки. Перечисляя различные применения стекла, Ломоносов напоминает об астрономических приборах и включает в свое стихотворение защиту коперниканства. Образ Прометея является для него символом науки, выступающей против религиозных предрассудков. Он говорит об Аристархе Самосском, выдвинувшем в древности гелиоцентрические идеи, и спорит с представителями церкви, ратующими против «коперниковской ереси». Последующие строки послания «О пользе стекла» посвящены микроскопу, и наконец речь заходит о стеклянном шаре электрической машины. В этой связи Ломоносов упоминает о своих экспериментальных работах в области атмосферного электричества.

Тесную связь естественнонаучных исследований Ломоносова с его общественно-философскими воззрениями демонстрирует «Слово о явлениях воздушных...» Эта речь, прочитанная Ломоносовым в 1753 г. в Академии наук, наряду с изложением теории атмосферного электричества содержала резкую критику церкви. В ней говорилось, что России нужна подлинная наука, выясняющая причины явлений, высмеивались рассуждения о «греховности» изучения атмосферного электричества, осуждалось суеверие.

Важным событием в истории русской культуры была «Российская грамматика» (1755) Ломоносова — первая научная грамматика русского языка.

В 1756 г. появился знаменитый памфлет Ломоносова «Гимн бороде», в котором высмеивалась борьба церковников против науки и, в частности, против гелиоцентризма. Библейской догме Ломоносов противопоставил учение об истории Земли и земной коры. В следующем году он выступил со «Словом о рождении металлов», в котором развил это учение, высказал ряд интересных, передовых для своего времени идей в области геологии.

В связи с актуальными проблемами морской навигации Ломоносов написал «Рассуждение о большой точности морского пути» (1759), ставшее важным этапом в развитии географических представлений. Оно содержит большое число гравиметрических, астрономических и метеорологических наблюдений, а предложенные им оригинальные конструкции приборов явились ценным вкладом в прикладную механику.

Ломоносову принадлежат важные сочинения по общественно-экономическим вопросам, и в частности письмо Шувалову «О сохранении и размножении российского народа» (1761), где он выступал против неравных браков, против монашества, намечал систему организации лечебной помощи и т. д.

Ко всему этому следует прибавить, что Ломоносов был одним из первых представителей русской научной историографии и занимался исследованием древней истории России.

Вторая половина 50-х и первая половина 60-х годов явились временем растущих связей Ломоносова с молодыми исследователями. У него появились ученики и соратники. Ломоносов понимал, что Россия нуждается в более широкой подготовке научных кадров, поэтому он уделял много внимания борьбе за создание Московского университета.

После 1762 г. обстановка для Ломоносова сильно ухудшилась. Некоторые из его врагов были участниками дворцового переворота, в результате которого на царский престол взошла Екатерина II. Оказавшись у власти, они получили новые возможности чинить препятствия ученому. В этих тяжелых условиях Ломоносов вел работы по географии и продолжал экспериментальные и теоретические исследования по оптике и химии. Сохранившиеся рукописные наброски этого периода содержат много интересных теоретических высказываний, замыслов новых экспериментов, конструкций и оригинальных приборов.

За год до смерти Ломоносов написал записку, характеризующую его отдельные труды в области естествознания, истории и филологии. Она свидетельствует о том, что сам Ломоносов рассматривал свои работы по теории тепла, упругости газов, растворов, электричества, света и т. д. как составные части единой атомистической картины мира.

В 1765 г. Ломоносов умер. Дальнейшее развитие его идей в русской науке происходило в исторических условиях, значительно отличавшихся от условий первой половины XVIII в. Последняя треть века характеризовалась несравненно большей широтой подготовки научных кадров, невиданным до того ростом учебной литературы и возникновением того, что можно было бы назвать научной общественностью. Важную роль в этом сыграл созданный по инициативе Ломоносова Московский университет. Он был одновременно и показателем, и рычагом большого поворота: его открытие в 1755 г. свидетельствовало о значительном росте просвещения и науки и в то же время способствовало их дальнейшему развитию.

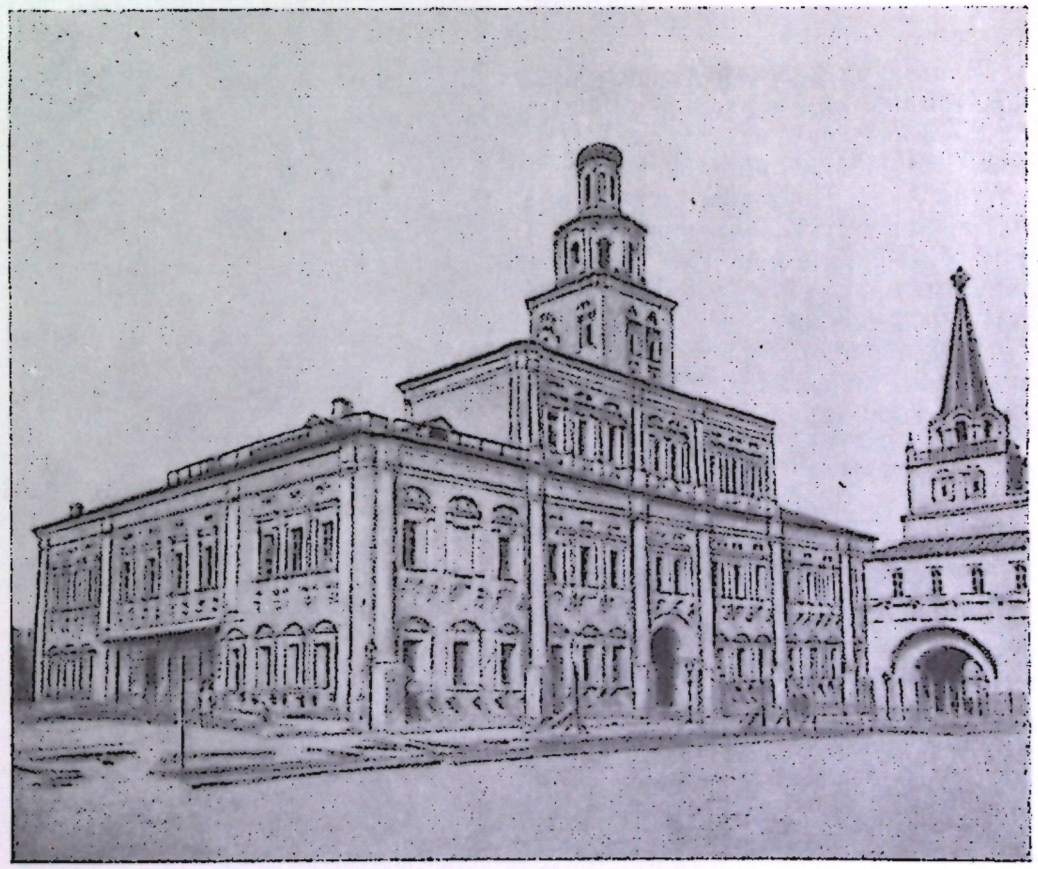


М. В. Ломоносов

По предложению Ломоносова, в Московском университете занятия велись на трех факультетах: юридическом, медицинском, философском. Для обеспечения постоянного контингента студентов при университете была открыта гимназия (в 1757—1758 гг. университет открыл еще гимназию в Казани); доступ в гимназию и в университет на первых порах был открыт для всех сословий, даже для крестьянских детей, правда, для них с известными оговорками. Первые студенты были присланы из Славяно-греко-латинской академии и других духовных семинарий. Это были дети разночинцев, большей частью из бедноты, и содержались они на казенный счет. В гимназии были и дворянские дети, но они, как правило, поступали затем в специальные военные училища, так что в составе студентов в первые десятилетия неизменно преобладали дети солдат, мелких служащих, а иногда и бывшие крепостные. В XIX в. процент дворян сильно возрос.

В числе первых преподавателей Московского университета были питомцы Петербургской академии Н. Поповский, А. Барсов, Ф. Яремский. Они были учениками Ломоносова и перенесли в новый университет его традиции, его принципы преподавания. Поповский стал первым лектором философии, Барсов был прямым продолжателем Ломоносова в изучении русской грамматики и риторики, создателем и руководителем Вольного

Здание Московского университета на Красной площади. 1755 г.



Российского собрания при университете, ставившего задачей исправление русского языка, выявление и публикацию исторических и литературных памятников. Через Поповского ломоносовская антицерковная направленность философской мысли передалась следующим поколениям русских преподавателей Московского университета, среди которых самое видное место принадлежит математику Д. Аничкову. Диссертация Аничкова, посвященная происхождению религии (1769), изъятая и уничтоженная по настоянию Синода, содержала идеи, созвучные идеям передовых русских просветителей его времени, боровшихся против церкви.

Медицина была представлена в Московском университете С. Г. Зыбелиным, который в постановке ряда вопросов, в частности демографических, также следовал идеям Ломоносова.

При университете была основана типография. Одним из первых изданий Московского университета было двухтомное собрание сочинений Ломоносова. Университет издавал газету «Московские ведомости» и несколько журналов. Популяризация науки проводилась также путем публичных лекций. Уже в первые десятилетия своего существования Московский университет уделил внимание изучению языков народов, населявших Россию: были изданы грамматики и учебники грузинского, чувашского, татарского и турецкого языков. Первые десятилетия существования Московского университета были периодом его становления и подготовки собственных кадров. В области исследовательской работы по-прежнему ведущая роль в это время принадлежала Академии наук.

*

Благодаря успехам Академии наук она уже к середине XVIII в. становится центром консолидации научных сил России. Членами Академии становятся многие талантливые русские ученые: натуралист и путешественник С. П. Крашенинников, математик С. К. Котельников, в 60—80-е гг.— анатом А. П. Протасов, астрономы С. Я. Румовский и П. Б. Иноходцев, натуралисты И. И. Лепехин и Н. Я. Озерецковский, химики Н. П. Соколов и В. М. Севергин и другие. Расширяются связи Академии с учеными, жившими на периферии России; в результате этого в 1759 г. учреждается звание члена-корреспондента Академии наук. Первым получил это звание географ, экономист и историк П. И. Рычков, автор капитального комплексного исследования природы и экономики Оренбургского края «Топография Оренбургская...» (ч. I и II. Спб., 1762).

Развитие экономики России, политические реформы конца XVII — начала XVIII в., разносторонняя деятельность Петербургской академии в первые десятилетия ее существования способствовали значительному расширению научных и технических работ во второй половине XVIII в.

Большой размах получили экспедиционные исследования. В 60—70-е гг. они охватили всю страну и приобрели комплексный характер. Вызванные и стимулируемые потребностями экономического развития страны, они оказали большое влияние на развитие геологических, географических и биологических знаний. Их конкретные результаты будут освещены в соответствующих главах. Здесь же отметим лишь их принципиальные особенности: во-первых, будучи организованными Академией наук, эти экспедиции проводились как важные общегосударственные мероприятия и, во-вторых, в ходе этих экспедиций была достигнута тесная связь географических, геологических и биологических исследований. Благодаря этому результаты деятельности комплексных экспедиций второй половины XVIII в. имели не только существенное практическое значение, но и сыграли важную роль в развитии русской и мировой науки.



И. П. Кулибин

Дальнейшее развитие получили технические знания. Рост промышленности и в особенности появление новых горных заводов на Урале и Алтае выдвигали проблему обеспечения их источниками энергии. Один из примеров ее решения — созданное К. Д. Фроловым в начале 80-х годов XVIII в. инженерное сооружение, имевшее целью обеспечить энергией Змеиногорский рудник на Алтае. Вода, пущенная с 18-метрового гребня плотины, пробегала в общей сложности свыше двух километров, частично по подземной штольне, частично по наземным каналам, приводя в движение целую систему рудоподъемных, водоподъемных и других установок. На Урале было сооружено более 200 больших заводских плотин. И. И. Ползунов построил в 1764—1766 гг. на Барнаульском заводе первую заводскую теплосиловую установку.

На почве решения прикладных задач во второй половине XVIII в. выдвинулось большое число квалифицированных конструкторов и изобретателей. Наиболее крупным представителем их был И. П. Кулибин, которому принадлежит ряд изобретений в области прикладной механики, и в частности в мостостроении. Особенно поражает своей смелостью его проект деревянного однопролетного арочного моста через Неву, который не смогли в то время реализовать.

Кулибин разработал также несколько оригинальных проектов мостов из железа и чугуна. Некоторые работы Кулибина имели большое значение для кинематики механизмов.

Расширились исследования в области астрономии, физики и химии. Все большее развитие получают точные наблюдения и эксперимент, в том числе в области биологии, свидетельством чего являются работы К. Ф. Вольфа, М. М. Тереховского, А. М. Шумлянского и других.

Развитию медико-биологических исследований способствовало создание в самом конце XVIII в. медико-хирургических академий в Петербурге и Москве.

Неуклонно росло количество издаваемой литературы. Если в течение первых 60 лет XVIII в. в среднем издавалось 18 книг в год (всего за этот период вышло 1134 книги), то с 1761 по 1770 г. было издано уже 1050 книг (в среднем 105 книг в год), в 70-е годы — 1466 (в среднем 146 книг в год),

а в 80-е годы в среднем ежегодно выходило 268 книг. Однако с 1791 по 1795 г. выходило лишь 220 книг в год — это было реакцией царского правительства на французскую революцию 1789—1794 гг. С 1728 г. начал выходить первый русский научно-популярный журнал, издававшийся Академией наук как ежемесячное приложение к газете «Санкт-Петербургские ведомости». С того же года начали регулярно издаваться труды («Commentarii») Академии наук. К концу XVIII в. выходило уже довольно большое число журналов, при этом многие из них издавались частными лицами. Особая роль в развитии русской журналистики в XVIII в., в придании ей антифеодального и антиклерикального характера принадлежит одному из талантливых и энергичных русских просветителей Н. И. Новикову.

В 1765 г. возникает первое русское научное общество — «Санкт-Петербургское вольное экономическое общество». Позднее во многих городах начали работать его отделения или самостоятельные общества под тем же названием. С самого основания Общество привлекло к своей деятельности широкий круг людей по всей России, главным образом помещиков и заводчиков, заинтересованных в повышении производительности своих хозяйств. Общество способствовало разработке и распространению научных основ ведения сельского хозяйства, технических и естественнонаучных знаний.

Много внимания уделялось усовершенствованию орудий труда, созданию новых конструкций сельскохозяйственных машин и технических приспособлений, новых методов переработки и использования сельскохозяйственной продукции, изучению и применению минеральных богатств, развитию химических промыслов, метеорологическим наблюдениям. Вместе с тем общество выражало историческую тенденцию развития страны: в последней четверти XVIII в. Россия вступила на путь капиталистического развития. На собраниях и в «Трудах» Общества настойчиво, хотя и приглушенно звучала мысль о необходимости отмены крепостного права, изменения феодального способа ведения хозяйства.

К концу XVIII в. успехи естествознания укрепили и развили представление о мире как системе, подчиняющейся исключительно естественным законам. В трудах просветителей эти представления обнаружили свое антитеологическое острие. Атомистика XVIII в. подрывала основы теологии, и слово «атомистика» часто, и не без основания, употреблялось в то время как синоним материализма.

Русская наука внесла свой вклад в общую антитеологическую борьбу. Естествознание становится опорой революционно-демократического направления русской общественно-философской мысли. Наиболее радикальные философские выводы из развития науки сделал в России А. Н. Радищев, продолжавший идейные традиции Ломоносова и французских энциклопедистов.

В своем сочинении «Путешествие из Петербурга в Москву» (1790) и особенно в философском трактате «О человеке, его смертности и бессмертии» (1792—1796) Радищев говорил, что данные науки противоречат религии и идеализму. В основе явлений природы, утверждал Радищев, лежит движущаяся материя. Она объективна, независима от познания. «Бытие вещей независимо от силы познания о них и существует по себе» [1];

[1] *А. Н. Радищев.* Избранные философские сочинения. М.— Л., Госполитиздат, 1949, с. 423.

движение есть неотделимое свойство, присущее всякому бытию. В его философском трактате мы находим мысли об объективности пространства и времени. Пространство и время выступают у Радищева как формы существования материи. Вне пространства и времени нет бытия, нет существования [1]. Радищев развивал идею неразрывной связи мышления с мозгом. Вместе с тем он подчеркивал, что мысль не является веществом: «Душа наша или мыслящая сила не есть вещество само по себе, но свойственность сложения» [2].



А. Н. Радищев

Большое место в трактате Радищева занимает вопрос о единстве природы и о субординации ее тел. От представлений о «лестнице веществ» в духе Ш. Бонне он шел к представлению об историческом развитии природы в целом и органического мира в частности, т. е. к идеям, которые получили свое обоснование в науке XIX в. Это особенно проявилось во взглядах Радищева на сознание человека как на результат процесса постепенного преемственного совершенствования способности восприятия, выступающей у простейших организмов в форме первичной раздражимости.

⁂

Социально-экономические и производственно-технические сдвиги, характер идейного развития общества и накопленный наукой фактический и теоретический материал предопределили в конце XVIII в. возникновение новых черт в науке и научном творчестве. Каковы же эти черты, явившиеся итогом развития мировой науки XVIII в.?

Мировая торговля, великие географические открытия, книгопечатание и в особенности мануфактурное производство дали мощный толчок развитию естествознания. Последнее уже в 1543 г. гелиоцентрической системой Коперника провозгласило свою зрелость и независимость от церкви. В следующем столетии Кеплер, Галилей, Гюйгенс и Ньютон установили принципы земной и небесной механики. Логарифмы, аналитическая геометрия, а затем дифференциальное и интегральное исчисления открыли возможность широкого применения математических методов в астрономии, механике и физике. К концу XVII в. были открыты и сформулированы основные законы механики. Механика стала самой разработанной

[1] *А. Н. Радищев.* Избранные философские сочинения, с. 444—445.
[2] Там же, с. 478—479.

наукой с мощным математическим аппаратом. Другим отраслям естествознания до этого было еще очень далеко. Особенно это относится к биологии, где научный прогресс сводился в основном к накоплению и первоначальной систематизации ботанического и зоологического материала.

Развитие науки в XVIII в. привело к построению на фундаменте, заложенном в предшествующую эпоху, здания нового естествознания, к углублению дифференциации знаний, разработке экспериментальных и количественных методов исследования.

Роль эксперимента как основного метода исследования и решающего доказательства в науке была раскрыта в XVII в. Это было главным достижением столетия, вызвавшим революцию в естествознании. XVIII веку предстояло закрепить и развить эту всемирную победу человеческой мысли.

Требование строгого доказательства, математической дедукции, решающего эксперимента, детального описания явления становится в XVIII в. обязательным. Чтобы быть признанной, любая научная теория должна опираться на опыт. Постепенно все большее значение стали придавать не просто наблюдению и эксперименту, но количественному эксперименту. В первую очередь это относится, конечно, к физике и химии, но и в биологии — прежде всего в физиологии животных и растений — паряду с непосредственными наблюдениями все большее место начинает занимать эксперимент. В постоянный обиход биологических исследований начинает входить микроскоп. Весьма общие, часто неопределенные описания окружающего ландшафта, видов растений и животных, случайных образцов ископаемых, сменяются детальным, систематическим изучением. Соответственно этому углубляется дифференциация наук.

В науке XVIII в. по-прежнему преимущественное положение занимали проблемы механики. Более того, недостаточность знаний в других областях привела к убеждению, что все явления природы, даже сложнейшие из них, в конце концов можно свести к законам механики, и породила своеобразное мировоззрение, центром которого было представление об абсолютной неизменяемости природы и законов, по которым она действует. Это мировоззрение преобладало (хотя в нем и появлялись отдельные бреши) на протяжении всего XVIII в. Его влияние на естествоиспытателей сильно сказывалось вплоть до второй половины XIX в.

И вместе с тем под влиянием общественной практики, прежде всего развития мануфактурного производства, постепенно изменялся облик естествознания. От изучения законов статики наука все больше углублялась в познание динамики. Перед самой механикой возникли совершенно новые проблемы, связанные с разработкой теории механизмов и машин, особенно их кинематики.

В XVIII в. знали о сохранении движения, но не знали, что мера движения сохраняется при переходах от одной формы движения к другой. Наука XVIII в. не знала о сочетании единства и несводимости форм движения, а тем более о переходе одних форм движения в другие, которые были обнаружены в первой половине и середине XIX в. и в явной и отчетливой форме высказаны и сформулированы в его последней четверти.

Эти особенности науки XVIII в. можно проследить во всех основных отраслях математики и естествознания. В XVIII в. наиболее важным направлением математической мысли была разработка анализа бесконечно

малых как универсального аппарата механики, которая к концу века приняла классические формы аналитической механики. Хотя в математике к середине XVIII в. уже и ставились проблемы, связанные с некоторыми разделами физики, эти проблемы не вышли на первый план, и только в XIX в. они превратились в предмет изучения специальных самостоятельных разделов математики.

Большинство разделов физики XVIII в.— учение о теплоте, электричестве, магнетизме, свете и т. д.— еще не эмансипировалось от механики, не достигло того теоретического уровня, который допускал бы их математическую разработку. Первые успехи в математическом исследовании задач теории упругости, теории потенциала, акустики были еще исключениями, лишь подчеркивавшими общее состояние науки. Некоторой самостоятельностью обладали картезианские концепции в физике, противостоявшие ньютонианскому духу механики. Однако они не были ни однозначными, ни количественными. Понятие энергии уже появилось, но оно по существу еще не вышло за пределы механики.

Химия стала самостоятельной наукой только после того, как анализ химических явлений стал строиться на основе учета веса и числа и она отошла от аристотелевских и алхимических элементов, которые были явно недостаточны для объяснения фактов и решения задач технической и пневматической химии. Здесь большую роль сыграло понятие флогистона, явившееся отправным пунктом создания единой теории, охватившей важнейшие химические превращения вещества — горение, обжиг металлов и дыхание. Но теория флогистона не выдержала количественно-экспериментальной проверки, кроме того, она была подозрительно близка к уже достаточно дискредитированным «скрытым свойствам» и в конце концов уступила место кислородной теории, созданной в конце XVIII в. Лавуазье. Эта теория привела к экспериментальному доказательству закона сохранения массы, а на этой основе атомистические воззрения в XIX в. смогли получить уже не гипотетический, а достоверный характер.

Более определенными и строгими стали и геологические знания. Библейские представления о происхождении Земли последовательно вытеснялись благодаря, с одной стороны, исследованиям геологического строения различных районов Европы, с другой — минералогическим исследованиям, основанным на анализе химического состава горных пород. И хотя обе главные геологические концепции, сформулированные к концу XVIII в.,— нептунизм (Вернер) и вулканизм (Геттон) — были весьма односторонними, они представляли собой большой шаг вперед по сравнению не только с библейскими сказаниями, но и с натурфилософскими построениями предшествующего периода.

Биология позже других естественных наук стала на путь строгого естественнонаучного объяснения явлений. Удивительная приспособленность растений и животных к условиям их существования, бросающаяся в глаза чудесная пригнанность органов живых существ друг к другу и слаженность их действий долго не могли получить причинного объяснения. Поэтому телеологические представления отступили в биологии позже, чем в науках о неживой природе. Немалую роль в этом сыграло и прямое влияние церкви, обладавшей в XVIII в. не только сильнейшим идеологическим воздействием, но и огромной политической властью. Естественнонаучная причинная трактовка явлений, уже завоевавшая прочные позиции в астрономии, механике и физике, при описании биологических явлений сплошь

и рядом подменялась теологическим толкованием. Весьма знаменательно, что именно неспособность науки XVIII в. дать естественнонаучное объяснение происхождения органического мира из неорганического толкнула Канта к агностицизму.

Основным занятием большинства натуралистов оставались выявление и описание неизвестных видов растений и животных и разработка принципов систематики. В середине XVIII в. систематика достигла благодаря Линнею больших успехов. Морфология делала еще только первые шаги, и о сравнении организации различных органических форм, выявлении общности и определенных закономерностей в их строении задумывались лишь немногие. Только к концу XVIII в. в исследованиях Кампера, Хантера, Вик-д'Азира закладываются основы сравнительной анатомии. Экспериментальный метод еще не получил в биологии широкого применения, и потому физиология еще не вышла из зачаточного состояния. В учении о движении соков в растениях, о функциях сердца и движении крови в кровеносных сосудах и даже в представлениях о деятельности нервной системы преобладали попытки свести сложные физиологические процессы к законам механики. И хотя эти попытки в то время приводили лишь к построению более или менее удачных аналогий между живыми существами и простейшими механизмами, они имели прогрессивное значение, содействуя проникновению в биологические науки экспериментального метода. Точность наблюдений и определенность характеристик видов растений и животных, строения и функций их органов в XVIII в. стали распространенным требованием. В сочетании с идеей субординации, иерархии тел природы это привело во второй половине XVIII в. к попыткам создания естественной классификации видов (А. Жюссье), наталкивавшим на идею эволюции.

С середины XVIII в. идея развития исподволь, с разных сторон начинает пробивать себе дорогу. Мы обнаруживаем ее в геологических и биологических сочинениях Бюффона. В 1755 г. Кант создает теорию происхождения Земли и солнечной системы, в которой и та и другая выступают уже не как нечто вечное и неизменное, но возникающее и развивающееся во времени. Четыре года спустя К. Ф. Вольф, изучавший развитие куриного зародыша, решительно порывает с преформизмом, согласно которому развитие зародыша есть лишь простое развертывание, рост изначально существовавшего и вполне сформированного зачатка, и выступает с альтернативной концепцией: зародыш формируется в организме заново из бесформенного зачатка (эпигенез). Примерно в те же годы идея развития отчетливо выступает в геологических сочинениях Ломоносова. Однако это были лишь первые трещины в здании старого метафизического мировоззрения, далекие подземные толчки, которых большинство естествоиспытателей еще долго не ощущало. И тем не менее они служат для нас свидетельствами серьезных сдвигов в науке к исходу XVIII столетия.

Важным фактором научного прогресса была идейная атмосфера того времени, которая сама являлась духовным выражением социально-экономических потребностей эпохи. Большое воздействие на развитие науки оказала деятельность материалистического крыла просветителей, наиболее яркими представителями которого были Дидро, Гельвеций и Гольбах. Знаменитая французская «Энциклопедия наук и ремесел», издававшаяся с 1757 по 1772 г. сначала под редакцией Д'Аламбера и Дидро, а затем одного Дидро, не только способствовала популяризации естественнонаучных знаний, но в значительной степени повлияла на их дальнейшее развитие.

Наука XVIII в. развивалась в условиях последовательного нарастания революционных антифеодальных сил. Буржуазные революции в Англии и Франции отличались своим широким воздействием на экономическое, политическое и культурное развитие других стран. Уже английская революция 1648 г. имела общеевропейское значение. В еще большей степени это можно сказать о Великой французской буржуазной революции 1789 г. Обе эти революции привели к победе новых экономических отношений в тех странах, в которых к этому времени созрели необходимые исторические предпосылки. Но даже там, где общий революционный подъем не привел к крушению феодальных монархий, он вызвал усиление прогрессивных направлений в общественной мысли, философии и естествознании. Передовые представители демократических течений общественной мысли исходили из прогресса естественнонаучных знаний и в свою очередь своими материалистическими выступлениями толкали естествознание вперед, к познанию действительных объективных закономерностей природы. Они противопоставляли науку религии, стремились к просвещению широких кругов общества и тем самым способствовали развитию] науки.

Глава вторая

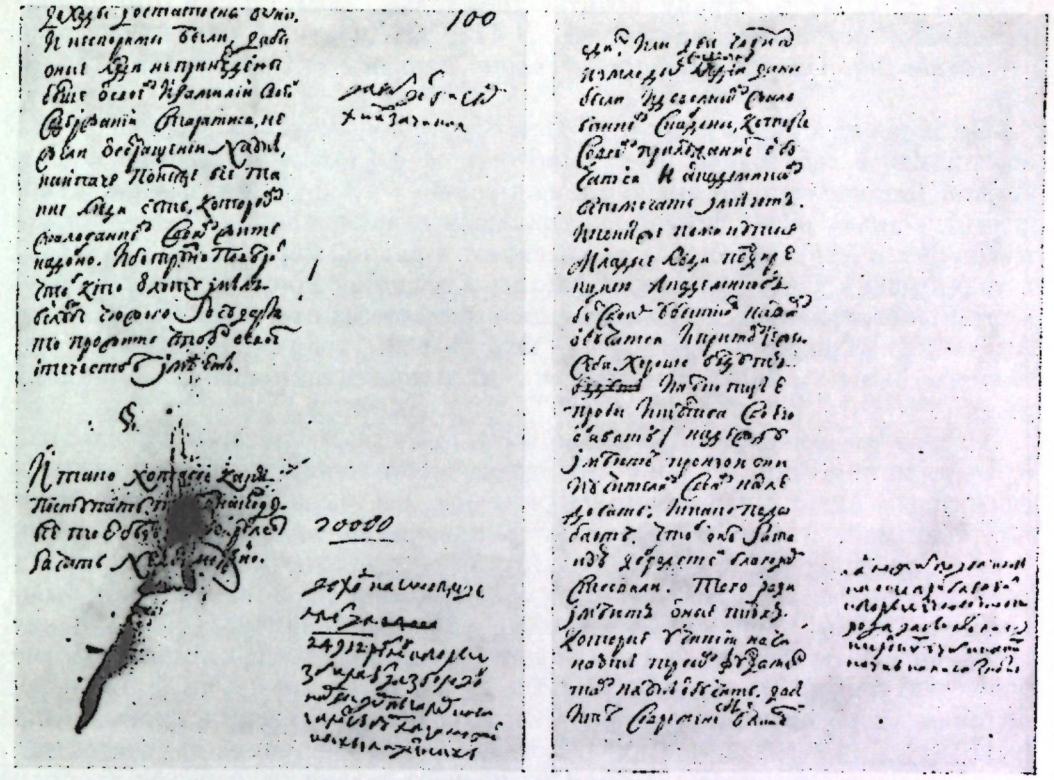
СОЗДАНИЕ ПЕТЕРБУРГСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК И ЕЕ РОЛЬ В РАЗВИТИИ ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ в XVIII веке

Завершающим звеном в цепи культурных преобразований петровской эпохи было создание Академии наук в Петербурге — знаменательное событие в культурной истории России, быстро поднявшее русскую науку на уровень науки самых развитых европейских стран.

Научная жизнь в то время в одних странах была сосредоточена в университетах, в других возникли научные общества, частные либо в той или иной мере содержавшиеся за счет государства. Среди них особенно выделялись три крупнейшие научные корпорации: Парижская академия наук, Лондонское королевское общество и Берлинское научное общество (в 1744 г. преобразованное в Академию наук). Во время заграничных путешествий Петра I, встреч и бесед с учеными, посещений музеев, библиотек, университетов, его не оставляла мысль об учреждении Академии в Петербурге.

Затянувшаяся война со Швецией, требовавшая огромных средств и усилий, мешала осуществлению замысла создания Академии. Но Петр I возвращался к нему постоянно, обсуждая его в беседах с Лейбницем, основавшим в 1700 г. Берлинское научное общество, в переписке с известным немецким философом и ученым Христианом Вольфом. Вначале Петр I склонялся к мысли учредить университет. Но широкое развитие научных исследований потребовало бы тогда десятков лет, в то время как бурно возраставшее экономическое и военное могущество страны, стремительный подъем ее культуры все настоятельнее выдвигали необходимость в немедленной организации подобных исследований. Петр I торопил события, постепенно у него созрел план сложного научного учреждения, не повторявшего ни одну из существовавших тогда академий, одновременно исследовательского и учебного, призванного способствовать подъему экономики и распространению естественнонаучных знаний в стране, а также подготовке национальных кадров ученых и вспомогательного научного персонала.

После окончания в 1721 г. войны со Швецией Петр занялся претворением в жизнь своего плана — подготовкой проекта Положения об Академии, изысканием средств на ее содержание, а главное — подбором состава будущих академиков. Он задался целью привлечь в Академию крупных ученых, которые могли бы сразу приступить и к исследованиям, и к подготовке научных кадров. По его поручению лейбмедик Л. Л. Блюментрост, впоследствии первый президент Петербургской академии, и придворный библиотекарь И. Д. Шумахер вели переписку и личные переговоры с Хр. Вольфом, базельским математиком Иоганном Бернулли и другими европейскими учеными. Хотя многих пугал переезд в далекую, только еще строящуюся северную столицу, однако перспективы научной работы в бурно развивающемся государстве и энергичное покровительство науке со стороны самого Петра склонили к переезду в Петербург таких маститых ученых, как математик Я. Герман, астроном Ж. Делиль, механик и оптик



Страницы петровского проекта об учреждении Академии наук с пометками Петра I

И. Лейтман, и более молодых, но уже пользовавшихся известностью: братьев Даниила и Николая Бернулли, физика Г. Бюльфингера, математика Х. Гольдбаха, анатома И. Дювернуа. Большинство прибывших в Россию иностранных ученых, особенно тех, кто еще только начинал свою карьеру, не сожалели потом о своем выборе. Л. Эйлер, приехавший через два года после Бернулли (Эйлеру было тогда 20 лет), характеризовал значение Петербургской академии для него лично и для его коллег в следующих выражениях: «... я и все остальные, имевшие счастье состоять некоторое время при Русской императорской академии, должны признать, что тем, чем мы являемся, все мы обязаны благоприятным обстоятельствам, в которых там находились. Что касается собственно меня лично, то при отсутствии столь превосходного случая я бы вынужден был заняться другой наукой, в которой, судя по всем признакам, мне предстояло бы стать лишь кропателем»[1].

28 января (8 февраля) 1724 г. Сенат издал указ об основании Академии. Ближайший год прошел в хлопотах по ее организации. В разгар этой работы, 8 февраля 1725 г. внезапно скончался Петр. Над Академией нависла серьезная угроза. Но противникам петровских преобразований не

[1] История Академии наук СССР, т. 1. М.— Л., Изд-во АН СССР, 1958, с. 71.

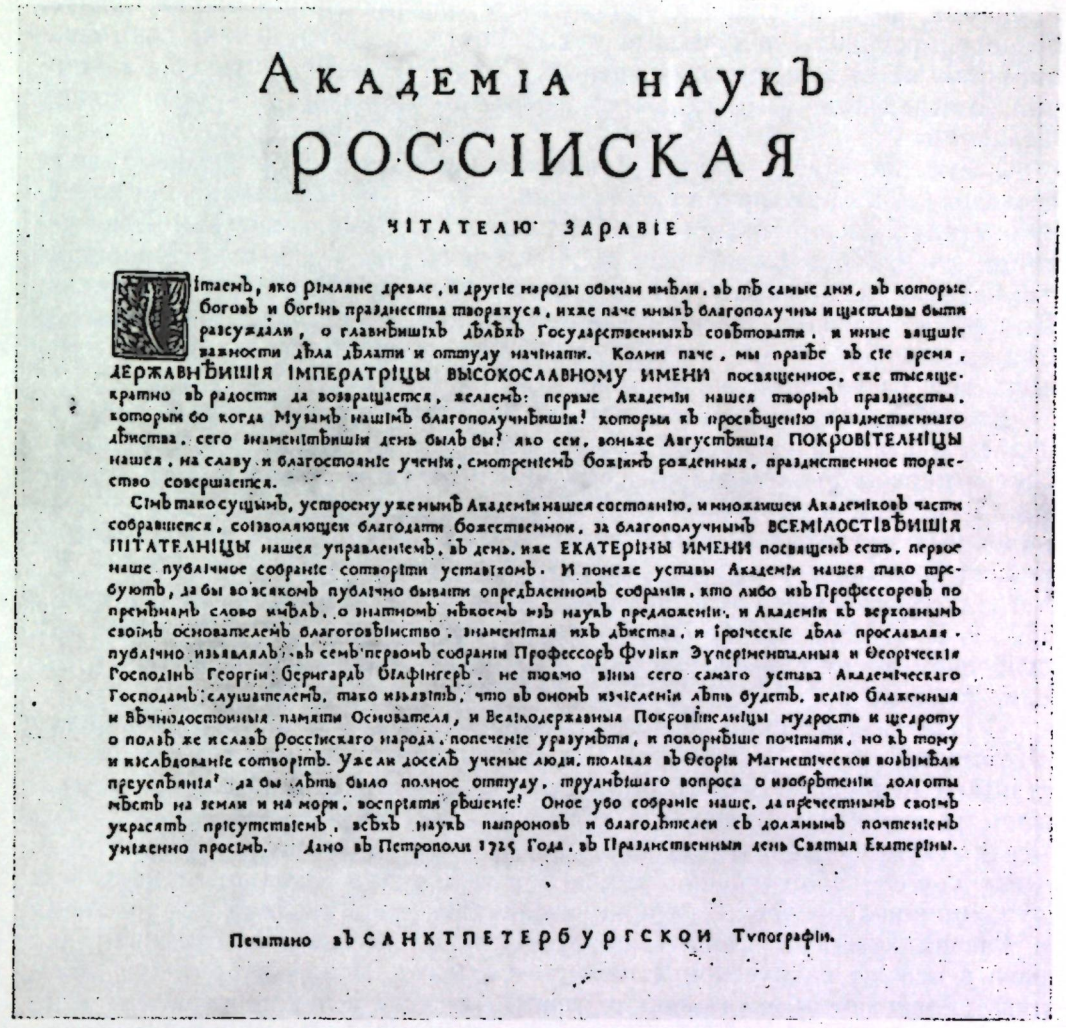
удалось повернуть страну вспять. Передовые люди России горячо поддерживали петровское начинание. В 1725 г. Академия фактически уже существовала. Она готовилась к своему первому торжественному собранию.

По первоначальному проекту Петербургская академия должна была объединить в себе науки и «художества», т. е. технические приложения знаний (первоначально она так и называлась — Академией наук и художеств). Однако очень скоро обнаружилась невозможность в пределах отпущенных на Академию средств развивать в равной мере оба направления, и техническая часть фактически свелась к созданию при Академии инструментальных, гравировальных, живописных мастерских и включению в штат Академии отдельных мастеров — медальеров, архитекторов, обслуживавших нужды самой Академии и выполнявших специальные заказы двора.

Структура Академии включала математический класс, куда входили кафедры математики, астрономии с географией и навигацией, механики, и физический класс с кафедрами теоретической и экспериментальной физики, анатомии, химии и ботаники. Гуманитарные кафедры объединяли: одна — красноречие и древности, другая — древнюю и новую историю, третья — право, политику и этику. Уже самой этой структурой было предопределено явно преобладающее естественнонаучное направление деятельности Академии. В дальнейшем это преобладание становилось все более ощутимым. В середине XVIII в. гуманитарные науки были почти целиком сосредоточены в академическом университете; в конце века (в 1783 г.) была создана наряду с Петербургской академией наук «Российская академия», на которую были возложены задачи разработки проблем русского языка и словесности. «Российская академия» просуществовала до 1841 г., когда в составе Академии наук вновь было создано Отделение языка и словесности. В 1726 г. при Петербургской академии наук были открыты гимназия и университет.

Для обеспечения деятельности Академии был создан целый ряд непосредственно подчиненных ей учреждений: физический кабинет, богато оснащенный различными приборами и машинами, собирание которых началось еще за 10 лет до ее учреждения, астрономическая обсерватория, располагавшая первоклассным по тому времени оборудованием, различные мастерские по изготовлению и ремонту научных инструментов, библиотека, специальная типография и т. д. Все эти учреждения стали функционировать почти с самого начала работы Академии, а позднее в ее составе появились также особый Географический департамент, которому было поручено изготовление карт, и химическая лаборатория, организованная в 1748 г. по замыслу и под руководством Ломоносова.

Уже в августе 1725 г., с прибытием в Петербург первых шести профессоров, начались научные собрания. 27 декабря (7 января 1726 г.) в торжественной обстановке состоялось первое публичное собрание Академии. Речи Бюльфингера и Германа, читанные в этом собрании, были очень быстро напечатаны. Посылая в Лондон, Париж, Берлин и Упсалу это свое первое издание, Петербургская академия оповещала о своем желании сотрудничать со всеми учеными корпорациями Европы во имя общих научных целей. Публичные собрания проводились ежегодно до 1733 г., потом были возобновлены в 1742 г. На собраниях первых лет академики выступали с речами о происхождении и успехах геометрии, о значении



АКАДЕМІА НАУКЪ
РОССІИСКАЯ

ЧІТАТЕЛЮ ЗДРАВІЕ

Чітаемъ, яко Рімляне древле, и другіе народы обычаи имѣли, въ тѣ самые дни, въ которые боговъ и богінь празднества творяхуся, ихже паче иныхъ благополучны и щастливы быти разсуждали, о главнѣишихъ дѣлѣхъ Государственныхъ совѣтовати, и иные вящшіе важности дѣла дѣлати и оттуду начінати. Колми паче, мы правѣе въ сіе время, ДЕРЖАВНѢИШІЯ ІМПЕРАТРІЦЫ ВЫСОКОСЛАВНОМУ ИМЕНИ посвященное, еже тысящекратно въ радости да возвращается, желаемъ: первые Академіи нашея творімъ празднества, который бо когда Музамъ нашімъ благополучнѣишіи? которыи къ просвѣщенію празднственнаго дѣиства, сего знаменітѣишіи день былъ бы? яко сеи, вонъже Августѣишія ПОКРОВІТЕЛНІЦЫ нашея, на славу и благостояніе ученіи, смотреніемъ божіимъ рожденныя, празднственное торжество совершается.

Сімъ тако сущымъ, устроену уже нынѣ Академіи нашея состоянію, и множайшеи Академіковъ части собравшеися, соізволяющеи благодати божественнои, за благополучнымъ ВСЕМІЛОСТІВѢИШІЯ ПІТАТЕЛНІЦЫ нашея управленіемъ, въ день, иже ЕКАТЕРІНЫ ИМЕНИ посвященъ есть, первое наше публічное собраніе сотворіти уставіхомъ. И понеже уставы Академіи нашея тако требуютъ, да бы во всякомъ публічно бывати опредѣленномъ собраніи, кто либо изъ Профессоровъ по премѣнамъ слово имѣлъ, о знатномъ нѣкоемъ изъ наукъ предложеніи, и Академіи къ верховнымъ своімъ основателемъ благоговѣінство, знаменітая ихъ дѣиства, и іроіческіе дѣла прославляя, публічно изъявлялъ: въ семъ первомъ собраніи Профессоръ Фvзіки Эvперіменталныя и Ѳеоріческія Господінъ Георгіи Бернгардъ Білфінгеръ, не токмо віны сего самаго устава Академіческаго Господамъ слушателемъ, тако изъявітъ, что въ ономъ изчісленіи лѣтъ будетъ, велію блаженныя и вѣчнодостоиныя памяти Основателя, и Велікодержавныя Покровітелніцы мудрость и щедроту о пользѣ же и славѣ Россіискаго народа, попеченіе уразумѣти, и покорнѣіше почітати, но къ тому и изслѣдованіе сотворітъ. Уже ли доселѣ ученые люди, толікая въ Ѳеоріи Магнетіческои возъімѣли преуспѣянія? да бы лѣть было полное оттуду, труднѣішаго вопроса о изобрѣтеніи долготы мѣстъ на земли и на мори, воспріяти рѣшеніе? Оное убо собраніе наше, да пречестнымъ своімъ украсятъ прісутствіемъ, всѣхъ наукъ патроновъ и благодѣтелеи съ должнымъ почтеніемъ уніженно просімъ. Дано въ Петрополи 1725 Года, въ Празднственный день Святыя Екатеріны.

Печатано въ САНКТПЕТЕРБУРГСКОИ Тvпографіи.

Печатное объявление о первом публичном собрании Петербургской академии наук

астрономических наблюдений, о способе определения географической широты места, о возникновении и успехах химии, об изучении анатомии человека и животных.

К концу 1725 г. в Академию прибыли 16 ее членов, а в ближайшие два года — еще 6 профессоров (так называли действительных членов Академии) и адъюнктов. Почти все они, выходцы из разных стран, воспитанники разных научных школ и направлений, были молоды. В этих условиях особое значение имело постоянное общение между членами Академии: чтение и обсуждение докладов. Заседания Конференции, т. е. общие собрания членов Академии, как правило, происходили два раза в неделю.

Функции Конференции были широки и разнообразны; на ее заседаниях, кроме научных докладов, обсуждались хозяйственные дела

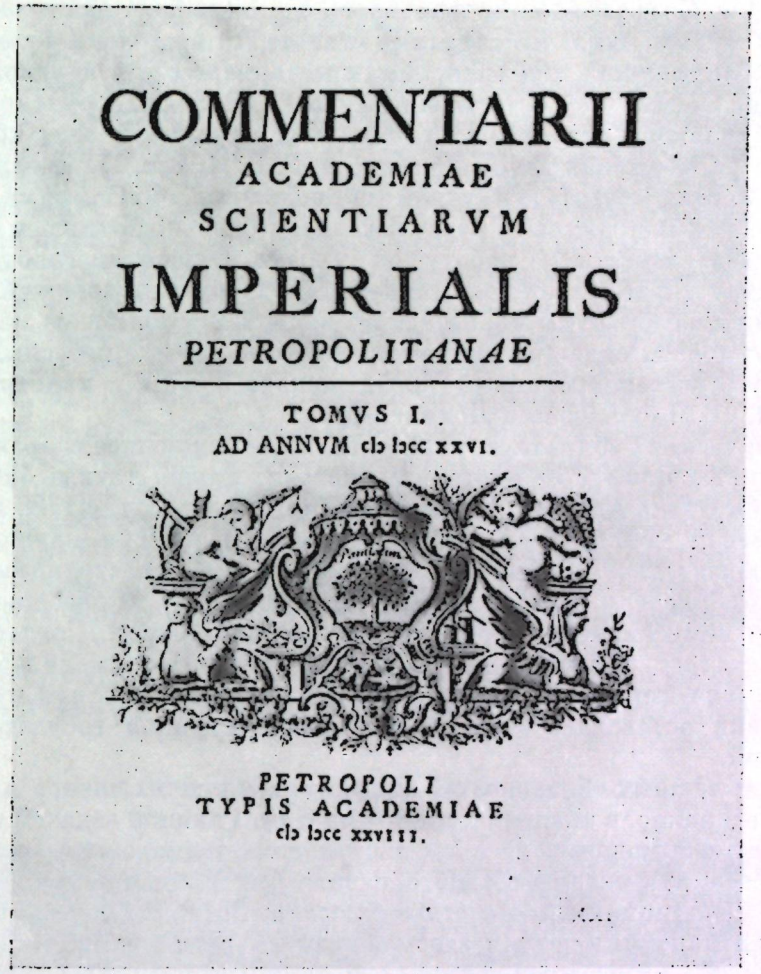
Академии, дела гимназии и университета, различные поручения Сената, демонстрировались полученные новые книги и инструменты, зачитывались письма от иностранных ученых. Сохранившиеся протоколы заседаний Конференции представляют собой богатейшую летопись жизни Академии.

С самого начала в Петурбургской академии велись экспериментальные исследования. Д. Бернулли производил опыты по баллистике, по изучению механики сокращения мышц и движения крови в сосудах. Его преемник по кафедре физиологии И. Вейтбрехт сумел провести тончайшие наблюдения над сокращениями мелких артерий при кровообращении. Дювернуа проводил патолого-анатомические исследования с помощью микроскопа. И. Гмелин изучал увеличение веса тел при обжиге. Ж. Делиль вел регулярные астрономические наблюдения.

Петербургская академия с первых лет своего существования не оставалась в стороне от острой борьбы мировоззрений и научных теорий. Уже в первом торжественном собрании в речах о фигуре Земли Бюльфингер и Герман выступили как воинствующие защитники двух противоположных натурфилософских концепций — Декарта и Ньютона. Картезианец Бюльфингер не раз вступал в горячие споры о принципах механики с убежденным ньютонианцем Д. Бернулли. В публичном собрании 1733 г. И. Гмелин и Эйлер полемизировали о строении материи. Этот дух свободной дискуссии способствовал научному росту молодых петербургских ученых.

С 1728 г. Академия начала издавать свои труды под названием «Комментарии (т. е. Записки) Петербургской академии наук» («Commentarii Academiae Scientiarum Imperialis Petropolitanae»). Они издавались на латинском языке, что делало их доступными для ученых всех стран. «Комментарии» печатались в академической типографии, которая была хорошо оборудована, имела богатый набор шрифтов и искусных художников-граверов. Здесь же издавалась единственная в то время в России газета — «Санкт-Петербургские ведомости», выходившая два раза в неделю на русском и немецком языках. «Комментарии» рассылались иностранным академиям и ученым, прежде всего иностранным членам Петербургской академии, и продавались через академическую книжную лавку. С 1728 по 1751 г. вышло 14 томов «Комментариев». (После 1751 г. они издавались под другими названиями.) Благодаря своему богатому содержанию они пользовались большой популярностью среди ученых Европы, о чем немало свидетельств в письмах иностранных корреспондентов Академии. Используя большой спрос на «Комментарии Петербургской академии наук», издательство в Болонье начало в 1740 г. переиздавать «Комментарии» и выпустило вторично первые шесть томов.

С целью популяризации академических исследований в среде русской образованной публики в 1728 г. на русском языке было издано «Краткое описание Комментариев Академии наук», содержавшее переводы или сокращенное изложение отдельных статей первого тома «Комментариев». Но дальше первого тома это издание не продвинулось. В 1728—1740 гг. Академия выпускала также научно-популярный журнал «Месячные исторические генеалогические и географические примечания к Санкт-Петербургским ведомостям» на русском и немецком языках. Журнал знакомил читателей не только с работой петербургских ученых, но и с зарубежными


COMMENTARII
ACADEMIAE
SCIENTIARVM
IMPERIALIS
PETROPOLITANAE
TOMVS I.
AD ANNVM cIↃ IↃcc xxvi.
PETROPOLI
TYPIS ACADEMIAE
cIↃ IↃcc xxviii.

Титульный лист первого тома «Комментариев Петербургской академии наук». 1728 г.

научными новостями. Научно-популярные заметки печатались и в календарях, которые Академия издавала ежегодно на русском и немецком языках.

В 30—40-е годы Академия начинает широко издавать грамматики русского, немецкого, французского языков, словари, учебники по естественным наукам.

Важное место в развитии науки и популяризации научных знаний принадлежало библиотеке и академическому музею, так называемой Кунсткамере. Созданные еще при Петре I, оба эти учреждения были переданы Академии и торжественно открыты в 1728 г.

Коллекции Кунсткамеры были значительно пополнены ботаническими, зоологическими, минералогическими предметами и образцами, привезенными в 1727 г. из сибирского путешествия Д. Мессершмидтом, богатыми сборами Второй Камчатской экспедиции 1733—1743 гг. и т. д. В 30-е

годы XVIII в. Кунсткамера признавалась одним из богатейших естественнонаучных музеев мира. Ее собрания становятся не только объектом интереса любознательной публики, но и материалом для научной работы академиков. Обработкой естественнонаучных коллекций руководил профессор натуральной истории И. Амман. Над каталогами этих коллекций работали в разное время М. В. Ломоносов, Г. В. Крафт, И. Гмелин. Переехавший в Россию создатель научной эмбриологии К. Ф. Вольф по материалам коллекции неправильно развитых зародышей животных и человека написал свою известную работу об уродах. Огромный глобус, подаренный Петру I в Шлезвиг-Голштейне в 1713 г. и установленный в Кунсткамере, был своеобразным планетарием: вращаясь с помощью механизма, он демонстрировал сидящим внутри зрителям движение небесных светил. Этот глобус, реставрированный после пожара 1747 г., хранится ныне в Музее М. В. Ломоносова в Ленинграде.

Академическая библиотека, унаследовавшая ценнейшее собрание рукописных книг из бывшей библиотеки московских царей, личные библиотеки Петра I и царевича Алексея, а также многих других лиц, с 1728 г. начала систематически пополняться всей выходящей в России научной литературой, обязательно присылавшейся в Академию. Иностранную литературу для библиотеки Академия получала от своих корреспондентов и покупала у комиссионеров через свою книжную лавку. Согласно трехтомному каталогу, напечатанному в 1742 г., библиотека имела в это время более 15 тысяч книг. Библиотека была открыта для широкой публики и долгое время оставалась единственной общедоступной государственной библиотекой.

Одной из важных обязанностей адъюнктов (младших членов Академии) было преподавание в академической гимназии. Главной задачей гимназии была подготовка молодых людей к поступлению в академический университет. Набору в гимназию с самого начала был придан демократический характер. Сюда принимались дети всех сословий (исключая крепостных): наряду с дворянскими детьми здесь обучались дети мелких чиновников, ремесленников, солдат, священников и т. д.

Помимо языков, главным образом латинского и греческого, в гимназии преподавались элементы математики, история, география, логика и риторика. Несмотря на материальные трудности — совершенно недостаточное финансирование гимназии и незначительные стипендии учащихся,— большинство учеников усердно овладевали знаниями. Наиболее способные из них затем принимались в академический университет, другие получали работу в различных учреждениях Академии наук. В университет набирали слушателей и из других учебных заведений России.

Академический университет не стал таким высшим учебным заведением, каким его задумал Петр I,— с факультетами юридическим, философским и медицинским. Преподавание в 20—30-е годы велось в форме чтения публичных лекций, а также индивидуальных занятий с отдельными студентами. Материально необеспеченные, студенты жили в большой нужде, и далеко не все оказывались в состоянии завершить курс обучения. Число студентов было небольшим. И все же университет дал стране многих выдающихся деятелей. В нем получили образование будущий дипломат и знаменитый писатель Антиох Кантемир, первый русский адъюнкт Академии В. Адодуров, в 1762 г. назначенный попечителем Московского университета. Среди тех, кто первыми преодолели все трудности и стали впослед-

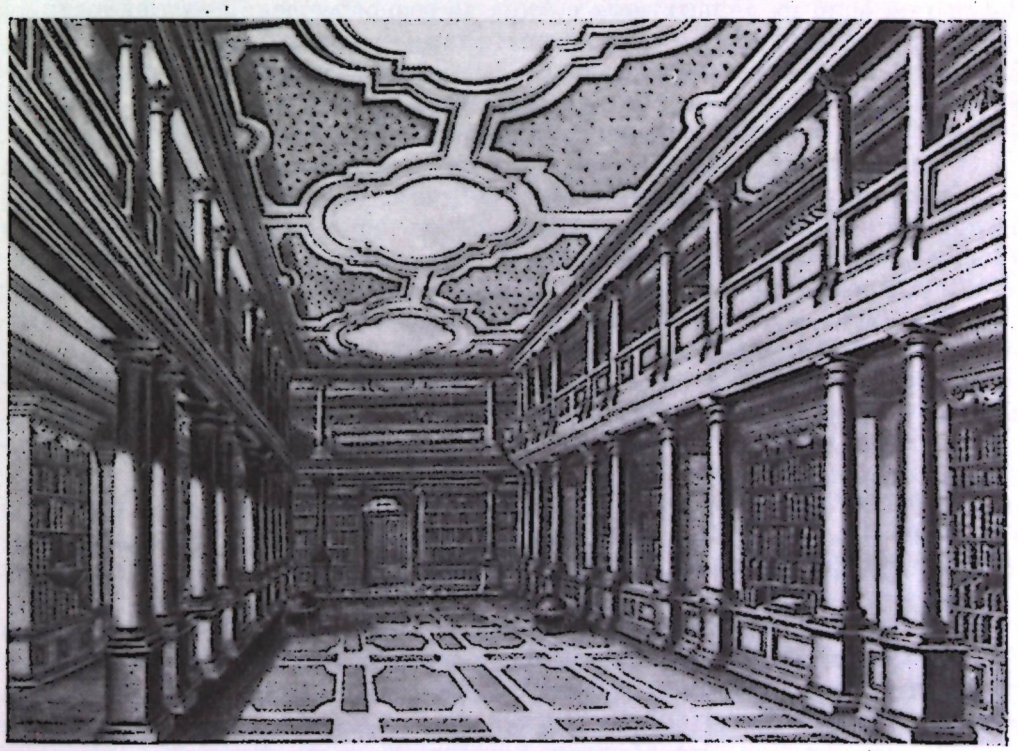
ствии пионерами отечественной науки, были М. В. Ломоносов и уроженец Эстонии Г. В. Рихман.

В 30-е годы значительно укрепилась экспериментальная база Академии — ее обсерватория, ботанический сад, анатомический театр, физический кабинет; общее число приборов к 1741 г. достигло почти 400. Они использовались не только в научных исследованиях, но и во время публичных лекций. Не раз в физическом кабинете происходили собрания Конференции, на которых демонстрировались опыты. Часть приборов Академия приобрела у зарубежных специалистов, главным образом через Гравесанда и Мушенбрука, часть была изготовлена в Петербурге в академических инструментальных мастерских. Высокого искусства достигли мастера-инструментальщики И. И. Калмыков, И. Е. Беляев и сын последнего И. И. Беляев. Возможности мастерских еще больше расширились, когда их руководителем в 1735 г. был назначен мастер станкостроительного дела, механик и изобретатель А. К. Нартов.

Правительство часто поручало Академии исследование разного рода образцов ископаемых, экспертизу по разным техническим вопросам, проектам и изобретениям. Особенно деятельным было участие Академии в работе по созданию географической карты страны — в работе, которая должна была завершить труд многих геодезистов и путешественников, начатый еще при Петре I.

Академия сыграла выдающуюся роль в изучении природных богатств страны, ее территории и населяющих ее народов. В состав Второй Кам-

Библиотека Кунсткамеры. 1741 г.



чатской (ее называют также Великой Северной) экспедиции Академия направила своих профессоров И. Гмелина, Г. Миллера, Л. Делиля де ла Кройера, адъюнктов и студентов. Работы экспедиции далеко превзошли первоначальный замысел и обогатили замечательными открытиями географию, геологию, зоологию, ботанику и этнографию. И. Гмелин составил в Сибири богатые коллекции горных пород, образцов растительного и животного мира, сделал ценные наблюдения о климате северных районов. Его путевые записки «Путешествие через Сибирь» («Reise durch Sibirien», 1751—1752) и четырехтомный труд «Flora Sibirica sive historia plantarum Sibiriae» (издан Академией в 1747—1769 гг.), в котором он систематизировал и описал более тысячи видов сибирских растений, были большим вкладом в мировую науку. Миллер, проведший в Сибири вместе с Гмелином 10 лет, собрал в сибирских архивах огромный исторический материал, выявил много уникальных документов. Большое научное значение имели собранные участниками экспедиции сведения о жизни народностей, населявших Сибирь, об их языке, материальной культуре. Адъюнкт Академии наук С. П. Крашенинников в течение 1737—1743 гг. исследовал природу Камчатки, быт, верования и язык ее населения. Его «Описание земли Камчатки» (1755) было для своего времени образцом глубокого комплексного исследования. Оно было переведено на несколько языков и получило широкую европейскую известность.

Новую блестящую страницу в развитие геологии, географии, астрономии, зоологии, ботаники и этнографии вписали академические экспедиции 1766—1774 гг., в которых участвовали П. Паллас, С. Гмелин-младший, С. Я. Румовский, И. И. Лепехин, В. Ф. Зуев, Н. Я. Озерецковский и другие русские ученые. Академические экспедиции XVIII в. вывели Россию на одно из первых мест в мире по географической изученности ее территории, по глубокому познанию флоры и фауны огромной страны. Академия наук возглавила разработку математических основ картографирования и географическое картирование территории России. Подробнее о результатах этих экспедиций будет рассказано в последующих главах.

В административном отношении работа Академии часто протекала в неблагоприятных условиях. Царский двор, правительствующий сенат постоянно вмешивались в дела Академии, нередко давали ей не имеющие ничего общего с наукой поручения по обслуживанию придворных церемоний и празднеств. Президенты не избирались, а назначались из лиц, близких ко двору. С 1741 до 1746 г. Академия оставалась вовсе без президента. Управление Академией с первых лет ее существования фактически сосредоточилось в академической канцелярии. Академики неоднократно протестовали против бюрократических порядков, насаждаемых канцелярией, которой до 1761 г. почти безраздельно руководил И. Д. Шумахер. Положение особенно осложнилось к началу 40-х годов.

В 1741 г. уезжает в Берлин Эйлер, покидает Академию и профессор анатомии Дювернуа. За границей распространяются слухи о бедственном положении Петербургской академии, о том, что она, возможно, будет скоро закрыта.

В это самое время, летом 1741 г., возвратился на родину из Германии Ломоносов и вскоре стал адъюнктом Академии, а в 1745 г. профессором (действительным членом Академии) по кафедре химии. Разносторонняя творческая и организаторская деятельность Ломоносова открыла новую страницу в истории Петербургской академии наук. Горя желанием по-

скорее употребить с пользой для отечества приобретенные знания, Ломоносов тотчас же деятельно включился в работу Академии, активно развернул исследования по физике, химии, металлургии, геологии, географии; его ближайшими коллегами в области физики и химии были его сверстники профессор физики Рихман, адъюнкт по химии Х. Геллерт (позднее ставший одним из основателей горной науки в Германии), И. Гмелин, возвратившийся в 1743 г. из Камчатской экспедиции. Ломоносов решительно выступил против непомерной власти канцелярии, защищая свободу научной деятельности и требуя внимания к подготовке национальных научных кадров. Однако попытка группы профессоров отвоевать Академии некоторую независимость не удалась. В этом отношении не внесли ничего нового ни Устав, принятый в 1747 г. и составленный без участия академиков, ни назначение нового президента, которым на этот раз стал восемнадцатилетний К. Г. Разумовский, брат фаворита императрицы Елизаветы Алексея Разумовского.

Принятие Устава все же несколько упорядочило жизнь Академии. Было закреплено деление Академии на астрономический, физический и физико-математический классы. Ассигнования на Академию, утвержденные Уставом, были вдвое больше тех, которые назначил Петр I, но и эта сумма была далеко не достаточна при сильно разросшихся штатах Академии. Устав определял количество действительных и почетных членов и предписывал Академии, по возможности, набирать адъюнктов из русских. Официальными языками в Академии были объявлены латинский и русский.

В 1747 г. при пожаре погибла почти вся обсерватория, большой урон потерпели Кунсткамера и библиотека. Потребовались огромные усилия, чтобы восстановить утраченное, не нарушая регулярного хода научной работы, в которой, как об этом можно судить по протоколам академических собраний, все больше возрастала роль экспериментальных исследований, вопросов, связанных с нуждами отечественной техники, с организацией геодезических и метеорологических наблюдений. С 1748 г., когда, благодаря энергичным хлопотам Ломоносова, по его проекту была построена химическая лаборатория, все более видное место в Академии постепенно начинают занимать исследования по химии. С 1749 г. возобновились регулярные публичные собрания.

С принятием нового устава встал вопрос о пополнении штата Академии, к этому времени сильно поредевшего: из Петербурга уехали Крафт, Гейнзиус, Гмелин, Делиль. По поручению Академии ее иностранные члены, и более всего Эйлер, занялись энергичными поисками подходящих кандидатов на вакантные места. В 1748 году членами Академии стали профессор философии И. Браун и профессор механики, талантливый изобретатель Х. Кратценштейн. В 1751 г. место профессора астрономии занял А. Н. Гришов, профессора физики в 1758 г.— Ф. Эпинус. Кратценштейн проработал в Петербурге 5 лет, Браун, Гришов и Эпинус до конца жизни оставались в России. Все они дали много ценного для развития науки. Эпинус, занимавший кафедру физики почти полвека, приобрел большую известность своими работами по электричеству и магнетизму. Проблемами электричества, которые в то время выдвинулись в физике на одно из первых мест, успешно занимались в Академии Ломоносов и Рихман, трагически погибший в 1753 г. во время одного из испытаний свойств грозового электричества. Браун совместно с Ломоносовым провел важные исследования по изучению теплоты и холода.

В 60—70-е годы переехали в Россию и связали всю свою жизнь с русской наукой ботаник С. Гмелин, физик В. Крафт, астроном Г. Ловиц, математики А. И. Лексель и Н. Фусс, натуралист П. Паллас, эмбриолог К. Ф. Вольф, химики Э. Лаксман и И. Георги.

Лексель и Ловиц вместе с С. Я. Румовским и П. Б. Иноходцевым провели в 1769 г. в различных пунктах страны наблюдения прохождения Венеры по диску Солнца, сыгравшие важную роль в развитии астрономии. Фусс вместе с Иноходцевым, Головиным и другими учениками великого Эйлера много сделали для математического просвещения в России, издания переводов математических книг, учебников для военных и гражданских училищ.

Уже в первые десятилетия своего существования Академия вслед за Адодуровым, Ломоносовым, Рихманом все больше пополняется отечественными учеными. В 50-е годы увеличилось число адъюнктов из воспитанников академического университета. Первый из них, Н. И. Попов, уже в 1751 г. стал профессором астрономии. Двое других, С. К. Котельников и С. Я. Румовский, оба математики, после окончания университета были посланы в 1753 г. для усовершенствования в Берлин к Эйлеру. По возвращении в Петербург в 1756 г. они заняли видное вместо среди петербургских ученых и вскоре стали членами Петербургской академии наук. Румовский работал главным образом в области астрономии и внес заметный вклад в развитие этой науки. За свои научные заслуги он был избран иностранным членом Шведской академии наук.

В конце 40-х и в 50-х годах значительно расширились международные связи Петербургской академии. Многие известные ученые разных европейских стран были приняты в число иностранных членов Академии: Дж. Брэдли, Ш. Кондамин, А. Клеро, П. Мушенбрук, К. Линней, Н. Лакайль, Р. Бошкович и др. В 1746 г. иностранным членом Петербургской академии стал Вольтер. От Академии Вольтер получал материалы для своей «Истории России при Петре Великом». Правда, в трактовке русской истории Вольтер мало считался с мнением Академии, в частности с критикой со стороны Ломоносова.

Избрание зарубежных ученых иностранными членами Академии было не только формой признания их заслуг, но и преследовало практическую цель: установление непосредственного контакта с ними, стимулирование обмена идеями и открытиями путем присылки книг или переписки. Следует особенно подчеркнуть значение ученой корреспонденции Академии, служившей в те времена чрезвычайно важным и самым быстрым средством передачи информации как научного, так и научно-организационного характера. Переписка служила главным средством общения ученых, и многие из них переписывались в течение десятилетий, ни разу не повидавшись друг с другом. Корреспондентами Петербургской академии и ее отдельных членов были, не считая зарубежных официальных учреждений, сотни ученых Англии, Германии, Италии, Франции, Швеции и других государств. О размерах этой переписки можно судить хотя бы по тому факту, что недавно изданная переписка Л. Эйлера с Петербургской академией с 1741 по 1766 г. (т. е. с его отъезда в Берлин и до возвращения в русскую столицу) составила три больших тома.

По новому уставу Петербургская академия ввела у себя практику ежегодного объявления задач на премию — конкурсов, какие проводились многими научными обществами Европы и были важным стимулом

новых изысканий. Первая задача, объявленная в 1749 г. по предложению Эйлера, отражала многолетний спор, в который были втянуты многие видные ученые Европы: согласуются ли полученные путем наблюдений данные о неравенствах в движении Луны с теорией тяготения Ньютона. Спор был решен в пользу этой теории, что устранило серьезные сомнения в правильности закона всемирного тяготения. Премия за решение этой задачи была в 1751 г. присуждена французскому математику А. Клеро.

В дальнейшем Петербургская академия наук не раз ставила в виде конкурсных задач актуальные естественнонаучные и технические проблемы: о причине электрической силы, об искусственных магнитах, о наличии пола у растений (премию за решение этой задачи в 1759 г. получил знаменитый Карл Линней), о возмущении движения комет под влиянием планет, о преломлении света в телах различной плотности, об изготовлении ахроматических линз, о сущности кроветворения, о наилучшем способе выделения металла из руды, о способе отделения золота от серебра, о способах предохранения дерева от гниения, по теории машин, движимых силою огня или пара, и многие другие.

Новая серия «Комментариев» («Novi Commentarii Academiae Scientiarum Imperialis Petropolitanae») выходила более регулярно; всего вышло 20 томов за 1747—1775 гг. В первых томах видное место занимают классические работы Ломоносова по физике и физической химии, Рихмана по калориметрии. Эйлер до своего возвращения в Россию (1766) напечатал в томах I—XI «Новых комментариев» 87 своих работ. Находясь в Берлине, Эйлер вообще поддерживал с Петербургской академией наук теснейшую связь и получал от нее постоянное ежегодное вознаграждение.

В разделе астрономии печатались материалы, полученные во время Второй Камчатской экспедиции, и другие наблюдения, проведенные в разных пунктах России. В этом разделе более всего получили известность работы молодого поколения русских ученых, воспитанных Академией,— Попова, Румовского, Иноходцева и др. «Новые Комментарии», начиная уже с первого тома, широко рецензировались многими научными журналами Европы и больше всего лейпцигскими «Nova Acta eruditorum». Петербургские исследования, особенно по изучению действия низких температур, атмосферного электричества, географические и астрономические публикации, привлекали к себе большое внимание в зарубежной печати, вызывали научные споры.

Новым в этой серии по сравнению с «Комментариями» было то, что в начале каждого тома давались краткие резюме публикуемых статей. Резюме первых четырех томов вышли и на русском языке под заглавием «Содержание ученых рассуждений». Их язык, если сопоставить его с языком вышедшего в 1728 г. «Краткого описания Комментариев Академии наук», наглядно показывает, какой огромный скачок произошел за четверть века в развитии русской научной терминологии. Выдающуюся роль сыграло в этом языковое творчество Ломоносова, который в своем переводе «Вольфианской экспериментальной физики», в русских речах на публичных собраниях создал и усовершенствовал большое число научных терминов, многие из которых прочно вошли в обиход.

По предложению Ломоносова с 1754 г. Академия приступила к изданию на русском языке «Ежемесячных сочинений, к пользе и увеселению служащих». Редактировал их Миллер. Журнал выходил каждый месяц

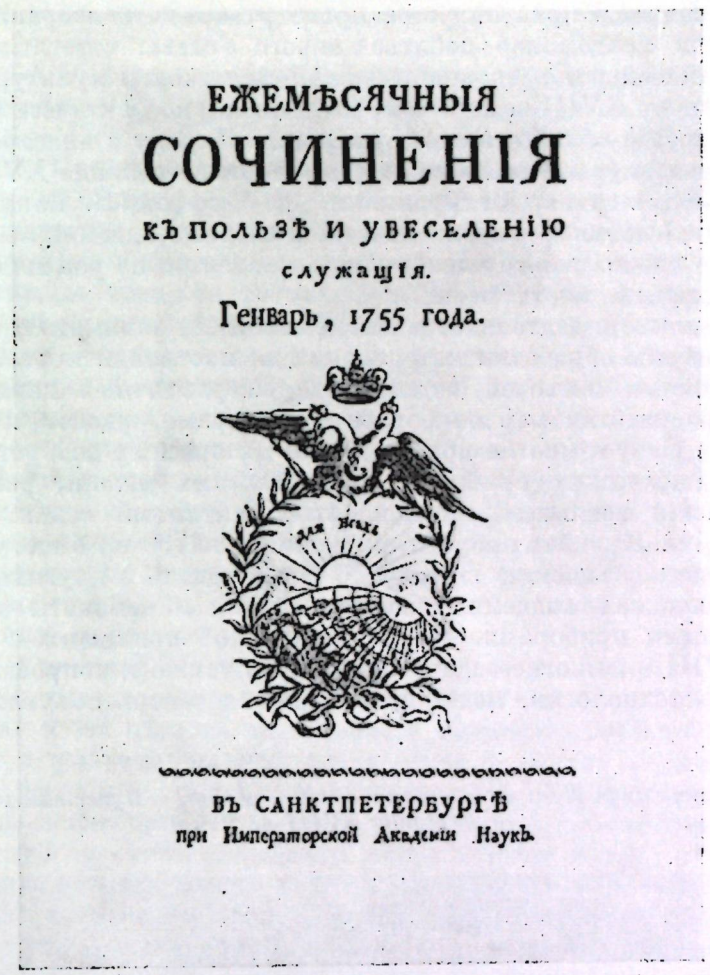
в течение 10 лет. В нем печатались оригинальные и переводные популярные статьи по разным наукам (исключены были, по решению академического собрания, статьи богословского содержания). В литературном отделе помещали свои произведения В. К. Тредиаковский, А. П. Сумароков и другие писатели.

Предметом особой заботы Ломоносова до конца его дней была подготовка русских специалистов. Он выступал с требованием увеличить число учащихся академической гимназии, больше принимать в гимназию детей из податных сословий. Став в 1757 г. членом академической канцелярии, Ломоносов вскоре убедил власти ассигновать некоторые дополнительные средства на содержание неимущих гимназистов. В 1759 г. он представил проект регламента для академической гимназии и университета. Незадолго до своей смерти Ломоносов добился того, что гимназии и университету был предоставлен отдельный дом. Он постоянно заботился о программах занятий, об учебниках для гимназистов. За те 4 года, в течение которых учебными делами руководил Ломоносов, из гимназии в университет перешли 24 студента — больше, чем когда-либо ранее за такой же срок (регламент 1747 г. предусматривал ежегодный прием в университет до 30 студентов «жалованных», т. е. содержавшихся за счет Академии, и еще некоторое число «вольных» слушателей).

С 1760 г., когда руководство университетом целиком перешло к Ломоносову, в работе его произошел заметный сдвиг. Ассигнования на университет и гимназию увеличились в полтора раза, было определено число студентов, назначены новые лекторы, ежегодно публиковались каталоги лекций. Но после смерти Ломоносова в 1765 г. Академия очень мало заботилась о своем университете, число студентов его резко сократилось, и к концу 60-х годов он фактически перестал существовать. В 60—80-е годы, вплоть до Великой французской революции, Академия направляла молодых людей учиться за границу — в Геттинген, Страсбург и другие города Европы. Другие будущие ее члены получили образование в Петербурге, в том числе племянник Ломоносова М. Е. Головин и выпускник военно-инженерного училища С. Е. Гурьев, с 1796 г. ставший академиком.

Академическая гимназия к концу XVIII в. тоже пришла в упадок. Учащихся становилось все меньше, и те из них, кто жили на средства Академии, постоянно терпели крайнюю нужду. Академику Лепехину, назначенному в 1777 г. инспектором гимназии, невзирая на все его усилия, не удалось существенно поправить дело. В 1805 г. академическая гимназия прекратила свое существование. Но к этому времени уже существовали гимназии во всех губерниях страны, а задача подготовки специалистов перешла к университетам, из которых Московский уже в последней четверти XVIII в. стал главным центром развития русской культуры и просвещения.

В конце 60-х годов, уже в правление Екатерины II, искавшей в ту пору поддержки своему правлению у русской интеллигенции и людей науки, в Петербургской академии с новой силой разгорелась борьба за улучшение условий работы в Академии, за ее независимость от чиновничье-бюрократического аппарата. В 1766 г. в Россию возвратился Л. Эйлер. Его сын Иоганн-Альбрехт Эйлер стал профессором физики и, начиная с 1769 г., больше 30 лет был секретарем Академии. В 1766 г. канцелярия была упразднена. Управление Академией перешло к Комиссии,


ЕЖЕМѢСЯЧНЫЯ
СОЧИНЕНІЯ
КЪ ПОЛЬЗѢ И УВЕСЕЛЕНІЮ
служащія.
Генварь, 1755 года.
ВЪ САНКТПЕТЕРБУРГѢ
при Императорской Академіи Наукъ

Титульный лист журнала «Ежемесячные сочинения, к пользе и увеселению служащие». 1755 г.

в которую вошли оба Эйлера, Котельников, Румовский, Я. Штелин и И. Леман. Но это впервые завоеванное Академией самоуправление было далеко не полным. Одновременно с созданием Комиссии была учреждена должность директора, на которую, как и на должность президента, назначались лица, близкие ко двору. Фактически Комиссия была совещательным органом при директоре. Первым директором был назначен граф В. Г. Орлов. Особенно деспотичным было директорство С. Г. Домашнева, который пытался вовсе распустить Комиссию. Академики протестовали против действий Домашнева и в 1782 г. добились его отстранения. Более тактичной и внимательной к нуждам Академии была сменившая Домашнева княгиня Е. Р. Дашкова. При ее содействии улучшилось финансирование Академии, было построено новое здание Академии, сохранившее свой внешний облик почти неизменным до наших дней.

В 1800 г. была впервые учреждена должность вице-президента. На нее был назначен Румовский. Функции его были весьма ограничены.

Император Павел I присвоил себе право утверждать избрание академиков. Попытки академиков добиться нового Устава, отвечавшего значительно возросшей роли Академии в экономической и культурной жизни страны, до конца XVIII в. ни к чему не привели, но фактические перемены проникали во все области жизни Академии. Наряду с иностранными почетными членами (в их числе во второй половине и конце XVIII в. были Д. Дидро, Ж. Лагранж, Б. Франклин, Ж. Бюффон, П. Лаплас, В. Гершель, И. Кант) появилось много почетных членов Академии из русских и, что особенно важно, много членов-корреспондентов из различных, иногда очень отдаленных, мест России.

Большое место в деятельности Академии стали занимать практические вопросы: способы обработки материалов для постройки кораблей, сохранения и очистки питьевой воды, создание различных навигационных приборов, разработка мер по борьбе с пожарами, расчет конструкций мостов через Неву и многие другие. Много интересных изобретений, оригинальных оптических приборов, электрических машин, разного рода инструментов и механизмов предложил талантливый механик-самоучка И. П. Кулибин. Кулибин проработал, начиная с 1769 г., в инструментальных мастерских Академии больше 30 лет и вместе с другими русскими мастерами снабжал академические экспедиции и кабинеты первоклассными научными приборами. На конкурсах, объявлявшихся Академией в конце XVIII в., многие задачи относились также к вопросам техники, химической технологии, медицине. Академия теперь объявляла по две

Набережная Невы со зданиями Академии наук и Кунсткамеры. Середина XVIII в.



задачи в год. Одна из них, как правило, специально относилась к нуждам России.

С 1778 г. Академия вместо «Комментариев» стала выпускать «Труды» («Acta Academiae Scientiarum Imperialis Petropolitanae»), а с 1787 г.—«Nova Acta». С 1778 по 1786 г. вышло 6 томов «Acta», а с 1787 по 1806 г.—15 томов «Nova Acta». Продолжался выпуск научно-популярных журналов: в 1779—1781 гг. он назывался «Академические известия», а в 1786—1796 гг.—«Новые ежемесячные сочинения». Большим спросом пользовались издаваемые Академией календари, в которых печаталось много заметок научно-просветительского характера. В 1785—1793 гг. Академия издала специально сборники избранных статей из календарей за разные годы.

Значительно возросло число книг на русском языке. Среди них были дневники, записки и описания путешествий Лепехина, Зуева, С. Гмелина, Палласа, исторические и географические труды Г. Миллера, А. Бюшинга, перевод «Естественной истории» Бюффона, двухтомный сборник переводов статей из французской «Энциклопедии». Для организации в широком масштабе издания переводной литературы в 1768 г. при Академии было создано специальное «Собрание старающихся о переводе иностранных книг на российский язык». Среди членов «Собрания» был воспитанник академического университета, популяризатор научных знаний, автор учебников по механике и математике Я. П. Козельский.

Позднее, с конца XVIII в., такого рода книги начали выпускать Московский университет, открывшиеся в разных городах страны частные издательства, и эта область деятельности Академии значительно сократилась. Но в подъеме издательского дела в стране Академия наук в XVIII в., бесспорно, сыграла ведущую роль. Популяризация отечественной науки способствовала росту национального самосознания русского народа, распространению передовых общественных идей.

Академия приняла активное участие в работе по организации народных училищ в 80-е годы, когда были открыты одновременно училища в 25 губерниях России. Академики работали в «Комиссии об учреждении училищ», писали для них учебники, готовили учителей в Петербургской учительской семинарии. Особенно плодотворной была деятельность в этой области Головина. В программе русских народных училищ большое место заняло изучение математики и естественных наук.

Трудно переоценить роль, которую сыграла в XVIII в. Петербургская академия в развитии русской и мировой науки и культуры.

Изданные в Петербурге Труды Д. Бернулли и особенно Л. Эйлера значительно продвинули развитие математического анализа, широко раздвинули самые границы этой науки, а также ее приложений к различным задачам всех отделов механики, астрономии и некоторых разделов физики. Теория чисел как самостоятельная наука по существу была создана петербургскими работами Л. Эйлера. Недаром, по преданию, Лаплас называл Эйлера «учителем всех нас», имея в виду математиков второй половины XVIII и начала XIX в. В частности, Эйлер заложил основы целого ряда направлений, получивших могучее развитие в XIX в., в петербургской математической школе П. Л. Чебышева. В России была в основном подготовлена классическая «Гидродинамика» Д. Бернулли, изданная в Страсбурге в 1738 г., уже после его возвращения на родину, в Швейцарию. Написанная и изданная в Петербурге «Морская наука» Л. Эйлера и другие его книги в этой области долгое время служили в разных странах

руководствами по кораблестроению. Наблюдения, проводившиеся академическими астрономами, и их теоретические исследования помогли в решении многих сложных вопросов этой науки. Исследования петербургских физиков XVIII в., прежде всего Ломоносова и Рихмана, относящиеся к изучению природы теплоты и холода, испарения, явлений, связанных с низкими температурами, послужили важными звеньями в развитии науки о теплоте и теоретической метеорологии. Опыты Ломоносова и Рихмана по изучению грозового разряда, стоившие Рихману жизни, вошли в историю науки об электричестве как подвиг, который помог ученым разных стран быстрее найти правильные пути исследования. Одним из пионеров науки о магнетизме был Эпинус, в трудах которого, ставших широко известными в Европе, впервые было доказано сходство электрических и магнитных явлений. Работы Л. Эйлера и его учеников заложили основы современной геометрической оптики. В Петербурге под руководством Эйлера и Эпинуса был создан первый в мире ахроматический микроскоп, имевший первостепенное значение для развития естествознания. Обширные академические экспедиции не только положили начало исследованию естественных богатств огромной территории России, но и внесли богатейший вклад в развитие мировой географической, геологической, биологической и этнографической науки. О значении работ петербургских академиков по отдельным наукам будет рассказано дальше, в соответствующих главах.

Многообразная научно-просветительская работа Петербургской академии наук в XVIII в., ее живое участие в решении практических задач развития техники и экономики России в значительной степени определялись ее характером и положением в государстве. Позднее, с открытием университетов в Москве, Дерпте, Казани, Харькове, Петербурге, с развитием в стране высшего технического образования, новые научные учреждения в значительной мере взяли на себя и расширили дело, начатое Петербургской академией.

Глава третья

МАТЕМАТИКА

МАТЕМАТИКА В ПЕТЕРБУРГСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

Основание Академии наук пришлось на время яркого расцвета математических и механических наук в Европе, связанного с общей научной революцией, начавшейся в XVI в.

Математика XVIII в. в идейном смысле непосредственно примыкала к математике предыдущего века; 1701 год был для нее только чисто календарным рубежом. В решении стоявших перед математическими науками задач Академия с первых же лет своего существования стала играть выдающуюся и все возрастающую роль. Вместе с тем, математики сразу заняли видное место во многих других областях деятельности Академии.

Из 23 академиков, прибывших в Петербург из-за рубежа в 1725—1727 гг., семь были математиками. Это были (по старшинству рождения) Я. Герман, Х. Гольдбах, Ф. Х. Майер, Г. В. Крафт, братья Н. и Д. Бернулли и Л. Эйлер. Позднее в Академии работали математики В. Е. Адодуров, С. К. Котельников, С. Я. Румовский, М. Софронов, И. А. Эйлер, Н. И. Фусс, М. Е. Головин, А. И. Лексель, Ф. И. Шуберт и С. Е. Гурьев. Научная продукция петербургских академиков-математиков была очень велика. За 1728—1806 гг. в научных записках и отдельных изданиях Академии наук было напечатано свыше 700 научных мемуаров и отдельных книг по математике и механике, в том числе около 400 работ Л. Эйлера, около 40 — Д. Бернулли, по 20—30 работ Лекселя, Гурьева, Фусса и Шуберта, по нескольку статей Германа, Крафта, Котельникова и Румовского. Дело было, однако, не столько в количестве этих публикаций, сколько в их исключительно богатом и разнообразном содержании. Все направления математики (как и механики) были представлены в изданиях Академии первоклассными исследованиями ее членов; теория чисел и теория вероятностей с приложениями к статистике народонаселения и страхованию, элементарная тригонометрия и картография, теория машин и небесная механика, а главное — математический анализ с его многочисленными разветвлениями и приложениями, иные из которых вскоре выросли в большие самостоятельные дисциплины, как, например, вариационное исчисление, теория дифференциальных уравнений и дифференциальная геометрия.

Вместе с тем Академия наук, особенно ее гимназия и университет, явилась первым в России местом подготовки национальных кадров научных работников — математиков и механиков. Из академических учебных заведений вышли уже упомянутые Адодуров, Котельников, Румовский, Головин, а кроме них еще А. А. Барсов, Я. П. Козельский и многие другие специалисты; Фусс также получил высшее математическое образование при Академии наук.

Печатные издания Академии оказывали огромное влияние на общий прогресс математических наук. Наряду с ними важное значение имела регулярная и огромная по объему научная переписка членов Академии

с их западноевропейскими коллегами. Таким образом, уже вскоре после своего основания Петербургская академия превратилась в крупнейший международный центр математических исследований.

Почти все питомцы академического университета преподавали в нем и в гимназии, а также в других учебных заведениях. Барсов стал первым профессором математики в основанном в 1755 г. Московском университете (в XVIII в. математика еще не была профилирующей дисциплиной, и изучались только ее элементарные разделы); попечителем Московского университета в 1762—1771 гг. был, как говорилось, Адодуров. Головин явился одним из организаторов народных училищ, основанных в 1782 г., и профессором первого русского педагогического института — Учительской семинарии в Петербурге, открытой в 1786 г.; Козельский, особенно известный своими философскими сочинениями, обучал математике и механике в Артиллерийском инженерном кадетском корпусе. В Сухопутном и Морском кадетских корпусах преподавал Фусс, который вместе с Румовским (в 1805—1812 гг. попечителем Казанского университета) активно участвовал в реформе системы образования в начале XIX в.

В связи с потребностями преподавания быстро возрастало число учебных руководств по математике, лучшие из которых были написаны членами Академии. Особое место среди них занимают фундаментальные классические монографии Л. Эйлера: изданные на латинском языке «Введение в анализ бесконечных» («Introductio in analysin infinitorum», t. I—II, Lausannae, 1748), «Дифференциальное исчисление» («Institutiones calculi differentialis», Berolini, 1755), «Интегральное исчисление» («Institutiones calculi integralis», t. I—III, Petropoli, 1768—1770) и опубликованная сперва в русском переводе с немецкой рукописи «Универсальная арифметика» (Петербург, 1768—1769) — «Vollständige Einleitung zur Algebra» (Petersburg, 1770). Сами эти книги не могли по своему объему и содержанию служить элементарными учебниками, но они на многие десятилетия оказались настольными книгами и источником вдохновения всех творческих математиков и педагогов. Упомянутые слова Лапласа: «Читайте Эйлера, он наш общий учитель» в равной мере относятся к его специальным мемуарам и к сводным трудам. Многие русские учебники для различного рода школ в XVIII в. были составлены на основе этих сочинений Эйлера, в которых строгая последовательность и систематичность изложения соединяются с поразительной ясностью и доходчивостью и в которых теория поясняется прекрасно подобранными примерами. В частности, сжатым конспектом трудов Эйлера явилось первое на русском языке изложение основ математического анализа, сделанное С. К. Котельниковым и включенное в переработанный им перевод известной и несколько раз переиздававшейся книги Хр. фон Вольфа «Auszug aus den Anfangsgründen aller mathematischen Wissenschaften» (1-е изд., 1711), этот перевод вышел под названием «Сокращения первых оснований математики» (СПб., 1770—1771).

Точно так же близко к «Универсальной арифметике» Эйлера был построен очень распространенный учебник алгебры Фусса, сперва изданный по-французски («Leçons d'algèbre», Pétersbourg, 1783) и затем в русском переводе (1798 и сл. годы). Превосходная «Плоская и сферическая тригонометрия с алгебраическими доказательствами» Головина (Петербург, 1789) была составлена по статьям Эйлера, которому мы более всего обязаны современной аналитической трактовкой этой дисциплины. Влияние Эйлера отразилось даже на преподавании арифметики: весьма популярные во второй половине XVIII в. учебники по этому предмету Н. Г. Курганова, обучавшегося в московской Школе математических и навигационных наук у Магницкого, а затем ставшего профессором Морского корпуса в Петербурге, написаны под несомненным влиянием как «Арифметики» его учителя, так и «Руководства к арифметике» (ч. I—II, Петербург, 1740—1760) Эйлера, изданного сперва по-немецки («Einleitung zur Rechenkunst», т. I—II, Petersburg, 1738—1740).

Петербургские академики многое сделали и для популяризации математики. Отметим для примера интересные статьи Г. В. Крафта о задачах квадратуры круга, трисекции угла и удвоения куба в «Исторических, генеалогических и географических примечаниях» к газете «С.-Петербургские ведомости» за 1729 г. Большое значение в то время имело разъяснение общественного значения высших разделов математики. Этой теме был посвящен целый ряд статей и публичных выступлений, в том числе очень яркое «Слово о пользе упражнения в чистых математических рассуждениях» С. К. Котельникова (Петербург, 1761).

ПЕРВЫЕ АКАДЕМИКИ-МАТЕМАТИКИ

Старейший из всех академиков Я. Герман, ученик Я. Бернулли, ко времени своего приезда в Петербург был уже известным математиком и механиком. За пять лет, которые он по контракту обязался проработать в Академии наук (в 1731 г. он вернулся в Базель, где вскоре умер), он подготовил 12 статей по математике, часть из них — по теории дифференциальных уравнений. Так, он проинтегрировал, правда довольно громоздко, уравнение в полных дифференциалах с целыми рациональными коэффициентами [(1726) 1728] [1] и впервые рассмотрел [(1727) 1729] уравнение $y = p(z)x + q(z)$, где $dy = zdx$, называемое теперь то уравнением Д'Аламбера, решившего его спустя 20 лет в порядке обобщения уравнения Клеро, в котором $p(z) = z$, то уравнением Лагранжа, занимавшегося им еще позднее; случай $p(z) \equiv z$ Герман не исследовал. Интегрированием дифференциальных уравнений занимались и другие академики. Сын и ученик И. Бернулли Николай II Бернулли, неожиданно скончавшийся в расцвете сил менее чем через год после приезда в Петербург, дал новый прием решения линейного уравнения 1-го порядка $dy/dx = by + ax^m$ при помощи экспоненциальной подстановки $y = c^{bx}z$ [(1726) 1728]; такие подстановки в более широком масштабе впоследствии применил Л. Эйлер. Н. Бернулли изучал и важное уравнение Риккати, так же как и талантливый самоучка в математике Хр. Гольдбах (по образованию — юрист) и как другой сын и ученик И. Бернулли — Д. Бернулли, еще в 1724 г., т. е. до приезда в Петербург, опубликовавший исследование об условии интегрируемости специального уравнения Риккати в квадратурах (его результат и сейчас излагается в учебниках по дифференциальным уравнениям).

В течение восьми лет работы в Петербургской академии Д. Бернулли более всего занимался подготовкой большого трактата по гидродинамике,

[1] Здесь и далее в круглых скобках указан очередной год тома трудов Петербургской академии (в данном случае «Комментариев»), а вне скобок — год выхода этого тома из печати.

о котором будет сказано в следующей главе. Вместе с тем он положил здесь начало исследованиям по одному из важных разделов математической физики — теории линейных колебаний механических систем с конечным или бесконечным числом степеней свободы. Эти работы Д. Бернулли, наряду с решением целого ряда конкретных задач, содержали и чрезвычайно важный общий принцип наложения, т. е. образования любого колебания посредством сложения нормальных колебаний. Рассматривая задачу о малых колебаниях дискретной системы грузов, связанных с подвешенной невесомой гибкой нитью, и, в предельном случае,—о колебаниях однородной тяжелой нити, он пришел к частному случаю линейного уравнения 2-го порядка, носящего теперь имя Бесселя, и выразил его решение, цилиндрическую функцию 1-го рода 0-го порядка, в форме степенного ряда [(1732—1733)1738; (1734—1735) 1740]. Для определения частоты колебаний Д. Бернулли применил открытый им приближенный метод численного решения алгебраических уравнений [(1728)1732; (1730—1731)1738], развитый далее Эйлером (1748). Отметим тут же, что Эйлеру принадлежит введение цилиндрических функций 1-го рода любого действительного порядка как решений общего «уравнения Бесселя» [(1764) 1766], встретившегося ему в задаче о колебании упругой мембраны.

В 1733 г. Д. Бернулли уехал на родину, но сохранил до конца жизни тесные связи с Петербургской академией в качестве ее иностранного члена, и многие позднейшие его работы были напечатаны в ее записках. Отметим особо работы Д. Бернулли по теории вероятностей. С целью разрешить парадокс, встретившийся в одном примере азартной игры (так называемой «петербургской игры»), он ввел понятие «нравственного ожидания» случайной величины [(1730—1731)1738]. Это понятие, которое пытались впоследствии применить в некоторых других областях, в теории вероятностей не удержалось; убедительное разъяснение парадокса «петербургской игры» дал А. Я. Хинчин в 1950 г. Однако, как указал Ю. В. Линник, существует некоторая связь между определением «нравственного ожидания» как математического ожидания логарифма случайной величины, зависящей от возможного выигрыша, и идеями современной теории информации, и в частности, основным в этой теории понятием энтропии. Уже в рассматриваемой работе Бернулли применил в теории вероятностей методы исчисления бесконечно малых, которые еще шире использовал вместо более сложных рассуждений комбинаторного характера в некоторых более поздних своих статьях [(1766—1767)1768; (1769) 1770]. В дальнейшем эти методы стали в теории вероятностей основными. Бернулли принадлежит также интересное исследование по теории случайных ошибок наблюдений [(1778)1780]. В этом мемуаре, как опять-таки отметил Линник, Бернулли впервые применил для отыскания по известным приближенным значениям какой-либо величины того значения ее, которое обладает наибольшей плотностью вероятности (так называемый метод наибольшего подобия). Сам Бернулли рассмотрел лишь один частный случай, некоторые другие случаи изучил К. Ф. Гаусс, а в общем виде метод наибольшего подобия разработал Р. Фишер в 1912 г. Впрочем, рекомендованная Бернулли конкретная форма кривой распределения — полуокружность — оказалась нецелесообразной [1].

[1] См. *В. И. Смирнов.* «Даниил Бернулли».— Д. Бернулли. Гидродинамика, или Записки о силах и движении жидкостей. М., 1959, с. 464—465, 470.



Я. Герман

Имя Хр. Гольдбаха теперь известно главным образом в связи со знаменитой «проблемой Гольдбаха», т. е. высказанным им в письме к Л. Эйлеру от 7 июня 1742 г. предположением, что всякое целое число, большее двух, есть сумма трех простых чисел (понимая под простым числом также 1); еще ранее Гольдбах пришел к мысли, что любое четное число есть сумма двух простых, откуда следовала бы справедливость предыдущей гипотезы. Эта проблема, решение которой оказалось исключительно трудным, стимулировала уже в XX в. многие важные теоретико-числовые исследования. Лишь в 1937 г. академику И. М. Виноградову удалось наконец доказать, что всякое достаточно большое нечетное число есть сумма трех простых. Другую гипотезу Гольдбаха — о том, что число $1/10 + 1/10^2 + 1/10^4, +, \ldots, + 1/10^{2^{n-1}} + \ldots$ трансцендентно,— которую он выдвинул в переписке с Бернулли в 1729 г., доказал Р. О. Кузьмин (1938). Гольдбаху принадлежат и другие открытия: оригинальный метод преобразования одного бесконечного ряда в другой, по существу являющийся, как говорят теперь, аналитическим продолжением первого [(1727)1729]; разработка вслед за Валлисом (1655) вопроса об интерполировании числовых последовательностей [(1728)1732]; установление в письмах к Бернулли и Эйлеру всех случаев, когда интегрирование биномиального дифференциала приводится к интегрированию рациональной функции (1730). В переписке Гольдбаха с Эйлером, продолжавшейся около 30 лет, встречается еще немало интересных идей. Гольдбах занимался математикой не систематически и со временем все меньше. В 1742 г. он покинул Академию, перейдя на работу в ведомство иностранных дел.

Упомянем еще исследования первых петербургских академиков в области геометрии. В работах Германа получила развитие аналитическая геометрия на плоскости [(1729)1735]. Он улучшил аналитическое изложение теории кривых второго порядка и сформулировал критерий, позволяющий отличать по так называемому теперь дискриминанту уравнения, выражает ли какое-либо данное уравнение второй степени с двумя координатами x, y эллипс, параболу или гиперболу. Метод полярных координат, примененный Я. Бернулли только к спиралям, Герман распространил на другие плоские кривые. Одним из первых Герман приступил к систематическому применению метода координат в пространстве [(1732—1733) 1738]. Полярные координаты применялись и Г. В. Крафтом, который ввел термин «полярное уравнение» [(1732—1733) 1738]. Наконец,

рано скончавшийся Ф. Х. Майер опубликовал несколько статей по тригонометрии, в которых чисто аналитический вывод теорем этой науки занимает большее место, чем это было принято ранее [(1727) 1729 и другие годы].

Но все эти открытия были оставлены далеко позади достижениями крупнейшего математика XVIII в. Л. Эйлера.

ЛЕОНАРД ЭЙЛЕР

Леонард Эйлер, сын швейцарского пастора, учился в Базельском университете у Иог. Бернулли. Попытка Эйлера найти подходящую работу на родине не увенчалась успехом, и в 1727 г. он переехал в Петербург, куда начинающего ученого, которому едва исполнилось 20 лет, пригласили по рекомендации уже находившихся здесь его друзей Ник. II и Д. Бернулли, а также их отца. В России Эйлер нашел свою вторую родину; в отличие от многих иностранцев Академии, он быстро изучил русский язык, на котором умел говорить и писать.

В Академии наук Эйлер наряду с исследованиями в области механики и математики вел, как упоминалось в главе 2, важные работы в Географическом департаменте Академии и сам занимался изготовлением карт, участвовал во многих технических экспертизах, изучал вопросы теории кораблестроения и навигации и преподавал в университете. В Петербурге Эйлер нашел самые благоприятные духовные и материальные условия для расцвета своего гения. Сложившаяся здесь с самого начала существования Академии обстановка высокой научной активности и общение с другими академиками, близкими ему по интересам, имели большое стимулирующее значение для его творчества. Отдельные проблемы и целые области наук, бывшие в поле зрения его старших коллег, от тригонометрии до математической физики, он подверг дальнейшей глубокой разработке; впрочем, он очень скоро значительно расширил этот круг. В течение первых лет работы в Академии Эйлер наметил почти все главные направления своих изысканий, которые затем вел в течение более чем полустолетия, до самой кончины без какого-либо ослабления духовных сил и даже при нарастающем темпе публикаций.

В 1741 г., при коротком и тревожном регентстве Анны Леопольдовны, положение Академии наук в Петербурге стало непрочным, и Эйлер принял приглашение прусского короля Фридриха II перейти в Берлинскую академию. В Берлине Эйлер проработал 25 лет, будучи директором математического отделения Академии и нередко выполняя обязанности ее президента. Все это время, за исключением нескольких военных лет, Эйлер сохранял тесную связь с Петербургской академией как ее иностранный член и получал от нее ежегодную пенсию. Свои сочинения он публиковал почти поровну в Берлине и Петербурге, и даже обе академии вместе не справлялись с изданием потока его трудов. Он вел частую переписку с руководством Петербургской академии и отдельными ее членами, в том числе Ломоносовым, редактировал математические отделы ее записок, руководил занятиями молодых русских ученых. В течение нескольких лет у него в Берлине учились, вместе с его старшим сыном И. А. Эйлером, адъюнкты Котельников, Румовский, Софронов.

В 1766 г. Эйлер, резко разошедшийся с королем Фридрихом, постоянно вмешивавшимся в дела Берлинской академии, возвратился в Петербург. Вскоре он почти полностью ослеп, но это не снизило его активности. Теперь работы Эйлера записывали под диктовку или проводили по его указаниям расчеты его сын И. А. Эйлер, а также его ученики и младшие товарищи — В. Л. Крафт (сын Г. В. Крафта), Лексель, Головин и особенно Фусс. В течение нескольких лет Эйлер вместе с сыном, в 1769 г. назначенным конференц-секретарем Академии, входил в состав Комиссии, руководившей Академией (решающее слово, впрочем, принадлежало директору Академии В. Г. Орлову).



Л. Эйлер

Литературная продукция Эйлера не имеет себе равной по объему в истории математики. При жизни было напечатано 560 его трудов, в том числе более 20 томов больших монографий, из них примерно 400 издала Петербургская академия; она продолжала печатать оставшиеся после него сочинения до 1862 г. Всего Эйлер написал 850 работ. Полное собрание сочинений Эйлера, издаваемое с 1911 г. Швейцарским обществом естествоиспытателей, должно содержать 72 больших тома, не считая переписки. Полностью завершена публикация математической серии этого издания в 29 томах (один из них — в двух частях); серия трудов по механике и астрономии должна составить 31 том (издано 26), по физике и другим наукам — 12 томов (издано 11). Из томов математической серии 18 (один двойной) посвящены анализу, 4 с половиной тома — теории чисел, полтора тома — алгебре, 4 — геометрии, 1 том — комбинаторике и теории вероятностей.

Все творчество Эйлера пронизывает идея тесной взаимозависимости между математикой, естественными науками и техникой. Как и Д. Бернулли, Эйлер осуществлял тесную связь теории и практики. С непревзойденным искусством он умел выделять в частных, конкретных задачах зерно широких общих теорий и всегда стремился доводить теоретическое исследование до числового результата, дающего эффективное решение вопроса. Но в отличие от Д. Бернулли, бывшего в первую очередь физиком, Эйлер, математик по преимуществу, обращался к математике не от случая к случаю, а неустанно и систематически развивал ее как единое целое. Этим в значительной степени и определялся огромный успех его трудов.

Эйлер оказал исключительное влияние на развитие математических наук. Особое значение имело его творчество для науки в России, где оно было сперва продолжено его учениками, а позднее нашло оригинальное развитие у П. Л. Чебышева и его последователей.

«ВВЕДЕНИЕ В АНАЛИЗ БЕСКОНЕЧНЫХ» Л. ЭЙЛЕРА

Мы охарактеризуем здесь научный вклад Эйлера лишь в общих чертах, придерживаясь, насколько можно, его больших монографий, причем начнем с анализа, который занимал в его творчестве центральное место и по объему, и по значению. Здесь первое место принадлежит его блестящему «Введению в анализ бесконечных» в двух томах, где теория элементарных функций изучается при помощи алгебры и разложений в бесконечные ряды, бесконечные произведения и непрерывные дроби. Эйлер использует здесь — без точных определений — бесконечно малые и бесконечно большие величины, но не применяет специфических понятий дифференциального и интегрального исчисления. В этом труде Эйлер впервые со всей ясностью проводит ту идею, что предметом математического анализа является абстрактное понятие функции, причем фактически он определяет функции, вслед за Иог. Бернулли, как аналитическое выражение. Общим средством аналитического выражения объявляются степенные ряды $A + Bz + Cz^2 + Dz^3 +, \ldots,$ но допускаются и еще более общие выражения $Az^\alpha + Bz^\beta + Cz^\gamma + Dz^\delta +, \ldots,$ где показатели α, β, γ, δ... — «любые числа». Мы бы сказали, что анализ Эйлера — это анализ функций, аналитических в области их определения, кроме, быть может, отдельных значений аргумента, в которых они представимы обобщенными степенными рядами (сам термин «аналитическая функция» восходит к Кондорсе и Лагранжу). При этом аргумент функции может быть не только действительным, но и любым комплексным числом вида $x + \sqrt{-1}y$; таким образом с самого начала в область анализа включались функции комплексного переменного, до того систематически не исследованные.

Впрочем, потребности математической физики, да и самого анализа, требовали уже тогда рассмотрения не только аналитических функций, и во втором томе «Введения», посвященном аналитической геометрии, Эйлер трактует понятие функции шире. В «Дифференциальном исчислении» (1755) он сформулировал такое определение: «Когда некоторые количества зависят от других таким образом, что при изменении последних и сами они подвергаются изменению, то первые называются функциями вторых» [1]. Каким условием определяется зависимость, аналитической ли формулой или как-нибудь иначе, безразлично. К этому определению восходят общепринятые ныне определения Н. И. Лобачевского (1834) и П. Дирихле (1837).

В ходе исследования различных элементарных функций утверждается, что всякая целая рациональная функция с действительными коэффициентами может быть разложена на действительные множители первой или второй ступени. Это свойство, высказанное Эйлером в его переписке еще в 1742 г. и составляющее, как известно, основную теорему алгебры, он доказал в другом месте [(1749) 1751). Доказательство Эйлера в главной части алгебраическое, но опирается на аналитические теоремы о существовании корня уравнения нечетной степени и уравнения четной степени с отрицательным свободным членом. Другое доказательство этой теоремы несколько ранее дал Д'Аламбер [(1746)1748]. Оба вывода, недостаточно

[1] *Л. Эйлер.* Дифференциальное исчисление. М.— Л., Гостехиздат, 1949, с. 38.

строгие с нынешней точки зрения, были уточнены крупнейшими математиками XIX в.

Далее Эйлер исследует элементарные трансцендентные функции, причем впервые логарифмическая функция определяется как обратная для показательной и вносится полная ясность в вопрос о знаках тригонометрических функций при действительных значениях аргумента. Формулы Муавра (1722) даются в простой и удобной современной записи

$$(\cos x \pm i \sin x)^n = \cos nx + i \sin nx,$$

как и знакомые теперь каждому инженеру и физику формулы Эйлера $e^{\pm iz} = \cos z \pm i \sin z$, появление которых в чисто словесном выражении у Р. Коутса (1714) осталось тогда незамеченным. Помимо элементарных функций рассматриваются и некоторые высшие трансцендентные, в частности знаменитая дзета-функция (термин Б. Римана) $\zeta(n) = \sum_{k=1}^{\infty} 1/k^n$, $n > 1$, причем вычисляются значения $\zeta(2n) = k\pi^{2n}$, где k — рациональные числа (например, $\zeta(2) = \pi^2/6$, $\zeta(4) = \pi^4/90$), и выводится «тождество Эйлера»

$$\zeta(n) = \sum_{k=1}^{\infty} \frac{1}{k^n} = \prod_{p=2}^{\infty} \frac{1}{1 - \frac{1}{p^n}},$$

где p принимает значения всех простых чисел. Дзета-функция и тождество Эйлера стали впоследствии благодаря Чебышеву и Риману, определившему $\zeta(z)$ и для комплексных значений аргумента z, важнейшим средством исследований в аналитической теории чисел. В это же время Эйлер открыл одно функциональное уравнение дзета-функции [(1761)1768], вновь установленное в 1859 г. Риманом.

Первый том «Введения» оказал большое влияние на преподавание анализа и на учебную литературу. Чтение его доставляет истинное наслаждение любителям математики и в наши дни. Такое же значение имел второй том «Введения» для преподавания аналитической геометрии. Здесь, между прочим, изложены преобразование прямоугольных координат в пространстве с помощью трех «углов Эйлера» (которыми он широко пользовался в механике) и подробная классификация поверхностей 2-го порядка.

Теорию элементарных функций комплексного переменного Эйлер существенно дополнил, впервые правильно определив логарифмическую функцию в комплексной области и объяснив парадоксы, затруднявшие Лейбница, И. Бернулли и Д'Аламбера. Хотя свою общую теорию логарифмов Эйлер разработал еще в 1746 г. и тогда же сообщил о ней в письмах к некоторым ученым, он не успел включить ее в уже печатавшееся «Введение в анализ» (1748) и опубликовал несколько позднее [(1749) 1751].

Частью одновременно с Д'Аламбером, Эйлер также сделал первые шаги в общей теории функций комплексного переменного в связи с их приложениями в механике жидкостей, геометрии и интегральном исчислении. В 1777 г. Эйлер показал, что действительная и мнимая части любой (предполагаемой аналитической) функции $u(x, y) + iv(x, y)$ обязательно удовлетворяют уравнениям $\partial u/\partial x = \partial v/\partial y$, $\partial u/\partial y = -\partial v/\partial x$ [(1792) 1797], которые встречались прежде в исследованиях по гидродинамике ему самому [(1755) 1757], а еще ранее — Д'Аламберу (1752). В только что

упомянутой и еще другой статье 1777 г. [(1789) 1793] Эйлер впервые применил комплексное переменное к вычислению специальных определенных интегралов. Все эти идеи получили в XIX в. дальнейшее развитие в общей теории аналитических функций. В частности, Коши и Риман раскрыли основное значение для этой теории только что приведенных уравнений с частными производными, которые часто называют уравнениями Коши — Римана, хотя их правильнее было бы называть уравнениями Д'Аламбера — Эйлера.

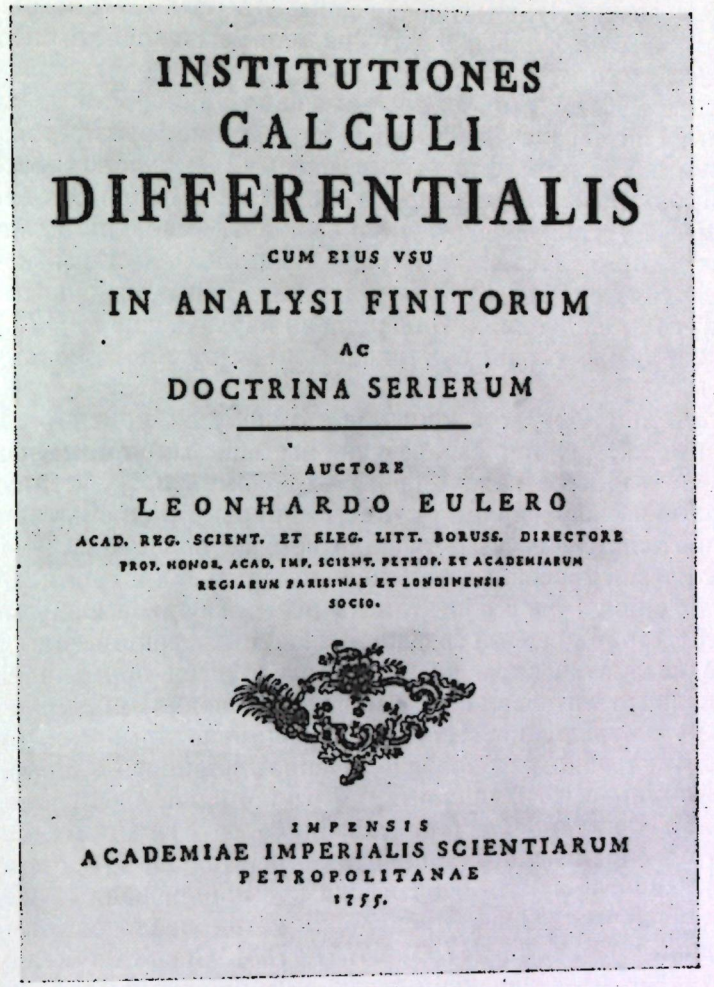
В одной из работ по картографии [(1777) 1778] Эйлер установил, что при отображении сферы на плоскость с помощью (аналитических) функций комплексного переменного бесконечно малые фигуры переходят в им подобные; Ф. И. Шуберт назвал такое отображение конформным [(1787) 1789]. В этих работах Эйлера точки плоскости $M(x, y)$ оказываются во взаимнооднозначном соответствии с комплексными числами $x + iy$. Геометрическое истолкование операций над комплексными числами впервые предложил К. Вессель (1799).

ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЕ И ИНТЕГРАЛЬНОЕ ИСЧИСЛЕНИЯ ЭЙЛЕРА

В «Дифференциальном исчислении», изданном в Берлине (1755) на средства Петербургской академии, Эйлер объединил весь известный к тому времени огромный материал по этому вопросу (кроме геометрических приложений), в значительной части принадлежащий ему лично. Дифференциальное исчисление рассматривается как частный случай исчисления конечных разностей, когда разности считаются бесконечно малыми. Поэтому две первые главы «Дифференциального исчисления» посвящены исчислению конечных разностей, причем вводятся современные удобные обозначения. Мы оставим в стороне не удержавшуюся в анализе попытку Эйлера рассматривать бесконечно малые и дифференциалы как нули, и вообще отметим лишь немногое из содержания этого труда.

В нем детально развит самый аппарат дифференциального исчисления, причем впервые в большом объеме изложено дифференцирование функций многих переменных; широкое применение получают разложения в бесконечные ряды, их преобразования и формула, связывающая частные суммы какого-либо ряда с интегралом и производными его общего члена. Эта формула, имеющая важные применения в исчислении конечных разностей и анализе, была открыта Эйлером ранее [(1732—1733) 1738] и независимо найдена Маклореном (опубликована в 1742 г.), вследствие чего она называется формулой суммирования Эйлера — Маклорена.

В «Дифференциальном исчислении» и еще раньше в переписке 1743—1745 гг. Эйлер высказал свою точку зрения на применение бесконечных рядов. Многие открытия он сделал с помощью особых изобретенных им приемов суммирования расходящихся рядов; это относится, например, к упоминавшемуся функциональному уравнению дзета-функции. Между тем, немалое число математиков считало употребление расходящихся рядов недопустимым. Чтобы доказать законность своих вычислений, Эйлер предложил обобщить понятие суммы бесконечного ряда. Средства тогдашней математики были недостаточны для безупречного обоснования концепции Эйлера, а неосторожные действия с расходящимися рядами иногда


INSTITUTIONES
CALCULI
DIFFERENTIALIS
CUM EIUS VSU
IN ANALYSI FINITORUM
AC
DOCTRINA SERIERUM

AUCTORE
LEONHARDO EULERO
ACAD. REG. SCIENT. ET ELEG. LITT. BORUSS. DIRECTORE
PROV. HONOR. ACAD. IMP. SCIENT. PETROP. ET ACADEMIARUM
REGIARUM PARISINAE ET LONDINENSIS
SOCIO.

IMPENSIS
ACADEMIAE IMPERIALIS SCIENTIARUM
PETROPOLITANAE
1755.

Титульный лист работы Л. Эйлера «Дифференциальное исчисление». 1755 г.

приводили к ошибкам. Это повлекло за собой в первой половине XIX в. резкую критику расходящихся рядов и на некоторое время почти полный отказ от них. Однако в конце прошлого века началась систематическая разработка общей теории суммирования на основе современной теории функций, и в этой теории эйлеровская трактовка понятия суммы и его приемы суммирования получили плодотворное развитие и строгое обоснование. Сказанное относится и к приему суммирования Д. Бернулли [(1771) 1772], который под влиянием Эйлера переменил свое прежнее отрицательное отношение к расходящимся рядам.

Название трехтомного «Интегрального исчисления» (1768—1770) не соответствует, в нашей теперешней терминологии, его содержанию. Интегрированию функций отведена только половина первого тома, большая же часть труда посвящена дифференциальным уравнениям.

Техника вычисления неопределенных интегралов, выражающихся с помощью элементарных функций, была доведена Эйлером до совершен-

ства, и здесь впоследствии удалось добавить очень немногое. Из многочисленных открытий Эйлера в интегральном исчислении следует упомянуть прежде всего теорию эллиптических интегралов, где он пришел к общей теореме сложения. Эйлер вычислил также многие специальные определенные интегралы, часто с помощью дифференцирования и интегрирования под знаком интеграла и мнимых подстановок; весьма важны, в частности, так называемые эйлеровы интегралы первого и второго рода, которые именуют также бета-функциями и гамма-функциями. Свойства этих функций, принадлежащих наряду с цилиндрическими и дзета-функцией к числу трансцендентных функций, наиболее употребительных в анализе и его приложениях, Эйлер начал изучать еще в 1729 г., а затем посвятил им ряд мемуаров, публиковавшихся на протяжении полустолетия.

После того как Лагранж в письме к Эйлеру от 5 октября 1756 г. применил двойные интегралы в задаче о так называемых минимальных поверхностях, Эйлер положил начало более широкому употреблению таких интегралов, а также изучению их свойств, впервые подробно изложив приемы их вычисления и выведя правило замены переменных [(1769) 1770].

Систематически разрабатывая приемы интегрирования дифференциальных уравнений, Эйлер обогатил их новыми первостепенными результатами и собственно впервые создал теорию дифференциальных уравнений как особую математическую дисциплину. Он ввел понятия частного интеграла и полного интеграла (т. е. общего решения) обыкновенного дифференциального уравнения (1743), открыл некоторые критерии особых решений. Он подробно рассмотрел решение линейного однородного уравнения с постоянными коэффициентами n-го порядка, сведя дело с помощью показательной подстановки (ср. сказанное о Н. Бернулли, стр. 49) к решению алгебраического уравнения n-й степени (1743), в настоящее время называемого характеристическим. Для решения неоднородного линейного уравнения Эйлер предложил метод последовательного понижения порядка уравнения [(1750—1751) 1753]. Среди изученных Эйлером линейных уравнений с переменными коэффициентами следует упомянуть одно уравнение второго порядка, частными случаями которого являются уравнения Бесселя, Лежандра, Гаусса (гипергеометрическое), Чебышева и Чебышева — Эрмита. Эйлер интегрирует это уравнение двумя способами, представляя решение либо в виде ряда с неопределенными коэффициентами, либо в форме определенного интеграла функции, зависящей от параметра. Оба приема были затем развиты далее в XVIII и XIX вв. Очень широко употребляется в «Интегральном исчислении» метод интегрирующего множителя, применявшийся в отдельных случаях еще Иог. и Ник. II Бернулли. Эйлер предложил также приемы численного решения дифференциальных уравнений, особенно необходимого ему в работах по небесной механике.

В третьем томе изложена теория дифференциальных уравнений с частными производными, сложившаяся только в XVIII в. В работах 30-х годов Эйлер решал отдельные уравнения первого порядка, к которым приводили задачи геометрии. К середине века центральное место заняли линейные уравнения второго порядка, к которым сводятся важнейшие задачи математической физики, в частности задачи о малых колебаниях звучащей струны и мембраны. Задача о струне выражается «волновым» уравнением $\partial^2 y/\partial t^2 = a^2\,(\partial^2 y/\partial x^2)$, где $y\,(x, t)$ — поперечное отклонение

точки струны с абсциссой x в момент t. Частное решение этого уравнения нашел Тейлор еще в 1713 г. Д'Аламбер в 1746 г. представил общее решение этого уравнения для струны с закрепленными концами в виде суммы двух произвольных функций $f_1\,(x + at) + f_2\,(x - at)$ [(1747) 1749]; эти функции определяются по дополнительным условиям, относящимся к состоянию струны в начальный момент колебаний и к концам струны, если только она не предполагается бесконечной (так называемые начальные и граничные условия). Произвольные функции Д'Аламбер подчинил некоторым ограничениям, которые Эйлер, исходя из физических соображений, отверг как слишком стеснительные, и вместе с тем как излишние с математической точки зрения [(1748) 1750].

В тотчас разгоревшуюся между Д'Аламбером и Эйлером полемику по этому вопросу вскоре включился Д. Бернулли, который, исходя из убеждения в возможности получения любого колебания путем сложения нормальных (синхронных) колебаний, заявил, что наиболее удобным и вместе с тем совершенно общим является решение в виде бесконечного тригонометрического ряда [(1753) 1755]. Так было положено начало знаменитому «спору о колеблющейся струне», т. е. прежде всего о природе функций, входящих в решение уравнений с частными производными, и представимости тригонометрическими рядами произвольных функций (ибо начальная форма струны может быть принята произвольной). Не отрицая важности принципа суперпозиции колебаний, Д'Аламбер и Эйлер полагали, что тригонометрическими рядами можно представить только весьма частные классы функций, а Д. Бернулли не сумел математически обосновать свое утверждение. В споре о струне приняли затем участие Лагранж и другие крупнейшие математики XVIII в. В 1787 г. Петербургская академия объявила на 1789 г. конкурс на эту тему. Премия была присуждена страсбургскому профессору Л. Арбогасту за «Мемуар о природе произвольных функций, входящих в интегралы уравнений с частными дифференциалами» («Mémoire sur la nature des fonctions arbitraires qui entrent dans les intégrales des équations aux différentielles partielles», St.-Pétersbourg, 1790). Содержащая некоторые интересные идеи работа Арбогаста, ставшего в целом на сторону Эйлера, а не Д'Аламбера, не дала все же убедительного решения спора. Более широкий подход Эйлера оказался и более плодотворным. Это подтвердило последующее развитие математической физики, в частности теория обобщенных функций С. Л. Соболева и Л. Шварца. Что касается решения в форме тригонометрического ряда, то глубокие возможности метода Д. Бернулли стали ясными после того, как Ж. Б. Фурье в своих исследованиях по теории распространения тепла в твердых телах (1807—1822) показал, что очень широкий класс «произвольных» функций может быть представлен суммами тригонометрических рядов. Удивительным образом Эйлер не отметил этого обстоятельства, когда в 1777 г. вывел интегральные формулы для коэффициентов разложения какой-либо функции в так называемые неполные ряды Фурье [(1793) 1798]. Эти формулы для коэффициентов вновь вывел Фурье, но еще раньше Эйлера к ним пришел в одной статье по небесной механике А. Клеро [(1754) 1759]. Теперь принято говорить о «коэффициентах Фурье».

Спор о струне, сыгравший решающую роль в развитии понятия функции вообще и в теории тригонометрических рядов,— яркий пример того, как математическое естествознание порождает глубокие теоретические проблемы, касающиеся самих основ математики.

ВАРИАЦИОННОЕ ИСЧИСЛЕНИЕ

В третьем томе «Интегрального исчисления» Эйлер поместил обширное приложение о вариационном исчислении, новой разработанной им отрасли анализа, начала которой были заложены Як. и Иог. Бернулли. Предметом вариационного исчисления являются задачи об экстремумах (максимумах и минимумах) функционалов — величин, значения которых зависят не от числовых аргументов, а от некоторой функции или кривой. Такова, например, изопериметрическая задача об отыскании замкнутой плоской кривой данного периметра, охватывающей максимальную площадь, поставленная и решенная еще древними греками; решением этой задачи является окружность. В самом конце XVII в. было выдвинуто несколько новых вариационных задач, в частности о брахистохроне — такой кривой, соединяющей две данные точки, не лежащие на одной вертикали, что падающая по ней тяжелая точка скатывается из верхнего положения в нижнее за кратчайшее время; братья Бернулли, Лейбниц и Ньютон нашли, что этой кривой является циклоида. Иог. Бернулли поставил задачу о геодезических линиях — кривых кратчайшей длины на данной поверхности. Дифференциальное уравнение геодезических линий было впервые опубликовано молодым Эйлером [(1728) 1732]; оно, впрочем, было известно и его учителю. Братья Бернулли не создали общих методов вариационного исчисления, не выделили в общей и отвлеченной форме его основных понятий и задач. Это сделал Эйлер, сперва в ряде статей, а затем в монографии «Метод нахождения кривых линий, обладающих свойствами максимума либо минимума, или решение изопериметрической задачи, взятой в самом широком смысле» («Methodus inveniendi lineas curvas maximi minimive proprietates gaudentes sive solutio problematis isoperimetrici latissimo sensu accepti», Lausannae et Genevae, 1744). Эйлер связывал это исчисление с некоторым натурфилософским принципом: в мире не происходит ничего, в чем не был бы виден смысл какого-нибудь максимума или минимума. Частным случаем этого принципа являлся в глазах Эйлера механический принцип наименьшего действия, сформулированный им в приложении к той же монографии 1744 г. Термин «функционал» появился в XX в., Эйлер же говорил об отыскании кривой $y = f(x)$, проходящей через точки с абсциссами a и b и сообщающей экстремум интегралу $\int_a^b Z(x, y, y')\,dx$, где Z — известная функция. Эту задачу на «абсолютный метод максимумов и минимумов», примером которой может служить задача о брахистохроне, Эйлер сводит к интегрированию дифференциального уравнения, называемого в настоящее время «уравнением Эйлера». Свое уравнение $\frac{\partial Z}{\partial y} - \frac{d\left(\frac{\partial Z}{\partial y'}\right)}{dx} = 0$ Эйлер вывел предельным переходом из конечно-разностного уравнения, которое получил, заменяя кривую ломаной, а задачу на экстремум функционала — задачей на экстремум функции нескольких переменных, решаемой средствами дифференциального исчисления. Уравнение легко обобщается на случай, когда в функцию Z входят производные высших порядков. Затем Эйлер переходит к «относительному методу максимумов и минимумов» — задачам, в которых на искомую функцию и ее производные наложены дополнительные условия

(таковы изопериметрическая задача и задача о геодезических линиях); эти задачи он с помощью некоторого приема сводит к предыдущим.

Решение дифференциального уравнения Эйлера во многих случаях наталкивается на большие трудности. Замечательно, что конечно-разностный метод, которым Эйлер вывел дифференциальное уравнение экстремума функционала, сам заключает в себе возможность сколь угодно приближенного, а иногда и точного решения. К этому методу Эйлера, имевшему для него лишь вспомогательное значение, восходят «прямые» методы решения вариационных задач, получившие развитие в XX в. и нашедшие также важные приложения в математической физике.

С середины 50-х годов XVIII в. вариационное исчисление значительно усовершенствовал Лагранж, который ввел, для отличения от дифференциала dy, особый знак вариации δy, а также правила варьирования величин, позволявшие по-новому вывести уравнения Эйлера. Эйлер тотчас правильно оценил преимущества алгоритма Лагранжа и дал его подробное изложение в специальной работе, в которой и употребил придуманный им термин «вариационное исчисление» [(1764) 1766]. В приложении к третьему тому «Интегрального исчисления» (1770) Эйлер вслед за Лагранжем распространил исследование на двойные интегралы с постоянными пределами. Еще несколько лет спустя он предложил новый способ построения вариационного исчисления, близкий к употребительному ныне [(1771) 1772].

РАБОТЫ ЭЙЛЕРА ПО ГЕОМЕТРИИ

Мы уже упоминали посвященный аналитической геометрии второй том «Введения в анализ» (1748). В других геометрических работах Эйлера теоремы тоже часто доказываются аналитически. Из предложений, доказанных синтетически, упомянем «теорему Эйлера» о том, что числа S, A и H вершин, ребер и граней выпуклого многогранника связаны соотношением $S + H = A + 2$ [(1752—1753) 1758]. Это равенство, как выяснилось намного позднее, имеет место для всех многогранников, топологически эквивалентных сфере, а число $S - A + H$, называемое в настоящее время «эйлеровой характеристикой» и являющееся основным топологическим инвариантом многогранника, играет важную роль в топологии поверхностей. Непосредственно к топологии относится и работа Эйлера о «кенигсбергских мостах», переброшенных через несколько рукавов реки Прегель: спрашивается, можно ли перейти их все, пройдя при этом по каждому мосту только по одному разу [(1736) 1741]. Если теорема о многогранниках была естественно сформулирована Эйлером как элементарно-геометрическая, то задача о мостах была задачей «геометрии положения» (geometria situs) — новой дисциплины, которая получила развитие уже в XIX в. и современное название которой — «топология» принадлежит И. Б. Листингу (1848) [1].

Ряд статей Эйлера относится к геометрии на сфере, сферической тригонометрии и дифференциальной геометрии, некоторые задачи он решил в

[1] Эйлер связывал «геометрию положения» с «анализом положения» Лейбница (письма 1679-го и следующих лет). Однако замысел Лейбница ближе к векторной алгебре Г. Грассмана и У. Гамильтона, чем к топологии в собственном смысле слова.

ходе занятий механикой. Основополагающее значение для теории поверхностей имела работа о кривизне поверхностей, где выведена известная «формула Эйлера» для радиуса кривизны нормального сечения [(1760) 1767]. Изучая развертывающиеся поверхности (налагаемые на плоскость без складок и разрывов), Эйлер показал, что всякая такая поверхность, не являющаяся цилиндром и конусом, образована касательными к пространственной кривой (ее ребру возврата), и впервые ввел криволинейные координаты поверхности [(1771) 1772]. В заметке, написанной около 1770 г., но опубликованной только в 1862 г., Эйлер дал общее условие наложимости двух поверхностей, найденное позже Гауссом (1827).

ТЕОРИЯ ЧИСЕЛ

Систематические работы по теории чисел после древних греков в Европе были возобновлены только в XVII в. Ферма. Однако Ферма не оставил доказательств большинства высказанных им теорем. Многие из них доказал Эйлер. Как писал Чебышев, открытия Ферма «служили только вызовом геометрам на изыскания в теории чисел. Но, несмотря на весь интерес этих изысканий, до Эйлера на них никто не вызывался. И это понятно: эти изыскания требовали не новых приложений приемов, уже известных, и не новых развитий приемов, прежде употреблявшихся; эти изыскания требовали создания новых приемов, открытия новых начал, одним словом, основания новой науки. Это сделано было Эйлером» [1]. Среди утверждений Ферма, сообщенных им без вывода, важное значение имеет «малая теорема Ферма»: если p простое и a не делится на p, то $a^{p-1} - 1$ делится на p, что записывают после Гаусса в виде $a^{p-1} \equiv 1 \pmod{p}$. Эйлер опубликовал два доказательства этой теоремы [(1736) 1741; (1758—1759) 1761], а затем ее обобщение: если $\varphi(m)$ — число чисел, меньших и взаимно простых с m, и a взаимно просто с m, то $a^{\varphi(m)} \equiv 1 \pmod{m}$.

Занимаясь доказательством теоремы Ферма, согласно которой любое простое число вида $4n+1$ представимо, и притом единственным образом, суммой двух целых квадратов, Эйлер пришел к теории степенных вычетов [(1754—1755) 1760], а в одной работе 1772 г., опубликованной в 1783 г., высказал основной в теории квадратичных вычетов «закон взаимности», вновь найденный А. М. Лежандром [(1785), 1788] и доказанный Гауссом (1801). Этот закон имеет основное значение в теории делимости. Дальнейшие исследования в этом направлении привели в XIX в. к созданию теории алгебраических чисел, принадлежащей в равной мере алгебре и теории чисел, и продолжаются до наших дней. В 1832 г. Гаусс распространил, не приведя доказательства, закон взаимности на биквадратичные вычеты, затем Ф. Эйзенштейн — на кубические (доказав заодно и закон Гаусса), Э. Куммер — на поля деления круга; дальнейшие важные изыскания были проведены Д. Гильбертом и др.

Отправляясь от той же теоремы Ферма о простых числах вида $4n + 1$, Эйлер изучил вопрос о представимости чисел и другими квадратичными формами вида $ax^2 + by^2$, используя свойства таких форм для выяснения того, является ли данное большое число N простым или составным. Здесь берет начало обширная теория квадратичных форм, развитая затем прежде всего Лагранжем и Гауссом. Нам придется далее говорить о работах в этой области русских математиков конца XIX и начала XX вв.

[1] *П. Л. Чебышев.* Полн. собр. соч., т. 1. М., Изд-во АН СССР, 1944, с. 10.

Большое место в арифметических изысканиях Эйлера занимают вопросы так называемого диофантова анализа, т. е. решения неопределенных уравнений с целыми коэффициентами в целых числах. Такова задача об определении числа, которое при делении на данные числа дает данные остатки [(1734—1735) 1740]. Исчерпывающее решение этой задачи, которой занимались еще китайский математик Сунь-цзы, живший, вероятно, в III в., а потом ученые Византии и Европы с XIV по XVIII в., дал Гаусс (1801). Эйлер глубоко, хотя и не до конца, исследовал также вопрос об отыскании наименьшего целого решения уравнения $x^2 - dy^2 = 1$, где d — неквадратное число [(1765) 1767]. Примеры такого вида уравнения рассматривали еще древние греки, затем его изучали математики Индии VII — XII вв., а в новое время — Ферма и Дж. Валлис. Нахождение решения Эйлер поставил в зависимость от разложения в непрерывную дробь $\sqrt{d}$ и на численных примерах показал периодичность этой дроби — свойство, вскоре строго доказанное Лагранжем.

Естественно, что Эйлера привлекла и «великая теорема Ферма», согласно которой уравнение $x^n + y^n = z^n$ при целом $n > 3$ и $xyz \neq 0$ не имеет целых решений. Ферма утверждал, что имеет доказательство этой теоремы, но его не оставил. Эйлер опубликовал доказательство этой теоремы предложенным Ферма методом неограниченного спуска для случаев $n = 4$ (этот случай, впрочем, был рассмотрен уже Ф. де Бесси в 1676 г.) и $n = 3$. В последнем случае Эйлер впервые рассмотрел числа вида $a + b\sqrt{-3}$, где a и b — натуральные числа, как своего рода целые числа [(1760—1761) 1763; 1769]. Эта идея была впоследствии обобщена Гауссом, Куммером и другими творцами теории алгебраических чисел.

К Эйлеру же восходят первые применения в теории чисел аналитических методов, в частности в задаче о том, сколькими способами можно выразить данное натуральное число N как сумму k одинаковых или различных целых положительных чисел (1748). Решение было основано на разложении некоторых бесконечных произведений в бесконечные степенные ряды, коэффициенты которых дают искомый ответ. Средствами анализа Эйлер в 1747 г. вывел рекуррентную формулу для определения суммы делителей данного числа N [1751; (1754—1755) 1760]. В обоих случаях Эйлер вступил при этом в область теории так называемых тэта-рядов и тэта-функций, разработанной в XIX в. К. Г. Якоби. О значении в теории чисел дзета-функции Эйлера говорилось ранее (стр. 55); заметим, что с помощью этой функции получается новый вывод теоремы о бесконечности количества простых чисел, доказанной еще Евклидом.

Эйлер продвинулся вперед и в изучении арифметической природы некоторых важнейших постоянных и зависимостей между ними. Открытые им разложения числа e и других непосредственно связанных с ним чисел в непрерывные дроби явились основой для доказательства иррациональности этого числа и числа π, данного И. Г. Ламбертом (1768). Формула Коутса — Эйлера (стр. 55) была использована Ф. Линдеманом в доказательстве трансцендентности числа π (1882), которое стало возможным после доказательства Ш. Эрмитом трансцендентности числа e (1873). Наконец, в первом томе «Введения в анализ» (1878) Эйлер высказал предположение о трансцендентности или рациональности логарифмов рацио-

нальных чисел при рациональном основании. Обобщая это предположение, Гильберт в одном докладе 1900 г. сформулировал предположение о трансцендентности или рациональности алгебраических чисел при алгебраическом основании, т. е. о трансцендентности чисел вида α^β, где β не равно ни нулю, ни единице, при алгебраическом α и алгебраическом и иррациональном β, каково, например, число $2^{\sqrt{2}}$. Эта так называемая седьмая проблема Гильберта (всего он поставил в упомянутом докладе 23 проблемы) была полностью решена А. О. Гельфондом в 1929—1934 гг.

Проблемы теории чисел чаще всего не вызваны задачами техники или естествознания и лишь изредка находят прямые приложения вне математики. Вместе с тем их изучение является необходимой составной частью развития математики и влечет за собой разработку чрезвычайно плодотворных методов, находящих применение во многих других областях этой науки. Указанное обстоятельство наряду с красотой и интересом задач и приемов теории чисел является причиной того, что теорией чисел с энтузиазмом занимались такие первоклассные ученые, как Ферма, Эйлер, Лагранж, Гаусс, Чебышев и многие другие. Эйлер заложил, как уже было сказано, основы этой науки; в России она получила дальнейшее развитие в трудах Чебышева и его научной школы.

УЧЕНИКИ И БЛИЖАЙШИЕ ПОСЛЕДОВАТЕЛИ Л. ЭЙЛЕРА

Эйлер оказал решающее влияние на исследования своих учеников и вообще петербургских математиков XVIII в., в большинстве случаев непосредственно примыкавшие к кругу разрабатываемых им вопросов. Так, Румовский опубликовал по математике 7 статей, содержавших решения отдельных задач вариационного исчисления, интегрирования иррациональных алгебраических функций и обыкновенных дифференциальных уравнений, суммирования расходящихся рядов; другие труды этого ученого относятся к астрономии и географии.

Астрономией успешно занимался и А. И. Лексель, до Петербургской академии работавший в университете в Упсале, а еще ранее — в университете своего родного города Або. В области анализа он вслед за Эйлером успешно развивал приемы решения систем линейных обыкновенных дифференциальных уравнений с постоянными коэффициентами, теорию эллиптических интегралов.

Большое число статей по частным вопросам анализа опубликовал и приехавший в Петербург в 1772 г. из Швейцарии Н. И. Фусс, наиболее близкий Эйлеру его ученик и секретарь, автор известной биографии своего учителя («Eloge de Monsieur Euler». St.-Pétersbourg, 1783), неутомимый издатель его научного наследия и с 1800 г., после смерти И. А. Эйлера, непременный секретарь Петербургской академии наук. Фусс стал и членом семьи Л. Эйлера, женившись на его внучке (дочери И. А. Эйлера).

Однако главной областью деятельности петербургских академиков школы Эйлера явилась геометрия. Лексель построил первую общую систему полигонометрии [(1774) 1775; (1775) 1776] и обогатил сферическую геометрию и тригонометрию, установив в частности замечательное положение: геометрическое место вершин сферических треугольников с общим основанием и одинаковой площадью лежит на малом круге сферы

[(1781) 1783]. Вслед за тем ряд новых задач о сферических треугольниках поставили и решили Фусс [(1784) 1788] и астроном по основной специальности Ф. И. Шуберт [(1794) 1801]. Фусс изучил также свойства сферических эллипсов, т. е. геометрических мест вершин сферических треугольников с данными основанием и суммой двух других сторон [(1785) 1788]. Несколько работ петербургских математиков относится к дифференциальной геометрии на плоскости. Фусс изучал задачи, принадлежащие к так называемой теперь «естественной геометрии» [(1786) 1789; 1809]; Шуберт подробнее прежнего рассмотрел точки возврата (1822); С. Е. Гурьев чисто аналитически вывел все основные формулы дифференциальной геометрии в полярных координатах из соответствующих формул в декартовой прямоугольной системе [(1794) 1801]. Работу Шуберта о географической проекции эллипсоида вращения [1787 (1789)] мы упоминали ранее в связи с предложенным в ней термином «конформная проекция».



С. Я. Румовский

Небольшое число статей имело своим предметом и другие разделы математики. Так, Шуберт исследовал восходящий к Ньютону вопрос о разложении алгебраического многочлена с целыми коэффициентами на такие же множители [(1793) 1798]; почти 100 лет спустя Л. Кронекер предложил прием решения этой задачи, совершенно сходный с правилом Шуберта.

Только что упомянутый Гурьев, единственный из русских математиков — членов Петербургской академии наук, получивший образование вне ее (он окончил Артиллерийский инженерный корпус), был исключением и в том смысле, что не принадлежал к школе Эйлера. В математике его более всего интересовали проблемы обоснования анализа, выдвинувшиеся на первый план в конце XVIII в., и именно им он посвятил свой «Опыт о усовершении елементов геометрии» (Петербург, 1798). Предварительное обсуждение этого сочинения, в первом варианте содержавшего резкую критику Эйлера за применение им расходящихся рядов и за его — действительно нестрогое — доказательство теоремы о разложении в ряд степени бинома, вызвало спор между Гурьевым и остальными математиками Академии наук. По настоянию большинства академиков полемическая часть «Опыта», отчасти предвосхищавшая возражения, выдвинутые позднее Коши, Абелем и др., была исключена из печатного текста. Исключен был и критико-исторический обзор различных способов обоснования анализа до Эйлера (этот обзор был напечатан в 1815 г., уже после смерти

Гурьева). В «Опыте» Гурьев выступил как последователь теории пределов, базирующейся на определении предела, предложенном Д'Аламбером. Это определение и простейшие свойства предела применяются в «Опыте» для доказательства теорем элементарной геометрии о круге, пирамиде и круглых телах. В приложении к «Опыту» Гурьев правильно указал на ошибку в одном доказательстве аксиомы о параллельных, данном в 1794 г. Лежандром, но допустил и сам аналогичную ошибку. У Гурьева мы находим первое в русской литературе обсуждение проблемы параллельных; четверть века спустя Лобачевский пришел к открытию неевклидовой геометрии.

Более развитое учение о предельных переходах Гурьев изложил в одной статье 1797 г., сформулировав в ней (при неявном допущении, что $f(x)$ — непрерывна) общую теорему $\lim_{x \to a} f(x) = f(a)$ и предложив свой вывод условия полного дифференциала и теоремы $\partial^2 z/\partial x \partial y = \partial^2 z/\partial y \partial x$ [(1795—1796) 1802]; позднее на той же основе он подготовил большой курс «Оснований дифференциального исчисления» (Петербург, 1811). Однако теория пределов Д'Аламбера и его первых последователей не была еще достаточно разработана ни для удовлетворительного обоснования анализа, ни тем более для его дальнейшего развития; вскоре на смену ей пришла более совершенная теория пределов Коши.

Работы Гурьева по обоснованию анализа привлекли в России большое внимание. В начале XIX в. пропагандой теории пределов, а также теории аналитических функций Лагранжа (1797) занялись и другие ученые: ученик Гурьева академик В. И. Висковатов, талантливый любитель математики П. А. Рахманов и др. Деятельность всех этих лиц оказала значительное влияние на математическое образование в России в первой четверти XIX в.

Следует заметить все же, что со смертью Эйлера уровень математических исследований в Петербургской академии наук значительно понизился. Новый подъем математики в России, не ограничивавшийся уже рамками Академии наук, начался в 20-е годы XIX в. О нем пойдет речь во второй части этого труда.

Глава четвертая

МЕХАНИКА

МЕХАНИКА В ПЕТЕРБУРГСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

Развитие исследований по механике в России по существу началось с момента образования Петербургской академии наук. В петровские времена изучение механики в технических и военных школах ограничивалось элементами статики в ее приложениях к учению о простых машинах. Поэтому первый русский печатный учебник так и назывался: «Наука статическая, или механика» (СПб., 1722). Он был написан видным деятелем просвещения Г. Г. Скорняковым-Писаревым, в течение ряда лет проработавшим в Морской академии. Доказательства в этой книге не приводились, а теоретическая часть ограничивалась определениями и краткими пояснениями к ним.

Лишь с началом деятельности петербургских академиков исследования по механике развернулись в полном объеме. Петербургские академики внесли значительный вклад в механику точки и твердого тела, гидро- и аэромеханику, небесную механику, теорию упругости и сопротивления материалов, теорию корабля и теорию машин. Наряду с разработкой научных проблем они широко содействовали преподаванию механики в гимназии и университете при Академии наук и в специальных учебных заведениях Петербурга. Показательно количество статей по механике: за 100 лет (до 1830 г.) в изданиях Академии было опубликовано примерно 360 работ. Сюда не входят отдельные большие монографии и учебные руководства, а их тоже было немало. Наибольшее число мемуаров по механике приходится на долю Л. Эйлера (155) и Д. Бернулли (35).

В течение примерно 20 лет с момента основания Петербургской академии наук внимание ее членов, как и других европейских ученых, привлекал вопрос о мере сил. Этой проблеме были посвящены работы Я. Германа, который поддерживал и развивал воззрения на меру сил школы Лейбница. В записках Академии опубликован ряд статей Германа по механике: о движении тел в сопротивляющейся среде, колебаниях маятника и др.

ТРУДЫ ЭЙЛЕРА ПО МЕХАНИКЕ ТОЧКИ И ТВЕРДОГО ТЕЛА

Механика, наряду с математикой, была главной областью творчества Л. Эйлера. Уже в первые годы своей научной деятельности в Петербурге он составил программу грандиозного и всеобъемлющего цикла работ в области механики. Эта программа изложена в его двухтомном труде «Механика, или наука о движении, изложенная аналитически» («Mechanica sive motus scientia analytice exposita», Петербург, 1736).

«Механика» Эйлера содержала основы динамики точки: под механикой Эйлер разумел науку о движении, в отличие от статики. Отличительной

чертой «Механики» Эйлера было широкое использование нового математического аппарата — дифференциального и интегрального исчисления. Это отражено в названии книги и особо подчеркнуто в предисловии. Кратко охарактеризовав в нем основные труды по механике, появившиеся на рубеже XVII — XVIII вв., Эйлер отмечал синтетико-геометрический стиль их изложения, чрезвычайно затрудняющий читателей. Именно в такой манере написаны работа Ньютона «Математические начала натуральной философии» («Philosophiae naturalis principia mathematica», 1687) и более поздняя «Форономия» («Phoronomia», 1716) Германа.

Эйлер создал принципиально новые методы исследования проблем механики, разработал ее математический аппарат и с блеском применил его к множеству трудных задач. Благодаря ему инструментом механики стали дифференциальная геометрия, дифференциальные уравнения, вариационное исчисление. Синтетико-геометрический метод не обладал общностью, а требовал, как правило, индивидуальных построений, приспособленных к каждой задаче в отдельности. Метод Эйлера, развитый также его преемниками, основывался на едином подходе к решению различных задач механики.

Через восемь лет после выхода «Механики» Эйлер впервые дает точную формулировку принципа наименьшего действия. Идея принципа зародилась в оптике. Ферма в 1662 г. вывел закон преломления света, исходя из принципа кратчайшего времени. Затем эта идея была воспринята И. Бернулли, а в 1744—1746 гг. ее развил применительно к механике П. Мопертюи. Принцип Мопертюи гласит: когда в природе происходит некоторое изменение, количество действия, необходимое для этого изменения, является наименьшим возможным. Свой принцип Мопертюи обосновывал с помощью метафизических и теологических доводов. Математическое выражение принципа Мопертюи было весьма ограниченным: в случае механического движения он понимал под действием величину mvs, т. е. произведение массы, скорости и пути, проходимого телом. В 1744 г. Эйлер самостоятельно пришел к формулировке принципа наименьшего действия в ходе занятий проблемами вариационного исчисления. Согласно Эйлеру, для траектории, описываемой точкой под действием центральных сил, наименьшее значение должен иметь интеграл

$$\int mvds = \int mv^2\,dt,$$

или, как он выражался сам, «сумма всех живых сил». На протяжении 1746—1749 гг. Эйлер написал несколько работ о фигурах равновесия гибкой нити, где принцип наименьшего действия получил применение к задачам, в которых действуют упругие силы. Дальнейшее продвижение здесь было достигнуто трудами Лагранжа.

Своему труду по динамике твердого тела — «Теория движения твердых тел» («Theoria motus corporum rigidorum», 1765) Эйлер предпослал большое введение из 6 глав, в котором вновь изложил динамику точки, внеся в нее по сравнению с «Механикой», вышедшей почти 30 годами раньше, некоторые улучшения. В частности, уравнения движения точки даны здесь в проекциях на оси неподвижных прямоугольных координат (а не оси подвижного естественного трехгранника, связанного с точками траектории, как в «Механике»). Следующий за введением «Трактат о движении твердых тел» состоит из 19 глав. В основу изложения положен принцип Д'Аламбера. Коротко остановившись на поступательном движении твердого тела и введя понятие центра инерции, Эйлер рассматривает вращения вокруг неподвижной оси и вокруг неподвижной точки. Здесь даны формулы для проекций мгновенной угловой скорости, углового ускорения на оси координат, используются так называемые углы Эйлера (впервые введенные им в 1748 г.) и т. д. Далее изучены свойства момента инерции, после чего Эйлер переходит к динамике твердого тела. Он выводит дифференциальные уравнения вращения твердого тела вокруг его центра тяжести и решает их для простейшего частного случая при отсутствии внешних сил. Так возникла знаменитая и столь важная в теории гироскопа задача о вращении твердого тела около неподвижной точки. Это исследование было продолжено вскоре Лагранжем, а впоследствии С. В. Ковалевской и рядом других русских и зарубежных ученых.

Эйлеру принадлежат также выдающиеся работы по небесной механике, о которых будет сказано в пятой главе.

РАБОТЫ Д. БЕРНУЛЛИ И Л. ЭЙЛЕРА ПО МЕХАНИКЕ ЖИДКОСТЕЙ И ГАЗОВ

Механика жидких и газообразных тел была в более широком объеме, чем раньше, разработана лишь в середине XVIII в. Главная заслуга в этом принадлежит Д. Бернулли и Л. Эйлеру. Д. Бернулли проработал в России почти восемь лет (1725—1733), заполненных интенсивными научными занятиями по математике и механике. Летом 1733 г. он возвратился в Базель. Тесную связь с Петербургской академией Д. Бернулли поддерживал до конца жизни. В записках Петербургской академии напечатана большая часть мемуаров Бернулли (50 из 75). Главным делом петербургских лет явилась монография по гидродинамике, к подготовке которой он приступил в конце 1728 или начале 1729 г.

«Гидродинамика, или записки о силах и движениях жидкостей» («Hydrodynamica sive de viribus et motibus fluidorum commentarii», 1738) представляет собой обширный труд из 13 частей. В начале своего труда Бернулли пишет, что под гидродинамикой он понимает механику жидкостей в целом, состоящую из двух частей — гидростатики, т. е. учения о равновесии покоящихся жидкостей, и гидравлики, в которой рассматривается движение жидкостей. Каждая часть нуждается в помощи другой, и автор их соединил, поскольку этого требует порядок вещей, под более общим названием гидродинамики.

Труд Бернулли, опирающийся на его многочисленные опыты, а в теоретической части — на восходящий к Лейбницу принцип сохранения живых сил, представляет собой дальнейшее развитие идей и концепций в механике. Здесь, под другим названием, появляются понятие работы и, при сравнении достоинств различных машин, понятие коэффициента полезного действия; заложены основы кинетической теории газов и дан оригинальный вывод известного закона Бойля—Мариотта; здесь впервые решается важная задача об определении давления в установившемся потоке несжимаемой жидкости постоянной плотности ρ, движущемся со скоростью v. С помощью простых и наглядных физических соображений



Д. Бернулли

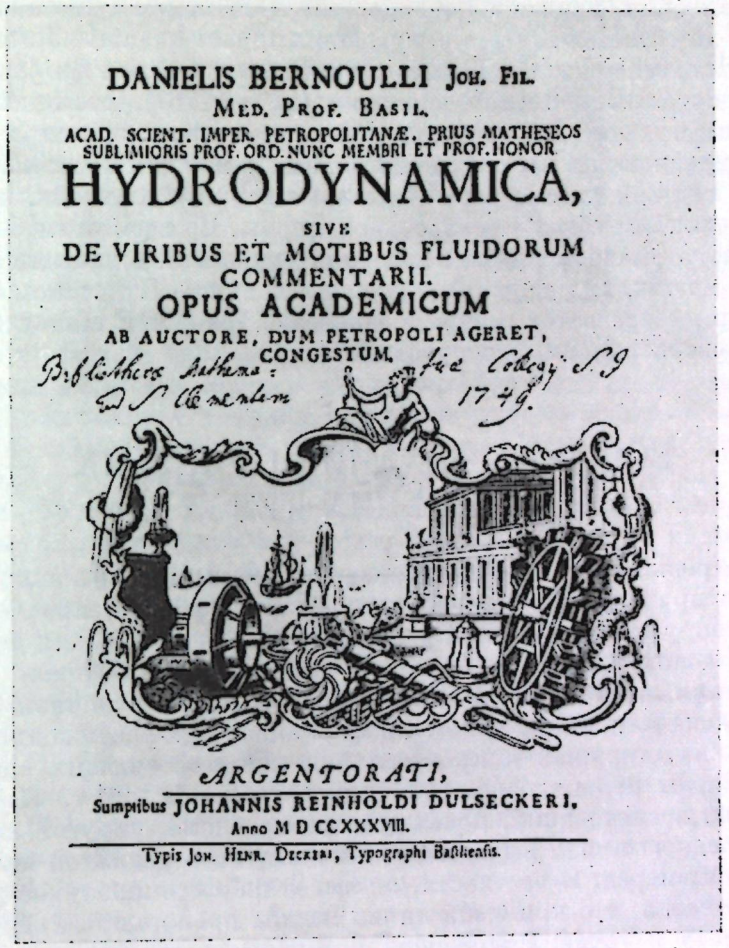
выводится знаменитое уравнение Бернулли: $v^2/2 + p/\rho + gh = \text{const}$, где g — ускорение силы тяжести и h — высота относительно горизонтальной плоскости, с учетом сил трения. Это уравнение получило самое широкое применение в гидротехнике и является одним из основных в динамике газов.

Следующий этап развития гидродинамики связан с именем Эйлера. Эйлер подходил к своим исследованиям по гидродинамике постепенно. Он приступил к ним уже в первые годы работы в Петербургской академии наук по примеру Д. Бернулли, с которым был в большой дружбе.

С середины 30-х годов XVIII в. Эйлер занимался подготовкой большого труда по теории корабля. Интерес к теоретическим проблемам кораблестроения, зародившийся еще в древности (его можно усмотреть уже у Архимеда), особенно возрос в новое время. Когда Россия приступила к созданию большого собственного флота и стала морской державой, эти проблемы возникли и здесь. Работу по теории корабля Эйлер предпринял по прямому поручению Петербургской академии. Книга была в основном закончена в 1743 г., но вышла несколько позднее. «Морская наука» («Scientia navalis», 1749) состоит из двух томов. В первом изложена общая теория равновесия и устойчивости плавающих тел, во втором теория применяется к анализу вопросов, связанных с конструкцией и нагрузкой кораблей. Это сочинение занимает видное место как в развитии теории устойчивости и теории малых колебаний, так и в кораблестроении.

В 40-е годы Эйлеру пришлось не раз сталкиваться с вопросами не только гидро-, но и аэромеханики. Такие вопросы возникали, в частности, в области баллистики. Впервые Эйлер занялся баллистикой в 1727—1728 гг. в связи с опытами Д. Бернулли, изучавшего движение сферического снаряда, выпущенного в вертикальном направлении. Затем Эйлер рассмотрел в своей «Механике» вопрос о движении тела в среде, сопротивление которой пропорционально той или иной степени скорости. В бытность свою в Берлине Эйлер перевел с английского на немецкий язык вышедшие в 1742 г. «Новые принципы артиллерии» («New Principles of Gunnery») Б. Робинса, которые дополнил собственными исследованиями по внешней и внутренней баллистике (Берлин, 1745). Дополнения Эйлера и по значению и по объему значительно превосходят труд Робинса.

С задачами механики жидкостей Эйлер вновь встретился в 1749 г. при консультировании работ по проведению канала между Гавелем и Одером,



DANIELIS BERNOULLI Joh. Fil.
Med. Prof. Basil.
ACAD. SCIENT. IMPER. PETROPOLITANÆ. PRIUS MATHESEOS SUBLIMIORIS PROF. ORD. NUNC MEMBRI ET PROF. HONOR.
HYDRODYNAMICA,
SIVE
DE VIRIBUS ET MOTIBUS FLUIDORUM COMMENTARII.
OPUS ACADEMICUM
AB AUCTORE, DUM PETROPOLI AGERET, CONGESTUM.
ARGENTORATI,
Sumptibus JOHANNIS REINHOLDI DULSECKERI.
Anno M D CCXXXVIII.
Typis Joh. Henr. Deckeri, Typographi Basiliensis.

Титульный лист «Гидродинамики» Д. Бернулли. 1738 г.

а затем после изобретения Я. Сегнером гидравлической машины, известной теперь каждому школьнику под именем Сегнерова колеса. В первоначальный вариант машины Сегнера Эйлер внес большие усовершенствования, и именно в таком виде эта машина явилась прообразом реактивных гидравлических турбин, строить которые начали три четверти века спустя. В работе «Более полная теория машин, приводимых в движение реакцией воды» («Théorie plus complète des machines qui sont mises en mouvement par la réaction de l'eau», 1754) Эйлер положил начало теории и методам расчета гидравлических турбин.

В 50-е годы Эйлер подготовил несколько больших работ по гидромеханике. Первая из них — «Начала движения жидкостей» («Principia motus fluidorum») — была напечатана в трудах Петербургской академии за 1756—1757 гг. В ней излагались общие начала гидро- и аэростатики, выводилось уравнение неразрывности для жидкости с постоянной плотностью.

Три других мемуара Эйлера: «Общие начала состояния равновесия жидкостей», «Общие начала движения жидкостей» и «Продолжение исследо-

ваний по теории движения жидкостей» («Principes généraux de l'état d'equilibre des fluides», «Principes généraux du movement des fluides», «Continuation des recherches sur la théorie du mouvement des fluides»), вышедшие в записках Берлинской академии (1755—1757), составили основополагающий трактат по гидродинамике; во втором из них в частности выведены уравнения в частных производных движения несжимаемой жидкости, а в третьем рассмотрены некоторые вопросы движения жидкостей и газов в узких трубках произвольной формы. Со всем этим была связана разработка Эйлером приемов решения уравнений в частных производных. Одно из таких уравнений, изучавшееся также Пуассоном, Риманом, Дарбу и др., встречается теперь в задачах о движении газа с околозвуковыми и сверхзвуковыми скоростями.

ВОПРОСЫ МЕХАНИКИ УПРУГИХ И ГИБКИХ ТЕЛ

Еще в древности и в средние века были установлены некоторые эмпирические правила, соблюдение которых обеспечивало прочность и надежность сооружений. Галилей в «Беседах и математических доказательствах, касающихся двух новых наук» (1638) положил начало учению о сопротивлении материалов. В 1678 г. Р. Гук нашел основной закон линейной зависимости между силой и деформацией при растяжении пружин, струн, тонких стержней и произвел ряд соответствующих опытов. Так были заложены первые основы теории упругости. В 1691 г. Я. Бернулли начал серию исследований, посвященных проблеме упругой линии. Некоторые предпосылки и выводы его неточны, но в целом он значительно продвинулся вперед. В частности, он вывел дифференциальное уравнение задачи и доказал, что кривизна линии изгиба пропорциональна изгибающему моменту в точке: положение, которое использовали затем другие ученые и среди них Эйлер.

Эйлер рассмотрел задачу об упругих кривых в большом приложении к «Методу нахождения кривых линий», об основном содержании которого говорилось в предыдущей главе. Работа эта была вызвана замечанием, сделанным Д. Бернулли, в письме к Эйлеру от 22 октября 1742 г.: Бернулли предложил применить к задаче изопериметрический метод, т. е. свести ее к задаче о минимуме некоторого интеграла.

Реализуя эту идею, Эйлер по-новому вывел дифференциальное уравнение Я. Бернулли и решил его при различных граничных условиях. В другом отделе того же приложения Эйлер рассмотрел продольный изгиб колонны под действием осевой сжимающей силы и получил выражения для предельной нагрузки, превышение которой приводит к изгибу; эта формула имеется теперь во всех учебниках сопротивления материалов и технических справочниках. Затем Эйлер переходит к изучению колебаний стержней, начиная со стержня, в естественном состоянии прямого и с жестко заделанным в вертикальном положении верхним концом. Эта задача приводится к интегрированию обыкновенного линейного однородного дифференциального уравнения четвертого порядка. В заключение разобраны задачи о колебании стержней при других предположениях о закреплении их концов.

Исследования Д. Бернулли по колебаниям стержней изложены главным образом в двух его статьях: «Физико-геометрические рассуждения о колебании и звучании стержней» («De vibrationibus et sono laminarium elasticarum commentationes physico-geometricae») и «Механико-геометрические исследования о многообразных звуках, различным образом издаваемых упругими стержнями, иллюстрированные и подкрепленные акустическими опытами» («De sonis multifaris quos laminae elasticae diversimode edunt disquisitiones mechanico-geometricae experimentis acusticis illustratae et confirmatae»). Обе статьи были написаны в самом начале 40-х годов, но увидели свет только в записках Петербургской академии, вышедших в 1751 г. Д. Бернулли вывел линейное дифференциальное уравнение четвертого порядка для гармонических колебаний горизонтального стержня и дал его общее решение, разобрал несколько задач с различными граничными условиями, соответствующими защемленному, опертому и свободному концам, и вывел уравнения частот колебаний. Теоретические выводы Бернулли сопоставлял с данными опытов над длинными стержнями. Во второй статье рассмотрена акустическая сторона вопроса.

Д. Бернулли принадлежат и другие важные работы по колеблющимся системам. Отметим из них две тесно связанные между собой статьи: «Теоремы о колебаниях тел, соединенных гибкой нитью и вертикально подвешенных к цепи» и «Доказательства своих теорем о колебаниях тел, соединенных гибкой нитью и вертикально подвешенных к цепи» («Theoremata de oscillationibus corporum filo flexili connexorum et catenae verticaliter suspensae»; «Demonstrationes theorematum suorum de oscillationibus corporum filo flexili connexorum et catenae verticaliter suspensae»), помещенные в записках Академии соответственно за 1732—1733 гг. и за 1734—1735 гг. В них рассмотрены малые колебания дискретных систем грузов, связанных с вертикально подвешенными невесомыми гибкими нитями, а затем, как предельный случай,— малые колебания однородной тяжелой гибкой цепи (нити).

Особое значение имели работы Эйлера и Д. Бернулли о малых колебаниях натянутой однородной струны, закрепленной на концах. Эйлеру и Д. Бернулли принадлежит также решение нескольких трудных задач о малых колебаниях воздуха в трубах, которыми занимался также Лагранж. Мы не касаемся здесь задачи о колебании струны, о которой говорилось в третьей главе.

ДРУГИЕ ПРОБЛЕМЫ РАЗВИТИЯ МЕХАНИКИ

Как уже говорилось, в 1722 г. вышел первый русский учебник механики, содержавший начальные сведения о простейших машинах. Благодаря учреждению Петербургской академии наук и университета при ней, а затем и других учебных заведений преподавание механики поднялось на более высокий уровень. Главную роль в этом сыграли сотрудники и воспитанники Академии, а позднее и Московского университета.

Для преподавания и популяризации механики многое сделал Г. В. Крафт. В 1738 г. в Петербурге вышло его «Kurze Einleitung zur Erkenntniss der einfachen Maschinen und derselben Zusammensetzung» («Краткое введение в изучение простых машин и их устройство»), одно-

КНИГА

СОДЕРЖАЩАЯ ВЪСЕБѢ

УЧЕНІЕ

О РАВНОВѢСІИ И ДВИЖЕНІИ

ТѢЛЪ,

СОЧИНЕНІЯ

Семена Котельникова.



ВЪ САНКТПЕТЕРБУРГѢ

при морскомъ шляхетномъ кадетскомъ

Корпусѣ 1774 года.

Титульный лист
«Книги, содержащей в себе учение о равновесии и движении тел» С. К. Котельникова. 1774 г.

временно изданное по-русски в переводе В. Е. Адодурова. В 1740 г. Крафт выпустил на латинском языке учебник физики «Experimentorum physicorum praecipuorum brevis descriptio in usum auditorum suorum», русский перевод которого появился только в 1799 г. под названием «Краткое начертание физики, о физике вообще, о всеобщих свойствах естественных тел, о свойствах воздуха, воды, огня, света, магнита и електрической силы». Мы упоминаем об этом учебнике потому, что он в основном посвящен механике — законам движения тел без сопротивления и в сопротивляющейся среде, простым машинам и т. д.

Многие годы математику и механику в академическом университете читал С. К. Котельников. В своей «Книге, содержащей в себе учение о равновесии и движении тел» (СПб., 1774) Котельников во многом следует за Эйлером, в частности в основных определениях и аксиомах. Учебник

посвящен преимущественно статике и простым машинам — этому отведено 12 глав из 14. В доказательствах теорем о равновесии машин Котельников опирается на принцип возможных перемещений. Большое внимание уделяется равновесию нитей, причем используется аппарат исчислений бесконечно малых.

Несколько раньше руководства Котельникова вышли в свет «Механические предложения» (СПб., 1764) Я. П. Козельского. В отличие от учебника Котельникова это руководство охватывало не только статику, но и динамику. Первые пять глав посвящены теоретическим вопросам, среди них движению маятников, удару и т. д., три следующие — машинам. Особое внимание уделено трению. Руководства Козельского и Котельникова предназначались для высшей школы.

На рубеже XVIII—XIX вв. в Академию наук были избраны С. Е. Гурьев и В. И. Висковатов, сыгравшие заметную роль в развитии механики в России. В теоретической механике, как и в математике, Гурьева более всего интересовали общие вопросы — основы науки. Так, в статье «Прямое и обратное доказательство общего принципа равновесия, с приложением этого принципа к машинам», напечатанной в «Мемуарах» Петербургской академии наук (1805), Гурьев подчеркивает важность сведе́ния математических наук к общим правилам и отмечает неудовлетворительное в этом отношении положение учения о равновесии. Гурьев рассматривал и частные задачи механики, например действие машины Атвуда. В работе «О нынешнем состоянии вопроса о сопротивлении жидких тел» (1804) он указывал на несоответствие недавних теоретических исследований, проведенных во Франции, действительным условиям движения корабля и настаивал на необходимости новых экспериментов. Плодотворной была преподавательская деятельность Гурьева. Первая часть его учебника «Основания механики» (СПб., 1815) вышла из печати после его смерти. Здесь со свойственной автору подробностью и тщательностью изложена статика, включая вопрос о равновесии гибкой нерастяжимой нити. Учебник остался незаконченным. Висковатов оставил след в преподавании механики переводом на русский язык (по совету Гурьева) хорошего учебника Ш. Боссю «Основы механики» («Traité élémentaire de mécanique et dynamique») с многочисленными собственными пояснениями и добавлениями по вопросам статики и динамики.

В Московском университете механика входила в курс прикладной математики, который сначала вел воспитанник Геттингенского университета И. А. Рост. После Роста курс перешел к его ученику, воспитаннику Московского университета М. И. Панкевичу, который в 1788 г. защитил здесь магистерскую диссертацию на тему «О главнейших гидравлических машинах». В начале XIX в. Панкевич несколько расширил программу по механике, и в этом за ним последовал его ученик и преемник Ф. И. Чумаков, работавший в университете до 1832 г. Однако решительные сдвиги в преподавании механики в Московском университете приходятся на 30-е годы XIX в., когда в нем начал работать Н. Д. Брашман.

Деятельность петербургских и московских ученых во второй половине XVIII и начале XIX в. имела серьезное значение для развития механики. Однако со смертью Эйлера (1783) уровень научных исследований по механике, как и по математике, в Академии наук снизился. Возрождение глубоких теоретических исследований по механике связано с развитием университетской науки в России в первые десятилетия XIX в.

Глава пятая

АСТРОНОМИЯ

Рост товарных отношений и морской торговли в XVI—XVII вв. дал новый толчок развитию астрономии в наиболее развитых странах Европы. Для разработки научных основ картографии и обеспечения навигации точными методами кораблевождения и астрономическими таблицами стали строить государственные обсерватории, крупнейшие из которых — Парижская и Гринвичская — возникли в конце XVII в. В научном плане решающее значение для развития астрономии XVIII в. имела механика Ньютона, которая в отличие от картезианского учения количественно и точно описывала самые запутанные и сложные движения небесных тел.

Большое значение для картографии имели градусные измерения, проведенные в первой половине XVIII в. и подтвердившие предсказанную Ньютоном сплюснутость Земли у полюсов. Крупнейшим научным предприятием были организованные в ряде стран Европы, в том числе в 50—60-е годы XVIII в. в России, астрономические экспедиции, определившие основные расстояния между телами солнечной системы, необходимые для составления более точных астрономических таблиц. Важное значение имели исследования по теории движения небесных тел, и прежде всего Луны, по которой определялась долгота в море. Большое внимание уделялось усовершенствованию астрономических инструментов. Начали закладываться первые основы астрофизики.

Астрономические исследования в России в XVIII в. велись главным образом в Петербургской академии наук. За короткий срок петербургские ученые добились больших успехов во всех отраслях астрономии. Удачным оказалось приглашение в Петербург Ж. Н. Делиля, воспитавшего целое поколение русских астрономов. Расцвет петербургской астрономической школы в середине XVIII в. был связан с деятельностью Эйлера и Ломоносова. После их смерти тематика научных работ в Петербургской академии наук заметно сузилась.

Потребность в распространении астрономических знаний и проведении астрономических наблюдений была осознана в России еще до открытия Академии наук, в самом начале петровских реформ. Сам Петр I собирал астрономические книги и инструменты, проводил эпизодические наблюдения. Большим любителем астрономии был его ближайший соратник Я. В. Брюс, проводивший в своей домашней обсерватории астрономические наблюдения и прославившийся изданием в 1709—1715 гг. «Брюсова календаря». Небольшая обсерватория была также и в Ораниенбаумском дворце А. Д. Меншикова. Примеру Петра I и его сподвижников следовали и другие образованные люди того времени.

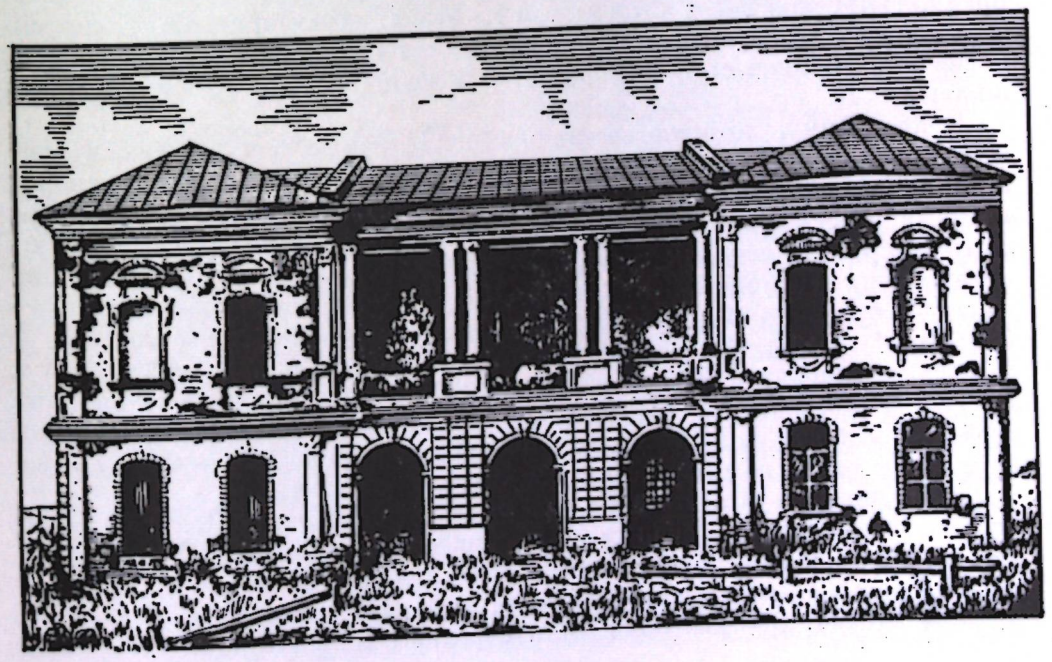
В начале XVIII в. в России появились первые книги, содержавшие сведения по астрономии. Это были «Арифметика» Магницкого (1703), а также переводы: «Geographia generalis» («Всеобщая география») Б. Варениуса (1718), «Kurtze Fragen aus der neuen und alten Geographie» («Крат-

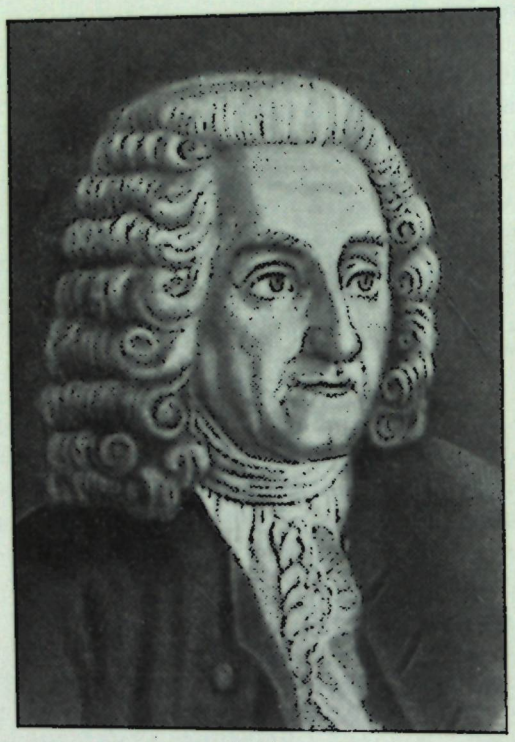
кие вопросы из новой и древней географии») И. Хюбнера (1719) и «Cosmotheoros, sive de terris coelestibus, earumque ornatu conjecturae» («Космотеорос, или предположения о небесных мирах и их устройстве») Х. Гюйгенса; перевод этой книги был сделан Брюсом в 1717 г.

С 1701 г. московская Навигацкая школа начала подготовку профессиональных кадров штурманов и геодезистов, а в Сухаревой башне, где эта школа помещалась с 1702 г., была построена учебная обсерватория. Учеников школы обучали определению широт по астрономическим наблюдениям и вычислению долгот. Преподававший в школе А. Д. Фарварсон составлял календари и предвычислял затмения. Начала астрономии и геодезии изучались и в Морской академии, которая была открыта в Петербурге в 1715 г.

С 1715 г. силами выпускников Навигацкой школы стали проводиться геодезические экспедиции, организованные с большим размахом. Им было поручено нанести на карту всю территорию России от Прибалтики до Курильских островов и от Северного Ледовитого океана до Черного и Каспийского морей. Однако, вопреки ожиданиям, карты, составленные в результате этих экспедиций, оказались недостаточно точными из-за неточного определения географических координат мест. С 1719 г. по указу Петра I в Морской академии было введено преподавание «большой астрономии», предусматривавшей освоение методов определения не только широт, но и долгот мест на основании непосредственных астрономических наблюдений. Для академии была закуплена большая партия первоклассных астрономических инструментов. Однако Фарварсон не справился с возложенной на него задачей организации астрономических и геодезических наблюдений. Для ее выполнения необходимы были

Дом Я. В. Брюса в Глинках (под Москвой), где находилась его последняя домашняя обсерватория





Ж. Н. Делиль

гораздо более солидная научная база и высококвалифицированные кадры, которых Морская академия в то время не имела. Такой базой явилась с первых же лет своего существования Петербургская академия наук.

Первым профессором астрономии в Петербургской академии стал Ж. Н. Делиль. Ученик основателя Парижской обсерватории Дж. Д. Кассини, профессор Коллеж де Франс, Делиль принадлежал к семье потомственных ученых. Он прославился как искусный наблюдатель, вычислитель и экспериментатор. Он был убежденным ньютонианцем и не мог рассчитывать на успешное осуществление своих обширных научных замыслов во Франции, где господствующее положение занимали тогда сторонники Декарта. Поэтому он с радостью принял приглашение Петра I и проработал в России с 1726 по 1747 г. В Петербурге Делиль получил полную свободу и материальные средства для проведения своих исследований. Отказавшись от картезианских традиций, мешавших французским ученым, Делиль в то же время избежал чрезмерного преклонения перед авторитетом Ньютона, характерного для английских ученых того времени. Организаторские и педагогические способности позволили Делилю стать основателем петербургской астрономической школы.

В программу, которую составил себе Делиль, входили: 1) градусные измерения вдоль петербургского меридиана и параллели для выяснения истинной фигуры Земли; 2) астрономическое определение широт и долгот главных пунктов страны и проведение триангуляции для составления точной карты; 3) создание Петербургской астрономической обсерватории, организация систематических наблюдений и увязка их с наблюдениями других обсерваторий Европы; 4) определение точного расстояния до Солнца, Луны и других небесных тел и разработка теории их движения; 5) исследование атмосферной рефракции; 6) подготовка русских научных кадров; 7) составление трактата по астрономии, включающего основы этой науки и всю ее историю. Эта программа во многом определила направление работ петербургских астрономов XVIII в.

Петербургская обсерватория, построенная по проекту Делиля, разместилась в трех этажах башни над зданием Кунсткамеры. Первоначальное оборудование составили привезенные Делилем из Парижа 18″ квадрант Шапото и астрономические часы работы известного французского мастера Этьена. Обсерватории были переданы большие по тому времени

трубы в 15, $20^1/_2$ и 22 фута из личной коллекции Петра I и много астрономических инструментов, часов и приборов из Морской академии. В дальнейшем оборудование постоянно пополнялось. За его исправностью следили возглавлявший академические мастерские А. К. Нартов и приехавший вместе с Делилем ученик Этьена П. Виньон.

На еще не достроенной обсерватории были начаты систематические наблюдения, определение координат Петербурга, составление календарей и таблиц, велись работы по усовершенствованию инструментов и методов наблюдения. С 1739 г. вошла в строй своеобразная служба времени, оповещавшая жителей Петербурга выстрелом сигнальной пушки о наступлении полудня, момент которого определялся по точным часам. Кроме того, в обсерватории обучались астрономии геодезисты и штурманы из Морской академии. О размахе этих работ говорит тот факт, что все участники Второй Камчатской, или Великой Северной, экспедиции 1733—1743 гг. прошли астрономическую подготовку именно здесь.

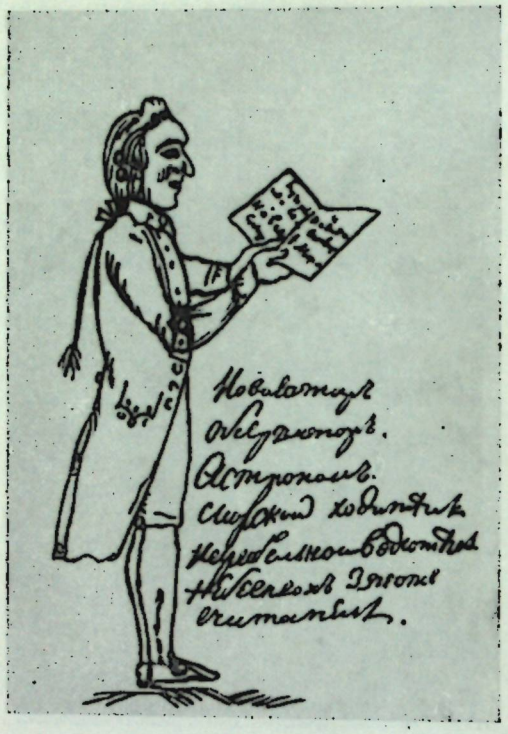


П. Б. Иноходцев

В 1727—1766 гг. в Петербургской обсерватории велись наблюдения звезд, солнечных и лунных затмений, затмений спутников Юпитера, покрытий звезд и планет Луной, прохождения Венеры и Меркурия по диску Солнца и т. п. Наблюдались также солнечные пятна (до 1747 г.), планеты, кометы, гало и полярные сияния (до 1765 г.). Все астрономические наблюдения сопровождались метеорологическими наблюдениями. Работы обсерватории регулярно освещались в записках Петербургской академии наук. Широкую публику знакомил с новостями астрономии научно-популярный журнал, издававшийся Академией наук на русском языке.

Помимо штатных сотрудников в работах обсерватории участвовали и другие ученые. Выверкой хода маятниковых часов занимались Я. Герман, Д. Бернулли и Л. Эйлер. Делиль, Г. В. Крафт, Ф. Х. Майер, Эйлер, хирург и анатом И. Г. Дювернуа, а позднее Рихман и Ломоносов проводили эксперименты по рефракции света в линзах, дифракции света и другие исследования по оптике. Для этих работ была специально оборудована камера-обскура на втором этаже башни Кунсткамеры. В наблюдениях солнечных пятен, теорию движения которых разрабатывал Делиль, в 1736 г. участвовал и Эйлер.

Позднее в обсерватории проводили наблюдения приглашенный из Германии астроном Г. Гейнзиус, геодезисты из Морской академии А. Д. Кра-



Н. Г. Курганов («навигатор, обсерватор, астроном, морской ходитель, корабельный водитель, небесных звезд считатель») с руководством по навигации в руках. Зарисовка, сделанная в 1789 г. одним из его учеников

сильников и Н. Г. Курганов. С 1744 г. в обсерватории начал работать близкий друг и соратник Ломоносова Н. И. Попов, с 1751 г. ставший профессором астрономии.

В декабре 1747 г. обсерватория сгорела, и полностью восстановить ее удалось лишь к концу XVIII в. Поэтому петербургским астрономам приходилось пользоваться, как правило, домашними обсерваториями. Обучение геодезистов и отдельные наблюдения в частично восстановленной обсерватории вели Попов, Красильников и другие. Первой после пожара работой обсерватории были наблюдения кольцеобразного солнечного затмения 25 июля 1748 г. и лунного затмения того же года. Эти наблюдения были выполнены по призыву Делиля, находившегося к этому времени уже в Париже, Поповым, И. А. Брауном и Ломоносовым. В 1755—1756 гг. приглашенный из Германии астроном А. Н. Гришов предложил перенести обсерваторию за город, но его проект тогда не был осуществлен.

Разнообразные наблюдения, выполненные петербургскими астрономами первой половины XVIII в., особенно Делилем, Красильниковым и Гейнзиусом, были опубликованы лишь частично. Однако и в рукописи, составившей несколько больших томов, они неоднократно использовались пулковскими астрономами XIX и XX вв., в том числе В. Я. Струве, О. В. Струве, Ф. А. Бредихиным и другими. Точность этих наблюдений получила высокую оценку специалистов.

В числе важных задач науки XVIII в. были астрономическое определение координат мест, так называемых астропунктов, и измерение расстояний до небесных тел. Определением астропунктов успешно занимались специалисты, прошедшие обучение в Петербургской обсерватории. Наиболее талантливыми из них оказались адъюнкт А. Д. Красильников и академик П. Б. Иноходцев, а также ученик Красильникова Н. Г. Курганов, преподававший в Морской академии. Итогом этих работ стал сводный каталог астропунктов России, составленный учеником Эйлера Румовским и опубликованный в Петербурге в 1780 г. под названием «Широты и долготы мест Российской империи, чрез наблюдения определенные». В 1786 г. этот каталог с дополнениями, содержавший уже 67 астропунктов, был опубликован в «Connaissance des temps» в Париже. Такого количества астрономически определенных пунктов не

имела в то время ни одна страна мира. Определение астропунктов продолжалось до конца XVIII в.

Большое внимание уделяли петербургские астрономы определению параллаксов небесных тел. Этим особенно много занимались Делиль, Попов, Курганов и Гришов. Делиль разработал метод определения параллакса Луны по одновременным наблюдениям ее из нескольких удаленных друг от друга пунктов. Этот метод был использован им в 1750—1754 гг. при обработке наблюдений Лакайля (Мыс Доброй Надежды), Ж. Лаланда (Берлин), Дж. Брэдли (Лондон) и Гришова (Петербург, остров Эзель), давших довольно точное значение параллакса Луны.

В 1740 г. Делиль разработал также метод определения параллакса Солнца из наблюдений прохождения по его диску Венеры или Меркурия. Этот метод с успехом применялся при обработке наблюдений прохождения Венеры по диску Солнца в 1761 и 1769 гг. В наблюдениях участвовали около 1200 человек из Франции, России, Англии и других стран, ездившие в далекие и малоизвестные районы. Особенно много экспедиций организовала Петербургская академия. В 1761 г. Россия имела 4 пункта наблюдений: Петербург (Красильников, Курганов), Иркутск (Попов), Селенгинск (Румовский) и Тобольск, где наблюдал приглашенный из Франции Ж. Шапп д'Отерош. В 1769 г. прохождение Венеры по диску Солнца наблюдалось уже в 7 пунктах: Петербурге, Якутске, Орске, Оренбурге, Поное, Гурьеве, Коле. Деятельное участие в организации этих экспедиций и обработке результатов принимали в 1761 г. Ломоносов, а в 1769 г. Л. Эйлер и Румовский. Так впервые было получено значение параллакса Солнца, равное 8″.67 (современное значение 8″.794 ± 0″.001).

Важное государственное значение в XVIII в. приобрели геодезия и картография. Составление первых русских географических карт с координатной сеткой Петр I поручил выпускнику Навигацкой школы И. К. Кирилову. Астрономическое руководство этими работами взял на себя Делиль, который с 1726 г. стал получать из Сената отдельные карты «для исправления». Вскоре он убедился в необходимости коренного изменения всех ведущихся работ. Для руководства ими он предложил создать при Академии наук Географическое бюро или Географический департамент, а разработанная Делилем в 1728 г. картографическая проекция должна была облегчить сведéние воедино карт отдельных районов. Делилева равнопромежуточная коническая проекция, в которой параллели изображались концентрическими окружностями, а меридианы — радиусами этих окружностей, оказалась наиболее удобной для столь вытянутой вдоль параллели страны, как Россия. (В настоящее время карты СССР также чаще всего составляются в конических проекциях.) Делиль не опубликовал описания своей проекции. Через 10 лет после его смерти это описание дал Л. Эйлер в статье «De projectione geographica De Lisliana in mappa generali Imperii Russici usitata» («О Делилевой географической проекции, использованной в генеральной карте Российской империи»), опубликованной в трудах Академии в 1778 г.

В 1737 г. в Петербурге была опубликована работа Делиля «Projet de la mesure de la terre en Russie» («Проект измерения земли в России»). Эта работа параллельно печаталась по-немецки и в русском переводе Тредиаковского. В ней излагался план градусных измерений, необходимых для составления точной карты страны. Ее основой должна была стать сеть астропунктов. Их предполагалось затем связать между собой

треугольниками, углы которых были бы измерены, а стороны — вычислены с помощью очень точного измерения стороны одного из треугольников, так называемого базиса. Предполагалось таким методом измерить возможно большую дугу вдоль петербургского меридиана и параллели. Дугу меридиана намечалось затем продлить, по договоренности с А. Цельсием, по всему Скандинавскому полуострову на территорию Швеции. Для проведения этих работ Делиль сконструировал специальные инструменты и продумал программу обучения наблюдателей. Все они должны были пользоваться стандартными инструментами и единым методом измерения.

Выполнение этого плана, помимо картографических задач, могло бы решить и вопрос о форме и размерах Земли. Предложенное Делилем сравнение градуса меридиана с градусом параллели или измерение достаточно большого отрезка одной из дуг должно было показать, имеет ли Земля форму сплюснутого у полюсов сфероида, согласно теории Ньютона, или же она вытянута у полюсов, как полагали последователи Декарта. Эйлер посвятил разработке этого метода работу «Metodus viri celeberrimi Leonh. Euleri determinandi gradus meridiani pariter ac paralleli Telluris secundum mensuram a celeb. De Maupertuis cum sociis institutam» («Метод знаменитого мужа Леон. Эйлера для определения градуса земного меридиана и параллели по измерению, проведенному знаменитым де Мопертюи с товарищами»), опубликованную в трудах Академии в 1750 г.

Градусные измерения, проведенные к началу XVIII в. в Голландии, Англии, Италии и других странах, не дали однозначного ответа о форме Земли. Измерения, выполненные в 1701—1718 гг. во Франции (при участии Делиля), казалось бы, говорили о вытянутости Земли. Этот вывод оспаривали сам Делиль и другие ньютонианцы. Для решения вопроса Парижская академия наук послала две градусные экспедиции. Одна из них работала в Перу под руководством П. Буге при участии Ш. Кондамина и Л. Годена в 1735—1743 гг., вторая— в Лапландии, под руководством Мопертюи при участии А. Клеро, Ш. Камю и А. Цельсия в 1736—1738 гг. Результаты этих экспедиций, наиболее полно проанализированные Клеро, окончательно доказали правоту Ньютона.

Делиль не мог стоять в стороне от этих задач и призывал Петербургскую академию принять участие в их решении. Однако проведение триангуляции в столь широких масштабах, как он предлагал, требовало слишком больших затрат и давало, как тогда считали, «излишнюю» точность. Поэтому интересный проект Делиля, намного опередивший свое время, не был осуществлен в XVIII в. Все свелось к измерению базиса на льду Финского залива (1737 и 1739 гг.) и привязке к нему нескольких треугольников вблизи Петербурга и на территории Прибалтики.

Тем не менее высокие требования, предъявлявшиеся Делилем к уровню астрономо-геодезических работ, значительно повысили точность карт, составленных под его руководством и при участии Эйлера, Гейнзиуса, Винсгейма и адъюнкта И. Ф. Трускотта. Как всегда, были и многочисленные добровольные помощники, в том числе Г. Ф. Миллер, Рихман, сыновья грузинского царя Вахтанга VI Бакар и Вахушти, исполнявшие, как и арабист Г. Я. Кер, также роль переводчиков. Результатом этих работ стал изданный в 1745 г. в Петербурге атлас Российской империи— первый сборник научно обоснованных карт страны, вычерченных в делилевой проекции.



Ф. И. Шуберт

Преемники Делиля на посту директора Географического департамента сохраняли заложенное им направление работ. Эту должность по традиции занимали профессора-астрономы (исключение составили лишь Эйлер, Ломоносов и историк Миллер). В 1757 г. Ломоносов разработал специальную инструкцию для упорядочения работы Географического департамента. Кроме того, он составил анкету для рассылки в провинцию, ответы на вопросы которой позволяли дополнять картографическое описание России. Расширение объема астрономо-геодезических измерений и неоднократное их повторение позволило уточнить карты страны. Атлас Российской империи переиздавался несколько раз (в 1776, 1792 и 1796 гг.). Однако постепенно число сотрудников Географического департамента стало сокращаться. Последний его директор ученик Эйлера Ф. И. Шуберт оказался и единственным сотрудником. Он завершил в 1798 г. «Генеральную карту России» — последнюю работу Географического департамента. С 1772 г. военно-геодезические съемки вдоль западных границ страны (правда, без триангуляционной основы) начал проводить также и Генеральный штаб, учрежденный еще в 1768 г. В 1798 г. ему были переданы и все дела упраздненного в том же году Географического департамента.

Благодаря централизации всех астрономо-геодезических работ и четкой их организации Россия, в начале XVIII в. не имевшая ни одной карты с градусной сеткой, к середине столетия располагала уже довольно точными картами, основанными на столь большом числе астропунктов, какого не было в то время ни в одной стране Западной Европы. Преимущества подобной организации работ были оценены правительством Франции, которое в 1795 г. учредило в Париже прославившееся впоследствии Бюро долгот — почти точный аналог петербургского Географического департамента.

Важное место в работах петербургских астрономов занимали исследования по теории движения небесных тел. Путь к изучению этого движения был открыт гелиоцентрической системой Н. Коперника. Первый шаг по этому пути сделал И. Кеплер, установив на основе наблюдений Тихо Браге законы эллиптического движения планет. Открыв закон всемирного тяготения, Ньютон предложил метод детального изучения самых сложных движений небесных тел. Его «Philosophiae naturalis principia mathematica» («Математические начала натуральной философии», 1687) заложили основы для создания новой науки, получившей название тео-

ретической астрономии, или небесной механики. Ее разработка в XVIII в. была тесно связана с проверкой, обоснованием и окончательным утверждением ньютоновского учения.

Петербургские астрономы XVIII в. активно участвовали в решении многих важных задач небесной механики. Первым организатором этих исследований был Делиль, разработавший методы определения гелиоцентрических координат солнечных пятен (1738) и орбит комет (1742—1744). К разработке различных вопросов небесной механики Делиль привлек Германа, Бернулли, Эйлера, Майера, Крафта, Гейнзиуса, Попова и других ученых. Во второй половине XVIII в. в этом направлении в России работали Л. Эйлер и его ученики И. А. Эйлер, В. Л. Крафт, А. И. Лексель и другие. Наиболее важное значение имели труды Л. Эйлера, который посвятил различным вопросам небесной механики более 70 работ, внесших фундаментальный вклад в развитие теории движения Солнца, Луны, планет, комет, а также в теорию вращения Земли и планет. Многие из полученных Эйлером результатов стали классическими и широко применяются в современной науке. Большое влияние на развитие небесной механики оказали конкурсы, объявлявшиеся Петербургской академией наук на 1751, 1755 и 1761 гг.

В своих выступлениях на заседаниях Петербургской академии и в оставшихся неопубликованными работах 1742—1744 гг.: «Nouvelles considérations sur la théorie des Comètes» («Новые рассуждения о теории комет») и «Nouvelle manière de considérer les mouvements apparents et réels des Comètes à l'égard du Soleil» («Новый способ рассмотрения видимых и истинных движений комет относительно Солнца») Делиль доказывал, что одних только законов Кеплера и закона всемирного тяготения должно быть достаточно для объяснения самых сложных движений небесных тел. Вскрывая несостоятельность попыток Ж. Кассини и других картезианцев объяснить эти движения с помощью теории вихрей, Делиль призывал математиков заняться детальной разработкой ньютоновой небесной механики. Лучшим доказательством правильности этой теории могло бы, по его мнению, стать предсказание на ее основе появления какой-либо из ранее наблюдавшихся комет.

На основе наблюдений комет 1742 и 1744 гг. Делиль, Гейнзиус и Крафт предложили свои методы определения орбит наблюдавшихся комет. К этим исследованиям Делиль привлек и Эйлера (находившегося тогда в Берлине), который разработал несколько интересных методов для определения кометных орбит по немногим наблюдениям. Методы Эйлера, усовершенствованные Ламбертом, до сих пор сохраняют свое значение. Опираясь на эти методы, Клеро предсказал появление кометы Галлея в 1759 г. Его работа «Recherches sur la comète des années 1531, 1607, 1682 et 1759 pour servir de supplément à la théorie, par laquelle on avait annoncé en 1758 le temps de retour de cette comète» («Исследования о комете 1531, 1607, 1682 и 1759 гг., служащие дополнением к теории, на основе которой было объявлено в 1758 г. о времени возвращения этой кометы»), вновь подтверждавшая справедливость учения Ньютона, была опубликована в Петербурге (1762) как сочинение, премированное на конкурсе 1761 г.

На основе разработанных Эйлером методов Лексель вычислил орбиты комет 1769 и 1770 гг. Комета 1770 (I) была названа его именем. В 1781 г. Лекселю удалось показать, что открытый 13 марта этого года В. Гершелем

объект — не комета, как полагали вначале, а планета. Планету назвали Ураном. Работа Лекселя «Recherches sur la nouvelle planète découverte par Mr. Herschel...» («Исследования о новой планете, открытой Гершелем...») была опубликована в Петербурге в 1783 г.

Значительно труднее было построить теорию Луны, поскольку на ее движение сильно влияет притяжение как Земли, так и Солнца, вследствие чего орбита Луны заметно отклоняется от кеплеровского эллипса. Учет всех таких отклонений, так называемых «неравенств» или «возмущений»,— очень сложная задача, полностью не решенная и сегодня. В XVIII в. разработке теории движения Луны уделялось особое внимание, так как она использовалась для составления астрономических таблиц, с помощью которых определялась долгота корабля в открытом море. Ввиду большой практической важности вопроса британский парламент в 1714 г. предложил премию в 10 тысяч фунтов стерлингов за разработку метода определения долготы в море с точностью до 0,5°. Вскоре премия была удвоена, однако решить эту задачу долгое время никому не удавалось.

Хотя еще Ньютон показал, как с помощью закона всемирного тяготения объяснить важнейшие неравенства в движении Луны, первая попытка Клеро в 1745 г. вычислить вращение большой оси лунной орбиты дала результат вдвое меньший, чем наблюдалось (20° в год вместо 40°). Это привело к мысли о неточности ньютоновского закона и необходимости введения в него эмпирических поправок. Для выяснения вопроса Петербургская академия по инициативе Эйлера предложила на 1751 г. конкурсную задачу: можно ли объяснить все неравенства в движении Луны с помощью только ньютоновской теории. Клеро удалось показать, что, учитывая отбрасывавшиеся при вычислении члены высшего порядка малости, можно получить хорошее согласие с наблюдениями. Его работа «Théorie de la Lune, déduite du seul principe de l'attraction réciproquement proportionnelle aux quarrés des distances» («Теория Луны, выведенная из одного лишь принципа притяжения, обратно пропорционального квадратам расстояний») по отзыву Эйлера была премирована и опубликована в Петербурге в 1752 г.

Л. Эйлер, некоторое время склонявшийся в пользу внесения в закон всемирного тяготения той или иной поправки, согласился с заключениями Клеро и предложил свою собственную так называемую первую теорию Луны: «Theoria motuum Lunae» («Теория движения Луны»). Работа была опубликована в 1753 г. в Берлине на средства Петербургской академии. В книге излагался оригинальный метод вычисления возмущений, так называемый метод вариации элементов орбиты, т. е. величин, определяющих форму, размеры и положение орбиты в пространстве. Полагая, что Луна все время движется по эллипсу, элементы которого постоянно меняются со временем, Эйлер довольно точно вычислил орбиту Луны на большой срок вперед. На основе этой теории Луны и своих наблюдений немецкий ученый И. Т. Майер составил весьма точные лунные таблицы. В 1765 г. Майеру (посмертно) и Л. Эйлеру присудили часть упомянутой премии британского парламента; большая часть премии была присуждена Дж. Гаррисону, изобретателю весьма точного хронометра.

Важное значение имела и вторая теория Луны, разработанная Эйлером, в подготовке которой ему помогали И. А. Эйлер, Г. В. Крафт и А. Лексель. «Theoria motuum Lunae...» («Теория движения Луны...») Эйлера была опубликована в Петербурге в 1772 г. Здесь предлагался новый метод вы-

числения всех неравенств сразу, причем движение Луны рассматривалось во вращающейся прямоугольной системе координат. Эти идеи Эйлера получили развитие лишь в XIX—XX вв. в работах Д.У. Хилла и Э. В. Брауна.

Интересному вопросу небесной механики был посвящен и конкурс Петербургской академии наук в 1757 г. Предлагалось объяснить, как лучше описывается осевое вращение планет — на основе теории вихрей или ньютоновской гравитации. Премия была присуждена работе И. А. Эйлера, написанной фактически под руководством и при участии отца: «Meditationes de motu vertiginis planetarum...» («Размышления о вращательном движении планет...»), опубликованной в Петербурге в 1760 г. Здесь также было показано, что ньютоновская гравитация достаточна для объяснения вращательного движения планет. Достижения небесной механики XVIII в. нашли отражение в трехтомной «Theoretische Astronomie» («Теоретическая астрономия») Шуберта, опубликованной в 1798 г. в Петербурге на немецком языке. По предложению П. С. Лапласа этот курс был переведен в 1822 г. на французский язык («Traité d'astronomie théorique»).

Большой интерес представляют астрофизические исследования петербургских ученых. Астрофизика как наука, опирающаяся на спектральный фотометрический и фотографический методы, сложилась лишь во второй половине XIX в. Ученые XVIII в. могли судить о явлениях, происходящих в атмосферах Солнца, планет и комет, лишь по аналогии с явлениями в атмосфере Земли. Основой для изучения свойств земной атмосферы служили систематические многолетние (1725—1765) наблюдения метеорологических явлений, полярных сияний, зодиакального света и атмосферного электричества. В них участвовали Ф. Х. Майер, Г. В. Крафт, Делиль, Рихман, Ломоносов, а также И. Г. Дювернуа, П. Леруа, Миллер и др.

Эти наблюдения, вместе с наблюдениями комет 1742 и 1744 гг., дали материал для создания теорий физической природы комет, полярных сияний и зодиакального света. Сходство явлений петербургские ученые видели в том, что все они возникали в атмосферах: Земли (полярные сияния), кометы (хвосты комет) и Солнца (зодиакальный свет). Работа Гейнзиуса «Beschreibung des im Anfang des Jahres 1744 erschienen Cometen» («Описание появившейся в начале 1744 года кометы»), опубликованная в Петербурге в 1744 г. также и в русском переводе Ломоносова, излагала интересные наблюдения, но не содержала новых идей, повторяя ньютоновскую теорию «испарения» атмосфер.

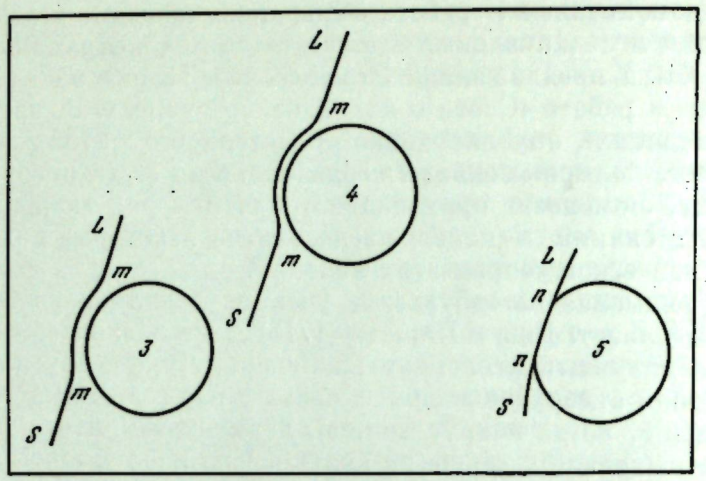
Работа Эйлера «Recherches physiques sur la cause de la queue des comètes, de la lumière boréale, et de la lumière zodiacale» («Физические исследования о причине хвоста комет, полярных сияний и зодиакального света»), опубликованная в Берлине в 1748 г., была уже совершенно оригинальной. Для объяснения сложных явлений, замеченных петербургскими учеными, Эйлер смело ввел «отталкивательную силу солнечных лучей», т. е. световое давление. Рассматривая движение частицы, вылетающей из атмосферы под воздействием силы тяжести и давления света, он показал, что кривизна хвоста кометы и его отклонение от Солнца определяется скоростью вылета частицы из ядра кометы, установил зависимость вида хвоста от формы ядра и объяснил образование нескольких полос (синхрон) в хвосте кометы 1744 г. Работа Эйлера предвосхитила ряд положений механической теории кометных форм, разработанной Бесселем и Бредихиным в XIX в.

Важным дополнением к работе Эйлера, считавшего, что кометы, полярные сияния и зодиакальный свет светятся лишь отраженным солнечным светом, была предложенная Ломоносовым теория их самосвечения. Она изложена в работе «Слово о явлениях воздушных, от электрической силы происходящих», опубликованной в Петербурге в 1753 г. Считая, что свечение комет, полярных сияний и зодиакального света имеет электрическую природу, Ломоносов оригинально объяснил ряд важных особенностей полярных сияний и комет, предвосхитив некоторые положения современной физической теории этих явлений.

Большое внимание петербургские ученые уделяли изучению физической природы планет. Еще в Париже (1715) Делиль заинтересовался возможностью обнаружить атмосферу на Венере, Луне и других планетах. Вопрос о лунной атмосфере возник в связи с наблюдениями полных солнечных затмений, когда вокруг Солнца, целиком закрытого темным диском Луны, вспыхивало светящееся кольцо. Оно наблюдалось лишь в моменты соединений Солнца и Луны, поэтому одни астрономы объясняли его наличием атмосферы Луны (Кеплер), а другие — атмосферы Солнца (Дж. Кассини). Физическая природа кольца была правильно объяснена лишь во второй половине XIX в. Оно оказалось нижним слоем солнечной атмосферы (хромосферой). В XVIII в. господствовала гипотеза Кеплера.

Делиль, отрицая существование атмосферы на Луне, объяснял кольцо дифракцией света. Свое мнение он подтверждал интересными экспериментами по дифракции света и моделированию затмений. Наблюдая в 1715 г. покрытие Венеры Луной, Делиль заметил некоторые цветовые эффекты, позволившие ему заподозрить существование атмосферы Венеры. Эти работы, однако, не получили в Париже признания. Делиль завершил и опубликовал их в Петербурге в 1738 г. в книге: «Mémoires pour servir à l'histoire aux progrès de l'astronomie, de la géographie, et de la physique» («Мемуары, служащие для истории развития астрономии, географии и физики»). В книге приводился и метод обнаружения дифракции или рефракции света в атмосфере планет. Для таких наблюдений, по мнению Делиля, лучше всего годились явления кольцеобразных солнечных затмений и прохождений планет по диску Солнца. Петербургские ученые, особенно Эйлер и Ломоносов, живо заинтересовались этой проблемой. Во время кольцеобразного солнечного затмения 25 июля 1748 г. удалось доказать отсутствие на Луне атмосферы. В этих наблюдениях участвовали многие астрономы. В Петербурге, как уже упоминалось, затмение наблюдали Попов, Браун и Ломоносов. Уехавшие из Петербурга Эйлер, Г. В. Крафт и Гейнзиус прислали туда свои работы.

В порядке подготовки к наблюдениям прохождения Венеры по диску Солнца в 1761 и 1769 гг. Берлинская (1754), Петербургская (1757—1760) и Парижская (1758) академии провели специальные конкурсы, посвященные осевому вращению Венеры и ее атмосфере. 26 мая 1761 г., наблюдая моменты соприкосновения Венеры с Солнцем, так называемые контакты, Ломоносов обнаружил при втором контакте «тонкое, как волос, сияние», а при третьем — светлый «пупырь», которые он правильно истолковал как эффект рефракции в атмосфере планеты. Работа Ломоносова «Явление Венеры на Солнце, наблюденное в Санкт-Петербургской императорской Академии наук майя 26 дня 1761 года» была опубликована в том же году в Петербурге, вместе с наблюдениями Красильникова и Курганова. Так завершились поиски атмосферы Венеры, начатые в 1715 г. Это



Чертежи М. В. Ломоносова к наблюдению прохождения Венеры по диску Солнца 26 мая (7 июня) 1761 г.

было крупнейшее астрофизическое открытие XVIII в. И хотя на него претендовали многие, детальный анализ, проведенный в наше время крупными специалистами, показал, что большинство наблюдателей XVIII в. отметили лишь явление «черной капли», которое было оптическим обманом. Те же немногие, кто заметили эффект рефракции, не дали ему столь четкого и исчерпывающего объяснения, как Ломоносов. Большой резонанс получила также работа другого петербургского ученого — Ф. Эпинуса, изучавшего лунный рельеф и выдвинувшего в 1780 г. «вулканическую» гипотезу его происхождения.

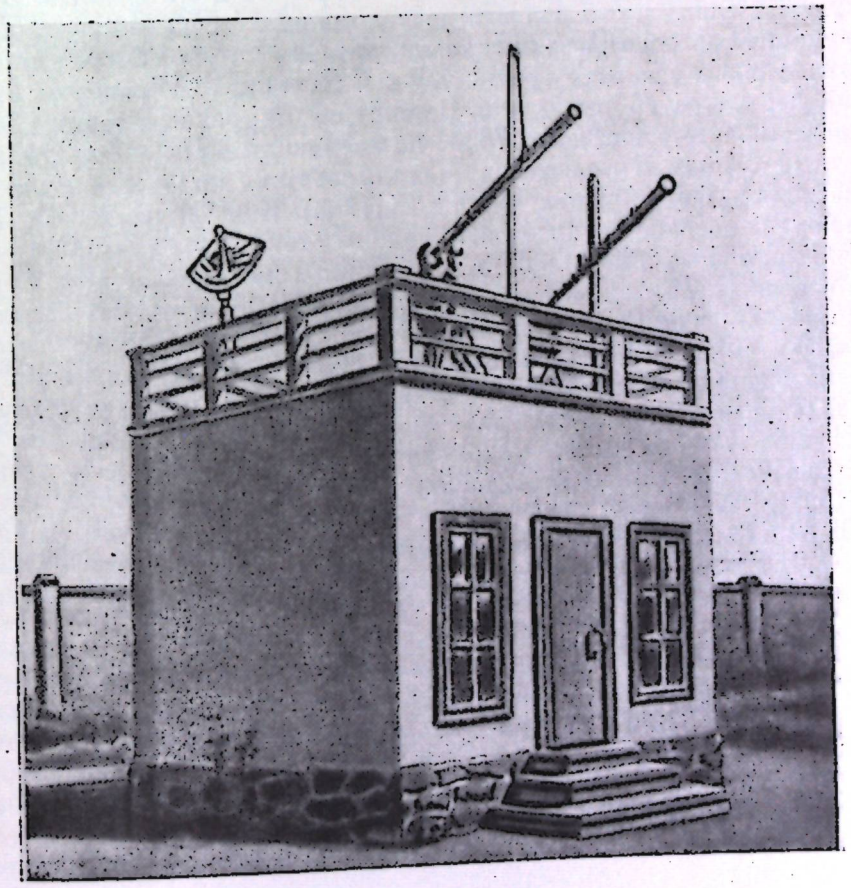
Изучение эффектов рефракции в атмосферах планет и эксперименты по дифракции света привели петербургских астрофизиков к разработке методов сравнения различных источников света по цвету и интенсивности. Эти работы, начатые Делилем, Л. Эйлером и Ломоносовым, были завершены Буге (Франция) и Ламбертом (Германия), создавшими основы фотометрии. Исследования по дифракции света и измерение скорости распространения в атмосфере грома и молнии, проведенные Делилем еще в 1712—1715 гг. в Париже, заставили его усомниться в правильности корпускулярной гипотезы света Ньютона. Эти эксперименты были повторены в Петербурге. Д. Бернулли и Л. Эйлер, проведя в 1727 г. опытные стрельбы, убедились в том, что свет распространяется в воздухе подобно звуку. После 1727 г. представление о свете как волновом явлении, распространяющемся аналогично звуку, стало среди ученых общепринятым.

И, наконец, для изучения тонких цветовых эффектов очень важно было иметь телескопы и микроскопы, не дающие окрашенного изображения. В XVIII в не умели строить таких инструментов, а Ньютон даже считал это принципиально невозможным. Изучая труды арабского оптика X в. Ибн ал-Хайсама и знакомясь с коллекцией глаз различных животных и человека (из анатомических препаратов Рюйша), Делиль, Ф. Х. Майер, Г. В. Крафт, Эйлер и Дювернуа убедились в том, что подбором нескольких линз можно улучшить четкость изображения. Эта идея легла в основу разработанной Л. Эйлером в 1747—1771 гг. знаменитой теории ахроматов, с

помощью которой удалось построить первые телескопы и микроскопы, практически не дающие окрашенного изображения объектов. Большое внимание усовершенствованию астрономических инструментов уделяли также Ломоносов, Эпинус и др.

Большое значение Делиль придавал истории науки, которая, по его мнению, помогает понять самые сложные идеи и их взаимосвязь, а также дает новые знания, способные «вдохновить гения». Предполагая написать всемирную историю астрономии, он собрал богатейшую коллекцию астрономических книг и рукописей. В нее входили копии всех рукописей Тихо Браге, архив Гевелия и других европейских астрономов, различные материалы по истории восточной астрономии и сведения из русских, грузинских и армянских книг и летописей, собранные с помощью Тредиаковского, Миллера, Ломоносова и учившихся в Петербурге грузин и армян. Все эти материалы использовались для обучения петербургских астрономов и для научной работы. Делиль мечтал также приобрести для Петербургской обсерватории рукописи Кеплера. Его мечта осуществилась лишь в 1774 г., когда при содействии Л. Эйлера были куплены у некоей «монетной советницы» Трюммер 18 томов этих рукописей. (В настоящее время они хранятся в Ленинградском отделении Архива Академии наук СССР.)

Домашняя обсерватория М. В. Ломоносова



Петербургские астрономы XVIII в. использовали историко-астрономические данные в своих публичных лекциях и популярных статьях. Первый публичный диспут в защиту учения Коперника был проведен Делилем и Д. Бернулли 2 марта 1728 г. Материалы диспута были опубликованы в том же году в Петербурге на французском языке: «Si l'on peut démontrer par les seuls faits astronomiques, quel est le vrai système du Monde? Et si la terre tourne, ou non? Discours lû dans l'Assemblée publique de l'Académie des Sciences le 2 mars 1728 par Mr. de l'Isle, avec la réponse de Mr. Bernoulli» («Можно ли доказать с помощью одних только астрономических фактов, какова истинная система мира? И вертится Земля или нет? Речь, прочитанная на публичном собрании Академии наук 2 марта 1728 г. г. Делилем, с ответом г. Бернулли»).

Большое значение имело издание переводов книг ряда французских авторов: «Entretiens sur la pluralité des mondes» («Разговоры о множественности миров») Б. Фонтенеля, подготовленных А. Д. Кантемиром в 1730 г. и изданной в 1740 г.; «Histoire des mathématiques» («История математики») Ж. Э. Монтюкла, частично содержавшей историко-астрономические данные и не полностью изданной П. Богдановичем в 1779—1781 гг.; «Histoire naturelle» («Естественная история») Бюффона, изданной в 1789 г. Румовским и Лепехиным. Историко-научные материалы умело популяризировал Курганов в своем «Письмовнике» (1769), выдержавшем много изданий.

С помощью жившего в Петербурге Вахтанга VI и его сыновей Бакара и Вахушти Делиль и его коллеги познакомились с содержанием персидской рукописи астрономических таблиц, автором которой был самаркандский правитель и ученый Улугбек (XV в.): Вахтанг VI перевел ее на грузинский язык еще до приезда в Петербург. По рекомендации Делиля востоковед Г. Я. Кер перевел в 1739 г. на латинский язык обширное введение к этим таблицам. К его переводу Делиль составил детальный обзор научного наследия Насир ад-дина ат-Туси (XIII в.), Ибн Юнуса (X в.), Улугбека и других астрономов древности, положив тем самым начало изучению в России восточных рукописей по астрономии и смежным наукам. Перевод Кера опередил известное издание А. Седийо: «Prolégomènes des Tables astronomiques d'Oloug-Beg» («Пролегомены к Астрономическим таблицам Улугбека»), вышедшее в Париже в 1847—1853 гг., более чем на 100 лет.

Исследования по истории астрономии, начатые петербургскими учеными первой половины XVIII в., были продолжены Иноходцевым, напечатавшим в 1779—1790 гг. несколько статей на эти темы, и учеником Курганова П. Я. Гамалеей, издавшим «Сокращенную историю астрономии» (1809). Эти ученые, так же как и авторы известных французских монографий по истории астрономии, изданных в XVIII—XIX вв.,— Лаланд, Лакайль, Байи, Деламбр, Араго, пользовались материалами коллекции Делиля.

Глава шестая

ФИЗИКА

Наиболее яркие достижения в развитии физики в России в XVIII в. приходятся на 40—60-е годы, после чего следует спад, продолжавшийся до начала XIX в.

Во второй четверти XVIII в. экспериментальная база развития физики была обеспечена созданием физического кабинета Академии наук. По специальному заказу для него были приобретены приборы у Гравесанда и Мушенбрука. физическому кабинету была передана также коллекция приборов и инструментов, собранная Я. В. Брюсом. Необходимые, иногда уникальные приборы изготовляли для академиков талантливые мастера бывших дворцовых мастерских, которые после образования Петербургской академии наук перешли в ее ведение.

Уставом Академии наук вначале было предусмотрено одно место для академика-физика, но фактически физикой нередко занималось большее число ученых. При выборе проблем исследования они руководствовались не только непосредственными практическими потребностями страны, но и задачами, стоявшими перед физикой в целом и продиктованными логикой развития науки и мировым техническим прогрессом.

ФИЗИКА В ТРУДАХ ПЕРВЫХ АКАДЕМИКОВ

В первые годы в Академии преобладало влияние картезианства. Г. Б. Бюльфингер предложил вихревую модель тяготения. Конкретные исследования Ньютона в области механики, применяя его методы, успешно развивали Эйлер и Д. Бернулли, но вслед за Декартом они отрицали существование пустоты и дальнодействия. Представление Эйлера о свете как продольных колебаниях эфира, положенное в основу его труда «Новая теория света и цветов» («Nova theoria lucis et colorum», 1746), содержится и в его более раннем «Рассуждении об огне, с объяснением его природы и свойств» («Dissertatio de igne in qua ejus natura et proprietates explicantur», 1739). Позднее, когда Б. Франклин выдвинул гипотезу об особой электрической жидкости, Эйлер объяснил электризацию нарушением равновесия того же светового эфира в соседних телах и его движением по законам гидродинамики, т. е. снова выступил против ньютонианских традиций. С помощью вихревых движений эфира Эйлер пытался объяснить и притяжение тел к центру Земли, однако созданная им гидродинамическая теория тяготения включала в себя гипотезу о еще более тонкой, чем эфир, и смешанной с ним магнитной материи. При рассмотрении тепловых явлений Эйлер также пользовался представлением об особой огненной материи, состоящей из быстро движущихся частиц, которые разрывают связи между частицами тела и приводят их в движение. Таким образом, Эйлер не избавился от всех «тонких материй», но в отличие от ньютонианцев он объяснял физические явления не присутствием этих

материй, а их движением, т. е. был близок к кинетической концепции картезианцев. В 1768—1772 гг. Эйлер изложил свою систему физики в «Письмах к одной немецкой принцессе о разных физических и философских вопросах» («Lettres à une princesse d'Allemagne sur divers sujets de physique et de philosophie»). «Письма» были переведены на русский и ряд других языков и оказали влияние на многих ученых XVIII—XIX вв.

К числу наиболее значительных достижений первых петербургских академиков в области физики принадлежит создание кинетической теории газов Д. Бернулли. Она изложена в главе X его классического труда «Гидродинамика, или записки о силах движения жидкостей» («Hydrodynamica, sive de viribus et motibus fluidorum commentarii. Opus academicum etc.» Argentorati, 1738). Не являясь сторонником монадологии Лейбница, Бернулли с успехом использовал его «принцип живых сил»— закон сохранения энергии для механической системы. Бернулли рассматривал газ как скопление движущихся весомых частиц конечного размера. Он отмечал в качестве основных свойств газа его сжимаемость и стремление занять возможно больший объем. Исходя из кинетических представлений, Бернулли вывел уточненный закон Бойля — Мариотта, в котором учитывался объем, занимаемый частицами газа (следующий шаг — учет дополнительного давления, вызываемого силами их взаимодействия, был сделан только в 1873 г. Ван дер Ваальсом). Важные выводы, сделанные Бернулли из своей теории, — пропорциональность давления при постоянном объеме газа его кинетической энергии и существование абсолютного нуля температуры.

Успехи физики в России в 40—60-х гг. XVIII в. связаны с именами Ломоносова, Рихмана, И. А. Брауна, Эпинуса. Эйлер, работавший в 1741—1766 гг. в Берлине, печатал в петербургских изданиях многие свои труды по физике и вел с Академией интенсивную научную переписку. Деятельность Ломоносова и его коллег позволяет говорить о возникновении в России национального центра физической науки.

ФИЗИЧЕСКИЕ ВОЗЗРЕНИЯ М. В. ЛОМОНОСОВА

Понимая место физики в обосновании научной картины мира, Ломоносов задумал разработать «корпускулярную философию» как цельную, стройную систему физических знаний, которая могла бы служить основой научного мировоззрения. Он критически осмыслил концепции своих предшественников и выработал систему исходных принципов исследования.

Центральное место в ломоносовской картине мира занимает принцип сохранения материи и движения. Ломоносов сформулировал его в письме к Эйлеру от 5 (16) июня 1748 г., затем примерно в тех же словах — в работе «Об отношении количества материи и веса» (1758). В латинском варианте «Рассуждения о твердости и жидкости тел» («Meditationes de solido et fluido», 1760) говорится, что «... тело, которое побуждает к движению другое тело, столько же теряет от своего, сколько передает другому, им двинутому» [1]. В русском тексте того же сочинения Ломоносов впервые употребляет в этой связи слово «сила»: «...ибо тело, движущее своею силою другое, столько же оныя у себя теряет, сколько сообщает другому, которое от него движение получает» [1]. Прямых высказываний Ломоносова относительно спора о двух мерах движения нет, но, по свидетельству Румовского, он был сторонником картезианской меры.

[1] *М. В. Ломоносов.* Полн. собр. соч., т. 3, с. 383

Второй принципиальный момент в системе Ломоносова — это атомистика. Она отличается от атомистики древних и атомистики Гассенди отрицанием пустоты, от атомистики Р. Бойля и Р. Декарта — отказом от приписывания геометрической форме частиц решающей роли в определении индивидуальности того или иного вещества. Атомы Ломоносова шарообразны и различаются размерами и характером поверхности.

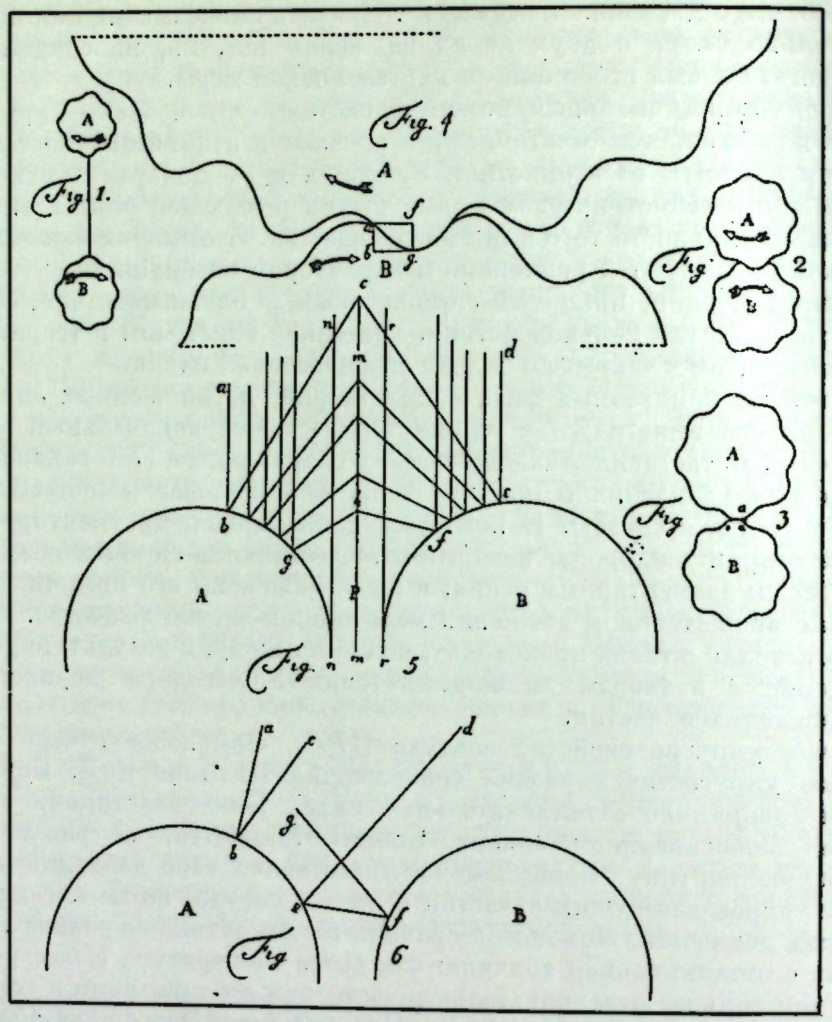
Третий принцип, принятый Ломоносовым,— близкодействие. Ломоносов считал понятие дальнодействия, введенное Ньютоном в теорию тяготения, возвратом к «скрытым силам» средневековой науки.

Первой из конкретных физических теорий, предложенных Ломоносовым, была его кинетическая теория тепла. Ее первоначальный вариант он в 1744 г. представил Академическому собранию, а в 1750 г. изложил ее в статье «Размышления о причине теплоты и холода» («Meditationes de caloris et frigoris causa»). В ней была дана хорошо аргументированная критика теории теплорода, который отождествлялся Ломоносовым с аристотелевским элементарным огнем, и были изложены его представления о тепле как вращательном движении мельчайших частиц вещества. Распространение тепла в газах происходит, по Ломоносову, в результате упругих соударений, а в твердых и жидких телах — благодаря шероховатости соприкасающихся частиц.

Изучая упругие свойства воздуха (1748), Ломоносов отверг особую «материю упругости» и развил соображения Ньютона и Д. Бернулли. Ньютон говорил об отталкивательных силах между частицами воздуха в связи с обоснованием закона Бойля— Мариотта, но рассматривал статическую картину. Бернулли же представлял себе давление как результат ударов движущихся частиц о стенки сосуда, но не касался причины этих движений. Ломоносов сравнил отталкивание шероховатых атомов газа с отталкиванием волчков: чем выше температура и быстрее вращение, тем сильнее отталкивательные силы при столкновении и тем сильнее давление на стенки. Кинетическая теория газов позволила Ломоносову объяснить процесс распространения звука как передачу упорядоченного колебательного движения при столкновении частиц.

Свойства твердых и жидких тел, в которых атомы «плотно упакованы», зависят, по Ломоносову, от характера взаимного расположения и сцепления атомов. В упоминавшемся «Рассуждении о твердости и жидкости тел» (§§ 19—21, 25) Ломоносов рассматривал жидкое состояние как упорядоченное, а переход тела из твердого состояния в жидкое связывал с изменением способа «упаковки» вследствие изменения характера движения и сцепления частиц при изменении температуры. Кинетическая трактовка Ломоносовым вопроса об агрегатных состояниях — большой шаг вперед по сравнению с представлениями его современников о существовании «постоянных» твердых тел и жидкостей, восходящими, вероятно, к античной натурфилософии. Именно убеждение в невозможности замерзания ртути заставило петербургских академиков не поверить сообщению о наблюдении этого факта во время сильного мороза в Томске (1734). В 1759 г. возможность замерзания ртути была впервые экспериментально

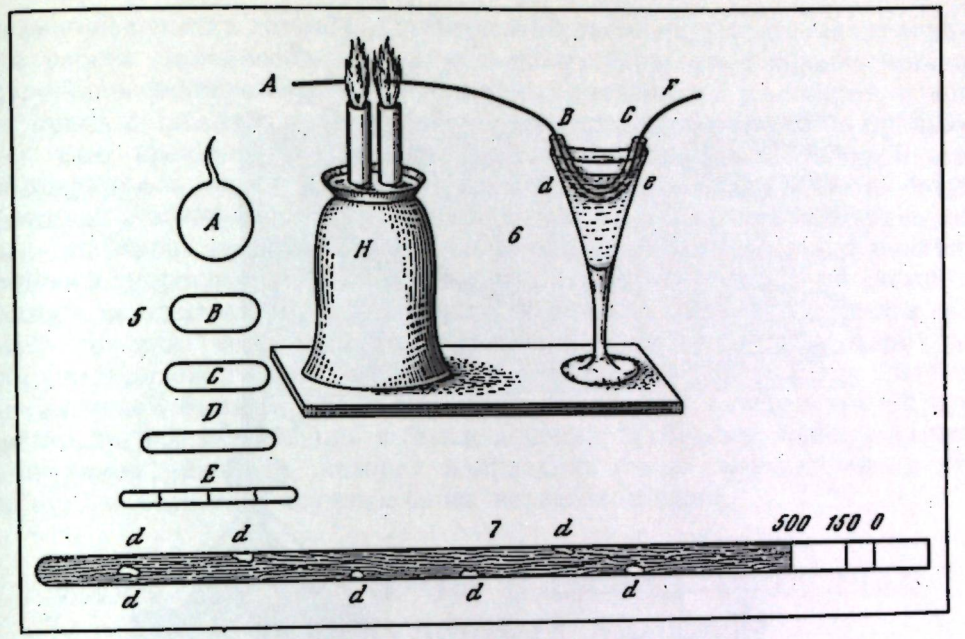
[1] *М. В. Ломоносов.* Полн. собр. соч., т. 3, с. 383.



Чертежи М. В. Ломоносова, поясняющие кинетическую теорию теплоты

доказана в лабораторных условиях Брауном, профессором Петербургской академии наук с 1746 г. В предпринятых тогда же опытах Ломоносова твердая ртуть подвергалась ковке, резанию, было продемонстрировано, что твердая ртуть проводит электричество.

Создав стройную кинетическую картину тепловых явлений в твердых, жидких и газообразных телах, Ломоносов обратился к вопросу о распространении солнечного тепла через мировое пространство. Поскольку Ломоносов отрицал теплород, как «тонкую материю» со «скрытыми качествами», он не мог принять картину тепловых (а также и световых) корпускул, распространяющихся в пустоте. Для объяснения передачи каких бы то ни было движений требовалась гипотеза о некоторой среде — эфире. В этом Ломоносов примкнул к Гюйгенсу и Л. Эйлеру, но если у Эйлера эфир был бесконечно делимым, то эфир Ломоносова построен атомистически так, что в промежутках между более крупными шарообразными частицами располагаются более мелкие, а между ними — еще более мелкие.



Рисунки М. В. Ломоносова, иллюстрирующие ковку ртути (5), демонстрацию электропроводности твердой ртути и раскаленного железа (6) и образование пустот при замерзании ртути в стеклянной трубке (7)

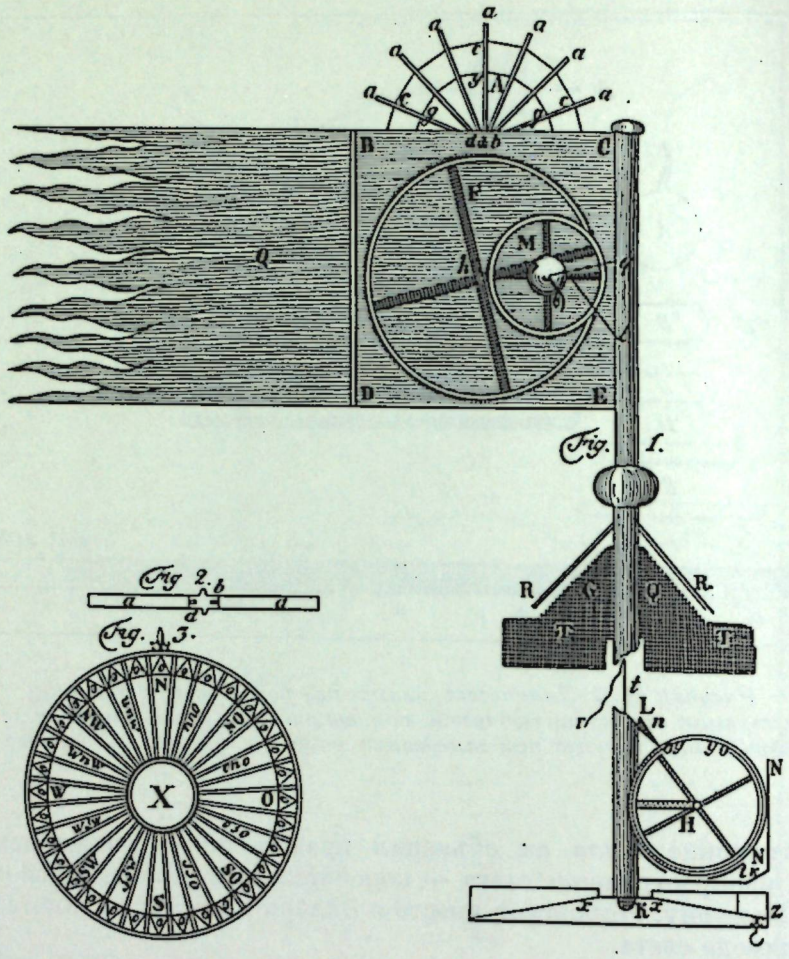
Распространение тепла он объяснял вращательным движением частиц эфира, а распространение света — колебательным. Таким образом, в противовес Ньютону, Ломоносов вместе с Эйлером отстаивал гипотезу о волновой природе света.

Эти работы впоследствии привлекли к себе внимание Т. Юнга, считавшего явления интерференции прямым доказательством волновой природы света. В библиографии, помещенной Юнгом во втором томе его монографии «A course of lectures on natural philosophy and the mechanical arts» (1807), речь Ломоносова «Слово о происхождении света, новую теорию о цветах представляющее» («Oratio de origine lucis sistens novam theoriam colorum», Петербург, 1759) стоит первой в разделе «Физическая оптика», а ссылки на Л. Эйлера многочисленны.

Учитывая, что электричество, как и тепло, можно получить путем трения и нагревания, Ломоносов счел и электричество следствием вращательного движения, но только частиц эфира, а не вещества.

Одно лишь тяготение Ломоносову не удалось свести к движению вещества и эфира. Для его объяснения в рамках картины близкодействия пришлось ввести особую проникающую «тяготительную материю», частицы которой «бомбардируют» атомы обычного вещества. Но из такой модели вытекало, что вес тела должен быть пропорционален не объему, а площади поверхности частиц. В связи с этим Ломоносов сомневался в справедливости закона пропорциональности массы (количества материи) и веса в применении к неоднородным телам.

Примечательно, что Ломоносов считал необходимым экспериментально проверить следствия своей теории тяготения относительно влияния



Анемометр М. В. Ломоносова

Солнца, Луны и планет на силу земного притяжения и провел длительную серию гравиметрических наблюдений с тяжелым маятником (эквивалентным двадцатиметровому). Объективно эти опыты Ломоносова были предвосхищением наблюдений над лунно-солнечными деформациями Земли, получивших распространение в конце XIX — начале XX в. Таблицы наблюдений Ломоносова были обнаружены лишь в 1951 г.

Программа «корпускулярной философии» как картины мира, включающей законы сохранения, атомистику, близкодействие, отрицание пустоты,— свидетельство изумительной научной дальновидности Ломоносова, но наука середины XVIII в. еще не имела средств для ее осуществления. Конкретные гипотезы Ломоносова, относящиеся по существу к физике микромира, могли быть лишь более или менее удачными догадками, основанными на экстраполяции макроскопических опытов и наблюдений на микромир, хотя Ломоносов и считал возможным, что законы микромира иные, чем макромира.

Между тем в опубликованных при жизни Ломоносова трудах по физике (преимущественно речах на собраниях Академии), хорошо известных иностранным ученым того времени, центральное место занимало имен-

но изложение этих гипотез, а экспериментальное их обоснование и огромная работа Ломоносова по созданию новых экспериментальных методов и приборов фиксировались в лабораторных дневниках и рукописях и долгое время оставались неизвестными. Единственный описанный в публикации того времени (1751) прибор Ломоносова—анемометр, автоматически регистрирующий силу и направление ветра, получил признание и современников и историков науки. Многие из метеорологических и навигационных приборов, предложенных Ломоносовым в «Рассуждении о большей точности морского пути» (1759),— курсограф (самопищущий компас), донный механический лаг, приборы для определения направления и скорости течения, сноса корабля под влиянием ветра, его движения под влиянием килевой качки — вошли в практику лишь через 100 лет и позже. Аналогичной была судьба и его проектов создания международной сети метеорологических станций с самопишущими приборами, международной мореходной академии, которая направляла бы и координировала всю работу по развитию научных основ кораблевождения.

ВКЛАД Г. В. РИХМАНА В ФИЗИКУ ТЕПЛОВЫХ И МОЛЕКУЛЯРНЫХ ЯВЛЕНИЙ

Одновременно с Ломоносовым в Академии работал его друг Георг Вильгельм Рихман. Уроженец Прибалтики, Рихман учился в Ревеле (Таллине), Галле, Йене и затем в университете при Петербургской академии наук. С 1740 г. он адъюнкт физического класса, через год — академик по физике. С 1744 г. Рихман заведовал физическим кабинетом. 26 июля (6 августа) 1753 г. он трагически погиб во время опытов.

Когда в связи с 200-летием со дня смерти Рихмана было впервые предпринято издание его трудов по физике, то было собрано 95 статей, заметок, научных дневников, рецензий, из которых 64 увидели свет впервые. Научные интересы Рихмана были сосредоточены на изучении теплоты и электричества. Разработка количественных методов их изучения — его основная заслуга.

Рихман избегал гипотез, но не отвергал их полезность для объяснения тех или иных явлений. Одну из своих статей он заканчивает следующими словами: «Я буду удовлетворен, если мне удастся точно определить явления и тем самым дать повод к отысканию их истинных причин» [1].

В первой половине XVIII в. количественное изучение тепловых явлений находилось еще в зачаточном состоянии. Физики пользовались термометрами с самыми разнообразными шкалами. Понятия количества тепла, теплоемкости не были еще установлены. Именно Рихман разработал основы калориметрии, на его труды опирались впоследствии И. К. Вильке, П. Л. Дюлонг, А. Т. Пти и др.

В 1750 г. Рихман опубликовал формулу для температуры смеси произвольного числа порций (m_1, m_2, . . ., m_k) однородной жидкости при различных температурах (t_1, t_2, . . ., t_k):

$$t_{\text{смеси}} = \frac{m_1 t_1 + m_2 t_2 + \ldots + m_k t_k}{m_1 + m_2 + \ldots + m_k}.$$

[1] *Г. В. Рихман.* Труды по физике. М., Изд-во АН СССР, 1956, с. 121.



Г. В. Рихман

Дальнейшее обобщение формулы Рихмана на смеси различных жидкостей было осуществлено с помощью понятия теплоемкости примерно через 30 лет, хотя сам Рихман уже понимал разницу между понятиями температуры и количества тепла и фактически работал с понятием теплоемкости.

Серия работ Рихмана посвящена экспериментальному изучению теплообмена тел с окружающей средой. Он ставил многочисленные опыты с охлаждением жидких и твердых тел в стационарных и нестационарных условиях, исследовал влияние размеров и формы поверхности охлаждаемого тела, его массы и нашел, что «если охлаждаемые массы различны, их поверхности различны, а также разности между температурой охлаждаемых масс и температурой охлаждающего воздуха различны, то убыли теплоты, наблюдаемые в течение равных небольших промежутков, стоят друг к другу в сложном отношении — они прямо пропорциональны поверхностям масс и разностям между температурой воздуха и температурой охлаждаемых масс и вместе с тем обратно пропорциональны охлаждаемым массам»[1]. Рихман подчеркивал необходимость отличать способность тел к большему или меньшему сохранению теплоты от способности принимать в себя большую или меньшую теплоту, т. е., по современной терминологии, отличать понятие коэффициента теплоотдачи от теплоемкости. Им было установлено, что наибольшей способностью к сохранению тепла обладает медь, затем идут железо, олово и, наконец, свинец.

Работы Рихмана по теплообмену, проводившиеся через полстолетия после того как Ньютон установил закон охлаждения тел, и уже на новой экспериментальной основе, дали полное обоснование этого закона и положили начало точному количественному исследованию теплообмена при нестационарных условиях. Эти работы были необходимы для усовершенствования калориметрических измерений, так как указывали пути исключения или учета тепловых потерь.

Параллельно с изучением охлаждения тел Рихман исследовал процесс испарения и сделал попытку установить между ними связь. Для точного измерения количества воды, испаряющейся в единицу времени, Рихман в 1748 г. сконструировал специальный прибор — атмометр. Его описание было опубликовано в томе II «Новых комментариев» в 1751 г. В 1749 г.

[1] *Г. В. Рихман.* Труды по физике. М., 1956, с. 79 (впервые опубликовано в 1750 г. в первом томе «Новых комментариев»).

в своей речи «О законах испарения воды» («De legibus evaporationis aquae») Рихман проанализировал результаты своих и предшествовавших опытов и пришел к выводу, что скорость испарения зависит от разности упругих сил теплого и холодного воздуха, от величины поверхности жидкости, массы и глубины жидкости, скорости движения воздуха над ее поверхностью. При этом он указал, что для окончательного установления общих законов испарения необходимы дальнейшие опыты. Труды Рихмана подготовили почву для установления Дальтоном количественного закона испарения (оказалось в частности, что скорость испарения зависит не от разности упругих сил теплого и холодного воздуха, а от разности парциальных давлений пара на поверхности жидкости и в окружающем воздухе).

Хотя работы Рихмана, в которых описаны предложенные им конструкции барометров и термометров, увидели свет только недавно, основные упомянутые выше труды были своевременно опубликованы и стали важным этапом в развитии учения о тепловых и молекулярных явлениях.

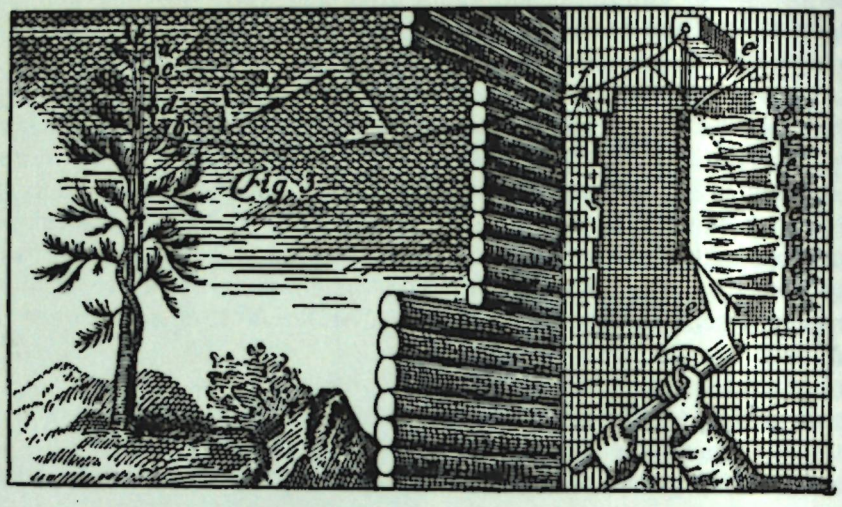
ИССЛЕДОВАНИЯ Г. В. РИХМАНА И М. В. ЛОМОНОСОВА В ОБЛАСТИ АТМОСФЕРНОГО ЭЛЕКТРИЧЕСТВА

К исследованиям в области электричества Рихман обратился в начале 1745 г. «по примеру других физиков, которых эта область привлекла своей новизной»[1], и вскоре он сконструировал свой знаменитый «электрический указатель» — измерительный прибор, состоящий из вертикально поставленной железной линейки и льняной нити, прикрепленной к верхнему концу линейки, причем нить бралась точно определенного веса. Угол отклонения ее от линейки, измеряемый с помощью квадранта, был приближенно пропорционален сообщаемому заряду. Это была первая попытка построения абсолютного электрометра. При помощи этого прибора Рихман изучал скорость потери заряда наэлектризованными телами в зависимости от их размеров, геометрической формы, состояния воздуха (в частности от влажности), пытался уловить закономерности, управляющие явлениями разряда.

После того как в 1752 г. Далибаром и Франклином была доказана электрическая природа грозы, изучение электричества получило новый практический стимул в связи с поисками наилучших систем грозозащиты.

Летом 1752 и 1753 гг. Рихман и Ломоносов проводили наблюдения атмосферного электричества, применяя «громовые машины» — специальные стационарные установки. Металлический шест, укрепленный на дереве или на крыше, соединялся с приборами, находившимися в доме, с помощью проволоки, подвешенной на шелковых шнурках. Во время опытов с «громовой машиной» Рихман зарядил лейденскую банку атмосферным электричеством. Это было еще одно доказательство тождества атмосферного и «лабораторного» электричества. И Рихман, и Ломоносов наблюдали атмосферное электричество также в отсутствие грозы. На стр. 100 изображен опыт Ломоносова с «громовой машиной» в Усть-Рудице. Зафиксирован сильный разряд атмосферного электричества, сопровождавшийся «великим

[1] *Г. В. Рихман.* Труды по физике, с. 229.



Опыт М. В. Ломоносова с атмосферным электричеством в Усть-Рудице

блеском с громом почти соединенным». Видны кистевой электроскоп и электрометр Рихмана. Для автоматической регистрации максимальной «воздушной электрической силы», или «громовой силы», Ломоносов изобрел пружинный электроскоп.

В «Слове о явлениях воздушных, от электрической силы происходящих» (1753) Ломоносов изложил свою теорию происхождения грозового электричества, которая содержит некоторые идеи, подтвержденные наукой XX в. Решающую роль он отводил движению встречных вертикальных потоков воздуха, возникающих в результате прогревания почвы и нижних слоев воздуха и опускания более тяжелых холодных воздушных масс. Правильными были соображения о том, что электризация происходит в результате столкновений «неисчислимого множества» мельчайших частиц, и о распределении заряда по всему объему облака, а не по поверхности. Но при этом в соответствии с общепринятым в то время мнением, что для электризации необходимо участие первично-электрического вещества (диэлектрика), Ломоносов должен был выдвинуть гипотезу о присутствии в воздухе жирных горючих частиц, при трении которых с капельками воды (вещества производно-электрического, т. е. проводника) происходит электризация. Следует заметить, что влияние тонко измельченных продуктов сгорания (в индустриальных районах), вулканических извержений, пылевых вихрей на электрические процессы в атмосфере подтверждается современной наукой; взвешенные в воздухе частицы способствуют образованию водяных капель, а рассмотрение процессов в капле составляет основное содержание теорий грозовых явлений (общепринятой и свободной от трудностей теории, которая раскрывала бы механизм образования и распределения зарядов в облаке, пока не существует).

Ломоносов считал сходными причины свечения кометных хвостов и северных сияний, а для объяснения механизма самих северных сияний применял лабораторное моделирование этих явлений в наэлектризованном шаре, «из которого воздух вытянут».

Для получения данных о вертикальном градиенте температур и об электрическом состоянии воздуха на разных высотах Ломоносов сконструировал «аэродромическую машину» — пружинный летательный аппарат для подъема метеорологических приборов, действующую модель которого он демонстрировал 1 июля 1754 г.

Ф. У. Т. ЭПИНУС И УЧЕНИЕ ОБ ЭЛЕКТРИЧЕСТВЕ И МАГНЕТИЗМЕ

После гибели Рихмана на его место был приглашен немецкий ученый Эпинус. Он прибыл в Петербург в 1757 г. и сразу же стал активно вести свои начатые еще в Германии исследования по электричеству и магнетизму. Он участвовал также в составлении различных административных проектов и в их осуществлении. В частности, именно его записка о системе низшего и среднего образования легла в 80-е годы XVIII в. в основу организации уездных и губернских народных училищ, доступ в которые был в принципе открыт детям всех сословий.

Эпинус был последовательным ньютонианцем. В своем фундаментальном трактате «Опыт теории электричества и магнетизма» («Tentamen theoriae electricitatis et magnetismi», Петербург, 1759) он предполагает, что закон взаимодействия электрических зарядов и магнитных полюсов подобен гравитационному закону Ньютона. Исходя из гипотезы Франклина о существовании одной электрической жидкости, Эпинус разработал теорию электростатической и магнитной индукции. Он впервые показал, что притяжение незаряженных тел необходимо связано с их поляризацией. Предположение Эпинуса о колебательном характере разряда лейденской банки было экспериментально подтверждено Феддерсеном только в 1859 г.

Доказывая сходство между электрическими и магнитными явлениями, Эпинус ссылался на свои пироэлектрические опыты с турмалином. Кристалл, у которого одна грань заряжена положительно, а другая отрицательно, являлся для Эпинуса полным аналогом постоянного магнита. Кроме того, он опирался на наблюдения, выходившие за рамки электростатики и фактически свидетельствовавшие не о сходстве между электрическими и магнитными явлениями, а о их взаимосвязи: намагничивание железной проволоки при опытах Франклина с грозовым электричеством, перемагничивание стрелки компаса молнией.

Эпинус объяснил постепенное размагничивание коротких стержней тем, что они обладают сопротивлением «магнитному разряду», и разработал теорию эффективного метода намагничивания магнитных стрелок, создания искусственных магнитов.

Ш. Кулон, Г. Кавендиш, П. Лаплас, А. Вольта и другие ученые, занимавшиеся изучением электричества в конце XVIII в., опирались на исследования Эпинуса и высоко их ценили.

ПРИКЛАДНАЯ ОПТИКА. ЭЙЛЕР, ЛОМОНОСОВ, ЭПИНУС

Петербургским академикам принадлежат большие заслуги в совершенствовании и создании новых оптических приборов, разработке начал вычислительной оптики, организации мастерских для изготовления опытных образцов новых конструкций и стандартных инструментов для нужд флота и астрономо-геодезических экспедиций.

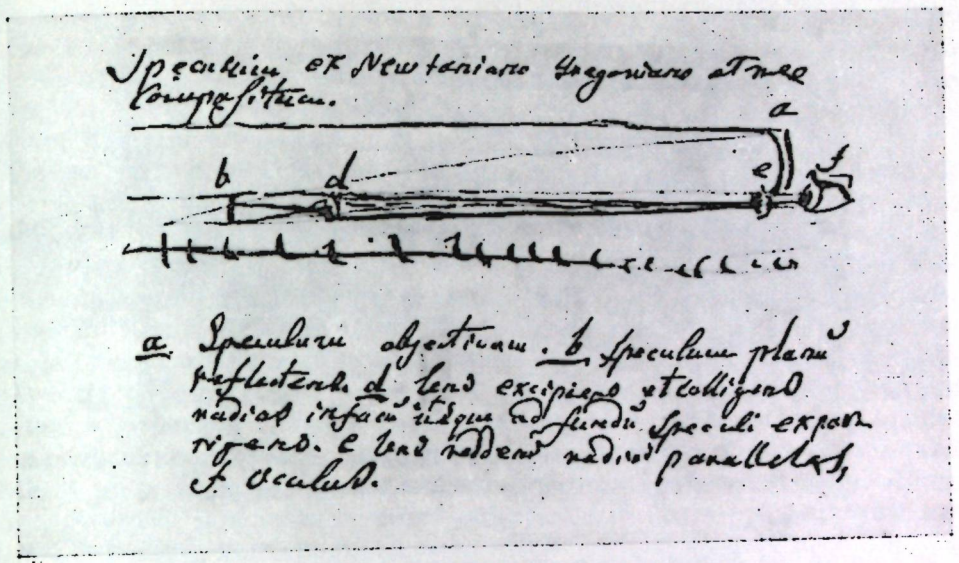
Первая оригинальная оптическая конструкция Ломоносова —«зажигательный катоптрико-диоптрический инструмент» для получения высоких температур — была предложена им еще в 1741 г.; в 1743 г. он изобрел устройство для быстрой смены объективов микроскопа (револьверный диск). Однако наиболее значительные его изобретения относятся к последним годам жизни и связаны с его интересом к астрономии и работой на посту руководителя Географического департамента Академии наук.

Видя недостатки рефлекторов Ньютона и Дж. Грегори, Ломоносов предложил смелую конструкцию рефлектора «об одном большом зеркале без малого». Небольшой (порядка 4°) наклон оси зеркала относительно трубы позволил вывести фокус отраженных от вогнутого зеркала лучей за пределы трубы и наблюдать получающееся изображение через окуляр. Опытный экземпляр однозеркального телескопа был с успехом опробован 15 (26) апреля 1762 г. «Речь об усовершенствовании зрительных труб» (1762), где были разобраны недостатки прежних рефлекторов и преимущества нового проекта, была отпечатана, но весь тираж за исключением одного экземпляра был уничтожен, и работа осталась неопубликованной до 1827 г. Дело в том, что накануне заседания произошел государственный переворот — свержение императора Петра III, а в заключительной части речи Ломоносова содержались традиционные похвалы этому неудачливому внуку Петра I.

Двумя десятилетиями позже английский астроном В. Гершель построил телескоп такого же типа. Он же независимо от Ломоносова осуществил и другую его идею: с помощью того же приема вывел отражающее зеркало в телескопе Ньютона — Грегори за пределы трубы, чтобы оно не загораживало часть падающих в телескоп лучей.

Ломоносов предложил конструкции горизонтоскопа, т. е. вращающегося перископа, батоскопа — прибора для наблюдения речного и морского дна, фотометрической трубы для сравнения яркости звезд.

Для наблюдения местности в ночных условиях и особенно для моряков была предназначена «ночезрительная труба» с большим объективом, сконструированная Ломоносовым на основе экспериментов в ночных условиях. Коллеги Ломоносова оспаривали идею создания ночезрительной трубы, опираясь на законы геометрической оптики; впоследствии правильность его решения подтвердилась законами физиологической оптики (при очень слабом свете сетчатка проявляет свойство воспринимать яркость в тем большей степени, чем больше воспринимаемое изображение, поэтому применение зрительной трубы с большим увеличением способствует различению предметов, невидимых в темноте ез трубы; кроме того, в условиях сумерек хроматическая аберрация перестает быть недостатком прибора).

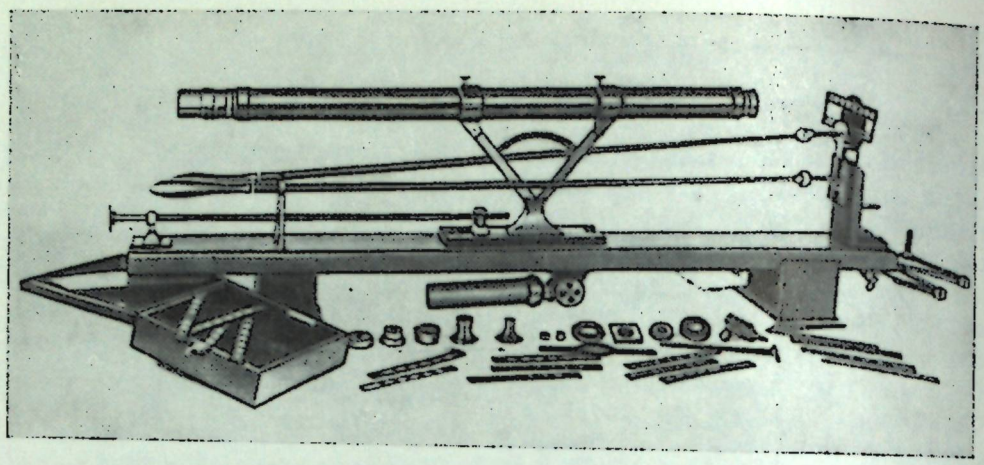


Набросок рефлектора М. В. Ломоносова, построенного впоследствии В. Гершелем

С проблемы хроматической аберрации началась работа основателя вычислительной оптики Л. Эйлера. Открыв явление дисперсии света и вытекающей из него хроматической аберрации линз, Ньютон пришел к ошибочному мнению о невозможности ее исправления. Несмотря на то, что английский оптик-любитель Честер Мур Холл еще в 1729 г. убедился в возможности получения ахроматических объективов, применяя стекла с различными показателями преломления, и вскоре сконструировал несколько ахроматических телескопов, авторитет Ньютона долгое время оказывался сильнее. Инициатором нового обстоятельного исследования проблемы стал в 1743 г. Эйлер. На основании теоретических рассуждений он предположил, что хроматическую аберрацию можно исключить, комбинируя вещества с разными показателями преломления, и провел опыты со стеклянными линзами и водой. Опыты английского оптика Дж. Доллонда, предпринятые по предложению Эйлера для проверки выводов Ньютона, опровергли формулы не только Ньютона, но и Эйлера, в итоге Доллонд создал ахроматические объективы для телескопов, применяя два сорта стекла — кронглас и флинтглас. Однако он держал в тайне рецепт изготовления флинтгласа.

Учитывая важность создания ахроматических оптических инструментов для многих наук, Петербургская академия предложила в качестве задачи на премию 1762 г. экспериментальное и теоретическое исследование оптических систем, устраняющих сферическую и хроматическую аберрацию. Премирована была работа шведского ученого С. Клингенстиерны, вместе с которой в одной книге была напечатана по решению Академии посвященная тому же вопросу статья Эйлера (1762). В этих двух работах были даны расчеты ахроматических объективов для телескопов.

В 1763 г. петербургский академик И. Э. Цейгер, занимавший кафед-



Микроскоп Ф. У. Т. Эпинуса

ру механики, на основе опыта стекольных заводов под Шлиссельбургом изготовил несколько сортов флинтгласа.

В своей трехтомной «Диоптрике» [«Dioptricae pars prima (tertia), continens librum primum (tertium) de explicatione principiorum, ex quibus constructio tum telescopium quam microscopium est petenda, auctore Leonhardo Eulero...» Petropoli, impensis Academiae imperialis scientiarum, 1769—1771, 3 vol.], изданной в Петербурге в 1769—1771 гг., Эйлер рассчитал множество вариантов телескопов и микроскопов, в которых он старался довести до минимума сферическую аберрацию, хроматическую аберрацию положения и в некоторых случаях хроматическую разность увеличений.

В 1774 г. ученик Эйлера Н. Фусс издал в Петербурге на французском языке книгу: «Подробное наставление по приведению телескопов самых разнообразных видов к наивысшей возможной степени совершенства...» («Instruction détaillée pour porter les lunettes de toutes les différentes espèces au plus haut degré de perfection dont elles sont susceptibles, tirée de la théorie dioptrique de Mr. Euler le père et mise à la portée de tous les ouvriers en ce genre par Mr. Nicolas Fuss avec la description d'un microscope, qui peut passer pour le plus parfait dans son espèce»). В этой книге некоторые результаты Эйлера были изложены в доступной для мастеров-оптиков форме. Под руководством И. П. Кулибина было начато изготовление короткофокусного ахроматического объектива для микроскопа из трех линз с радиусами кривизны, рассчитанными с точностью до 0,025 мм при общей толщине объектива около 1,4 мм и расстояниях между линзами около 0,4 мм. Однако сведения о завершении этой работы отсутствуют. Требования теоретических расчетов не соответствовали техническим возможностям XVIII в.

Много сделал для создания оптических приборов Эпинус. Он упростил предложенную Эйлером схему солнечного микроскопа для проецирования на экран увеличенного изображения непрозрачных объектов, и такие микроскопы вскоре стали изготовлять в Англии. В 1784 г. Эпинус сконструировал ахроматический микроскоп совершенно новой конструкции: его «телескопический» микроскоп позволял располагать объект на расстоянии 10—20 см от прибора, менять увеличение в процессе работы. В 1808 г., уже после смерти Эпинуса, по инициативе ректора Дерптского (Тартуского) университета Е. И. Паррота штутгартский оптик Н. Г. Тидеман изготовил наиболее усовершенствованный ахроматический микроскоп Эпинуса.

Таким образом, в середине XVIII в. ученые Петербургской академии наук достигли выдающихся успехов во многих разделах физики того времени. В области физики тепловых явлений были созданы кинетическая теория газов (Д. Бернулли, М. В. Ломоносов), кинетическая теория тепла для всех агрегатных состояний (Ломоносов), были разработаны основы калориметрии и установлены эмпирические закономерности испарения и теплообмена (Рихман), проведены первые опыты замораживания ртути (Браун, Ломоносов). В области оптики наряду с развитием гипотез о волновой природе света и разработкой проблем цветоведения (Эйлер, Ломоносов) было создано много существенно новых оптических систем и организовано изготовление оптических приборов (Эйлер, Ломоносов, Эпинус). В области изучения электричества были представлены две противоположные концепции: надолго забытые в дальнейшем идеи Эйлера и Ломоносова, опиравшихся на представление о близкодействии в эфире, и значительно развитая Эпинусом ньютонианская теория Франклина. Были сделаны первые шаги в создании электроизмерительной техники (Рихман) и количественной теории электростатических и магнитных явлений (Эпинус), в объяснении происхождения атмосферного электричества (Ломоносов). Были разработаны новые методы изучения метеорологических явлений, земного магнетизма, вариаций ускорения силы тяжести (Ломоносов).

В последней трети XVIII в. исследовательская работа в области экспериментальной физики замерла, но большие сдвиги произошли в распространении физических знаний. Физика была введена в программы средних учебных заведений. С 1779 по 1797 г. было издано три переводных и три оригинальных учебника физики; Московский университет и академический университет в Петербурге готовили преподавателей физики. В 1793—1795 гг. адъюнкт Академии наук А. К. Кононов, избранный в 1795 г. экстраординарным академиком, читал публичные лекции по экспериментальной физике. В это же время в Московском университете (П. И. Страхов) и Медико-хирургической академии в Петербурге (В. В. Петров) велась интенсивная работа по организации физических наблюдений и опытов. Инициатива в развитии физики переходила от Академии наук к высшим учебным заведениям.

Глава седьмая

ХИМИЯ

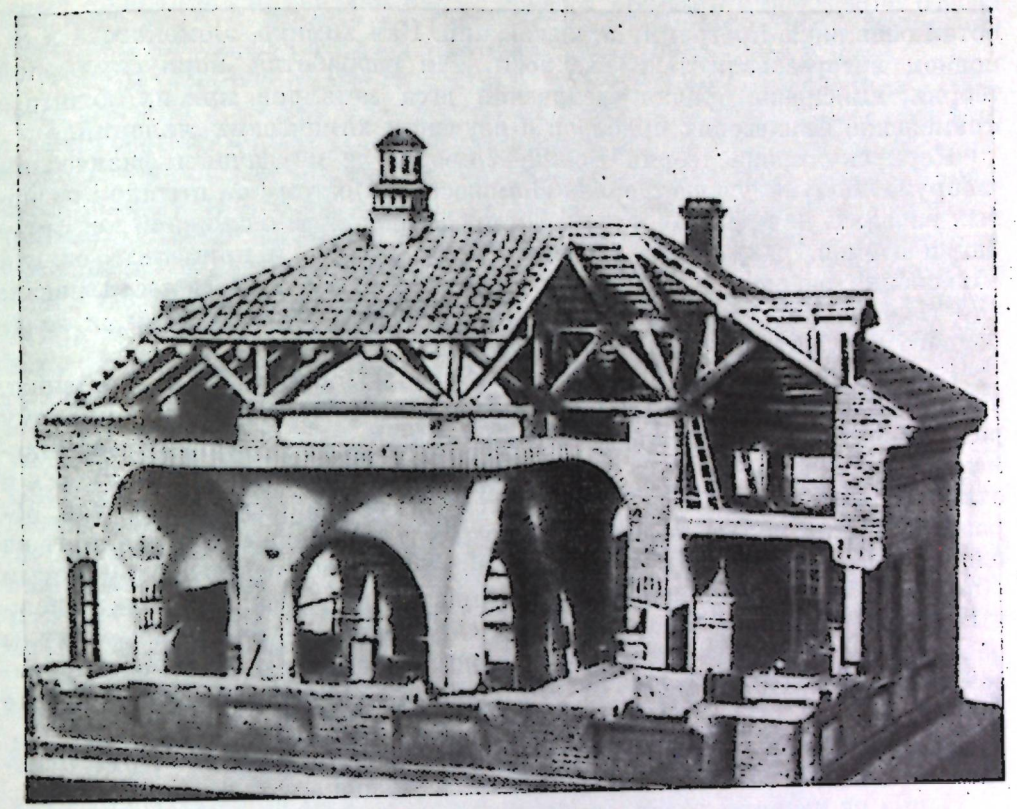
Развитие в XVI—XVII вв. металлургии, горного дела, производства кислот, а также потребности врачебной практики поставили перед химией важные практические и теоретические задачи, что сильно стимулировало ее развитие. Разрабатываются и совершенствуются методы получения чистых кислот и солей, приемы переработки руд и способы пробирного анализа, вносится много нового в технологию производства стекла, керамики, порохов, химико-фармацевтических препаратов, красителей и других продуктов. На смену алхимии пришла химия — наука, изучающая свойства, состав и превращение веществ. Вместо аристотелевских гипотетических четырех «начал» постепенно складывается понятие о реальном химическом элементе.

С конца XVII в. химия начала постепенно приобретать положение самостоятельной науки, имеющей свой объект исследования, свои методы, задачи и цели, направленные на изучение состава и свойств веществ минерального и растительного происхождения. К этому времени уже детально отработаны такие методы, как точное взвешивание, дистилляция, возгонка, осаждение, перекристаллизация и т. д. В химических лабораториях получают права гражданства такие физические приборы, как весы, термометр, ареометр и микроскоп.

Но это было только начало пути развития химии как науки. Химики конца XVII в. еще не знали, что собой представляет «воздух» и какова его роль в процессах горения. Еще отсутствовала научная систематизация и классификация веществ. Предстояло значительно усовершенствовать качественный и особенно количественный метод анализа. Причины, условия и механизм химических процессов оставались для химиков еще за «семью печатями».

В конце XVII и начале XVIII в. приобретают особую актуальность проблема получения металлов из руд и проблема огневой обработки металлических изделий в связи с потребностями расширявшегося производства металлов и развитием горного дела. Химики того времени при исследовании окислительно-восстановительных процессов пошли по ложному пути: при объяснении механизма горения (окисления) на первый план было выдвинуто старинное представление о роли в этих процессах «начала горючести».

На рубеже XVII и XVIII вв. немецкие химики И. Бехер и Г. Шталь разработали учение о флогистоне. Конец XVII и начало XVIII в. были временем широкого развития корпускулярных представлений как в области физики, так и химии. Атомистические объяснения в XVII в. сводились преимущественно к созданию наглядной картины химических явлений посредством образов, заимствованных из области механики и геометрии. Атомы Бойля и Лемери обладали различными формами, наделялись крючками, зубцами, петлями. Формы атомов принимались бесконечно разнообразными в соответствии с разнообразием химических явлений.



Макет химической лаборатории М. В. Ломоносова

Первым выдающимся русским химиком был Ломоносов. С самого начала своей деятельности он исходил из необходимости сочетания теоретических и практических исследований в химии. «Истинный химик должен быть теоретиком и практиком» [1],— писал он в 1741 г.

В 1748 г. по проекту Ломоносова была построена первая в России научная химическая лаборатория, в которой проводилась исследовательская и учебная работа. Открытие этой лаборатории явилось началом развития экспериментальной химии в России.

Как Ломоносов определял предмет химии и ее задачи?

«Химия — наука об изменениях, происходящих в смешанном теле»[2],— утверждал он. «Изучение химии имеет двоякую цель: одна — усовершенствование естественных наук, другая — умножение жизненных благ» [3]. В «Слове о пользе химии» (1751) Ломоносов дал развернутое изложение своих взглядов на задачи и значение химии для развития промышленности. Чтобы химия могла решать поставленные задачи, необходимо, по его мнению, «проложить дорогу во внутренние тайники тел», выяснить причины, вызывающие химические превращения веществ. На основе

---

[1] *М. В. Ломоносов.* Полн. собр. соч., т. 1. М.— Л., Изд-во АН СССР, 1950 с. 71.

[2] Там же, с. 67.

[3] Там же, т. 2, 1951, с. 459.

своего определения предмета и задач химии как науки Ломоносов выработал обширную программу исследований. Как химика Ломоносова в основном интересовали такие вопросы, как разработка корпускулярной теории, выяснение причин увеличения веса металлов при их обжиге и применение физических приборов в изучении химических явлений.

Корпускулярная теория Бойля—Лемери с ее неудачным физическим «вооружением» не удовлетворяла Ломоносова. Поэтому он пытался на новых началах, не прибегая к наивным представлениям о сложной конфигурации атомов, разработать атомистическую теорию и применить ее для объяснения различных физико-химических процессов. Ломоносов писал: «Во тьме должны обращаться физики, а особливо химики, не зная внутреннего нечувствительных частиц строения» [1].

В «Элементах математической химии» (1741) Ломоносов гораздо ближе, чем его предшественники (П. Гассенди и др.), подошел к правильному разграничению понятий «атом» (элемент) и «молекула» (корпускула). «Элемент» — это «часть тела, не состоящая из каких-либо других меньших и отличающихся от него тел» [2]... «Корпускула есть собрание элементов, образующее одну малую массу» [3], «корпускулы однородны, если состоят из одинакового числа одних и тех же элементов, соединенных одинаковым образом» [4]. В этом случае образуются простые вещества. Признаки сложных веществ Ломоносов характеризует следующим образом: «Корпускулы разнородны, когда элементы их различны и соединены различным образом или в различном числе; от этого зависит бесконечное разнообразие тел» [5].

Это положение представляет несомненный интерес, ибо здесь намечается идея, которая в XIX в. развилась в учение об изомерии.

Одной из главных задач химии Ломоносов считал изучение зависимости свойств веществ от их состава. Но этот вопрос может быть решен «не раньше, чем будет определено число химических элементов и будет точно изучена химическая природа их» [6]. Постановку этого вопроса в 40-е годы XVIII в. нужно признать весьма актуальной, ибо в системе Шталя проблема отыскания «начал», или «элементов», считалась маловажной, второстепенной задачей химии.

Сам Ломоносов специальных исследований, направленных на отыскание таких «начал», не проводил, так как основные его помыслы были связаны с разработкой атомистической теории, приложимой ко всем химическим и физическим явлениям.

Важная черта работ Ломоносова — единый подход к химическим и физическим явлениям, единая корпускулярная трактовка, в частности, таких процессов, как химические превращения, растворение, сцепление. Пожалуй, никто до него не связывал более последовательно проблему строения вещества с атомизмом. «Так как,— по мнению Ломоносова,— основание того, что свойственно природным телам, нужно искать в качест-

[1] *Б. Н. Меншуткин.* Труды М. В. Ломоносова по физике и химии. М.— Л., Изд-во АН СССР, 1936, с. 254.
[2] *М. В. Ломоносов.* Полн. собр. соч., т. 1, с. 79.
[3] Там же.
[4] Там же.
[5] Там же, с. 81.
[6] Там же, с. 347.

вах корпускул и способе их взаимного расположения, то и основание различия, наблюдаемого в их сцеплении, надо искать в них же» [1].

Работы Ломоносова по атомистике не были им опубликованы. Причину этого он в письме к Л. Эйлеру от 5 (16) июля 1748 г. поясняет так: «...Всю систему корпускулярной философии мог бы я опубликовать, однако боюсь, как бы не показалось, что я даю ученому миру незрелый плод скороспелого ума, если я выскажу много нового, что по большей части противоположно взглядам, принятым великими мужами» [2]. Спустя несколько лет в письме к Эйлеру от 12 (23) февраля 1754 г. Ломоносов по этому же поводу писал: «Признаюсь, что оставил я все это и для того, чтобы, нападая на писания великих мужей, не показаться скорее хвастуном, чем искателем истины. Та же причина давно уже препятствует мне предложить на обсуждение ученому свету мои мысли о монадах. Хотя я твердо уверен, что это мистическое учение должно быть до основания уничтожено моими доказательствами, однако я боюсь омрачить старость мужу (речь идет о Хр. Вольфе, учителе Ломоносова.— *Ред.*), благодеяния которого по отношению ко мне я не могу забыть; иначе я не побоялся бы раздразнить во всей Германии шершней-монадистов» [3]. Это письмо любопытно во многих отношениях. Видно, что Ломоносов был убежденным противником представлений Лейбница — Вольфа о существовании нематериальных монад.

Как уже отмечалось, одна из основных проблем химии XVIII в. заключалась в познании причин увеличения веса веществ при их обжиге, в разработке теории окислительно-восстановительных процессов.

В 1673 г. Р. Бойль опубликовал работу, в которой изложил результаты изучения изменений веса металлов, прокаливаемых не только в открытом тигле, в соприкосновении с воздухом, но и в закрытых ретортах, в условиях отсутствия непосредственного взаимодействия металла с огнем и со свободным воздухом, за исключением ограниченного количества последнего, замкнутого в реторте. Так как и в последнем случае часть металла превращалась в окалину и вес его немного прибывал, Бойль решил, что стекло пропускает сквозь себя тончайшие частицы огненной материи, находящиеся в пламени, которые проникают в поры металла, и что этим и объясняется увеличение в весе металлов (свинца, сурьмы), прокаливаемых в ретортах.

Ломоносов выступил с критикой этих взглядов. Он утверждал (1745): «Так как восстановление производится тем же, что и прокаливание, даже более сильным огнем, то нельзя привести никакого основания, почему один и тот же огонь то внедряется в тела, то из них уходит» [4]. В 1756 г. Ломоносов в своей химической лаборатории провел опыты над кальцинацией металлов, о которых писал: «Деланы опыты в заплавленных накрепко стеклянных сосудах, чтобы исследовать, прибывает ли вес металлов от чистого жару; оными опытами нашлось, что славного Роберта Бойля мнение ложно, ибо без пропущения внешнего воздуха вес сожженного металла остается в одной мере» [5].

[1] *М. В. Ломоносов.* Полн. собр. соч., т. 1, с. 25.
[2] Там же, т. 2, с. 173.
[3] Там же, т. 10, с. 503.
[4] Там же, т. 2, с. 49.
[5] Там же, т. 10, с. 392.

Ломоносов экспериментально доказал ошибочность представлений Бойля о роли огня в увеличении веса обжигаемых веществ и пришел к выводу, так же как и Дж. Мейоу (1669), что в увеличении веса при обжигании может играть роль воздух. Однако при более детальной проверке явлений, наблюдаемых в «пустоте», Ломоносов пришел к выводу, что и в замкнутом сосуде также увеличивается вес кальцинируемого вещества. Ломоносов пользовался весьма несовершенным одноцилиндровым поршневым бесклапанным воздушным насосом Лейпольда, позволявшим получать только очень небольшое разрежение: давление воздуха понижалось всего лишь до 15—20 мм рт. ст., т. е. до $^1/_{50}$ атм. Естественно, что нагревание в такой «пустоте» легкоокисляемых металлов (свинец, цинк и др.) приводило к окислению этих металлов и, следовательно, к увеличению их веса.

Чтобы объяснить это явление, Ломоносов прибег к помощи ударной теории тяготения, сторонниками которой были Р. Декарт, Хр. Вольф и др. Так, Декарт считал, что «тяжесть заключается не в чем ином, как в том, что земные тела в действительности толкаются к центру Земли тонкой материей». Исходя из представлений, что вес тела определяется общей поверхностью всех корпускул или атомов данного тела, Ломоносов полагал, что «хотя нет никакого сомнения, что частицы из воздуха, непрерывно текущего на кальцинируемое (т. е. окисляемое.— *Ред.*) тело, смешиваются с последним и увеличивают его вес, однако, если учесть опыты в замкнутом сосуде, при которых также увеличивается вес кальцинируемого тела, то можно будет ответить, что вследствие уничтожения сцепления частиц кальцинированием, их поверхности, ранее закрытые взаимным соприкосновением, оказываются уже свободно подверженными тяготительной жидкости и потому сильнее пригнетаются к центру Земли» [1].

Ошибочные представления о том, что вес тела пропорционален не массе, а поверхности тела, уже во времена Ломоносова сталкивались с большими трудностями и противоречиями. С течением времени в химии полностью восторжествовали взгляды Ньютона, согласно которым «количество материи (массы) есть мера таковой, устанавливаемая пропорционально плотности и объему ее... Определяется масса по весу тела, ибо она пропорциональна весу» [2].

Выполняя экспериментальные исследования по обжигу металлов, изготовлению окрашенных стекол, Ломоносов отчетливо понял, что для дальнейшего развития химии особо важное значение имеет изучение зависимости между физико-химическими свойствами вещества и его составом. Сознавая, что методы препаративной химии не могут привести к решению этой задачи, Ломоносов стал искать новые пути исследования химических явлений. Это привело его к попытке обосновать физическую химию.

Что понимал Ломоносов под физической химией? «Физическая химия,— писал он,— есть наука, объясняющая на основании положений и опытов физики то, что происходит в смешанных телах при химических операциях» [3].

[1] *М. В. Ломоносов.* Полн. собр. соч., т. 2, с. 191.
[2] *И. Ньютон.* Математические начала натуральной] философии. Пг., 1915—1916, с. 23.
[3] *М. В. Ломоносов.* Полн. собр. соч., т. 2, с. 483.

«Моя химия — физическая»,— подчеркивал Ломоносов.

В «Курсе истинной физической химии» (1752—1754) Ломоносов, отвергая точку зрения на химию как на искусство, считал, что задача химии состоит не только в описании состава и свойств веществ, но и в объяснении причин, вызывающих химические превращения. Для этого, по его мнению, необходимо соединить физические истины с химическими: «Химик без знания физики подобен человеку, который всего искать должен ощупом. И сии две науки так соединены между собою, что одна без другой в совершенстве быть не могут» [1].



В. М. Севергин

В 1752—1756 гг. Ломоносов составил обширную программу физико-химических исследований. Центральное место в ней занимали растворы и соли. «Теория растворов,— писал он,— есть первый пример и образец для основания истинной физической химии» [2]. Напомним, что в 80—90-е годы XIX в. теория растворов, разработанная С. Аррениусом, Я. Вант-Гоффом, В. Нернстом и Д. И. Менделеевым, послужила основным фундаментом современной физической химии. В программе Ломоносова предусматривалось изучение понижения температуры воды при растворении в ней солей; растворимости солей в воде, «лишенной воздуха, и с воздухом»; поднятия растворов в капиллярных трубках; «электрической силы», влияющей на растворение; поведение растворов солей в автоклаве и т. п.[3]

Ломоносов провел опыты по изучению растворимости металлов в кислотах и солей в воде, исследовал влияние температуры на растворимость солей.

В 1752—1753 гг. он разработал новую методику преподавания физической химии, которая предусматривала не только демонстрацию опытов при чтении лекций, но и проведение в лаборатории практических занятий со студентами. Кроме того, его ученики проводили в лаборатории самостоятельные научные эксперименты [4].

Физико-химическая программа исследований Ломоносова — это блестящий план будущего развития физической химии. Следует отметить,

[1] *Б. Н. Меншуткин.* Труды М. В. Ломоносова по физике и химии, с. 414.
[2] *М. В. Ломоносов.* Полн. собр. соч., т. 1, с. 568.
[3] Большинство своих физико-химических работ, лекций, планов и программ Ломоносов не опубликовал, так как они были не закончены. Многое из задуманного и выполненного им осталось в архивах.
[4] *М. В. Ломоносов.* Полн. собр. соч., т. 2, с. 695—696.

что в иностранной химической литературе XVIII в. и до Ломоносова, и после него появлялись руководства под названием «Физическая химия». На этом основании Дж. Р. Партингтон полагал, что Ломоносов не был оригинален в разработке физической химии [1]. Однако между этими книгами и работами Ломоносова существует принципиальное различие. Так, у Ю. Г. Валлериуса и других авторов под термином «физическая химия» скрывается лишь обычное традиционное (рецептурно-препаративное) изложение химии в духе учебников химии первой половины XVIII в.

Ломоносов не завершил задуманную им программу исследований в области физической химии. Многие его идеи, описания опытов, заметки, наброски остались в рукописях. Причину этого Ломоносов частично объяснил сам. В 1756 г. в «Слове о происхождении света» он говорил: «К ясному всего истолкованию необходимо нужно предложить всю мою систему физической химии, которую совершить и сообщить ученому свету препятствует мне любовь к российскому слову, к прославлению российских героев и к достоверному изысканию деяний нашего отечества» [2]. Об этом же он писал в письме к Эйлеру: «Я вынужден здесь быть не только поэтом, оратором, химиком и физиком, но и целиком почти уйти в историю» [3].

Опубликованные труды Ломоносова по химии и физике уже при его жизни получили признание не только в России, но и за границей [4]. Его работы оказали несомненное влияние на некоторых химиков второй половины XVIII в.

Оценивая научные труды Ломоносова, академик В. М. Севергин в 1805 г. на торжественном собрании Петербургской академии наук в «Похвальном слове» Ломоносову говорил: «Ломоносов был... искусный химик и металлург». Он «прозорлив был в умозрениях и работал с успехом собственными руками» [5].

В 1904 г. Б. Н. Меншуткин в книге «Ломоносов как физико-химик» впервые опубликовал многие рукописные работы Ломоносова. Для ознакомления иностранных химиков с трудами Ломоносова Меншуткин и М. Шпетер опубликовали их немецкий перевод в «Ostwald's Klassiker der exakten Wissenschaften» (1910, № 178). В 1952 г. в США вышел английский перевод книги Меншуткина о жизни и деятельности Ломоносова (B. N. Menshutkin. «Russia's Lomonosov, chemist, courtier, physicist, poet». Princeton).

Публикация физико-химических трудов Ломоносова показала, что в России в первой половине XVIII в. работал гениальный ученый. Президент Американского химического общества А. Смит писал, что «открытие заново Ломоносова сразу прибавило химика первой величины и личность удивительной силы к ограниченной галерее величайших людей мира» [6].

[1] *J. R. Partington.* Scientific achievements of M. V. Lomonosov.— «Nature», 1953, vol. 171, N 4343, p. 138, 139.
[2] *М. В. Ломоносов.* Полн. собр. соч., т. 3, 1952, с. 342.
[3] Там же, т. 10, с. 503.
[4] В последние годы опубликовано несколько работ, в которых аргументированно показано, что естественнонаучные идеи Ломоносова нашли отражение в западноевропейской литературе (см. библиографию).
[5] Цит. по кн.: *М. И. Сухомлинов.* История Российской Академии, вып. 4. СПб., 1878, с. 160.
[6] *A. Smith.* An early physical chemist M. V. Lomonosov.— «Journ. Amer. Chem. Soc.», 1912, vol. 34, N 2, p. 119.



Т. Е. Ловиц

С удивительной прозорливостью Ломоносов увидел в физико-химии наиболее плодотворный и многообещающий путь развития химии. Но химия и физика XVIII в. не располагали ни теоретическими, ни экспериментальными данными, на основе которых физическая химия могла бы существовать как самостоятельная наука. Для последующего успешного развития физико-химических исследований предстояло еще изучить химию газов, создать теорию горения и окислительно-восстановительных процессов, разработать атомно-молекулярное учение, открыть и экспериментально обосновать основные законы химии — закон сохранения массы, закон постоянства состава и закон кратных отношений. Усилия химиков XVIII в. и первых десятилетий XIX в. были направлены на решение именно этих задач. Работы известных химиков XVIII в. Д. Блэка, К. Шееле, Дж. Пристли, Г. Кавендиша, М. Клапрота, Т. Бергмана, Л. Воклена и особенно А. Л. Лавуазье — яркий тому пример.

Русские химики второй половины XVIII в. занимались главным образом прикладными вопросами химии. Быстро развивавшаяся горная промышленность требовала данных о составе и качестве руд конкретных месторождений и технологии их обработки. Решению задач *технической* химии были в большей части посвящены труды Э. Лаксмана, В. М. Севергина, Я. Д. Захарова, А. А. Мусина-Пушкина, И. Я. Бинтгейма. В это время создаются первые заводские лаборатории, где проводятся различные исследования, например лаборатория Лаксмана в Барнауле и химическая лаборатория Монетного двора в Петербурге.

В 1764—1766 гг. на Барнаульском стекольном заводе Лаксман предложил новый способ получения стекла с применением обезвоженной природной глауберовой соли вместо поташа, что имело большое практическое значение. Предложенный им способ был описан в 1798 г. в трудах Петербургского Вольного экономического общества.

Среди работ русских химиков второй половины XVIII в. выделяются оригинальные исследования Т. Е. Ловица — фармацевта Главной аптеки Петербурга. При очистке винокаменной кислоты перекристаллизацией Ловиц открыл (1785) явление адсорбции растворенных веществ прокаленным древесным углем. Он применил это свойство угля для очистки спирта и питьевой воды. В 1792 г. Ловиц выделил виноградный сахар в кристаллическом состоянии. В 1793 г. он получил искусственный холод при помощи смеси (3 части снега и 4 части $CaCl_2 \cdot 6H_2O$), которая давала

температуру —50° С. В том же году Ловиц выделил чистую ледяную (кристаллическую) уксусную кислоту. Хлорируя уксусную кислоту, Ловиц впервые в 1793 г. получил твердо-жидкую смесь хлоруксусных кислот. В 1795 г. он нашел в тяжелом шпате стронций и разработал метод разделения бария от стронция и кальция. Он установил, что в абсолютно обезвоженном спирте $BaCl_2$ нерастворим вообще, $SrCl_2$ очень мало растворим, а $CaCl_2$ хорошо растворим. Ловиц предложил метод качественного кристаллохимического определения веществ с помощью микроскопа. В 1798 г. он наблюдал под микроскопом кристаллизацию солей и показал, что форму кристаллов можно использовать как хорошо отличимую и строго индивидуальную характеристику различных солей. Этот метод впоследствии получил широкое распространение в химических и минералогических лабораториях.

Глава восьмая

ГЕОЛОГИЯ

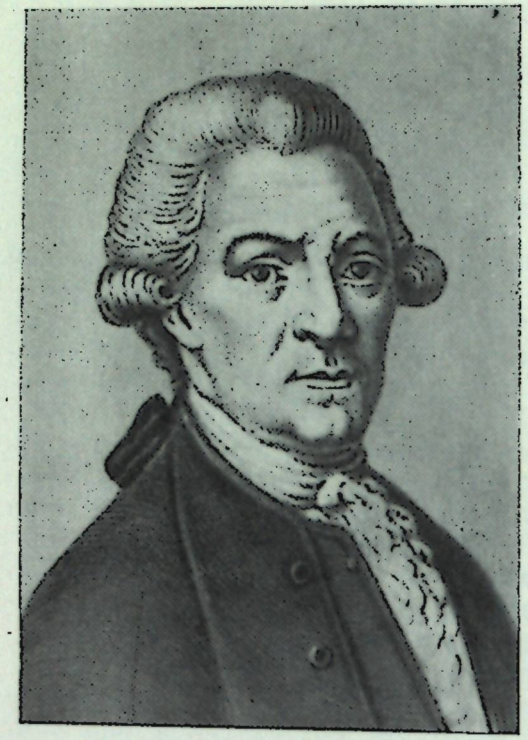
К началу XVIII в. геология как наука находилась еще в зачаточном состоянии. Общие представления о земной поверхности в конце XVII — начале XVIII в. сводились к тому, что современный рельеф Земли возник вследствие всемирного потопа, воды которого прорыли долины, образовали горы и материки и отложили слои с остатками организмов, погибших во время потопа (Т. Бернет, Дж. Вудворд, И. Я. Шейхцер и др.). Такие воззрения получили название дилювианизма. Наряду с этим существовало мнение, что рельеф Земли образуется под действием вулканических извержений и землетрясений, которые происходят при возгорании «горючих веществ» (А. Кирхер, А. Л. Моро и др.). Космогонические гипотезы Декарта и Лейбница, утверждавших, что Земля некогда представляла собой раскаленный шар, который при охлаждении покрывался утолщавшейся земной корой, были предвестниками зарождавшегося представления о Земле как о небесном теле.

В России геология развивалась как в теоретическом, так и в прикладном направлениях. В XVIII в. с развитием мануфактур и торговли, с возникновением новых отраслей промышленности сильно увеличилась потребность в минеральном сырье, каменном угле, рудах и т. д. Это вызвало быстрый рост горного дела и стимулировало поиски месторождений полезных ископаемых, что в свою очередь ускорило геологическое изучение территории страны. Изыскание полезных ископаемых и их разработка становятся особой профессией. Людей, занятых в этой области, издавна называли «рудознатцами».

В начале XVIII в. были открыты новые месторождения меди, самоцветов, огнеупорных глин и т. п. В 1721 г. рудознатец Григорий Капустин открыл месторождение каменного угля на юге России, в 1722 г. были обнаружены бурые угли в Подмосковье.

В 1700 г. Петр I создает государственную горно-разведочную службу во главе с Приказом рудокопных дел, который в 1718 г. был переименован в Берг-коллегию, просуществовавшую до 1802 г. Первым ее президентом был Я. В. Брюс. Интересные сочинения о геологических явлениях принадлежат и руководителям уральских горно-рудных заводов В. И. Геннину и В. Н. Татищеву. С созданием в 1724 г. Петербургской академии наук ведущую роль в накоплении геологических знаний стали играть организуемые ею экспедиции. Участники Великой Северной экспедиции (1733—1743) собрали и опубликовали обширные данные, относящиеся к геологии и минералогии Сибири (И. Г. Гмелин) и Камчатки (С. П. Крашенинников, Г. В. Стеллер). Данные Крашенинникова о вулканизме и землетрясениях были впоследствии использованы немецким ученым К. Гофом и другими. Образцы минералов и горных пород коллекционировались в первом русском естественнонаучном музее — Кунсткамере.

С 1730 г. статьи по вопросам геологии печатались в журнале «Примечания на ведомости». Одним из авторов журнала был В. Н. Татищев. На



С. П. Крашенинников

основе собственных наблюдений он дал описание карстовых пещер. В другой статье, относящейся к 1732 г., он высказал мысль о том, что в Сибири был некогда теплый климат и обнаруженные там кости мамонта — остатки обитавших в те времена в Сибири слонов, погибших при резком похолодании. Интересно отметить, что еще раньше работа Татищева о мамонтах была опубликована в Швеции на латинском языке в виде отдельной брошюры, а затем в актах Упсальской академии (B. Tatischew. «Epistola ád D. Ericum Benzelium de Mamontowa Kost, id est, de ossibus bestia Russis Mamont dictae». Acta Literaria Svecye, 1725—1729, v. II, s. 36.) В 1743 г. статья Татищева была перепечатана с шведского издания в Англии [1].

В 1731 г. появилась анонимная статья о землетрясениях, причиной которых ее автор считал действие подземного огня и воды. В 1733 г. опубликован также анонимный обзор сведений о вулканических горах. В статье Г. В. Рихмана «О достойных примечания переменах, которым поверхность Земли от времени до времени подвержена бывает» (1739) подчеркивалось, что поверхность Земли постоянно изменяется под действием текучих вод, с одной стороны, и под действием подземного огня и землетрясений — с другой. Однако господствующим в XVIII в. оставалось представление о Земле и ее рельефе как об однажды созданных и неизменных. Вместе с тем в середине XVIII в. идея развития все глубже проникает в естествознание. В геологии она в наибольшей степени связана с именами И. Канта, Ж. Бюффона и Ломоносова.

В 1755 г. Кант выдвинул идею о происхождении солнечной системы из газовой туманности. Бюффон в 1749 г. предложил гипотезу, согласно которой Земля образовалась в результате отрыва от Солнца части его огненной массы, превратившейся затем в самостоятельную планету, а в 1778 г. развил представления о длительности истории Земли.

К геологии относятся две работы Ломоносова: «Слово о рождении металлов от трясения Земли» (1755) и «О слоях земных» (1763). Подробное изложение первой из этих работ уже в 1756 г. (т. е. в следующем году после ее выхода в России) было помещено в журнале «Neue Zeitungen von gelehrten Sachen» (Лейпциг), а в 1759 г.— в «Göttingische Zeitungen». В том же году сообщения об этих работах появились во французском

[1] Подробнее см. *А. И. Иванов.* В. Н. Татищев о мамонтах.— В сб.: Из истории биологии, вып. 4. М., 1973.

журнале «Journal des sçavans» и английском журнале «Monthly review», а в 1761 г. она была полностью опубликована по-немецки в «Allegemeines Magazin» (Лейпциг). Таким образом, можно считать, что эта работа получила широкую общеевропейскую известность.

Центральной в геологических воззрениях Ломоносова является идея о постоянной изменчивости земной поверхности. «...Твердо помнить должно,— писал Ломоносов в 1763 г. в работе «О слоях земных»,— что видимые телесные на Земле вещи и весь мир не в таком состоянии были с начала от создания, как ныне находим, но великие происходили в нем перемены, что показывает история и древняя география с нынешнею сличенная, и случающиеся в наши веки перемены земной поверхности» [1]. «Земная поверхность ныне совсем иной вид имеет, нежели какой был издревле» [2].

Все геологические явления Ломоносов рассматривал в их взаимосвязи. Основные силы, вызывающие геологические изменения на Земле, могут быть внешними и внутренними. К внешним относится разрушительная работа текучих вод, морских волн, сильных ветров и мороза. Более могущественны внутренние силы, которые вызывают медленные поднятия и опускания суши, образование гор и землетрясения. Эти силы Ломоносов приписывал действию подземного огня, очаги которого расположены глубоко под поверхностью Земли. Подобные представления получили признание и распространение в науке значительно позже (Геттон и др.). Ломоносов подчеркнул изменение на протяжении геологического времени характера и интенсивности действия основных факторов, преобразующих земную поверхность. Эти его идеи утвердились в науке намного позже и сыграли важную роль в формировании теоретических представлений в геологии.

В геологических работах Ломоносова отчетливо видны элементы тех представлений, которые затем, претерпев, конечно, сложные преобразования, сложились в метод актуализма. Он исходил из признания продолжительности геологического времени и высказал мысль о медленных движениях земной коры и морских трансгрессиях. Эта мысль получила признание и развитие только в XX в. Особенно велики заслуги Ломоносова в изучении горных пород, минералов и руд. Им рассмотрены способы образования осадочных горных пород, описаны типы залегания рудных жил и поисковые признаки рудных месторождений, предложены доказательства растительного происхождения нефти, угля, торфа и янтаря. Следует отметить также, что Ломоносов был одним из первых ученых, применивших микроскоп в кристаллографических исследованиях.

В конце жизни Ломоносов задумал большой труд по минералогии России. В 1763 г. было опубликовано написанное им «Известие о сочиняемой Российской минералогии», в котором он предлагал собирать по всей стране и присылать ему образцы руд и минералов. В ответ на это обращение с горных заводов Ломоносову было прислано много образцов. Членкорреспондент Академии наук П. И. Рычков прислал ему свою работу, напечатанную позднее, в 1766 г., под заглавием «О медных рудах и минералах, находящихся в Оренбургской губернии». Смерть прервала работу Ломоносова, но эта его неосуществленная идея оказала влияние на даль-

[1] *М. В. Ломоносов.* Поли. собр. соч., т. 5. М.— Л., Изд-во АН СССР, 1955, с. 574—575.

[2] Там же, с. 300.

нейшие исследования русских ученых. Прямым откликом на нее явилась книга В. М. Севергина «Опыт минералогического землеописания Российского государства» (1809).

Во второй половине XVIII в. геологические исследования в России приобретают весьма крупные для того времени масштабы, главным образом благодаря серии широко задуманных экспедиций по изучению территории и природных ресурсов страны. Наибольший размах получили организованные по замыслу Ломоносова академические экспедиции 1768—1774 гг., целью которых было общее естественнонаучное изучение территории России. Маршруты разных отрядов этих экспедиций проходили по Уралу и Поволжью, югу России, включая Кавказ, по Заволжью, Южному Уралу и Сибири. Среди руководителей отрядов были такие выдающиеся натуралисты XVIII в., как П. С. Паллас, И. И. Лепехин, С. Г. Гмелин, И. А. Гильденштедт, И. П. Фальк и И. Г. Георги.

Отчеты экспедиций содержали многочисленные и разнообразные геологические сведения: описания пещер и ледниковых валунов, месторождений угля, различных руд, нефти, описания минеральных источников, минералов, горных пород и окаменелостей. Гильденштедт составил общее описание геологического строения Кавказа. Важные выводы на основании полученных геологических данных были сделаны Лепехиным. Они были изложены в четырех томах его путевых дневников за 1768—1772 гг. Лепехин говорил об изменчивости земной поверхности: «Там было морское дно, где ныне славные города построены и многолюдные села находятся» [1],— писал он. Изменения поверхности Земли он приписывал двум главным факторам — воде и подземному огню. В качестве аргумента против гипотезы всемирного потопа Лепехин приводил находки в слоях горных пород зубов акул, подобных зубам тех акул, которые живут в море в настоящее время. Лепехин заключает, что «всемирный потоп» не мог вынести «со дна моря такие остатки, которые к плаванию неудобны» [2], напротив, наличие таких остатков очень легко объясняется сменой суши и моря. Образование Уральских гор Лепехин объяснял действием силы подземного огня, которая «выпучила земную поверхность»; такие представления приближаются к развитой значительно позднее «гипотезе поднятия». Лепехин выделил в Приуралье «биарскую» толщу, которую в XIX в. после работ английского геолога Мурчисона стали называть пермской.

Обширные материалы были собраны экспедицией академика Палласа, имевшей самый протяженный маршрут: Поволжье, Южный Урал, Сибирь (до Читы), Западный Саян, низовья Волги. Результаты наблюдений были изложены Палласом в многотомном труде «Путешествие по разным провинциям Российской империи», опубликованном в 1773—1788 гг. Обобщив материалы собственных геологических наблюдений и сведения из литературных источников о строении Кавказа, Уральских гор, Альп и даже Анд, Паллас создал свою теорию строения Земли и происхождения гор. Эта теория была изложена им в речи об образовании гор и изменениях земной поверхности, в частности на территории России («Betrachtungen über die Beschaffenheit der Gebürge und die Veränderungen der Erdkugel, besonders in Beziehungen auf das Russische Reich»), произнесенной на торжественном собрании Петербургской академии наук в 1777 г. По мнению Палласа, внутренность Земли твердая и состоит из гранита. Срединная часть горных цепей также сложена гранитом. Раньше это были острова, окруженные морем (однако никогда не покрывавшиеся морскими водами), затем, по мере опускания уровня Мирового океана, откладывались слои кристаллических глинистых сланцев, известняков и рыхлых осадочных пород. В дальнейшем лик Земли изменяли громадные вулканические извержения и наводнения.

Схема строения гор, предложенная Палласом, в известной мере соответствовала строению многих горных систем. Большой фактический материал и убедительность доводов обеспечили широкую популярность его

[1] *И. И. Лепехин.* Дневные записки путешествия..., ч. 3. СПб., 1780, с. 36.
[2] Там же, с. 34.

ДНЕВНЫЯ
ЗАПИСКИ
ПУТЕШЕСТВІЯ
ДОКТОРА ПАКАДЕМІИ НАУКЪ АДЪЮНКТА
ИВАНА ЛЕПЕХИНА
ПО
РАЗНЫМЪ ПРОВИНЦІЯМЪ
РОССІЙСКАГО ГОСУДАРСТВА
1768 и 1769 году.
Часть I.

Вторымъ тисненіемъ.

ВЪ САНКТПЕТЕРБУРГѢ
при Императорской Академіи Наукъ,
1795 году.

Титульный лист второго издания книги И. И. Лепехина «Дневные записки...», ч. 1, 1795 г.

теории. Она оказала влияние, в частности, на Ж. Кювье и Дж. Холла. Однако Паллас преувеличил роль вулканических извержений и наводнений. Неудивительно, что его взгляды были использованы позже и нептунистами и катастрофистами.

Наряду с академическими экспедициями в середине и второй половине XVIII в. организуются все более многочисленные геологоразведочные экспедиции. Следует упомянуть о работах П. Шангина, который исследовал месторождения облицовочных камней и самоцветов на Урале и Алтае. Описания минералов Сибири, Алтая, Забайкалья, Олонецкого края, выполненные академиком Э. Лаксманом, дали существенный материал для развития минералогии в России.

Во второй половине XVIII в. резко улучшается подготовка специалистов по геологии. В 1773 г. в Петербурге открывается Горное училище (ныне Ленинградский горный институт), сыгравшее важную роль в развитии геологического образования.

С 80-х гг. начинают составляться первые геологические карты, в частности геогностическая карта Восточного Забайкалья.

Следует подчеркнуть, что русская геология XVIII в. сохраняла свои традиционные связи с западноевропейской наукой, особенно с немецкой, в меньшей мере — со шведской, французской и др. Однако это не означало простого следования в форватере идей зарубежных геологов.

Итак, наиболее знаменательными в истории геологии в России в XVIIIв. были работы Ломоносова, в которых рассматривались теоретические вопросы геологии, утверждалась идея изменчивости и длительности истории Земли. Конец XVIII в. характеризовался широким размахом экспедиционных исследований, началом геологического картирования территории России, резким улучшением постановки геологического образования и увеличением числа специалистов в области геологии.

Глава девятая

ГЕОГРАФИЯ[1]

Накопление географических знаний в России до конца XVII в. своими успехами было обязано главным образом инициативе, предприимчивости и отваге русских людей, никак не связанных с наукой.

Знаменитым походом Ермака в 1581—1584 гг. было положено начало великим географическим открытиям в Сибири и на Дальнем Востоке. Небольшие отряды казаков и охотников за пушным зверем немногим более чем за полустолетие расширили пределы Русского государства от Урала до Тихого океана (1639); они сообщили об этом огромном крае первые достоверные сведения, которые легли в основу географических карт и описаний Сибири.

В конце XVII — начале XVIII в. наступил новый период развития географии в России, связанный с государственной политикой Петра I. Широко задуманные преобразования страны потребовали расширения знаний о природе, населении и хозяйстве, составления географических карт с точным обозначением государственных границ, рек, морей, путей сообщения. Поэтому Петр I сразу принял решительные меры, способствовавшие развитию географии и картографии. По его указанию открылись школы, готовившие геодезистов и штурманов, переводились и издавались первые учебники географии. По поручению Петра тобольский картограф-самоучка и историк С. У. Ремезов при участии своих сыновей составил «Чертеж всей Сибири» и в 1701 г. закончил «Чертежную книгу Сибири» — первый русский атлас из 23 карт, включавший карты не только Сибири, но и севера Европейской России. «Чертеж» и «Чертежная книга» явились своего рода поворотным пунктом в истории русской картографии и широко использовались как русскими, так и западноевропейскими учеными.

В 1696—1699 гг. адмирал Корнелий Крюйс провел инструментальную съемку на Азовском море и на р. Дон. На основе его материалов создан атлас реки Дона, Азовского и Черного морей, содержащий 17 карт. В 1703—1704 гг. по поручению Петра I карты были гравированы и отпечатаны в Амстердаме. Особенно интересна одиннадцатая карта, на которой нанесена трасса канала, запроектированного Петром для соединения рек Волги и Дона. В правом углу карты помещена гравюра, изображающая земляные работы на канале, начатые в 1700 г.

В поисках торговых путей в Индию был предпринят ряд экспедиций в районы Средней Азии. Важнейшей из них была экспедиция 1714—1717 гг. на Каспийское море, в Хиву и Бухару под начальством сподвижника Петра I кабардинского князя Александра Бековича-Черкасского. Экспедицией была составлена рукописная карта восточного побережья Каспийского моря. Работы экспедиции Бековича-Черкасского, а также

---

[1] Глава подготовлена при участии кандидата географических наук И. М. Забелина.

ряда других картографических отрядов позволили Ф. И. Соймонову, К. Вердену и А. И. Кожину составить первую достоверную карту Каспийского моря, которая была в 1720 г. издана в Петербурге. В 1722 г. эту карту перегравировал в Париже Делиль. В это же время русские исследователи доказали, что Амударья впадает в Аральское, а не в Каспийское море, как это традиционно считалось в Западной Европе.

В первой четверти XVIII в. русское правительство все больше внимания уделяло Сибири. Наряду с хозяйственным освоением Сибири продолжали уточняться границы страны на востоке. Например, в 1719 и 1721 гг. геодезисты И. М. Евреинов и Ф. Ф. Лужин, получившие задание выяснить, «сошлась ли Америка с Азией», плавали в районе Камчатки. Достигнуть пролива между Азией и Америкой они не смогли, но представили подробную рукописную карту Камчатки и Курильских островов.

В те же годы Петр I пригласил из Данцига Д. Г. Мессершмидта и поручил ему поиски лечебных трав и изучение природы внутренних областей Сибири. Это путешествие продолжалось с 1720 по 1727 г. Мессершмидт собрал и обработал колоссальный материал по географии, этнографии, ботанике, зоологии, лингвистике и другим областям науки. К сожалению, научные дневники его путешествия в XVIII—XIX в. были изданы только частично, и лишь в наши дни было предпринято их полное издание в 5 томах, подготовленное Институтом истории естествознания и техники АН СССР совместно с Институтом истории АН ГДР [1].

В конце 1724— начале 1725 г. Петр I подготовил инструкцию и указ об экспедиции, получившей название Первой Камчаткой. Ей поручалось установить, существует ли пролив между Азией и Америкой, и по возможности войти в контакт с населением в Северной Америке. Начальником экспедиции был назначен офицер русского флота выходец из Дании Витус Беринг, его помощниками — морские офицеры А. И. Чириков и датчанин по происхождению М. П. Шпанберг.

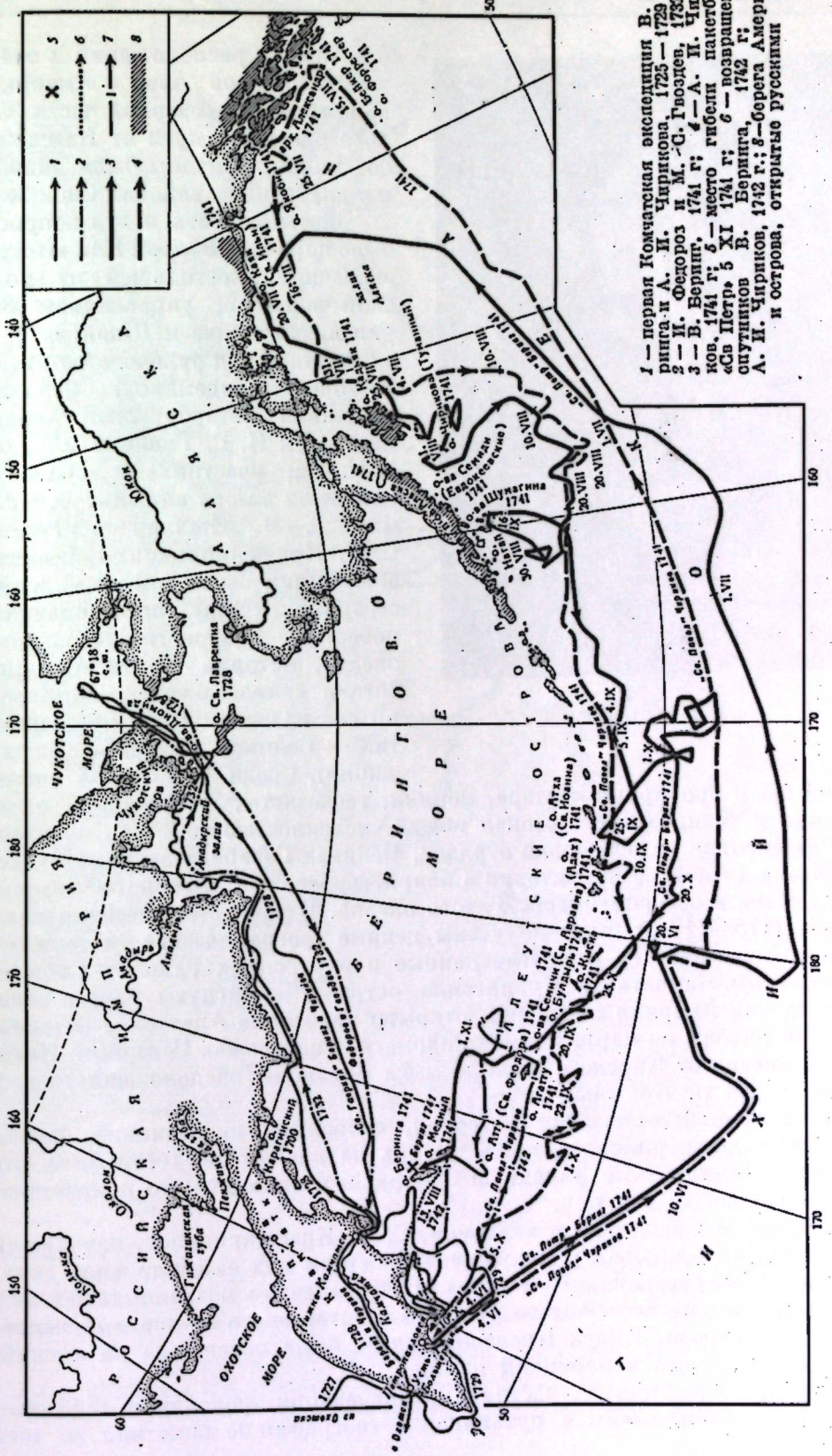
В июле 1728 г. бот «Св. Гавриил», построенный на Камчатке, вышел в плавание, держа курс на север. 15(26) августа 1728 г. экспедиция достигла 68°18′48″ с. ш. Беринг, без достаточных к тому оснований посчитав, что наличие пролива между Азией и Америкой доказано, хотя американского берега мореплаватели не видели, настоял на прекращении плавания.

Сообщение о результатах экспедиции было опубликовано 16(27) марта 1730 г. в журнале «Санкт-Петербургские ведомости». В 1740 г. сообщение о плавании Беринга было напечатано в книге Ф. Вебера (F. Weber. Das veränderte Russland, 3 Theil. Hannover).

В 1732 г. геодезисты И. Федоров и М. Гвоздев на боте «Св. Гавриил» прошли с Камчатки к северо-западному берегу Америки и первыми из исследователей нанесли его на карту, действительно доказав, таким образом, существование пролива между материками.

В результате работ Первой Камчатской экспедиции была составлена довольно верная карта побережья Северо-Восточной Сибири, но экспедиция не разрешила ряд важнейших географических проблем: остались неисследованными все северные берега Сибири, не было точных сведений

[1] *D. G. Messerschmidt.* Forschungsreise durch Sibirien 1720—1727. Akademie-Verlag, Berlin, Bd. 1, 1962; Bd. 2, 1964; Bd. 3, 1966. Bd. 4, 1968. Подлинники дневников хранятся в архиве АН СССР в Ленинграде.


1 — первая Камчатская экспедиция В. Беринга и А. И. Чирикова, 1725—1729 гг.; 2 — И. Федоров и М. Гвоздев, 1732 г.; 3 — В. Беринг, 1741 г.; 4 — А. И. Чириков, 1741 г.; 5 — место гибели пакетбота «Св Петр» 5 XI 1741 г.; 6 — возвращение спутников В. Беринга, 1742 г.; 7 — А. И. Чириков, 1742 г.; 8 — берега Америки и острова, открытые русскими
ЧУКОТСКОЕ МОРЕ
БЕРИНГОВО МОРЕ
ОХОТСКОЕ МОРЕ
Аляска
Камчатка
Чукотский п-ов
о. Св. Лаврентия
о. Св. Иоанна
о. Св. Матфея
о. Беринга
о. Медный
о. Атту
о. Буяндыра
о. Лиса
о. Шумагина
Ост. Семичи
Ост. Беринга
Ост. Медный
Ост. Атту
Ост. Лиса
Ост. Буяндыра
Ост. Шумагина
Ост. Св. Петр
Ост. Св. Павел
Ост. Св. Гавриил
Ост. Св. Иоанн
Ост. Св. Матфей
Ост. Св. Лаврентий



И. Г. Гмелин

о взаимном расположении и очертаниях берегов Азии и Америки, об островах в северной части Тихого океана, о пути от Камчатки до Японии. Скудны были знания и о внутренних районах Сибири.

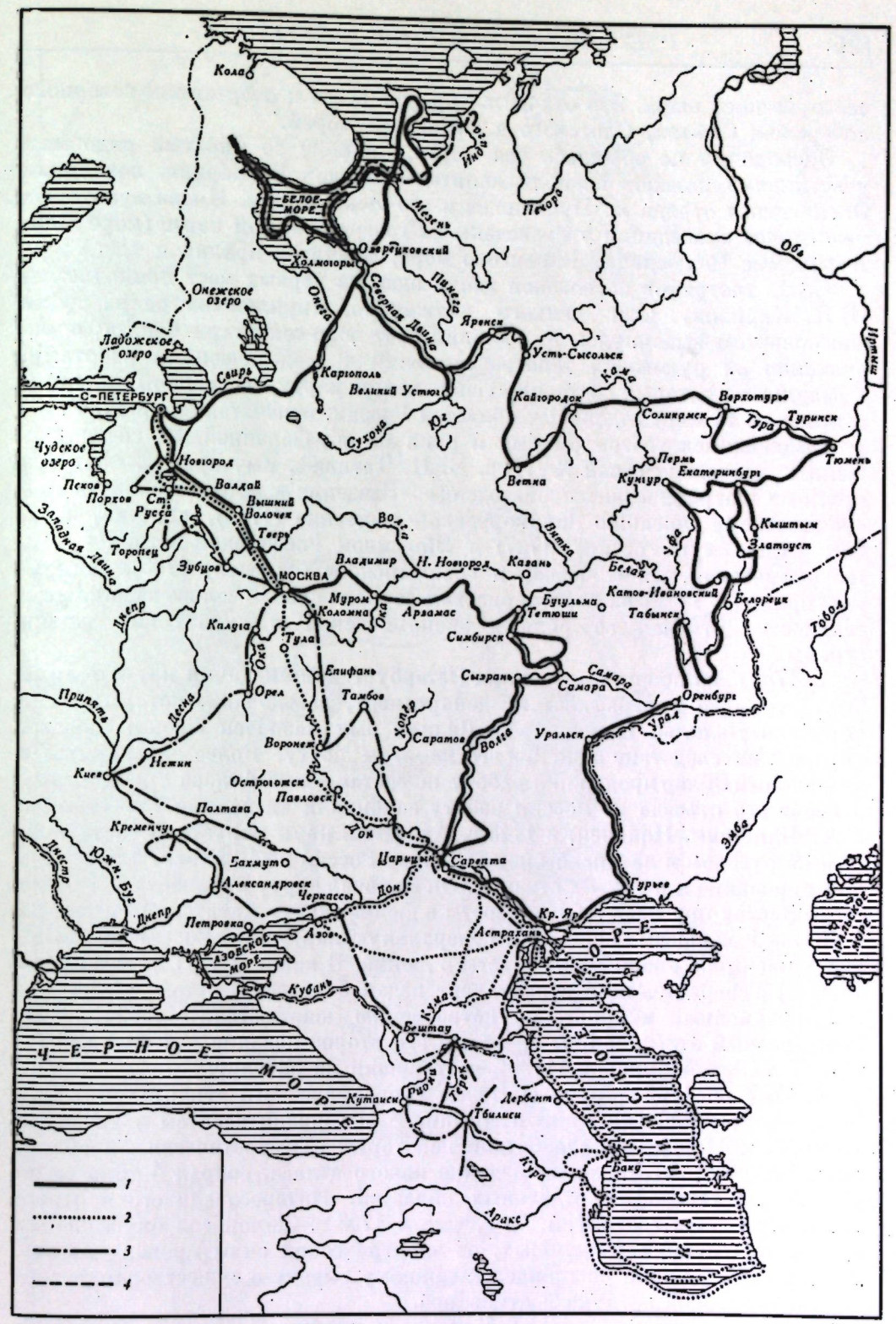
Внести ясность в эти вопросы было поручено Второй Камчатской экспедиции, состоявшей из морской части под управлением Беринга, Чирикова и Шпанберга и сухопутной под руководством профессоров (академиков) недавно созданной Петербургской академии наук И. Г. Гмелина и Г. Ф. Миллера; участниками экспедиции были также адъюнкт Академии Г. В. Стеллер и студент С. П. Крашенинников. В составе экспедиции были также морские северные отряды, исследовавшие побережье Северного Ледовитого океана, которые фактически работали самостоятельно (отсюда другое название всего предприятия — Великая Северная экспедиция). Среди участников экспедиции были пробирные мастера, моряки, геодезисты, художники, переводчики и технический персонал общей численностью до 2 тыс. человек.

Разделенная на несколько отрядов, Великая Северная экспедиция исследовала огромные территории Сибири, побережья Северного Ледовитого океана и северную часть Тихого океана. В результате десятилетних трудов (1733—1743) были получены ценные географические, исторические, этнографические и другие данные о внутренних районах Сибири, обследованы Камчатка и Курильские острова, достигнуты берега северо-Западной Америки и Японии, открыты некоторые Алеутские острова. Были положены на карту тысячи километров побережья Северного Ледовитого океана от Карского моря до мыса Баранова, расположенного восточнее устья р. Колымы.

Естественноисторический материал, собранный экспедицией, позволил Гмелину впервые разделить Сибирь на два физико-географических района — Восточную и Западную Сибирь, и в принципе это подразделение сохранено до сих пор.

Студент, а впоследствии академик, С. П. Крашенинников, изучавший Камчатку, опубликовал ряд сочинений и среди них замечательное двухтомное «Описание земли Камчатки» (1756), впервые познакомившее мир с природой и населением этого далекого и интересного во многих отношениях полуострова. Книга Крашенинникова была переведена на английский, голландский и немецкий языки.

Карты, составленные участниками экспедиции, покончили с фантастическими сообщениями и путаницей в географии не известной до того



Маршруты экспедиций Академии наук в 1768—1774 гг.

1 — И. И. Лепехин, 1768—1772 гг.; *2* — С. Г. Гмелин, 1768—1774 г.; *3* — И. А. Гильденштедт, 1768—1774 гг.; *4* — Н. Я. Озерецковский, 1771—1772 гг.

части земного шара. Это относится прежде всего к очертаниям северного побережья Сибири, Охотского и Берингова морей.

Экспедиция не обошлась без жертв: наряду со многими рядовыми участниками походов погибли капитан-командор В. Беринг, начальник Оленекского отряда В. Прончищев и его жена Мария. Имена некоторых участников экспедиции увековечены на географической карте (море Лаптевых, мыс Челюскина, Берингово море, Берингов пролив и т. д.)

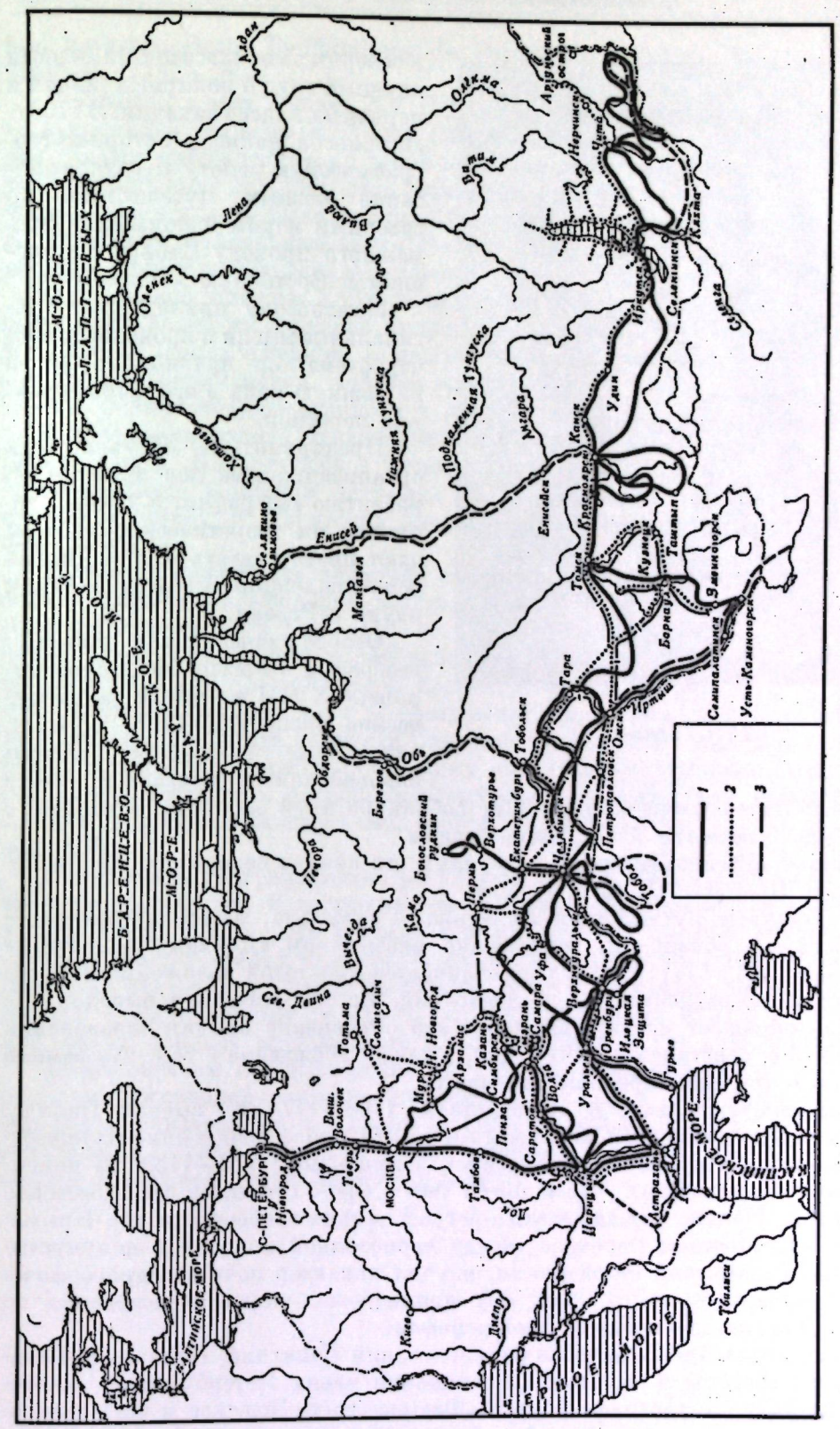
Среди географов петровской эпохи одно из первых мест принадлежит И. К. Кирилову. Сын мелкого служащего, Кирилов благодаря своим способностям выдвинулся на высокий пост обер-секретаря Сената; одновременно он руководил топографическими и геодезическими работами, в результате которых составил «Генеральную карту Российской империи» и атлас из 14 карт отдельных областей России, отпечатанный в 1734 г.

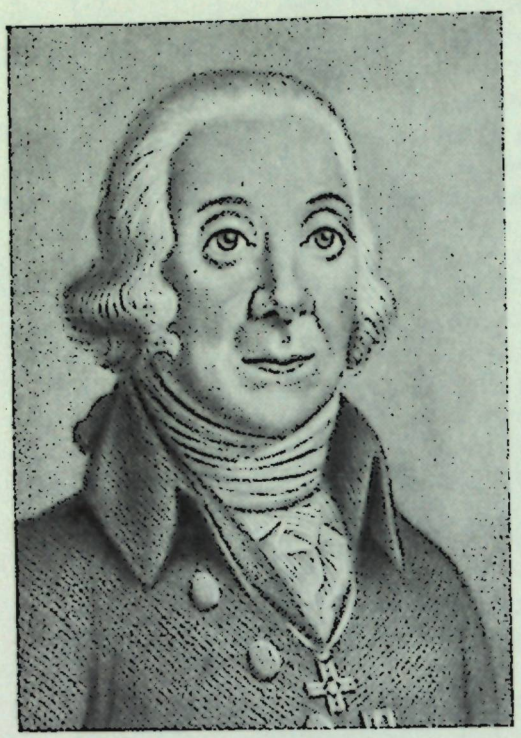
Выдающимся географом был и один из образованнейших государственных деятелей России XVIII в. В. Н. Татищев. Ему принадлежат три крупных географических произведения: «Введение к историческому и географическому описанию Великорусской империи» (1744), «Россиа, или, как ныне зовут, Россия» (1737) и «Лексикон Российской исторической, географической, политической и гражданской» (3 части, 1793). Описывая природу, Татищев характеризовал ее как среду человеческой деятельности, отмечал ее роль в экономической и культурной жизни страны.

В 1739 г. по проекту академика Петербургской академии наук Делиля был учрежден Географический департамент, заведование которым было поручено Делилю. Помощником Делиля был назначен Леонард Эйлер, который впоследствии и сменил его на этом посту. Более энергичный и деятельный Эйлер продолжил работу по составлению Атласа Российского, а после его отъезда из России работу закончили академики Г. Гейнзиус и Х. Винсгейм. Наконец, в 1745 г. Академия наук выпустила составленный на русском и латинском языках атлас России из 19 карт. Атлас получил признание и в других странах. Он включал карту Европейской России на 13 листах при масштабе 34 версты в дюйме, карту Азиатской России на 6 листах в меньшем масштабе и Генеральную карту всей России на 2 листах в масштабе около $206^1/_2$ версты в дюйме. В конце XVIII в. (с 1792 по 1796 г.) Географический департамент издал 5 атласов, в том числе «Атлас, сочиненный к пользе и употреблению юношества...» (1794) — это был учебный атлас, в 1802 г. вышло его второе издание — и большой атлас Российской империи (1796), состоявший из 52 карт.

С 1757 по 1765 г. руководителем Географического департамента был М. В. Ломоносов, отдавший последние 8 лет жизни заботам о развитии географии. Наряду с разработкой некоторых ее теоретических проблем, он к 1763 г., подготавливая издание нового атласа, собрал 4 тома материалов по географии отдельных областей. Интересовали его и отраслевые проблемы географии. Так, еще в 1753 г. Ломоносов опубликовал «Слово о явлениях воздушных, от электрической силы происходящих». В этом исследовании он пришел к важному выводу о существовании вертикальных токов воздуха в атмосфере.

Большое внимание уделял Ломоносов проблеме освоения Северного морского пути. В 1755 г. он написал «Письмо о Северном ходе в Ост-Индию Сибирским океаном», в 1759 г.— «Рассуждение о большей точности морского пути», а в 1761 г.— «Мысли о происхождении ледяных гор


Лена
Обь
Енисей
Ангара
Иртыш
Волга
Урал
Тобольск
Тара
Томск
Красноярск
Иркутск
Якутск
Нерчинск
Оленек
Верхотурье
Екатеринбург
Пермь
Казань
Самара
Оренбург
Астрахань
Москва
Петербург
Новгород
Тверь
Тобольск
Кузнецк
Барнаул
Гурьев
Тифлис
Киев
Днепр
Тамбов
Пенза
Саратов
Симбирск
Нижний Новгород
Архангельск
Сев. Двина
Печора
Обдорск
Березов
Мангазея
Нижняя Тунгуска
Подкаменная Тунгуска
Ангара
Удинск
Селенгинск
Нерчинск
Охотск
Якутск
Ленск
Оленек
Хатанга
Енисейск
Красноярск
Кузнецк
Барнаул
Томск
Тара
Тобольск
Верхотурье
Екатеринбург
Пермь
Оренбург
Самара
Симбирск
Казань



П. С. Паллас

в северных морях»: это был первый научный труд о полярных льдах и первая их классификация. В 1763 г. Ломоносов написал историко-географическую работу «Краткое описание разных путешествий по северным морям и показание возможного проходу Сибирским океаном в Восточную Индию».

Ломоносову принадлежат оригинальные мысли о происхождении чернозема: он правильно указал на важную роль в его формировании перегноя.

Предпринятые Ломоносовым организационные мероприятия по развитию географии, а также сделанные им теоретические выводы дают право считать его одним из основоположников географической науки в России.

Особое значение для развития географии в России во второй половине XVIII в. имели академические экспедиции 1768—1774 гг., охватившие важнейшие районы европейской и азиатской части страны. Пятью экспедициями был собран богатый научный материал о природе, хозяйстве и населении страны.

Большой географический материал и его анализ содержали труды Лепехина, Палласа, Фалька, Георги.

Результаты путешествия Лепехина — адъюнкта, затем академика — изложены в сочинении, сокращенно называемом «Дневные записки...» (т. 1—4, СПб., 1771—1805). Оно отличается простотой изложения и практической направленностью исследований. Из теоретических выводов Лепехина обращает на себя внимание его объяснение причин образования пещер (под действием текучих вод), а также убеждение в том, что земной рельеф с течением времени изменяется.

Выдающуюся роль в экспедициях 1768—1774 гг. сыграл Паллас. Итоги его исследований изложены им в пятитомном сочинении «Путешествие по разным провинциям Российской империи» (1773—1788) на немецком и русском языках («Reise durch verschiedene Provinzen des Russischen Reiches»). Паллас расшифровал орографические особенности гор Крыма, установил границы перехода между черноземной полосой и полупустыней Прикаспийской низменности, изучил характер почв и гидрографические особенности этого края; ему принадлежат также исследования по флоре России, зоологии и зоогеографии.

Результаты географических исследований Лепехина, Палласа и Фалька были сведены в пятитомном сочинении члена Петербургской академии ботаника и географа Георги «Физико-географическое и естественно-историческое описание Российской империи» («Geographisch-physikalische und naturhistorische Beschreibung des Russischen Reiches», Bd. 1—5. Königsberg, 1797—1802).

С выходом в свет в конце XVIII в. трудов Лепехина, Палласа и Георги закончился значительный этап географического изучения России. Перед ученым миром впервые с такой полнотой было раскрыто все многообразие и богатство природы этой огромной страны. В 1773 г. в Географическом департаменте было учтено 1080 различных карт. Высокой оценки заслуживают генеральные карты России 1776 и 1786 гг. и карты северо-востока Азии и северо-запада Америки.

В последней четверти XVIII в. внимание ряда русских исследователей было направлено на изучение природы и населения Алеутских островов и Северо-Западной Америки. Большую роль в этих исследованиях играла Российско-Американская торгово-промышленная компания, организованная усилиями образованного и предприимчивого купца Г. И. Шелихова и поддерживаемая правительством России. В 1784 г. Шелихов организовал на о. Кадьяк первое русское поселение. Служащий Российско-Американской компании штурман Г. Л. Прибылов в 1787—1788 гг. открыл к северу от Алеутских новые острова, названные впоследствии его именем.

Мировую известность получила северо-восточная астрономо-географическая экспедиция офицеров русского флота И. Биллингса и Г. А. Сарычева, работавшая в 1785—1793 гг. Главная ее задача состояла в исследовании неизвестных еще частей побережья Северного Ледовитого океана от устья Колымы до Чукотского полуострова. Результаты этой экспедиции изложены Биллингсом в кратких записках, а также в книге Сарычева «Путешествие флота капитана Сарычева по северо-восточной части Сибири, Ледовитому морю и Восточному океану в продолжение осьми лет при Географической и Астрономической морской экспедиции, бывшей под начальством флота капитана Биллингса с 1785 по 1793» (ч. 1—2, с атласом, 1802).

Наибольшие географические результаты в этой экспедиции были достигнуты Сарычевым. В частности, он высказал предположение, что Алеутская гряда могла быть некогда единым горным хребтом, который от сильных землетрясений разделился на острова. Сарычев уточнил географические сведения о Северо-Восточной Азии и Северной части Тихого океана, а составленный им альбом крупномасштабных карт и зарисовки для лоции явились прекрасными иллюстрациями к его сочинениям.

Таким образом, географические и другие исследования необъятной территории Российской империи приобрели в XVIII в. огромный размах. Это был удивительный по своим масштабам исследовательский штурм отдаленных окраин страны, а также Северной Америки, внесший много нового в мировую географическую науку.

Глава десятая

БИОЛОГИЯ[1]

Ценные сведения о растениях и животных, их образе жизни накапливались в России еще с древности в результате практического опыта и наблюдений земледельцев и охотников. Эти сведения находили отражение в «травниках» и «лечебниках», которые в XVI—XVII вв. имели довольно широкое хождение в списках. Однако систематические исследования в области биологии в России развернулись фактически лишь в начале XVIII в. Важную роль в этом сыграли сначала Кунсткамера, а затем Петербургская академия наук. Основой анатомо-эмбриологических и зоологических коллекций Кунсткамеры послужили препараты голландского анатома Ф. Рюйша и зоологические материалы А. Себа. Эти коллекции в дальнейшем пополнялись анатомическими, тератологическими, зоологическими, ботаническими и палеонтологическими материалами, собиравшимися по всей России по специальному указу Петра I. Прибывшие в Петербург первые члены Академии наук нашли в Кунсткамере, которая была передана Академии, интересные объекты для своих исследований, и их первые работы были связаны с изучением материалов, имевшихся в Кунсткамере. Собранной в ней богатой коллекцией «уродов» воспользовался позже для своей работы К. Ф. Вольф. Физиологическими исследованиями занимались Л. Эйлер и Д. Бернулли. Они изучали движение крови в капиллярах, стремясь в противовес распространенным тогда виталистическим объяснениям жизненных явлений понять кровообращение, исходя из законов гидродинамики. На той же механической основе покоится и сочинение Д. Бернулли «Теория движения мышц» («De motu musculorum theoria», 1726). Преемник Эйлера и Бернулли анатом и физиолог И. Вейтбрехт в 1731 г. показал, что одними законами гидродинамики объяснить движение крови нельзя, так как сосуды являются не просто неподвижными трубками, а своими сокращениями участвуют в кровообращении. Кроме Вейтбрехта анатомические исследования проводил и Дювернуа.

Большое значение имели научные экспедиции, предпринятые для изучения природы восточных районов России, и среди них в первую очередь путешествие Д. Мессершмидта по Сибири (1720—1727). Мессершмидт собрал обширные коллекции млекопитающих и птиц, впервые описав, в частности, дикого осла (кулана), центральноазиатского барана (аргали) и других животных. Он подробно охарактеризовал географическое распространение, образ жизни и сезонные явления в жизни многих сибирских животных. Составленный им путевой дневник был использован и частично опубликован во второй половине XVIII в. Палласом и Стеллером, а в XIX в. — Брандтом.

Во Второй Камчатской (Великой Северной) экспедиции (1733—1743) приняли участие три выдающихся натуралиста — Гмелин, Крашенинников и Стеллер. Одним из результатов экспедиции явилась «Флора Сибири» Гмелина (1747—1769), содержавшая описание 1178 видов растений, многие из которых были описаны впервые. Крашенинников в своем труде «Описание земли Камчатки», о значении которого уже говорилось в главах 8 и 9, посвященных геологии и географии, охарактеризовал фауну Камчатки, описав несколько десятков видов населяющих ее млекопитающих, птиц и рыб, сообщил сведения об их географическом распространении и образе жизни, о хозяйственном значении камчатских животных и о перспективах животноводства на Камчатке. Здесь содержались также материалы по фауне Шантарских и Курильских островов, о нерестовых миграциях рыб из моря в реки; он собрал сведения и о растениях Камчатки, особенно имеющих практическое значение. По возвращении в Петербург Крашенинников занимался морфологией и систематикой рыб, а также флорой Петербургской губернии. Третий участник экспедиции — зоолог Стеллер, использовав свои наблюдения, а также данные, собранные Крашенинниковым, в 1741 г. написал широко известное сочинение «О морских животных», в котором содержатся описания названной его именем морской коровы (Rhytina stelleri), калана, котика и сивуча. Стеллер оставил также труды по ихтиологии, орнитологии и географии.

[1] При подготовке этой главы использован текст С. Л. Соболя.

Кунсткамера. Внутренний вид галереи с зоологическими коллекциями



В середине XVIII в. развернулась деятельность М. В. Ломоносова. Вместе со своими современниками Кантом, французскими энциклопедистами (особенно Дидро) и Бюффоном он участвовал в выработке того метода мышления, который стал характерным для нового естествознания. Бюффон в «Истории и теории Земли» («Histoire et théorie de la Terre», 1749) и в «Эпохах природы» (Les époques de la nature», 1778) высказывал мысли об изменении земной поверхности в течение тысячелетий (как он представлял себе сроки геологических процессов). Он был склонен думать, что и живые существа на протяжении истории Земли также изменяются, но эти суждения облекал в столь уклончивую форму, что среди историков биологии до сих пор нет единого мнения, следует ли причислять Бюффона к трансформистам. Даже если отнести осторожность и противоречивость его суждений за счет нежелания вступать в конфликт с церковью, все же приходится признать, что Бюффон по меньшей мере сомневался, что́ ближе к истине — представление о происхождении одних животных от других или учение об их одновременном и независимом появлении на Земле в результате акта творения. Дидро считал, что живые существа за короткие отрезки времени изменяются незаметно, но в течение долгого срока, отделяющего настоящее время от прошлых эпох, разница между ныне живущими и прежде жившими формами становится громадной.

Взгляды Ломоносова об изменении животных и растений также были непосредственно связаны с его геологическими и палеонтологическими наблюдениями. Прежде всего Ломоносов со всей решительностью возражал против представления, что ископаемые остатки животных, в частности раковины моллюсков, являются «игрой природы»; он утверждал, что окаменелости являются подлинными остатками прежде живших организмов. Его суждения об изменении живых существ вместе с изменением земной поверхности имеют характер попутных замечаний и не вылились в теоретическое обобщение, которое можно было бы назвать эволюционной теорией, и все же они, несомненно, имели существенное значение хотя бы уже потому, что закон вековых изменений, принимавшийся Ломоносовым для «слоев земных», он безоговорочно распространял и на органический мир. Ломоносов высказал и ряд других интересных соображений относительно живой природы. Он считал, что материальная основа неживой и живой природы едина и что во всех ее царствах действуют одни и те же основные законы. Но в органических телах, по словам Ломоносова, составляющие их части не просто находятся рядом и одна внутри другой, а «в своем устройстве обусловлены друг другом». Рассматривая жизнедеятельность как химический процесс, он подошел к представлению об обмене веществ как наиболее характерном свойстве живого. Размышляя над развитием растений на бесплодной песчаной почве, он сделал заключение, что растения воспринимают питательные вещества не только из земли, но и из воздуха. Таким образом, Ломоносов вместе с английским ботаником С. Гейлсом был в числе первых, кто высказал мысль о воздушном питании растений.

Заслугой Ломоносова является также его руководство изготовлением в России оптических инструментов, в частности, неахроматических микроскопов.

Важным шагом в дальнейшем усовершенствовании микроскопа была деятельность в этом направлении Л. Эйлера и Ф. Эпинуса. В середине

XVIII в. Эйлер, как уже говорилось в главах 5 и 6, сконструировал ахроматический объектив для телескопа, а в начале 70-х годов решил математическую задачу создания объектива для микроскопа из трех линз с разными коэффициентами преломления. Первый в мире микроскоп с ахроматическим объективом был построен в 1773—1775 гг. в оптической мастерской Академии наук И. И. Беляевым и И. П. Кулибиным. Задача создания микроскопа с оптикой, свободной от аберрации, была в принципе решена, но техническое ее осуществление было еще несовершенным. Только 10 лет спустя Эпинус спроектировал и построил более совершенный ахроматический микроскоп[1]. Однако внедрение в практику этого выдающегося изобретения было на четверть века задержано западноевропейскими оптиками, изготовлявшими микроскопы, в частности Дж. Адамсом, опасавшимся за судьбу своей продукции и напечатавшим в 1787 г. отрицательный отзыв о микроскопе Эпинуса.

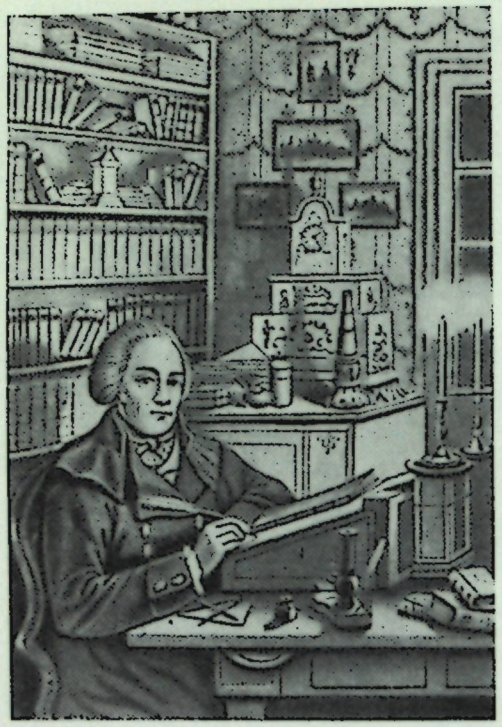


К. Ф. Вольф

Среди исследований, выполненных в России с помощью микроскопа во второй половине XVIII в., особенно выделяются труды основоположника эмбриологии К. Ф. Вольфа, исследования низших организмов, выполненные М. М. Тереховским, работа первого русского гистолога А. М. Шумлянского и наблюдения А. Т. Болотова.

К. Ф. Вольф, не признанный на своей родине, в Германии, где он опубликовал в 1759 г. диссертацию «Theoria generationis» («Теория зарождения»), последние 27 лет своей жизни проработал в России, будучи членом Петербургской академии наук. Вскоре после переезда в Россию, в 1768—1769 гг., Вольф опубликовал обстоятельную работу о развитии кишечника у куриного зародыша, в которой детально обосновал правильность нового взгляда на развитие организма. Этому вопросу была посвящена и упомянутая выше диссертация. В противовес общепринятой тогда точке зрения, поддерживаемой крупнейшими авторитетами А. Галлером и Ш. Бонне, что у зародыша с самого начала предсуществуют в сформированном виде его органы, т. е. точке зрения преформации, Вольф защищал идею эпигенеза, т. е. постепенного возникновения органов в процессе эмбрионального развития. Преформизм, по существу, означал отрицание всякого развития в соответствии с распространенным тогда убеждением о неизменности всего существующего. Учение об эпигенезе,

[1] Этот микроскоп находится сейчас в рабочем состоянии в коллекции микроскопов Института истории естествознания и техники АН СССР.



А. Т. Болотов

опровергающее предсуществование органов в раннем зародыше, означало решительный отказ от метафизического мировоззрения преформистов. Как проницательно заметил Ф. Энгельс, оно ставило под удар также идею о постоянстве видов, т. е. открывало путь к эволюционным представлениям в биологии. Эпигенетические идеи Вольф развивал и в последующих работах, посвященных изучению уродов из коллекций, собранных в петербургской Кунсткамере. Эти идеи оказали влияние на русских врачей Н. М. Максимовича-Амбодика и М. Х. Пекена, а также на формирование биологических воззрений А. Н. Радищева. Их влияние сказалось позднее, в первой половине XIX в., и на трудах ботаников М. А. Максимовича и П. Ф. Горянинова, зоологов Х. И. Пандера, К. М. Бэра, К. Ф. Рулье и других ученых.

Микроскопист Тереховский известен в истории науки как автор защищенной в 1775 г. в Страсбурге диссертации «De Chao infusorio Linnaei» («О наливочном хаосе Линнея»), посвященной природе и возникновению микроскопических организмов, объединяемых в тогдашней систематике по общим названием инфузорий. Основным выводом работы Тереховского было утверждение, что мельчайшие живые существа, населяющие пресную воду, обладают активной подвижностью и появляются не в результате самопроизвольного зарождения, а происходят от себе подобных. Опыты Тереховского, показавшего, что «инфузории» в прокипяченной воде погибают и сами собой не возникают, подтвердили аналогичное заключение Л. Спалланцани (1765), но были поставлены более убедительно. Впоследствии Тереховский был лектором по анатомии и одним из инициаторов создания Медико-хирургической академии.

Если Тереховский был первым русским биологом-экспериментатором, то Шумлянский с тем же правом может быть назван первым русским гистологом, изучавшим не только микроскопическое строение, но и физиологические отправления органа. Подобно Тереховскому, Шумлянский выполнил и защитил свою диссертационную работу о строении почек в Страсбурге. До исследования Шумлянского «De structura renum» («О строении почек»), опубликованного в Страсбурге в 1782 г., о структуре этого органа ничего достоверного известно не было. Существовали две точки зрения, высказанные еще в XVII в.: итальянский микроскопист М. Мальпиги полагал, что почка построена по типу железы, а голландский анатом Рюйш рассматривал ее как сплетение кровеносных сосудов. Шумлянский показал ошибочность обеих этих теорий и установил, что паренхима почки состоит из мочевых канальцев и кровеносных капилляров, находящихся в определенных отношениях друг к другу. Округлые тельца, названные по имени описавшего их автора мальпигиевыми тельцами и считавшиеся, согласно Мальпиги, железистыми дольками, на самом деле являются, как показал Шумлянский, сплетением капилляров, окруженным «кольцевидной границей», которую впоследствии назвали боуменовой капсулой (по справедливости ее следует называть капсулой Шумлянского — Боумена). Мальпигиев клубочек, по наблюдениям Шумлянского, примыкает к отдельному почечному канальцу, а на инъекционных препаратах он установил ту картину микроскопического строения почек, которая близка к современным представлениям.



И. И. Лепехин

Микроскопическими исследованиями строения растений, главным образом их сосудистой системы, успешно занимался Болотов. Но особенно существенных результатов он достиг в изучении физиологии питания и размножения растений в связи с практическими задачами растениеводства. Болотов выяснил роль корней и корневых волосков в почвенном питании растений и успешно исследовал значение перекрестного опыления, которое, по его наблюдениям, благоприятствует развитию потомства и увеличивает его плодовитость. Это положение Болотова было в дальнейшем подтверждено Т. Найтом (1799) и рассматривалось Ч. Дарвином (1877) как «великий закон природы». Болотов выяснил роль насекомых как опылителей и значение разновременного созревания мужских и женских органов цветка, препятствующего самоопылению. Большой интерес представляют исследования Болотова, посвященные гибридизации растений и применению гибридизационно-селекционного метода.

Важное значение для развития биологии имели экспедиции, организованные Академией наук. Особенно большие результаты дали экспедиции 1768—1774 гг. Палласа (при участии В. Ф. Зуева, И. Георги и Н. П. Рычкова) в Оренбургский край и Сибирь, Гмелина — в Астраханский край, на Кавказ и в Персию, Георги — на Байкал и в Пермский край, Лепехина и Н. Я. Озерецковского на Волгу, Урал и Каспий, а также на Белое море. Позднее (1781—1782) В. Ф. Зуев обследовал Южную Россию и Крым. Эти экспедиции привлекли пристальное внимание научных кругов.

Первостепенное значение для развития ботаники и зоологии имели исследования Палласа. Его сочинения «Российско-азиатская зоография»

(«Zoographia rossoasiatica») и «Флора России» («Flora Rossica») и другие содержали много новых материалов. Паллас описал большое количество новых видов животных, сообщил сведения об их географическом распространении и условиях обитания, о сезонных миграциях птиц и рыб.

Много фаунистических и экологических сведений, относящихся к животному населению Западной Сибири и Уральских гор, содержится также в путевом дневнике Лепехина, изданном в 4 томах в 1771—1805 гг. Материалы, касающиеся фауны юга России, издал в 1771—1785 гг. Гмелин, описавший, в частности, южнорусскую дикую лошадь — тарпана, полностью истребленную во второй половине XIX в.

Вторая половина XVIII в. характеризуется началом перелома в научном мировоззрении, о чем уже говорилось выше. Все более глубокое знакомство с многообразием живых существ, населяющих Землю, неизбежно приводило к вопросу о происхождении этого многообразия и о причинах различий флоры и фауны разных географических районов. Зарождение новых представлений об органическом мире, допускавших его изменения и возникновение одних живых форм из других, ранее существовавших, наталкивалось на труднопреодолимые препятствия, прежде всего на религиозные догмы. Бюффон, высказавший, хотя и весьма непоследовательно, трансформистские идеи, был вынужден принести богословскому факультету Сорбонны покаяние в этих своих «заблуждениях». Паллас, в молодости также склонный к допущению образования одних видов из других и даже представлявший себе их генеалогические отношения между собой в виде ветвящегося дерева, в дальнейшем полностью отошел от прежних прогрессивных воззрений, признавая неизменность однажды созданных видов. Лепехин также проявлял в этих вопросах крайнюю осторожность и в своем переводе «Естественной истории» Бюффона (ч. 1—10, СПб., 1789—1808) полемизировал с ним. Впрочем, в своих «Дневных записках...» он все же ставил вопрос о зависимости облика растений от условий их существования и о возможности изменить признаки растений, если перенести их в другие условия.

О том, что идея изменяемости видов постепенно проникала в сознание натуралистов, свидетельствует, в частности, небольшое сочинение (диссертация) Афанасия Каверзнева «Von der Abartung der Thiere» («О перерождении животных»), вышедшее сначала в 1775 г. в Лейпциге, а затем переведенное на русский язык и изданное в 1778 г. в Петербурге и в 1787 г.— в Москве без имени автора. Следуя за Бюффоном, Каверзнев писал, что животные могут изменяться так, что потомки перестают быть похожими на своих предков. Причиной изменений Каверзнев вслед за Бюффоном считал условия жизни животного, прежде всего пищу и климат; доказательство этого он видел в результатах одомашнивания или перемещения животных в другие географические области. Однако Каверзнев не решился сделать из этого эволюционные выводы.

Эволюционные представления сложились в законченную, хотя и не последовательно материалистическую теорию только на пороге XIX в. в трудах Ж. Б. Ламарка; однако даже после Ламарка, вплоть до появления книги Дарвина «Происхождение видов» (1859) наибольшим распространением пользовалось мнение о неизменности видов.

ЧАСТЬ ВТОРАЯ

ЕСТЕСТВОЗНАНИЕ В РОССИИ в XIX веке (до 60-х годов)

Глава одиннадцатая

ИСТОРИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ И ОСОБЕННОСТИ РАЗВИТИЯ ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ В РОССИИ в XIX веке (до 60-х годов)

Первая половина XIX в. ознаменовалась рядом таких научных открытий и обобщений, которые не только существенно изменили представления в отдельных отраслях знания, но и подготовили почву для создания во второй половине XIX в. новой картины мира. Это и служит нам основанием для выделения первой половины XIX в. в особый период в развитии мировой и, в частности, русской науки. Период этот своеобразен. Он не отмечен революционным переломом; он носит переходный характер. Естествознание в это время уже далеко ушло от механической картины мира, господствовавшей в XVIII в., но не создало еще новую. И тем не менее естествознание первой половины века во многих отношениях настолько отличается от естествознания предшествующей эпохи, что выделение первой половины XIX в. в особый период не только естественно, но и необходимо, чтобы отразить качественные сдвиги в развитии науки.

Благодаря работам Лапласа и Гершеля Земля и вся солнечная система предстали не как однажды созданные или возникшие, а как развившиеся во времени. Были обнаружены единый принцип объяснения химических явлений и состава химических соединений на основе атомизма (Дальтон), зависимость химических свойств от числа и расположения атомов в молекулах (Авогадро, Берцелиус, Гей-Люссак), связь между химическим сродством и электрическими явлениями (Дэви, Берцелиус), открыты химические источники получения электричества (Гальвани и Вольта).

Исследования по теории работы паровых машин послужили импульсом развития кинетической теории тепла, представления о несводимости молекулярных, статистических, необратимых процессов к механике; была раскрыта связь между теплотой и механической работой; возникла термодинамика. Идея сохранения массы и энергии была одним из истоков мысли об электромагнитном поле как о физической реальности. Были заложены основы электродинамики, раскрывшей переход механической работы в электрическую и обратно.

Серьезные и характерные сдвиги произошли в математике. Математику первой половины XIX в. отличает интерес к собственно физическим

задачам. Произошел бурный расцвет математической физики и в тесной связи с ним — нескольких больших отделов анализа (тригонометрические ряды, кратные интегралы, функции комплексного переменного). С другой стороны, ряд трудностей и противоречий, частью раскрытых еще в XVIII в., повлек за собой глубокую перестройку самих оснований математики, необходимую для успешного развития как ее приложений, так и ведущих дисциплин. Результатом этой перестройки было начало реформы классического анализа и возникновение новых наук: неевклидовой геометрии, теории групп, некоммутативной алгебры. Все это привело к существенным изменениям математического мышления и было чревато далеко идущими последствиями для всего естествознания и научного метода в целом. Вехами этих сдвигов в развитии математики является творчество К. Ф. Гаусса, О. Коши, Н. И. Лобачевского, Э. Галуа, У. Гамильтона, Г. Грассмана и Б. Римана. Сопоставление трудов Гаусса и Л. Эйлера могло бы быть одним из многих примеров, поясняющих и иллюстрирующих как преемственность, так и глубокие различия между математикой XVIII в. и математикой первой половины XIX в.

В механике, а именно в аналитической механике первой половины XIX в., подготовлялся аппарат, ставший универсальным аппаратом физики. Таковы в частности вариационные методы и принципы наименьшего действия, перенесенные впоследствии из механики в физику.

В области физиологии была показана плодотворность применения законов и методов физики и химии к объяснению процессов жизнедеятельности организмов, и в борьбе с витализмом к середине XIX в. постепенно утверждается взгляд на физиологию как на физико-химию живого. В первой четверти века сформировалась сравнительная анатомия. Благодаря ее успехам выяснилось не только сходство строения различных видов животных, но во многих случаях — такое подобие в их организации, что естественно возникала мысль о глубокой связи между организмами, об их единстве. Началось систематическое изучение ископаемых остатков древнего, давно исчезнувшего животного и растительного мира. Возникла палеонтология, и начала нащупываться вначале едва заметная, затем все более отчетливая связь между ныне живущими формами животных и растений и вымершим органическим миром прошлых геологических эпох

В конце 20-х годов XIX в. К. Бэр установил основные типы эмбрионального развития и доказал, что все позвоночные — а эта группа включает в себя огромное число самых разнообразных видов — развиваются по единому типу. Возникла сравнительная эмбриология животных. В 1838—1839 гг. Т. Шванн и М. Шлейден сформулировали клеточную теорию, раскрывшую единство элементарного строения всех органических форм и перекинувшую мостик между растениями и животными.

В 30-е годы были заложены основы исторической геологии, установившей преемственность геологических преобразований земной поверхности и сопоставимость основных факторов, определявших эти преобразования в далеком геологическом прошлом, с факторами, действующими ныне. С этого времени, в особенности благодаря Ч. Лайелю, исторический взгляд на преобразование земной поверхности и принцип актуализма, выдвинутый для объяснения движущих факторов этого процесса, входят в науку, постепенно завоевывая все больше сторонников. Одновременно в биологии стало накапливаться все больше данных, противоречивших учению о постоянстве и независимом происхождении видов. И хотя учение об эволюции органического мира, выдвинутое в 1809 г. Ж. Б. Ламарком, казалось, было забыто большинством естествоиспытателей как экстравагантная научная полупоэзия, идея эволюции на протяжении всей первой половины XIX в. подспудно с разных сторон пробивала себе дорогу то в форме натурфилософских догадок о всеобщем развитии, то в виде частных эмпирических обобщений об изменчивости животных и растений и их приуроченности к определенным условиям жизни.

Старые воззрения на природу, хотя они и оставались господствующими в первой половине XIX в., были совершенно подорваны. Бреши, пробитые в метафизическом мировоззрении небулярной гипотезой Канта, «теорией зарождения» К. Вольфа, теорией происхождения земной поверхности Геттона, кислородной теорией Лавуазье и другими достижениями второй половины XVIII в., расширились. Стали складываться принципиально новые воззрения, противоречащие концепции неизменяемости природы, начали нащупываться переходы от одного ряда явлений к другому и в соответствии с этим — формироваться представления об единстве и развитии природы. В конце рассматриваемого периода были сформулированы широкие естественнонаучные концепции: закон сохранения и превращения энергии и эволюционная теория Ч. Дарвина.

Принцип сохранения и превращения энергии — наиболее широкое обобщение естественнонаучных открытий первой половины века,— вышел за пределы механики, стал физическим принципом, вызвал к жизни классическую теорию тепла, электричества и света и проник в химию и биологию. К середине XIX в. атомистика стала ядром химического и физического учения о веществе.

В 1859 г., через 50 лет после выступления Ламарка с первой широко разработанной эволюционной концепцией, был опубликован труд Дарвина «Происхождение видов». Изложенная и обоснованная в нем эволюционная теория положила конец представлению о неизменяемости органического мира и повлекла за собой во второй половине XIX в. коренную перестройку не только всей биологии, но и самого характера биологического мышления. Она явилась торжеством исторического принципа в науке, убедительным доказательством подчинения всей природы единой системе естественных законов и причинных взаимосвязей и оказала сильное воздействие на последующее развитие естествознания и философской мысли. Ее принципиальное значение состояло не только в обосновании принципа развития органического мира, но, может быть, в не меньшей мере в том, что на смену лапласовскому механическому детерминизму и чисто динамическому принципу объяснения причинности в ней по существу выступали статистические закономерности развития.

Главной движущей силой такого направления развития естествознания были потребности общественного развития. Если мануфактурное производство могло до известной степени удовлетвориться простым описанием явлений и эмпирическими обобщениями, то машинно-фабричное производство требовало раскрытия законов, по которым осуществляются физические, химические и другие процессы. Без этого ни сами машины, ни тем более машинно-фабричное производство были бы невозможны. Расчет паровых машин требовал выявления связи давления пара с температурой, открытия законов термодинамики. Получения металлов необходимого качества и увеличения их выплавки нельзя было достичь без познания физико-химических явлений. Создание электродвигателей требова-

ло развития теории электромагнетизма и электродинамики. С помощью чисто эмпирических сведений, не освещенных научной теорией, нельзя было резко поднять и производство сельскохозяйственных продуктов, спрос на которые непрерывно возрастал.

По мере того как росла потребность в более глубоком проникновении в законы природы и накапливались новые данные, противоречившие старым представлениям, становилась все яснее необходимость новых методов исследования, нового подхода к изучению окружающего мира и, главное, новых воззрений на природу и ее познание. Метафизические представления, еще господствовавшие в науке, приходили во все большее противоречие с накопленными фактами, которые не поддавались объяснению в рамках старых теорий. Отсюда огромный интерес естествоиспытателей и философов в первой половине XIX в. к проблемам метода исследования природы и другим общим вопросам науки. Создание нового научного мировоззрения стало на очередь дня. К исходу этого периода давно оторвавшиеся друг от друга и шедшие по почти непересекающимся руслам естественнонаучные поиски адекватного отражения законов природы и попытки философского осмысления общих законов бытия и мышления сошлись в философии К. Маркса и Ф. Энгельса. В их учении философия впервые была поставлена на научную основу и сама превратилась в науку. Опираясь на все накопленные человечеством знания, Маркс и Энгельс разработали подлинно научный метод исследования законов природы, общества и мышления.

Если попытаться кратко, в самой общей форме, охарактеризовать основные черты рассматриваемой полосы в истории естествознания, то можно сказать, что это был период, когда в результате достижений науки выявился кризис метафизического мировоззрения и в острых столкновениях различных точек зрения на природу, на пути и методы ее познания происходила подготовка к переходу от науки, ограничивавшейся, главным образом, описанием предметов и явлений и их систематизацией, к науке, изучающей процессы, вскрывающей законы и взаимодействие в природе.

Теоретический фундамент естествознания, краеугольный камень коего составляли принципы механики, с помощью которых ученые пытались объяснить все качественно разнообразные явления природы, быстро преображался. Механическая картина мира сменялась новым представлением о природе, в основу которого легли принципы сохранения и превращения энергии, детерминизма и атомистики, учение об историческом развитии Земли и органического мира. «Новое воззрение на природу было готово в его основных чертах: все застывшее стало текучим, все неподвижное стало подвижным, все то особое, которое считалось вечным, оказалось преходящим, было доказано, что вся природа движется в вечном потоке и круговороте» [1].

Ломка старых метафизических, механистических представлений происходила в большинстве стран Европы. Она получила отчетливое выражение во Франции, Англии, Германии и вызвала, с одной стороны, особенно в Германии, бурное распространение натурфилософии, а с другой — обусловила поиски строго научного объяснения закономерностей природы, попытки сочетать экспериментальные исследования и точные наблюдения с широкими теоретическими обобщениями. Именно это характерно

[1] *Ф. Энгельс.* Диалектика природы.— *К. Маркс, Ф. Энгельс* Соч., т. 20, с. 354.

для трудов Лапласа, С. Карно, Ламарка, Жоффруа Сент-Илера, Мажанди, Клода Бернара во Франции, И. Мюллера, Шлейдена, Шванна, Гельмгольца — в Германии, Прохазки, Пуркине в Чехословакии, Лайеля, Дарвина — в Англии.

Характерные черты периода ломки старых представлений и поисков нового научного мировоззрения ярко проявились в первой половине XIX в. и в России, наука которой развивалась в тесном взаимодействии с наукой других европейских стран. Можно даже сказать, что борьба вокруг общетеоретических проблем естествознания, вопросов научного мировоззрения в первой половине XIX в. заняла в России особенно большое место и отличалась особой остротой. Это объясняется историческими условиями и той ролью, которую играли идеи естественнонаучного материализма в развернувшейся тогда в России социальной и идеологической борьбе.

Со второй половины XVIII в. в России, так же как и во многих странах Европы, началось разложение феодальной системы хозяйства. В XIX в. этот процесс значительно углубляется и ускоряется. В рамках помещичьего крепостного хозяйства начинается быстрый рост товарного производства. Увеличивается оборот внутреннего рынка, указывающий на разложение натурального хозяйства. Делаются попытки применения новой техники в сельском хозяйстве, растет число промышленных предприятий, оснащенных машинами, возникают новые отрасли производства.

В 1805 г. в русской хлопчатобумажной промышленности был применен паровой двигатель. С 1809 г. стали применяться льнопрядильные машины, а с 20-х годов начался переход на машинную набивку и ткачество. С 1813 г. началось строительство речных пароходов, а вскоре открывается речное пароходство на Неве, Каме и Волге. В 20—30-е годы устанавливаются прокатные станы, проводятся опыты горячего дутья при производстве чугуна, появляются заводы сельскохозяйственных машин. О перестройке промышленности в России свидетельствует неуклонный рост ввоза машин и инструментов. Так, если в 1815—1816 гг. их было ввезено в Россию на 83 тыс. руб., то в 1825 г.— уже на 828 тыс., в 1840 г.— на 3500 тыс., в 1850 г.— на 8397 тыс. руб. [1] Эти данные свидетельствуют не просто о росте промышленности, но о том, что она ставилась на новую основу. И хотя этот процесс сильно тормозился сохранением в России крепостных отношений, он неумолимо шел вперед. Соответственно росла потребность в квалифицированных специалистах в различных областях знания. Один за другим открываются университеты — в Дерпте (1802), Вильно (1803) [2], Казани (1805), Харькове (1805), Петербурге (1819), Киеве (1834). В Москве и Петербурге создаются высшие медицинские учебные заведения — медико-хирургические академии. По типу высших школ организуются лицеи: Демидовский (1806, в Ярославле), Царскосельский (1810, под Петербургом) и Ришельевский (1817, в Одессе). В 1804 г. в Петербурге был открыт Горный кадетский корпус, преобразованный в 1866 г. в Горный институт, сыгравший важную роль в подготовке высокообразованных геологов. В 1810 г. в Петербурге был основан Институт инженеров путей сообщения. В этот период создается ряд высших военно-инженерных и военно-морских учебных заведений.

[1] *П. И. Лященко.* История народного хозяйства СССР. Изд. 2-е, М., Госполитиздат, 1950, с. 519.

[2] Позже в связи с польским восстанием 1830—1831 гг. он был закрыт.

Расширяются исследования Петербургской академии наук. Однако она перестает быть единственным научным центром страны. Ведущая роль не только в подготовке кадров, но и в развитии науки переходит к университетам. В первой половине XIX в. в университетах были подготовлены десятки видных ученых, и среди них Н. И. Лобачевский, М. В. Остроградский, П. Л. Чебышев, А. А. Воскресенский, Н. Н. Зинин, А. М. Бутлеров и др.

В начале XIX в. вводится единая система народного образования, предусматривавшая создание начальных церковноприходских школ в сельских местностях, в которых обучались грамоте и счету, четырехклассных училищ в уездных городах и семиклассных гимназий в губерниях. Страна была поделена на учебные округа во главе с соответствующим университетом. Однако организация и управление учебным процессом, так же как назначение руководителей школ и преподавателей в учебных округах, осуществлялось не университетами, а назначаемыми правительством из числа высших гражданских и военных сановников попечителями учебных округов. Это были большей частью люди, видевшие своей целью не распространение образования, а недопущение вольнодумства. Строго соблюдались вплоть до 1861 г. сословные ограничения; доступ в гимназии и университеты выходцам из крепостных, т. е. подавляющей части народа, был полностью закрыт. Царское правительство даже в краткие «либеральные» периоды видело в распространении образования большую опасность и стремилось придать ему чисто прагматический законопослушный характер. Об этом же ревностно пеклась церковь. Таким образом, государство, вынужденное в силу экономической необходимости допустить известное расширение образования и даже принимать меры в этом направлении, одновременно душило развитие подлинной творческой научной мысли, сдерживало развитие науки. Но однажды начавшийся процесс уже нельзя было остановить, и даже жестокие ограничительные меры, принятые в конце царствования Александра I, а затем в царствование Николая I, могли лишь задержать развитие образования и науки, но не остановить его.

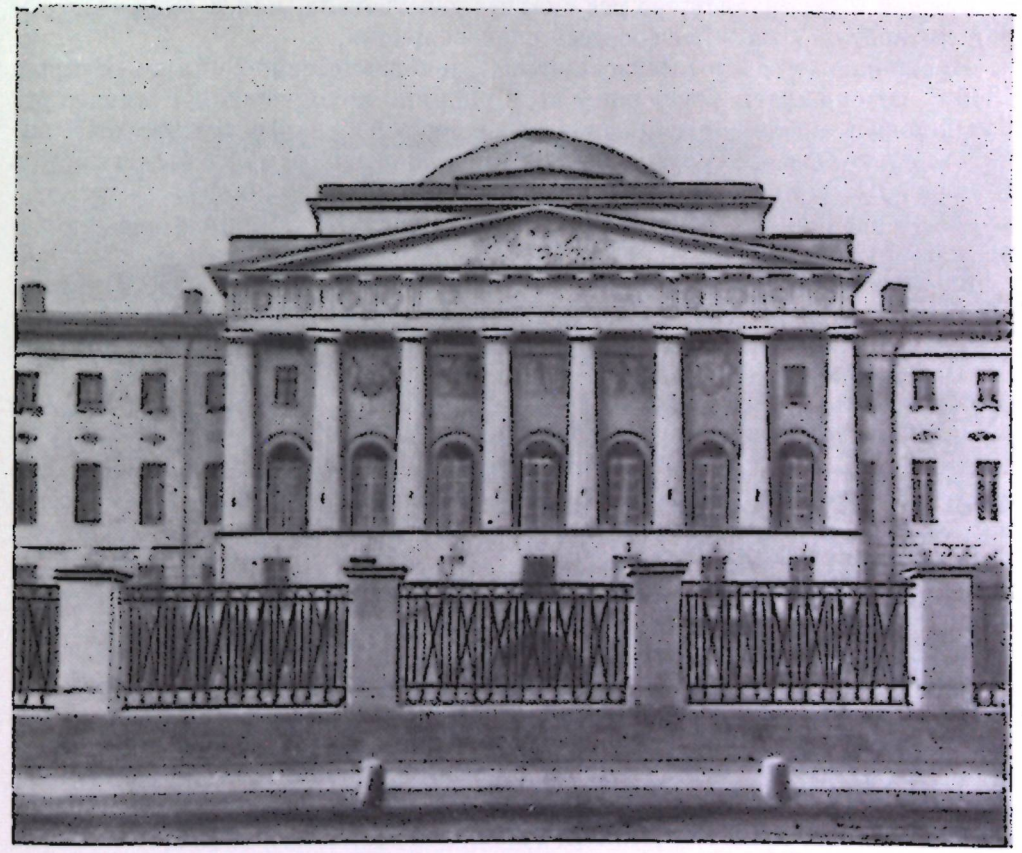
Во второй половине 30-х годов увеличивается количество университетских кафедр, резко поднимается уровень преподавания и требований к студентам. Вводятся ученые степени магистра и доктора наук; защита соответствующих диссертаций становится обязательной для занятия должностей доцента и профессора университета. Усиливается исследовательская работа в университетах, хотя возможности в этом отношении в первой половине XIX в. были более чем ограниченные. Средства, отпускавшиеся государством в этих целях, были мизерными, а профессора были сильно перегружены преподаванием.

Важным показателем роста науки в России в начале XIX в. может служить возникновение научных обществ и новых научных журналов. Если в XVIII в. в России было только одно научное общество и издавалось всего около 20 научных журналов, то в первой половине XIX в. активно функционирует уже более 10 естественнонаучных и медицинских научных обществ и издается около 60 естественнонаучных и научно-популярных журналов. Возникают Московское общество испытателей природы (1805), Минералогическое общество в Петербурге (1817), Московское общество сельского хозяйства (1818), Русское географическое общество (1845). В Москве начинают издаваться «Мемуары» (позднее «Бюллетень») Московского общества испытателей природы (1805), получившие с первых

лет издания общеевропейскую известность и продолжающие издаваться до настоящего времени, «Новый магазин естественной истории, физики, химии и сведений экономических» (1820), «Вестник естественных наук и медицины» (1828), «Ученые записки Московского университета» (1833), «Вестник естественных наук» (1854) и др.; в Петербурге — «Технологический журнал» (1804), «Указатель открытий по физике и химии, естественной истории и технологии» (1824), «Горный журнал» (1825), ставший центром геологической мысли и популяризации геологических знаний в России, «Записки Географического общества» (1845) и др.

Такие научные общества, как Московское общество испытателей природы, Русское географическое общество, Минералогическое общество, играли важную роль в изучении животного и растительного мира, природных условий и минеральных ресурсов России, в развитии научных исследований и подготовке высококвалифицированных исследователей. В этой области в первой половине XIX в. ими было сделано не меньше, чем крупнейшими университетами. Рост числа научных обществ и периодических научных изданий в начале XIX в. имел принципиальное значение.

Здание Московского университета.
Построено архитектором М. Ф. Казаковым в 1786—1793 гг.;
перестроено в 1817—1819 гг. архитектором Д. Жилярди



Он свидетельствовал о формировании научной общественности, об усилении связей между учеными.

В 20-е годы XIX в. общественные силы России готовились к крупным историческим схваткам. Передовые люди страны мучительно и страстно искали выход из глубокого социального кризиса, который переживала Россия. Эпохой «клокотания умов» назвал это время декабрист П. И. Пестель. Движение декабристов пробудило передовых людей России.

Годы, наступившие после разгрома движения декабристов, не были, как это изображалось, годами только отчаяния и растерянности. Жестокий террор царизма не сумел надолго подавить брожение, начавшееся в стране. А. И. Герцен очень точно уловил содержание этой эпохи и назвал ее «удивительным временем наружного рабства и внутреннего освобождения» [1].

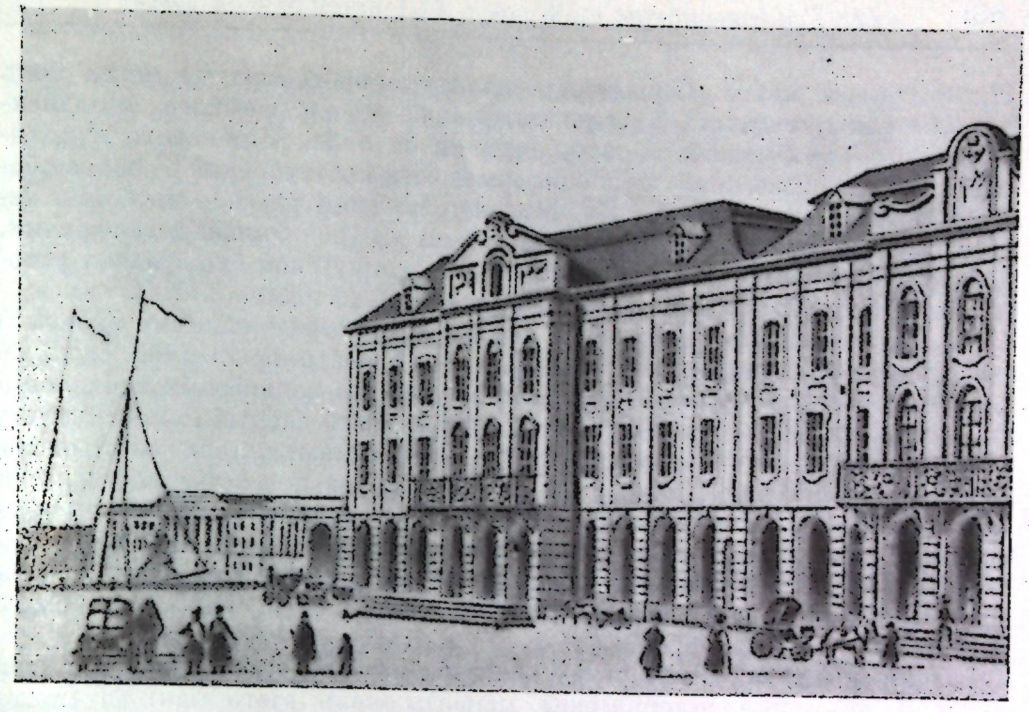
Непрестанно росло число крестьянских волнений. В 1826 г. они охватили 26 губерний. В 1830—1831 гг. по России прокатились «холерные бунты» крестьян и военных поселян, перешедшие в ряде мест в грозные восстания. С 1835 по 1844 г. ежегодно было в среднем 22 случая массовых выступлений крестьян. Одно за другим возникали, в том числе в университетах, тайные политические общества и кружки. Россия пробуждалась от спячки. В 30—40-е годы XIX в. на историческую арену вышла новая, уже довольно большая к тому времени общественная прослойка — разночинцы. По всей России звучала страстная публицистика В. Г. Белинского и А. И. Герцена. Она еще почти не доходила до народа, задавленного нуждой и бесправием, но все сильнее действовала, как и художественная литература, на образованные слои общества.

Брожению умов способствовали внешнеполитические события. В июле 1830 г. совершилась революция во Франции, покончившая с династией Бурбонов. В августе того же года революция в Бельгии принесла ей национальную независимость. В ноябре 1830 г. вспыхнуло восстание в Польше. Даже представители правящей верхушки начинали понимать, что в управлении страной надо что-то изменить, что сохранить во всей полноте старые формы правления становится невозможным. Революционный шквал, пронесшийся в 1848 г. над Европой, снова напомнил об этом.

Выступления крестьян были разрозненными и стихийными и не могли привести к победе. Но их неуклонный рост и обострение всех противоречий феодальной системы хозяйства толкали передовых людей России на поиски путей коренного переустройства всего уклада жизни в стране. После поражения декабристов для передовых русских мыслителей все яснее становится необходимость выработки правильной революционной теории. Они были еще очень далеки от народа, не видели силы, которая могла бы осуществить те преобразования в стране, которых требовала жизнь, и это делало поиски правильной революционной теории особенно мучительными.

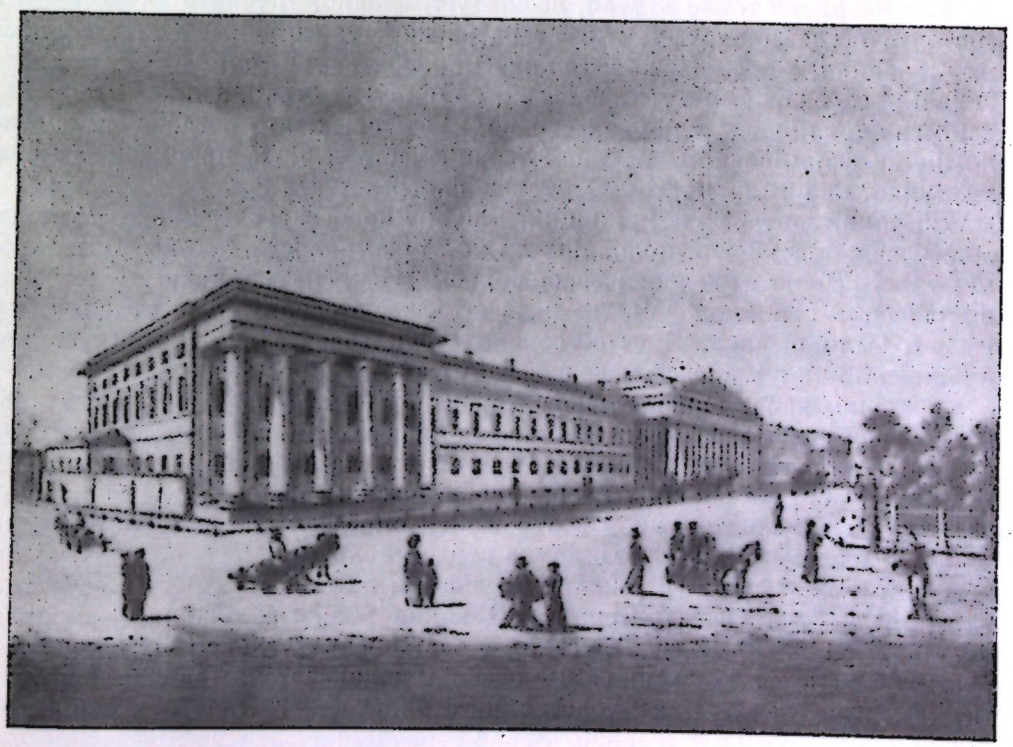
В этих условиях к 30-м годам XIX в. первоочередной задачей становится развенчание феодально-крепостнической идеологии, составной частью и сильнейшим оружием которой была религия, метафизический взгляд на природу и общество. В достижении этой цели в обстановке свирепой цензуры и террора времен Николая I огромная роль принадлежала

[1] *А. И. Герцен.* Собр. соч., т. 14. М., Изд-во АН СССР, 1958, с. 157.



Здание Петербургского университета в начале XIX в.

Здание Казанского университета в начале XIX в.



литературе и науке. Серьезная социальная программа не могла быть выработана в то время без предварительного идеологического, интеллектуального освобождения — освобождения от оков феодального и религиозного мировоззрения. Усиление классовых противоречий в стране обострило идеологическую борьбу. Многие общетеоретические проблемы естествознания оказались боевыми вопросами идейной борьбы того времени. Так было во Франции накануне Великой французской буржуазной революции XVIII в., так было и в России в первой половине XIX в.

Развитие науки определяется не только непосредственными экономическими потребностями общества. Чтобы познать какое-либо сложное явление, его необходимо рассмотреть во всех его конкретных проявлениях и взаимосвязях. На развитие науки в каждый данный момент наряду с потребностями экономики и производства оказывают влияние собственные закономерности развития науки, вытекающие из преемственности научного знания, а также культурные и научные традиции, количество и уровень подготовки научных кадров в стране и т. д. Без учета всех этих обстоятельств нельзя выяснить подлинную картину развития науки, в особенности за сравнительно короткий промежуток времени, а тем более в определенной стране.

Один из таких факторов — влияние идеологической борьбы. При этом в известные исторические моменты роль этого фактора может резко возрастать. Вот почему, в частности, было бы наивностью, исследуя развитие науки в той или иной стране или в тот или иной период, ожидать обязательного полного соответствия уровня науки и экономики. Экономически отсталые страны в развитии тех или иных разделов науки могут опережать экономически высокоразвитые страны.

Рассматривая такие случаи, не следует, однако, упускать из виду двух обстоятельств: во-первых, что на развитие науки в каждой стране опосредствованно, через общее состояние мировой науки, влияют экономические и иные запросы не только своей, но и других стран, а также уровень, достигнутый наукой в других странах; во-вторых, что воздействие идеологии на формирование научной теории часто и даже преимущественно выступает не в прямой форме, а также опосредствованно.

Широкий интерес к принципиальным мировоззренческим проблемам естествознания первой половины XIX в. обострялся в России этого времени требованиями идеологической борьбы. И сама наука, и жизнь требовали решения этих проблем, их нельзя было отодвинуть в сторону, их нужно было решать. И естествоиспытатели сознательно или стихийно, в большей или в меньшей мере отвечали на эти запросы жизни.

Конечно, работ описательного характера было в то время значительно больше, чем теоретических. И тем не менее, если сравнить этот период с предшествующим, не может не броситься в глаза резкое увеличение количества работ по коренным, общетеоретическим проблемам. Дело, разумеется, не в количественном соотношении описательных и теоретических работ, а в элементах нового в науке первой половины XIX в. На эту особенность развития естествознания в России в XVIII и XIX вв. обратил внимание еще К. А. Тимирязев. «В каких областях знания,— говорил он в 1894 г. на IX съезде русских естествоиспытателей и врачей,— дал русский ум за эти два века самые очевидные доказательства своей зрелости, самостоятельности и плодотворного творчества? ...Не в накоплении бесчисленных цифр метеорологических дневников, а в раскрытии основных законов истории развития организмов, не в описании ископаемых богатств своей страны, а в раскрытии основных законов химических явлений — вот в чем, главным образом, русская наука заявила свою равноправность, а порою и превосходство» [1].

Многие передовые русские естествоиспытатели первой половины XIX в. не только исходили в своих исследованиях из стихийно-материалистических взглядов на мир, проводили в них в той или иной мере принцип развития, но и выступали против идеализма как философского мировоззрения, за материалистическое понимание явлений природы, а наиболее смелые из них, такие, например, как И. Е. Дядьковский, поднимались до сознательного, философского материализма. Труды передовых русских естествоиспытателей обогащали материалистическую философию, способствовали ее развитию и распространению.

Дальнейшее развитие получили в первой половине XIX в. ломоносовские традиции в русском естествознании. Естественнонаучные труды Ломоносова не были забыты ни в это, ни в более позднее время. Они были хорошо знакомы русским ученым первой половины XIX в. Такие известные в то время ученые, как Д. М. Перевощиков, А. Л. Ловецкий, И. А. Двигубский, М. А. Максимович, П. Ф. Горянинов, несколько позже — Г. Е. Щуровский и другие, не только широко популяризировали естественнонаучные труды Ломоносова, но и использовали заложенные в них идеи для своих научных построений. В 1829 г. в журнале «Атеней», выходившем под редакцией М. Г. Павлова, был помещен ряд статей под общим названием «О физических сочинениях Ломоносова». В этих статьях подробно излагалось содержание основных трудов Ломоносова по физике и химии, отстаивался его приоритет в ряде важных открытий в области физики, пропагандировались его идеи о методе естествознания. Взгляды Ломоносова на те или иные вопросы естествознания излагались в учебниках минералогии, физики и др. Геологические идеи Ломоносова легли в основу работы Двигубского «Слово о нынешнем состоянии земной поверхности» (1806), а затем подробно были изложены в обширной статье Перевощикова «О физической географии», опубликованной в 1848 г. в журнале «Современник». В 50-е годы Ломоносова, как выдающегося естествоиспытателя и мыслителя, пропагандировал в журнале «Вестник естественных наук» К. Ф. Рулье.

20—30-е годы XIX в. часто изображались как время почти полного господства в России немецкой идеалистической философии, в особенности шеллингианства. Это неверно. Шеллингианская натурфилософия действительно оказала известное влияние на некоторую часть русских естествоиспытателей того времени (А. Стойкович, Д. М. Велланский, Я. К. Кайданов, М. Г. Павлов, П. Ф. Горянинов), но другие русские ученые решительно выступили против нее. Такие ученые, как Дядьковский и Рулье, пользовавшиеся в России огромной популярностью и влиянием, считали, что важные для науки проблемы, которые занимают видное место в шеллингианской натурфилософии, прежде всего идея развития и всеобщей связи явлений, разрабатываются ею на ложной идеалистической основе, поэтому она дает извращенное отражение действительности, и, несмотря на наличие в ней некоторых положений, заслуживающих большого внимания, в целом уводит естествоиспытателей с пра-

[1] *К. А. Тимирязев.* Соч., т. V. М., Сельхозгиз, 1938, с. 41—42.



А. И. Герцен

вильного пути. Критическую позицию по отношению к идеалистической натурфилософии занимали также М. А. Максимович, Н. Н. Зинин, Э. Ленц и многие другие. Решительная борьба передовых русских естествоиспытателей и мыслителей против идеалистической натурфилософии в основном уберегла русских ученых от увлечения шеллингианством. Но эта борьба в свою очередь вызвала необходимость разработки крупных философских проблем естествознания и послужила толчком к углублению теоретических исканий, главным образом в области учения о методе изучения природы.

Русским естествоиспытателям приходилось преодолевать не только наступление идеализма всех форм и оттенков, от шеллингианства до религиозно-догматического фанатизма, но и полицейские препятствия. Политический подъем, порожденный победой в Отечественной войне 1812 г., волнения крестьян, рост недовольства среди передовой части дворянства самодержавно-крепостническими порядками вызвали с середины 10-х годов XIX в. жестокую реакцию со стороны царизма. Под ее удар попало и просвещение. В 1817 г. министерство просвещения было преобразовано в министерство духовных дел и просвещения. Этим стремились не только подчеркнуть приоритет религии над просвещением, но и фактически подчинить просвещение религиозной догматике. Царский манифест по этому поводу ни у кого не оставлял сомнений в целях этой меры. В нем говорилось, что она принята, дабы христианское благочестие было всегда основанием истинного просвещения. Это было одним из первых шагов реализации в России принципов печально знаменитого «Священного союза» европейских монархов. В 1819 г. был учинен буквально разгром Казанского университета. Жестоким преследованиям подвергались даже попытки преподавать математику, медицину, естественную историю без постоянных ссылок на «священное писание». В 1820 г. из Харьковского университета был уволен его лучший профессор и мыслитель-материалист математик Т. Ф. Осиповский, и было отказано его ученику, талантливому математику М. В. Остроградскому в выдаче кандидатского диплома. В 1821 г. над профессорами Петербургского университета А. И. Галичем, К. И. Арсеньевым и другими было устроено позорное судебное разбирательство, закончившееся удалением из университета его лучших преподавателей и запрещением их книг.

После смерти Александра I и восстания декабристов в 1825 г. полицейские меры воздействия еще более усилились. Преподавание философии было запрещено, за лекциями даже по естественным наукам установлен строгий контроль, усилена цензура, запрещен ввоз без специального разрешения иностранной литературы; профессора, замеченные в вольнодумстве, изгонялись из университетов, ссылались; студентов бросали в тюрьмы, ссылали, отдавали в солдаты.

На развитии науки в России в первой половине XIX в. сказались и глубокие социально-экономические противоречия того времени. С одной стороны, вызревание в недрах феодального строя капиталистических форм хозяйства создавало потребность более широкого изучения естественных ресурсов и их применения, развития научных знаний. В то же время относительно отсталая феодальная экономика России, скованная крепостническими отношениями, препятствовала развитию научных исследований, невозможных без материальной базы — лабораторий, аппаратуры, достаточного количества специально подготовленных и свободных от других занятий людей. В результате если в ряде теоретических областей русская наука первой половины XIX в. шла вровень с мировой наукой, а в некоторых даже опережала ее, то во многих экспериментальных областях она отставала от передовых в научном отношении стран Европы.

Все это, разумеется, не означает, конечно, что русские естествоиспытатели первой половины XIX в. занимались исключительно общими проблемами и не вели специальных теоретических и экспериментальных исследований. Что это далеко не так, читатель убедится, познакомившись с последующими главами. Он увидит, что русским ученым этого периода принадлежат такие важные открытия, как создание неевклидовой геометрии (Лобачевский), термохимии (Г. И. Гесс), как открытия в области органического синтеза (Зинин), послужившие основанием к возникновению промышленности органических красителей, создание сравнительной эмбриологии (Бэр), экологии и зоопсихологии (Рулье), открытие вольтовой дуги и создание крупнейшего для того времени источника электричества (В. В. Петров), гальванопластики (Б. С. Якоби), такие важные исследования, как работы Остроградского по математической физике, В. Я. Струве по астрономии и многие другие.

Высокий уровень теоретических исследований в русском естествознании создал благоприятные условия для развития философской мысли в России и мощного материалистического течения в ней, замечательным выражением которого явилось творчество А. И. Герцена. Его исключительный по силе и глубине мысли труд «Письма об изучении природы» (1844) был непревзойденным для своего времени образцом материалистического обобщения философских проблем современного ему естествознания. Вдохновленный успехами мировой науки, ее исканиями и достижениями, этот труд в свою очередь оказал сильное воздействие на последующие поколения русских ученых.

Глава двенадцатая

МАТЕМАТИКА

РЕФОРМА МАТЕМАТИЧЕСКОГО ОБРАЗОВАНИЯ

После смерти Л. Эйлера Петербургская академия наук на некоторое время утратила значение крупнейшего европейского математического центра. Ведущая роль в конце XVIII и начале XIX в. переходит к французской математической школе во главе с Лагранжем, Монжем, Лапласом, Фурье и Коши и, несколько позднее, к немецкой школе, первым и самым крупным представителем которой был Гаусс. Математики XVIII в. один за другим уходят в России со сцены. После смерти в 1825 г. Ф. И. Шуберта и в 1826 г. Н. И. Фусса в Академии оставались только два математика — избранный в 1814 г. Э. Д. Коллинс, примыкавший в своих работах к школе комбинаторного анализа, и избранный в 1818 г. П. Н. Фусс, почти полностью поглощенный обязанностями ее непременного секретаря (на этом посту он заменил своего отца). Впрочем, довольно скоро, после избрания в Академию в 1828 г. М. В. Остроградского и В. Я. Буняковского, а особенно после прихода в нее в 1853 г. П. Л. Чебышева, она снова становится крупнейшим математическим центром, оказывающим значительное влияние на развитие науки в России и за рубежом. Вместе с тем еще несколько ранее в России возникают новые центры математической мысли — на физико-математических факультетах Московского и других, вновь открытых университетов.

Предпосылкой нового и теперь уже непрестанного подъема математики, да и всех физико-математических наук в России явилась реформа системы образования в начале XIX в. В XVIII в. специалистов-математиков готовили в академическом университете, и лишь немногие, как, например, С. Е. Гурьев, выходили из других учебных заведений. Не считая академического университета, высшая математика в XVIII в. преподавалась лишь в военно-технических школах, и только в самом конце века она стала преподаваться и в Главном народном училище (с 1804 г. — Педагогический институт) в Петербурге. В частности, в Московском университете лекции читались только по элементарной математике. Одним из моментов реформы системы образования, проведенной в первые годы XIX в., явилось создание физико-математических факультетов в Московском (1804) и других открытых тогда университетах и значительное повышение уровня математического образования в созданных тогда же гимназиях с тем, чтобы гимназическая подготовка была достаточной для дальнейших занятий в университете. На пути этих реформ встречалось много трудностей, но они не замедлили привести к значительному повышению и распространению математической культуры в стране. Уже в первой половине XIX в. университеты Казани, Харькова и Москвы дали таких великих математиков, как Лобачевский, Остроградский и Чебышев, а также многих других видных ученых.

На первых порах преподавание математики было особенно хорошо поставлено в Казанском университете, куда его попечитель Румовский пригласил в 1808 г. на должность профессора воспитанника Геттингенского

университета М. Ф. Бартельса, и в Харьковском университете, где с самого его открытия, с 1804 г., работал блестящий педагог и философ Т. Ф. Осиповский, автор трехтомного «Курса математики» (Петербург, 1801—1823) и двух ярких речей: «О пространстве и времени» и «О динамической системе Канта», произнесенных и опубликованных первая в 1807 г., а вторая в 1813 г. В этих речах Осиповский подверг критике учение Канта с позиций естественнонаучного материализма. Учеником Бартельса был Лобачевский, сам ставший с 1814 г. преподавателем Казанского университета; учеником Осиповского — Остроградский, впоследствии работавший в Петербурге.



Т. Ф. Осиповский

В 1821 г. Бартельс перешел в Дерптский университет, где в 1839 г. на смену ему пришел его воспитанник К. Э. Зенф. С 1843 г. здесь же получил профессуру прибывший из Германии Ф. Г. Миндинг. Учеником Зенфа и Миндинга явился К. М. Петерсон, положивший уже во второй половине XIX в. начало школе дифференциальной геометрии в Москве.

В 20-е и 30-е годы профессора Д. М. Перевощиков, П. С. Щепкин и особенно Н. Е. Зернов и Н. Д. Брашман поставили преподавание на физико-математическом факультете Московского университета на уровень современной науки. Перевощиков, воспитанник Казанского университета, работал в Москве с 1818 по 1852 г., когда был избран академиком (по астрономии) и переехал в Петербург. Щепкин, преподававший с 1817 по 1833 г., и заменивший его Зернов окончили в свое время Московский университет. Зернов был первым в Москве доктором математики, его диссертация «Рассуждение об интеграции уравнений с частными дифференциалами» (Москва, 1837) содержала не лишенное оригинальности изложение классических методов, а его учебник «Дифференциальное исчисление с приложением к геометрии» (Москва, 1842), частично отразил реформу оснований анализа, начатую незадолго перед тем французом О. Коши. Брашман, о котором подробнее говорится в следующей главе, начал работу в Московском университете в 1834 г. вместе с Зерновым. Замечательный педагог, он умело направлял интерес своих слушателей на актуальные проблемы современной математики, а также теоретической и прикладной механики. Его перу принадлежат выдающийся по своим достоинствам «Курс аналитической геометрии» (Москва, 1836), два учебника механики, а также ряд статей по отдельным вопросам анализа и геометрии, печатавшихся в основанных в 1833 г. «Ученых записках» Московского универси-

тета. В конце жизни Брашман и его ученик А. Ю. Давидов были главными инициаторами создания Московского математического общества, игравшего большую роль в научной жизни России. Фактически Московское математическое общество начало работать осенью 1864 г., но устав его был утвержден несколько позднее. Вскоре общество приступило к изданию «Математического сборника», первый том которого вышел в 1866 г., вскоре после смерти Брашмана. Из Московского университета в рассматриваемое время вышли И. И. Сомов, Чебышев, Давидов и другие выдающиеся математики и механики. Влияние Брашмана как научного руководителя было при этом преобладающим.

На физико-математическом факультете Петербургского университета, организованном в 1819 г. на базе Главного педагогического института [1], преподавание было поставлено на должный уровень с приходом Сомова (1841), Буняковского (1846), а главное, Чебышева (1847). Остроградский с университетом связан не был: он читал лекции в ряде военно-технических учебных заведений и Главном педагогическом институте, вновь открытом в 1826 г. и функционировавшем до 1859 г.

Успехи в развитии математики в Киевском университете, основанном в 1834 г., приходятся уже на вторую половину XIX в.

МАТЕМАТИКА
в первой половине XIX века

Как уже отмечалось в предыдущей главе, математика первой половины XIX в., продолжая многие свои направления, развившиеся в XVIII в., в то же время приобретает и новые черты. По-прежнему в центре интересов большинства математиков находится математический анализ. Вместе с тем применение его методов к задачам естествознания значительно расширилось. Если в XVIII в. главной областью его приложения была механика, то теперь на первый план выдвигаются задачи термодинамики, электродинамики, теории потенциала, теории упругости и других разделов математической физики. Это обусловливает прогресс теории уравнений с частными производными, а в связи с ней — теории тригонометрических рядов, теории специальных функций, теории кратных интегралов и т. д. В этих направлениях на первое место ранее других выдвинулась Парижская математическая школа; в России эту проблематику разрабатывал М. В. Остроградский. В аналитической механике получают важное значение вариационные принципы, развиваемые ирландским математиком У. Гамильтоном, Остроградским и немецким ученым К. Якоби; с этим была связана усиленная разработка вариационного исчисления и некоторых частей теории дифференциальных уравнений и других отделов анализа.

С другой стороны, в начале XIX в. математики возобновляют предпринимавшиеся еще в XVIII в. попытки обоснования математического анализа, причем с гораздо большим успехом, чему способствовал огромный накопленный материал. Многочисленные трудности, обнаружившиеся в теории рядов (особенно в связи с задачами математической физики),

[1] Между 1782 и 1819 гг. название этого института, как и его программы, несколько раз изменялось.

теории интегрирования и других областях настоятельно требовали реформы оснований анализа. От преимущественного изучения отдельных разложений в ряды и частных видов функций математики обращаются к общим проблемам сходимости рядов и разложимости функций в ряды различных видов, к изучению общих свойств широких классов функций, прежде всего непрерывных, к удовлетворяющему новому, более высокому уровню строгости решению так называемых «проблем существования» различных объектов анализа и других математических наук.



Н. Е. Зернов

Математики убеждаются в необходимости доказывать теоремы анализа на арифметической основе, а не на обращении к наглядным, но далеко не всегда точным представлениям геометрии и механики. Чешский философ и математик Б. Больцано и француз Коши дают определение непрерывной функции в современном смысле слова и устанавливают необходимый и достаточный критерий существования предела последовательности. В своих лекциях и руководствах 20-х годов XIX в. Коши, среди прочего, заложил фундамент современной теории сходимости рядов и начал реализацию программы построения анализа на базе новой теории пределов, в которой получило обоснование также и применение удобного аппарата бесконечно малых переменных величин. Он же дал первое аналитическое доказательство существования определенного интеграла непрерывной функции как предела интегральных сумм (не свободное, впрочем, от пробелов) и вместе с тем рассмотрел более общим образом условия существования несобственных интегралов; затем он доказал первые теоремы о существовании решений дифференциальных уравнений. Эти и иные работы самого Коши, Гаусса, норвежца Н. Абеля и других повлекли за собой коренные перемены в методах исследования и изложения анализа. Отныне теоремы анализа требуется доказывать при точно определенных ограничениях, а при введении новых понятий — выяснять условия их существования. В России эти идеи были восприняты Остроградским и Лобачевским, развившими их далее; как уже упоминалось, они были введены в университетские курсы, например Зернова (1842).

Мы не будем пока касаться замечательных успехов в других областях анализа, например в теории функций комплексного переменного. Здесь важнее подчеркнуть, что, как ни велика была роль аналитических дисциплин, и другие математические науки постепенно выдвигались на первый план исследований. Большие успехи были достигнуты в алгебре. В 1799 г.

Гаусс почти безупречно доказал основную теорему о существовании комплексного корня у всякого алгебраического уравнения. Итальянец П. Руффини (с некоторой неполнотой) и Абель (совершенно строго) доказали неразрешимость в радикалах общего алгебраического уравнения пятой и высшей степеней. Исследуя вопрос о классах уравнений, разрешимых в радикалах, юный французский математик Э. Галуа заложил основы общей теории групп, к которой подходили Лагранж, Руффини, Гаусс и Коши и которая в дальнейшем оказала огромное влияние на развитие математики в целом, а затем и ее приложений в области физических наук. Большое развитие в связи с запросами практики получили численные методы решения алгебраических уравнений (Ж. Б. Фурье, Ж. Штурм, К. Греффе). Результаты принципиального значения были достигнуты в общей теории алгебраических операций (У. Гамильтон, англичанин Г. Пикок, немец Г. Грассман). Оба последние направления разрабатывал и Лобачевский.

Мы лишь упомянем новые важные открытия в теории вероятностей (Лаплас, С. Д. Пуассон) и теории чисел (Гаусс, немецкие математики П. Г. Дирихле, Э. Куммер). Некоторые частные результаты в этих разделах были получены Лобачевским, Остроградским и Буняковским, но их глубокую разработку начал в конце рассматриваемого времени лишь Чебышев.

Но если в только что перечисленных областях математики исследования русских ученых шли, хотя и менее широким фронтом, в направлениях, которые господствовали в Западной Европе, то в сфере геометрии в России были сделаны открытия первостепенного и решающего значения. Подобно открытиям в теории групп Галуа, они во многом и надолго определили последующий характер развития математики. Речь идет о разработке Лобачевским первой системы неевклидовой геометрии.

Н. И. ЛОБАЧЕВСКИЙ

Крупнейший русский математик Лобачевский, сын небогатого служащего, в 1802 г. был принят в Казанскую гимназию, а в 1807 г.— в Казанский университет, где под руководством Бартельса глубоко изучил классические труды Эйлера, Лагранжа, Монжа, Лапласа и Гаусса. Вся его жизнь была связана с Казанским университетом и посвящена служению науке и образованию. С 1814 г. он начал читать здесь лекции, сперва в звании адъюнкта, а с 1816 г.— в качестве профессора, и в течение 32 лет своей преподавательской деятельности вел здесь основные математические курсы, а иногда также механику, астрономию и физику.

В тяжелые годы, когда попечителем университета был реакционнейший царский чиновник М. Л. Магницкий, насаждавший в университете полицейский режим и стремившийся пропитать все преподавание духом мистицизма и религиозности, Лобачевский сохранял свою независимость. Он с достоинством выполнял обязанности не только профессора, но несколько раз и декана физико-математического факультета. В 1827 г., вскоре после увольнения Магницкого, Лобачевский был избран ректором университета и затем в течение 20 лет руководил всей учебной жизнью обширного Казанского округа. Деятельность его на этом посту была исключительно плодотворной. В 1828 г. он произнес речь «О важнейших предметах воспитания», в которой выдвинул перед студентами и преподавателями высокие



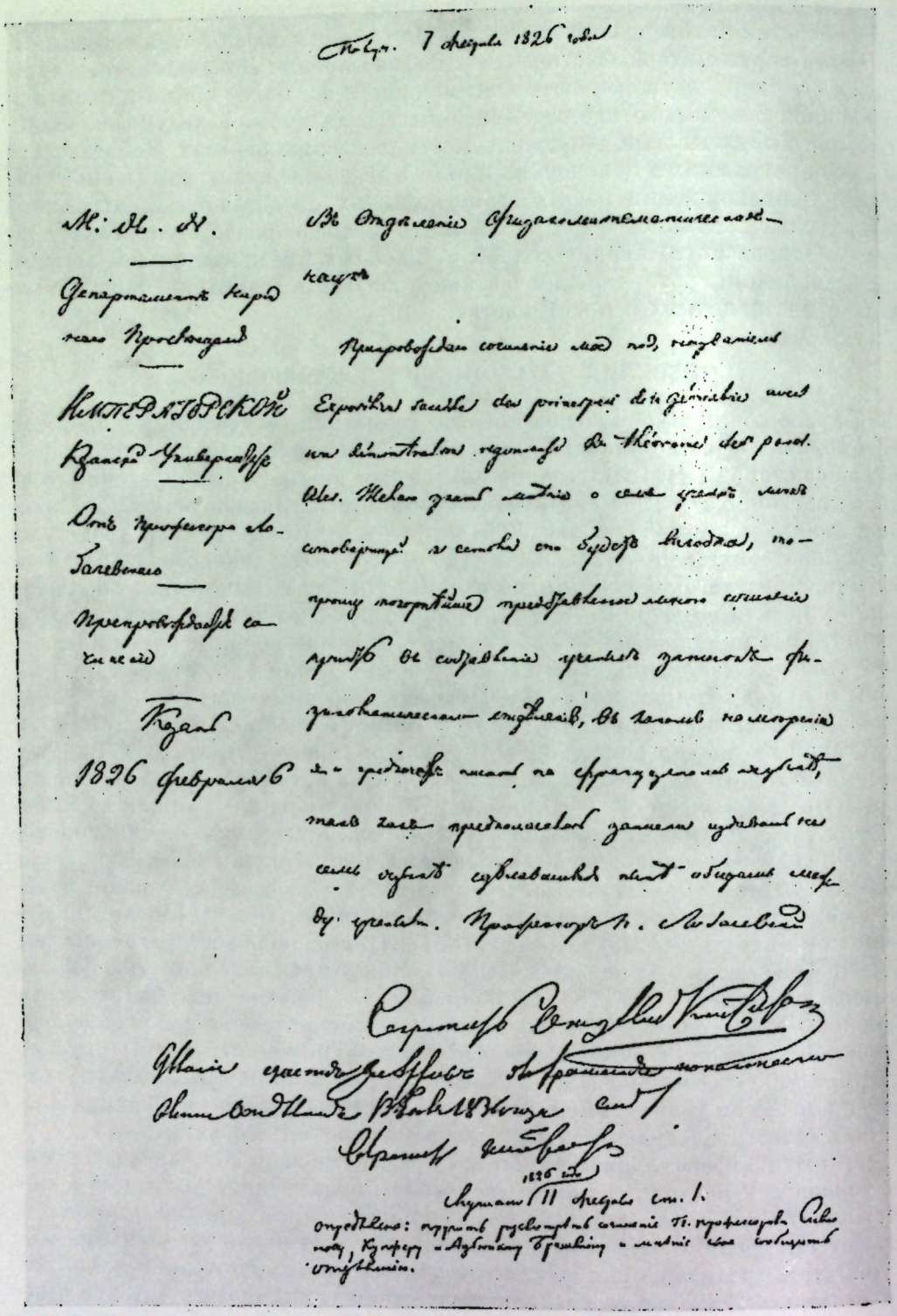
Н. И. Лобачевский

идеалы гармонического совершенствования всех духовных и физических способностей человеческой личности. В этой речи нашли отражение и отдельные черты материалистического мировоззрения Лобачевского, в частности его твердая уверенность в возможности все более полного познания вселенной с помощью наблюдения, опыта и логической дедукции. Философские высказывания нередки в математических работах Лобачевского и в его программах и пояснениях к ним. Убеждение в опытном (в конечном счете) происхождении наших геометрических представлений, отрицание и критика кантианского априоризма (критика гораздо более глубокая, чем у Осиповского) явились одной из идейных предпосылок той подлинной революции, которую Лобачевский произвел в геометрии, в самих наших представлениях о пространстве.

НЕЕВКЛИДОВА ГЕОМЕТРИЯ ЛОБАЧЕВСКОГО

Первое сочинение Лобачевского по геометрии — учебное руководство «Геометрия» — было написано им в 1823 г. Однако оно не получило одобрения со стороны Н. И. Фусса, поэтому в свое время не было издано и увидело свет только в 1909 г. Впрочем, часть этого труда в переработанном виде вошла в другую работу Лобачевского — «Новые начала геометрии с полной теорией параллельных» (1835—1838). Изучение оснований геометрии, начатое Лобачевским не позднее 1816 г. и занимающее большое место уже в «Геометрии» 1823 г., привело его к открытию неевклидовой геометрии, ныне носящей его имя. Это открытие он впервые изложил в работе «Сжатое изложение начал геометрии со строгим доказательством теоремы о параллельных линиях» («Exposition succincte des principes de la géométrie avec une démonstration rigoureuse du théorème des parallèles»), о которой он сделал доклад 11 (23) февраля 1826 г. в заседании физико-математического факультета. Эта работа вошла в состав его первой публикации по этому вопросу — «О началах геометрии», напечатанной в 1829—1830 гг. в университетском журнале «Казанский вестник». За этим последовал целый ряд сочинений, развивавших и дополнявших названный труд: большая статья «Воображаемая геометрия» (1835), во французском переводе напечатанная под названием «Géométrie imaginaire» в «Journal für die reine und angewandte Mathematik» (1837); «Применение воображаемой геометрии к некоторым интегралам» (1836); «Новые начала геометрии с полной теорией параллельных» (1835 — 1838). Далее Лобачевский выпустил на немецком языке очень ясное и сравнительно элементарное изложение своей системы «Geometrische Untersuchungen zur Theorie der Parallellinien». Berlin, 1840 («Геометрические исследования по теории параллельных линий»), а в 1855 и 1856 гг. опубликовал в Казани на русском и французском языках свою последнюю работу «Пангеометрия» («Pangéométrie»).

Открытию неевклидовой геометрии предшествовали 2000-летние попытки доказать V постулат I книги «Начал» Евклида; всякие две прямые, которые, находясь в одной плоскости, при пересечении с третьей прямой образуют внутренние односторонние углы, в сумме меньшие двух прямых углов, при продолжении обязательно пересекаются. Этот «постулат о параллельных» Евклида равносилен утверждению, что через точку вне прямой в содержащей их плоскости можно провести не более одной прямой, пересекающей данную прямую. Многие геометры древности, средних веков и нового времени стремились доказать V постулат как теорему, счи-



Сопроводительная записка Н. И. Лобачевского к его докладу, прочитанному 11 (23) февраля 1826 г.

178

О НАЧАЛАХЪ ГЕОМЕТРІИ(*).

(*Г. Лобачевскаго.*)

Кажется, трудность понятій увеличивается по мѣрѣ ихъ приближенія къ начальнымъ истинамъ въ природѣ; также какъ она возрастаетъ въ другомъ направленіи, къ той границѣ, куда стремится умъ за новыми познаніями. Вотъ почему трудности въ Геометріи должны принадлежать, вопервыхъ, самому предмету. Далѣе, средства, къ которымъ надобно прибѣгнуть, чтобы достигнуть здѣсь послѣдней строгости, едва ли могутъ отвѣчать цѣли и простотѣ сего ученія. Тѣ, которые хотѣли удовлетворить симъ требованіямъ, заключили себя въ такой тѣсной кругъ, что всѣ усилія ихъ не могли быть вознаграждены успѣхомъ. Наконецъ скажемъ и то, что со времени Ньютона и Декарта, вся Математика, сдѣлавшись Аналитикой, пошла столь быстрыми шагами впередъ, что оставила далеко за собой то ученіе, безъ котораго могла уже об-

(*) Извлечено самимъ Сочинителемъ изъ разсужденія, подъ названіемъ: *Exposition succinte des principes de la Géometrie etc.*, читаннаго имъ въ засѣданіи Отдѣленія физико-Математическихъ наукъ, 12 Февраля 1826 года.

Первая страница работы Н. И. Лобачевского «О началах геометрии». 1829 г.

тая его недостаточно очевидным. При этом всегда выяснялось, что они либо неявно предполагали истинным какое-либо равносильное V постулату утверждение, либо открыто заменяли его другим равносильным постулатом, по их мнению более наглядным. В своих лекциях по геометрии, прочитанных в 1816—1817 гг., Лобачевский также сделал попытку доказать V постулат, вернее равносильное ему в системе аксиом Евклида предположение о равенстве суммы углов треугольника двум прямым. Впоследствии он обнаружил в своем рассуждении неявное предположение, равносильное доказываемому. Не удовлетворили его и «доказательства» других авторов, в том числе известного французского математика А. Лежандра.

До XIX в. никто, по-видимому, не сомневался в том, что пространство может быть только «евклидовым». Знаменитый философ Кант считал, что пространство, как и время, является априорной формой человеческого восприятия и евклидов характер пространства принципиально не нуждается в опытной проверке, так как все предпосылки геометрии Евклида

составляют необходимое условие самого опыта. Многие ученые вслед за Ньютоном представляли себе пустое пространство как вместилище всех вещей и также абсолютизировали «евклидовы» свойства пустого пространства. Для Лобачевского не существовали ни врожденные понятия или априорные формы восприятия, ни пустое пространство, независимое от свойств движущейся материи. Вопрос о свойствах реального физического пространства должен решаться, с его точки зрения, опытным путем, а для этого нужно сперва выявить исходные геометрические понятия и отношения между ними. Размышляя над этим вопросом, Лобачевский пришел к убеждению, что существует более общая геометрическая система, частным (мы бы сказали теперь — предельным) случаем которой является геометрия Евклида.

В литературе по истории наук и по философии иногда высказывается мнение, что Лобачевский был одним из предшественников конвенционализма в математике, для которого исходные положения этой науки являются лишь произвольными, условными соглашениями. Выбор между такими соглашениями человек волен делать по своему усмотрению, хотя и руководствуясь целесообразностью. На самом деле творец первой неевклидовой системы был весьма далек от конвенционалистской трактовки начал геометрии. Недостаток аксиоматики Евклида он видел в том, что она произвольно принимает V постулат как единственно допустимый, и тем самым произвольно же отметает другие возможные предпосылки. Лобачевский стремится построить пангеометрию, т. е. общую геометрическую систему, исключающую такой произвол. С его точки зрения пангеометрия могла содержать только две системы: ту, которая носит теперь его имя, и евклидову [1]. Вопрос о том, какова геометрия действительного пространства, должен быть исследован путем обращения к наблюдению и опыту.

В геометрии Лобачевского через точку вне прямой в их плоскости можно провести более одной прямой, не пересекающей данную прямую, откуда вытекает, что таких прямых можно провести бесконечно много и все такие прямые заполняют некоторый угол с вершиной в данной точке. На стр. 159 изображены прямые плоскости Лобачевского, проходящие через точку A и не пересекающие прямую a. Две прямые, ограничивающие этот угол, называются прямыми, параллельными данной прямой a в сторону b или в сторону c, а внутренние прямые этого угла называются прямыми, расходящимися с данной прямой. Расстояния между точками двух параллелей, измеряемые по секущим равного наклона, при неограниченном удалении этих точек в направлении параллельности этих прямых стремятся к нулю. Поэтому при изображении параллелей Лобачевского на чертежах на евклидовой плоскости их часто условно изображают кривыми, асимптотически приближающимися друг к другу (на стр. 159 изображены параллели b и c, проведенные из точки A к прямой a). Угол $\Pi(x)$ между параллелью c, прямой a и перпендикуляром OA, опущенным из точки A на прямую a, оказывается зависящим от длины этого перпендикуляра $OA = x$; эту зависимость $\Pi(x)$ называют теперь функцией Лобачевского.

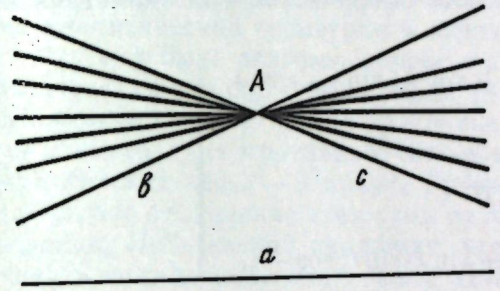
---

[1] Сохраняя остальные предпосылки евклидовой геометрии (кроме постулата о параллельных), Лобачевский еще не усмотрел возможности других неевклидовых систем, изучение которых начали немецкий математик Б. Риман (1854) и англичанин А. Кэли (1859).

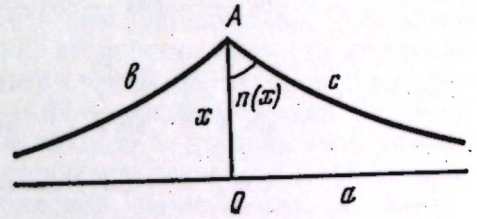
Лобачевский доказал, что

$$\operatorname{ctg}\frac{\Pi(x)}{2} = e^{\frac{x}{q}},$$

где q — некоторая положительная постоянная. Расстояние между точками двух расходящихся прямых, измеряемое по секущим равного наклона, при неограниченном удалении этих точек в обоих направлениях стремится к бесконечности. Это расстояние наименьшее, когда секущая перпендикулярна обеим прямым, причем общий перпендикуляр двух расходящихся прямых является единственным.



Параллельные и расходящиеся прямые на плоскости Н. И. Лобачевского



Угол параллельности на плоскости Н. И. Лобачевского

Сумма углов прямоугольного треугольника, вершинами которого являются (см. рисунок справа) точки A и O и еще одна точка прямой a, расположенная настолько далеко от O, что гипотенуза треугольника близка к параллели, проведенной из точки A к прямой a, как это почти очевидно, меньше двух прямых. Вообще, у всех треугольников плоскости Лобачевского сумма углов меньше двух прямых. На плоскости Лобачевского кроме пучков пересекающихся прямых имеются также пучки параллельных прямых, состоящие из прямых, параллельных между собой в одном и том же направлении, и пучки расходящихся прямых, состоящие из перпендикуляров и одной прямой. Ортогональными траекториями пучка пересекающихся прямых на плоскости Лобачевского, как и на евклидовой плоскости, являются окружности, но ортогональными траекториями пучков параллельных и расходящихся прямых здесь являются другие кривые — орициклы («предельные круги») и эквидистанты, или гипериклы.

При вращении окружности, орицикла и эквидистанты вокруг одной из ортогональных им прямых получаются в первом случае сфера, во втором — орисфера («предельная сфера»), а в третьем — эквидистантная поверхность — геометрическое место точек пространства, равноотстоящих от плоскости. Если геометрия на сфере не отличается от геометрии на сфере евклидова пространства, то геометрия на каждой из двух полостей эквидистантной поверхности — того же типа, что и геометрия плоскости Лобачевского, а геометрия на орисфере является евклидовой, причем роль прямых играют орициклы, являющиеся на орисфере геодезическими линиями.

Используя то, что на орисферах имеют место геометрия и, следовательно, тригонометрия евклидовой плоскости, Лобачевский нашел тригонометрические соотношения в плоских треугольниках. Эти соотношения в

современных обозначениях имеют вид

$$\left.\begin{aligned} &\operatorname{ch}\frac{a}{q}=\operatorname{ch}\frac{b}{q}\operatorname{ch}\frac{c}{q}-\operatorname{sh}\frac{b}{q}\operatorname{sh}\frac{c}{q}\cos A,\\ &\frac{\operatorname{sh}\frac{a}{q}}{\sin A}=\frac{\operatorname{sh}\frac{b}{q}}{\sin B}=\frac{\operatorname{sh}\frac{c}{q}}{\sin c},\\ &\cos A=-\cos B\cos C+\sin B\sin C\operatorname{ch}\frac{a}{q}, \end{aligned}\right\} \quad (1)$$

где q — упомянутая постоянная плоскости Лобачевского.

Сравнивая эти формулы с формулами сферической тригонометрии на сфере радиуса r,

$$\left.\begin{aligned} &\cos\frac{a}{r}=\cos\frac{b}{r}\cos\frac{c}{r}+\sin\frac{b}{r}\sin\frac{c}{r}\cos A,\\ &\frac{\sin\frac{a}{r}}{\sin A}=\frac{\sin\frac{b}{r}}{\sin B}=\frac{\sin\frac{c}{r}}{\sin C},\\ &\cos A=-\cos B\cos C+\sin B\sin C\cos\frac{a}{r}, \end{aligned}\right\} \quad (2)$$

Лобачевский обнаружил, что формулы тригонометрии в определяемом им пространстве можно получить из формул сферической тригонометрии, считая стороны a, b, c треугольников чисто мнимыми числами, или, что равносильно, считая чисто мнимым радиус r сферы. В самом деле, формулы (2) перейдут в формулы (1), если положить $r = qi$ и воспользоваться соотношениями $\cos ix = \operatorname{ch} x$, $\sin ix = i \operatorname{sh} x$. В этом факте Лобачевский видел свидетельство непротиворечивости открытой им геометрии. Это соображение Лобачевского можно сделать вполне строгим, если ввести в рассмотрение мнимые точки евклидова пространства, образующие так называемое комплексное евклидово пространство, определить в этом пространстве сферу чисто мнимого радиуса и рассмотреть множество тех точек этой сферы, у которых прямоугольные координаты x и y действительны, а координаты xi, yi чисто мнимы. Множество таких точек комплексного евклидова пространства, впервые рассмотренное в 1906 г. Пуанкаре в связи с принципом относительности, в настоящее время называемым специальным принципом относительности А. Эйнштейна, часто называют псевдоевклидовым пространством, а также пространством Минковского (1908). Сфера мнимого радиуса в этом пространстве имеет вид двуполостного гиперболоида, каждая из полостей которого является моделью плоскости Лобачевского; построение этой модели и доказывает непротиворечивость плоскости Лобачевского.

Геометрия Лобачевского обладает и другими свойствами, аналогичными сферической геометрии. Площадь S треугольника на плоскости Лобачевского выражается через его углы (в радианной мере) по формуле

$$S = q^2(\pi - A - B - C), \quad (3)$$

в то время как площадь S' сферического треугольника выражается через его углы (в той же мере) по формуле

$$S' = r^2(A + B + C - \pi). \quad (4)$$

Формула (4) также переходит в формулу (3) при $r = qi$. Евклидову геометрию можно рассматривать как предельный случай и сферической геометрии, и геометрии Лобачевского при стремлении r и q к бесконечности, или как частный случай при $r = q = \infty$. Более общий характер открытой им геометрии Лобачевский подчеркивал и названием «пангеометрия» — «всеобщая геометрия», которое он дал ей в своей последней работе. По аналогии с числом $1/r^2$, называемым кривизной сферы, число — $1/q^2$ назвали позднее кривизной плоскости Лобачевского, а постоянную q —радиусом кривизны этой плоскости.

Установив основы новой общей геометрии и тригонометрические соотношения в ней, Лобачевский ввел координаты и решил большое число задач аналитической геометрии и задач на вычисление площадей и объемов.

Как уже было сказано, вопрос о характере геометрии реального мира Лобачевский считал необходимым решить экспериментально. Для этого он вычислил сумму углов треугольника, вершинами которого являются две диаметрально противоположные точки земной орбиты и одна из трех неподвижных звезд — Сириус, Ригель и 29-я звезда созвездия Эридана. Найдя, что отклонение этих сумм от π не выходит за пределы ошибки наблюдения, Лобачевский заключил, что геометрию реального мира можно считать евклидовой. Этот вывод Лобачевский, по-видимому, и назвал «строгим доказательством теоремы о параллельных линиях» в работе 1826 г. Впрочем, изложив свои подсчеты в работе «О началах геометрии» (1829—1830), Лобачевский добавил, что отклонение суммы углов от π, быть может, удастся обнаружить при рассмотрении еще бо́льших космических треугольников. Вообще, по мнению Лобачевского, хотя и очень вероятно, что в мире выполняются евклидовы соотношения (почему он и называл некоторое время неевклидову геометрию воображаемой), но доказать это с полной достоверностью с помощью астрономических наблюдений не удастся никогда. Позже, в «Новых началах геометрии с полной теорией параллельных» (1835—1838) Лобачевский высказал предположение, что его геометрия может найти применение «либо за пределами видимого мира, либо в тесной сфере молекулярных притяжений» [1].

В первых своих работах Лобачевский строил новую геометрию, исходя из предположения о невыполнении V постулата. В «Воображаемой геометрии» (1835) он дал другое аналитическое изложение своей системы, исходя из тригонометрических соотношений в ней и считая эти соотношения, получаемые указанным способом из соотношений сферической тригонометрии, гарантией непротиворечивости новой геометрии. В «Применении воображаемой геометрии к некоторым интегралам» (1836) он, на основе вычисления площадей и объемов некоторых фигур в своей системе, нашел значение целого ряда определенных интегралов, сначала известных, с целью убедиться, что это приводит к верным результатам, а затем большого числа новых. Это показывало, что новая геометрия уже может служить полезным средством исследования в вопросах анализа.

Неевклидова геометрия была почти одновременно открыта, кроме Лобачевского, еще несколькими математиками. В последние годы XVIII в. к ней подошел Гаусс, время от времени занимавшийся этими вопросами в течение многих десятилетий. Впрочем, уверенность в непротиворечивости новой геометрической системы появилась у Гаусса только в 1819 г. Гаусс

[1] *И. И. Лобачевский.* Полн. собр. соч., т. II. М.— Л., Гостехиздат, 1949, с. 160.

не опубликовал своих результатов, которые стали известны уже после его смерти (1855) при публикации его писем и черновых набросков. К той же геометрии пришел венгерский математик Я. Бойяи, изложивший свое открытие на латинском языке в сочинении «Приложение, содержащее абсолютно истинную науку о пространстве» (1831). Такое название объясняется тем, что бо́льшая часть этого труда была опубликована в виде приложения к одной книге его отца Ф. Бойяи, изданной в 1832 г. Таким образом, приоритет в обнародовании неевклидовой геометрии бесспорно принадлежит Лобачевскому, и ему одному, кроме того, принадлежит заслуга ее подробной, систематической разработки и неутомимой пропаганды на протяжении более чем четверти века. Открытие Лобачевского не получило признания при его жизни. Крупнейший петербургский математик того времени Остроградский не понял значения открытия Лобачевского и представил Академии наук пренебрежительный отзыв о его работах. Другой влиятельный петербургский академик, Буняковский, отнесся к исследованиям Лобачевского резко отрицательно и до конца своей долгой жизни оставался убежденным в том, что неевклидова геометрия логически абсурдна. В журнале «Сын отечества» за 1834 г. появился (быть может, не без одобрения обоих академиков) грубый памфлет, высмеивающий Лобачевского. Вообще это величайшее математическое открытие столетия прошло мимо внимания почти всех тогдашних ученых. Только Гаусс в частных письмах весьма лестно отозвался о «Geometrische Untersuchungen» (1840) Лобачевского (см. стр. 155) и специально изучил русский язык, чтобы прочесть другие его работы. По предложению Гаусса Лобачевский был избран членом-корреспондентом Геттингенского ученого общества. Однако Гаусс ни разу не высказался об открытии Лобачевского публично: знаменитый немецкий ученый не хотел нарушить спокойное течение своей жизни, открыто одобрив идеи, противоречившие укоренившимся представлениям.

Положение изменилось только после выхода в 1860—1865 гг. в свет переписки Гаусса, из которой стали известны взгляды Гаусса на основание геометрии и на открытие Лобачевского. Уже в 1866 г. Ж. Оуэль опубликовал французский перевод «Geometrische Untersuchungen» Лобачевского с извлечениями из переписки Гаусса с Шумахером, а в 1867 г.— перевод «Приложения» Я. Бойяи. В 1867—1868 гг. Дж. Баттальини перевел «Пангеометрию» (1856) Лобачевского и работу Бойяи на итальянский язык. В 1868 г. в томе III московского «Математического сборника» появился русский перевод «Geometrische Untersuchungen» Лобачевского, сделанный профессором Московского технического училища А. В. Летниковым.

ГЕОМЕТРИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ И ИНТЕРПРЕТАЦИЯ ГЕОМЕТРИИ ЛОБАЧЕВСКОГО

Окончательное признание геометрии Лобачевского пришло после открытия ее наглядных интерпретаций, из которых стала очевидной ее непротиворечивость. В подготовке одной из таких интерпретаций существенную роль сыграли исследования Ф. Г. Миндинга, уроженца польского города Калиша, работавшего ряд лет в Берлинском университете, а с 1843 г. в течение 40 лет в Дерпте. Миндинг занимался различными вопросами математики, и, например, его «Исследования об интегрировании дифференциальных уравнений первого порядка с двумя переменными» (Петербург, 1862), высоко оцененные Остроградским, были отмечены Демидовской премией Петербургской академии наук, избравшей затем его своим членом-корреспондентом (1864) и позднее (1879) — почетным членом. Особенно важны исследования Миндинга по внутренней геометрии поверхностей, начала которой положил Эйлер и которую особенно значительно развил Гаусс (1827). В 1829 г. Миндинг ввел понятие геодезической кривизны линии на поверхности, играющей во внутренней геометрии поверхности ту же роль, что обычная кривизна линии на плоскости, а в 1830 г. доказал инвариантность геодезической кривизны при изгибании поверхности. В 1839 г. Миндинг нашел необходимое и достаточное условие наложимости двух поверхностей. В частности, здесь он доказал известную «теорему Миндинга»: две поверхности с равной постоянной гауссовой кривизной всегда наложимы друг на друга. Изучая треугольники на поверхностях постоянной кривизны, образованные дугами геодезических линий (играющих на этих поверхностях ту же роль, что прямые линии на плоскости), Миндинг обнаружил, что формулы тригонометрии на поверхностях постоянной отрицательной кривизны имеют вид (1), т. е. получаются из формул сферической тригонометрии (2) заменой радиуса сферы r на чисто мнимое число qi. Соответствующая статья Миндинга была напечатана в 20-м томе «Journal für die reine und angewandte Mathematik» за 1840 г., в 17-м томе которого за 1837 г. был напечатан и французский перевод «Воображаемой геометрии» Лобачевского, содержавший тригонометрические формулы (1). Однако ни тот, ни другой не обратили внимания на это совпадение, свидетельствующее, что геометрия Лобачевского осуществляется на поверхностях постоянной отрицательной кривизны.



Ф. Г. Миндинг

Отметим попутно начало работ ученика Миндинга по Дерптскому университету К. М. Петерсона, уроженца Риги, сына бывшего крепостного. В его кандидатской диссертации (1853), опубликованной в русском переводе с хранившегося в архиве немецкого оригинала только в 1952 г., было впервые доказано, что первая и вторая квадратичные формы поверхности определяют поверхность с точностью до положения в пространстве, и найдены условия, связывающие эти формы. Эти условия вновь открыл и опубликовал в 1857 г. А. Майнарди, а полный их вывод дал в 1868—1869 гг. Д. Кодацци, теорему же об определении поверхности двумя квадратичными формами вновь доказал и опубликовал в 1866 г. француз О. Бонне.

Интерпретация геометрии Лобачевского на поверхностях постоянной отрицательной кривизны, вытекающая из сопоставления результатов Лобачевского и Миндинга, была предложена итальянским ученым Э. Бельтрами (1868). Бельтрами показал, что на таких поверхностях реализуется внутренняя геометрия части плоскости Лобачевского. Кроме того, Бельтрами выдвинул мысль об интерпретации всей плоскости в обыкновенном евклидовом круге, которую вскоре за тем замечательным образом разработал немецкий математик Ф. Клейн (1871—1873). Две другие важные интерпретации предложил А. Пуанкаре (1882, 1887), причем первую из них он применил в теории автоморфных функций, тем самым показав новую область аналитических приложений геометрии Лобачевского.

Особенно важную роль в развитии современной геометрии сыграла публикация в 1866 г. знаменитой речи Г. Римана «О гипотезах, лежащих в основании геометрии» («Über die Hypothesen, welche der Geometrie zu Grunde liegen»), произнесенной в 1854 г. Углубляя гауссову концепцию внутренней геометрии поверхностей, Риман выдвинул идею многомерного искривленного пространства, называемого в настоящее время «римановым пространством». Как было показано позже, пространство Лобачевского является римановым пространством постоянной отрицательной кривизны.

Мы ограничимся этими беглыми замечаниями о самом начале дальнейшей разработки неевклидовой геометрии. Вслед за тремя десятилетиями непризнания или равнодушия к идеям «Коперника геометрии», как назвал Лобачевского английский ученый У. Клиффорд, наступил период бурного расцвета новых геометрических систем. Теперь, в исторической перспективе, статья «О началах геометрии» 1829 г. представляется поворотным пунктом в истории не одной только геометрии и не только математики, но и всей совокупности физико-математических наук.

РАБОТЫ ЛОБАЧЕВСКОГО ПО АЛГЕБРЕ И АНАЛИЗУ

С работами Лобачевского по геометрии были связаны, как мы видели, вычисления специальных интегралов. Ему принадлежат и другие исследования по анализу, а также по алгебре. Последние вошли в его книгу «Алгебра, или вычисление конечных» (Казань, 1834). В этом оригинальном университетском руководстве содержатся и собственные открытия автора, из которых особенной известностью пользуется метод приближенного вычисления корней уравнений с числовыми коэффициентами, несколько ранее в неразвитом виде предложенный бельгийцем Ж. Данделеном (1826) и весьма подробно разработанный К. Греффе (1837). Все трое работали независимо. Особое преимущество этого метода перед другими в том, что он позволяет одновременно находить все действительные и комплексные корни уравнения, свободного от кратных корней. Основную роль играет при этом отделение корней путем образования уравнения, корни которого суть 2^n-е степени корней исходного уравнения.

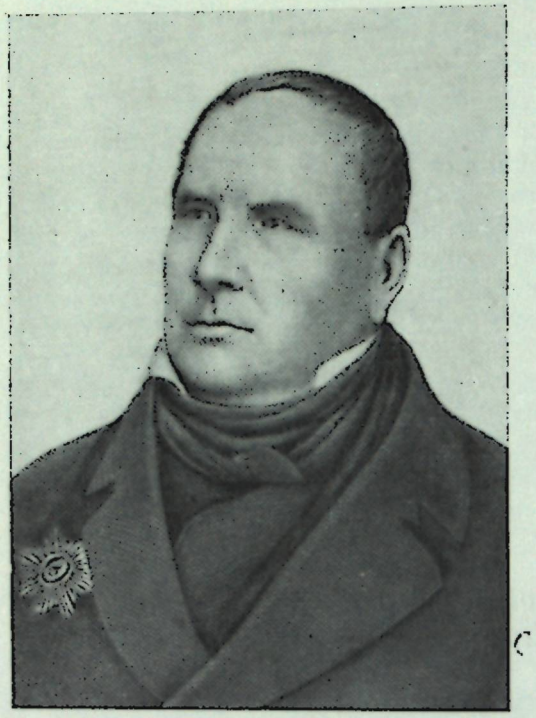
Весьма примечателен в «Алгебре» Лобачевского тщательный и тонкий разбор свойств арифметических операций над целыми и дробями — вопроса, который привлекал в то время и других выдающихся ученых. Интерес, который Лобачевский проявлял к основаниям геометрии и алгебры,

характерен и для его работ в области анализа бесконечно малых. Ранее говорилось о том месте, которое заняли в начале XIX в. проблемы разложения функций в ряды и в частности в тригонометрические ряды. Этой проблеме Лобачевский посвятил три большие статьи 1834—1841 гг. В 1829 г. П. Дирихле сформулировал известные теперь под его именем достаточные условия, при которых функция $f(x)$ представима суммой тригонометрического ряда Фурье; в его доказательстве имелся один пробел, который он исключил в 1837 г. Лобачевский заметил этот пробел, и, пойдя по другому пути, доказал (1834) возможность разложения функции в тригонометрический ряд при достаточных условиях иного характера, чем условия Дирихле. Одним из средств исследования для Лобачевского служил открытый им новый критерий сходимости знакопостоянных рядов. Попутно Лобачевский отчетливо высказал общее определение функции как произвольного соответствия между двумя множествами чисел, не обязательно выраженного аналитически. Такое же определение, восходящее к Эйлеру, сформулировал в несколько иных словах Дирихле (1837), под именем которого оно и фигурирует нередко в литературе.

М. В. ОСТРОГРАДСКИЙ И МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

Среди работ, проведенных в рассматриваемое время в области анализа и его приложений, особенно выделяются исследования Остроградского. Сын небогатого украинского помещика, Остроградский в 1816 г. поступил на физико-математический факультет Харьковского университета, где его занятиями руководил Осиповский. Остроградский блестяще сдал все надлежащие экзамены, и весной 1821 г. Совет университета признал его достойным степени кандидата. На дальнейшей судьбе молодого человека отразилась, однако, борьба, которую правительство императора Александра I вело тогда со всеми проявлениями свободомыслия в стране. В 1820 г. Осиповский, семь лет подряд состоявший ректором университета, был уволен от всякой работы за резкие и смелые выступления против религиозной мистики и идеалистической метафизики, которые насаждали в преподавании Министерство просвещения и отдельные реакционные профессора. При этом пострадал и Остроградский, лучший ученик и единомышленник Осиповского. Под чисто формальным предлогом Министерство отказало ему в выдаче диплома и предложило, если он хочет, пересдать экзамены, при сдаче которых будто бы были нарушены некоторые формальности.

Остроградский отказался от этого издевательского предложения и для дальнейшего усовершенствования в математических науках уехал в 1822 г. в Париж. Здесь, в общении с Лапласом, Фурье, Коши, Пуассоном и другими крупнейшими французскими учеными, окончательно определились его научные интересы и быстро созрел его талант. Уже в 1824—1827 гг. он представил Парижской академии наук несколько мемуаров. В «Замечаниях об определенных интегралах» («Remarques sur les intégrales définies», 1824) он дал вывод незадолго перед тем опубликованной Коши формулы для вычета функции относительно полюса n-го порядка, по существу совпадающий с принятым ныне. В «Доказательстве одной теоремы интегрального исчисления» («Démonstration d'un théorème du calcul intégral»,



М. В. Остроградский

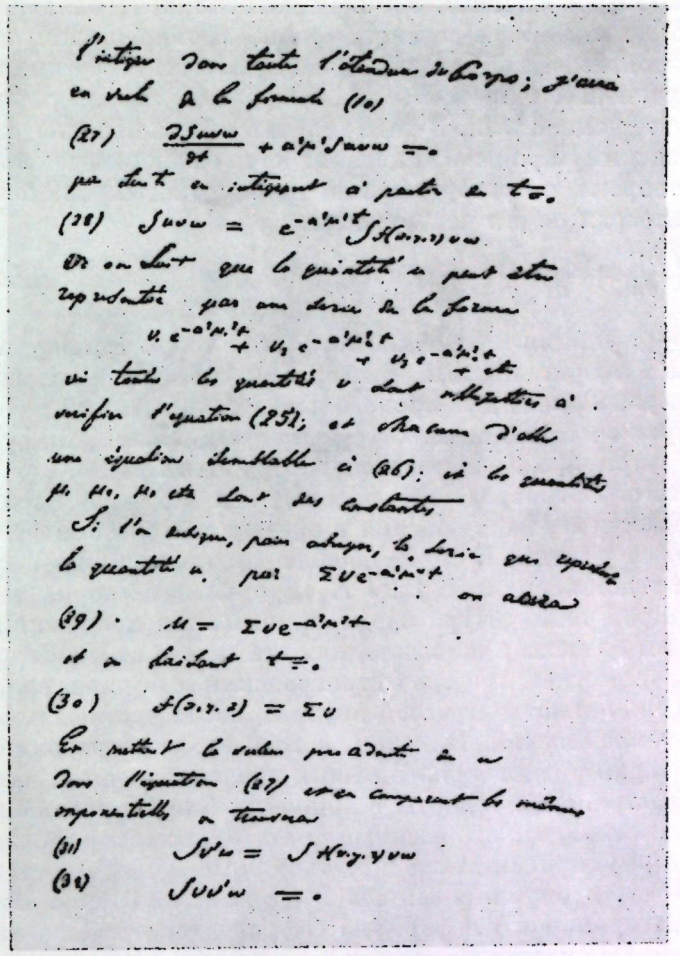
1826) он разработал далее опубликованный в 1822 г. Фурье метод интегрирования уравнений математической физики. В том же году он подготовил работу о распространении волн в цилиндрическом бассейне, где развил исследования Коши и Пуассона, изучивших движение малых волн в бассейне бесконечной глубины, не ограниченном стенками, а год спустя — «Мемуар о распространении тепла внутри твердых тел» («Mémoire sur la propagation de la chaleur dans l'intérieur des corps solides»), содержащий несколько иное изложение метода Фурье и решение новой задачи о распространении тепла в треугольной призме (до того Фурье и Пуассон решили эту задачу для шара, цилиндра, куба и прямоугольного параллелепипеда). Из этих работ только работа[1] по гидродинамике была напечатана Парижской академией, остальные остались в ее архиве[1], однако их основные результаты вошли в последующие публикации Остроградского, а в рукописях или в устном изложении автора с ними тогда же или вскоре познакомились Коши, Пуассон, Г. Ламе, Ж. Дюгамель и другие французские математики.

В 1828 г. Остроградский вернулся в Россию, в Петербург, и, представив Академии наук три свои работы, в том же году был избран адъюнктом Академии по прикладной математике, в 1830 г.— экстраординарным академиком, а в 1831 г.— ординарным. Начиная с 1828 г. он очень много времени отдавал также лекциям в различных высших учебных заведениях, в частности в Главном педагогическом институте; кроме того, с 1847 г. он долгие годы руководил преподаванием физико-математических наук в военных школах. Свои педагогические взгляды, весьма передовые и во многом созвучные идеям XX в., он изложил в написанной совместно с французским инженером И. А. Блюмом брошюре «Размышления о преподавании» («Considérations sur l'enseignement», Петербург — Париж, 1860).

Главный вклад Остроградского в математическую физику содержится в его работах по теории теплоты, начиная с двух упомянутых выше парижских работ 1826—1827 гг.; три следующие его статьи по этому вопросу увидели свет в 1831—1838 гг. в журнале Петербургской академии наук. В «Заметке по теории тепла», представленной еще в 1828 г., Остроградский сформулировал обобщенный метод Фурье для решения уравнения распространения тепла внутри твердого тела, который сам Фурье применял только в частных случаях. Метод состоит в том, что сперва находятся частные решения, удовлетворяющие дифференциальному уравнению внутри тела и граничным условиям (температурному режиму) на его поверхности, причем сами частные решения представляются в виде произведения функции времени на функцию координат точек тела; это требует отыскания, как их называют теперь, собственных значений и собственных функций некоторой краевой задачи. Затем нужное решение ищется в виде бесконечного ряда по собственным функциям — так называемого обобщенного ряда Фурье (частным случаем которого являются тригонометрические ряды Фурье), коэффициенты которого (обобщенные коэффициенты Фурье) определяются тем, что решение должно удовлетворять начальным условиям (температурному режиму в начальный момент времени).

Именно последней проблеме разложения данной функции трех переменных в ряд по собственным функциям краевой задачи посвящено нача-

[1] Эти статьи были обнаружены лишь недавно, и две важнейшие из них появились в русском переводе (1965).



Фотокопия десятой страницы рукописи М. В. Остроградского «Доказательство одной теоремы интегрального исчисления» (оригинал хранится в архиве Академии наук в Париже). 1826 г.

ло «Заметки» Остроградского. Здесь он доказал ортогональность системы собственных функций, т. е. равенство нулю тройного интеграла по объему тела от произведения двух различных собственных функций в случае линейных уравнений с частными производными любого порядка и с постоянными коэффициентами. В ходе доказательства используется сообщенная Остроградским Парижской академии наук еще в работах 1826 и 1827 гг. знаменитая теорема о преобразовании тройного интеграла по объему тела в двойной интеграл по его поверхности:

$$\iiint\left(\frac{\partial P}{\partial x}+\frac{\partial Q}{\partial y}+\frac{\partial R}{\partial z}\right)dV=\iint P\,dy\,dz+Q\,dx\,dz+R\,dx\,dy,$$

где P, Q, R — функции переменных x, y, z,— теорема, получившая основное значение в теории кратных интегралов, а также выведенная с ее помощью «формула Грина» для произвольных сопряженных дифференциальных операторов с постоянными коэффициентами (Дж. Грин в 1828 г. опубликовал эту формулу для случая оператора Лапласа).

После этого Остроградский переходит к задаче о распространении тепла в твердом теле, находящемся в среде с постоянной температурой, и представляет ее решение в форме обобщенного ряда Фурье. К этой работе примыкает представленная в 1829 г. «Вторая заметка по теории тепла» (1831), в которой температура среды принимается произвольной функцией координат и времени и показано, как эта задача сводится к исследованной в первой «Заметке». И здесь Остроградский идет далее своих современников: до него Лаплас и Пуассон изучили более частные случаи среды с переменной температурой. Наконец, в 1836 г. Остроградский представил статью, в которой решил в более общих предположениях, чем Фурье, задачу о распространении теплоты в жидкости (опубликована в 1838 г.).

Следует заметить, что обобщенный метод Фурье вскоре после Остроградского был сформулирован также в статьях Ламе и Дюгамеля, доложенных в 1829—1830 гг. и опубликованных в «Journal de l'Ecole Polytechnique» в 1833 г., интегральная же формула Остроградского была опубликована Пуассоном в одной статье по теории упругости, доложенной Парижской академии наук в 1828 г. и напечатанной в ее «Mémoires» в 1829 г., т. е. через 2—3 года после того, как Остроградский представил той же Академии свои упомянутые работы 1826—1827 гг. Добавим, что эта формула Остроградского именовалась многими авторами то формулой Гаусса, то формулой Грина, хотя ни у того, ни у другого ученого она не встречается.

Свою интегральную формулу Остроградский распространил на интегралы любой кратности в «Мемуаре об исчислении вариаций кратных интегралов», представленном в 1834 г. и опубликованном в 1838 г. Как уже говорилось, еще Лагранж и Эйлер решили задачу об экстремуме функционала, выражающегося двойным интегралом с постоянными пределами (стр. 61). Пуассон в 1833 г. сделал это для случая двойного интеграла с переменными пределами, Остроградский же, используя развитый им аппарат теории крайних интегралов, показал, как вычисляется вариация кратного интеграла в общем случае. Правда, он не выписал в развернутом виде обобщенного уравнения Эйлера, решением которого является искомая функция (если она существует), но это уравнение непосредственно следует из его формул, так же как и краевые условия, которые служат для полного определения искомой функции. Быть может, отсутствие этих завершающих результатов побудило Парижскую академию наук объявить

конкурс по вопросу, принципиально решенному Остроградским, причем премия была в 1844 г. присуждена страсбургскому профессору П. Саррюсу, который только с большей подробностью развил все выкладки. Упомянем еще, что Остроградскому принадлежит вошедший в учебные руководства и весьма наглядный вывод формулы замены переменных в двойных и тройных интегралах; соответствующая статья была доложена Петербургской академии в 1836 г. и напечатана в 1838 г.

Остроградский внес значительный вклад и в другие отделы анализа. Упомянем формулу Лиувилля (1838) — Остроградского (1839) в теории обыкновенных линейных дифференциальных уравнений и метод Остроградского (1845) — Эрмита (1872) нахождения алгебраической части интеграла рациональной дроби, не требующий предварительного ее разложения в сумму элементарных дробей. Эти результаты также давно вошли в университетские учебники. В течение 20 лет (1833—1853) Остроградский параллельно с Лиувиллем исследовал условия интегрируемости в конечном виде алгебраических функций — вопрос, разработке которого блестящее начало положил незадолго до того Абель. Упомянем еще «Заметку о методе последовательных приближений», доложенную в 1835 г. и опубликованную в 1838 г.; в этой заметке Остроградский на частном примере показал достоинства открытого им приема решения нелинейных обыкновенных дифференциальных уравнений с помощью разложения искомого решения в бесконечный ряд по малому параметру. Этот чрезвычайно важный прием, позволяющий избегать в решении так называемых вековых членов, получил глубокое развитие в трудах А. Пуанкаре, А. М. Ляпунова и ряда современных математиков и теперь широко применяется к нелинейным задачам механики, физики и техники. Есть у Остроградского работы по теории чисел и по теории вероятностей.

Остроградский оказал большое влияние на последующее развитие математики и механики в России. Особенно значительно это влияние в области механики, которой занимались и наиболее выдающиеся его ученики Н. П. Петров и И. А. Вышнеградский. Собственной математической школы Остроградский не создал, вероятно, потому, что не работал в университете, но всей своей деятельностью он подготовил почву для петербургской школы Чебышева, в подготовке которой участвовал и В. Я. Буняковский.

В. Я. БУНЯКОВСКИЙ

Сын офицера, получивший первое воспитание дома, Буняковский завершил свое научное образование, подобно Остроградскому, в Париже. В 1828 г. он был избран в Академию наук и в 1864—1889 гг. был одним из ее руководителей в должности вице-президента; в 1846—1860 гг. читал лекции в Петербургском университете.

Буняковскому принадлежит около 150 работ по различным разделам математики и ее приложениям. Более 40 из них относятся к теории чисел и примыкает к тематике Эйлера (хотя ею не ограничивается); вместе с Чебышевым он опубликовал два тома теоретико-числовых работ Эйлера (1849).

Широкой известностью пользуется «неравенство Буняковского»:

$$\left[\int_a^b f(x)\varphi(x)\,dx\right]^2\leqslant\int_a^b f^2(x)\,dx\cdot\int_a^b\varphi^2(x)\,dx,$$



В. Я. Буняковский

являющееся интегральным аналогом арифметического неравенства Коши:

$$\left(\sum_{i=1}^{n} a_i b_i\right)^2 \leqslant \left(\sum_{i=1}^{n} a_i^2\right)\left(\sum_{i=1}^{n} b_i^2\right).$$

Это неравенство, опубликованное Буняковским в статье «О некоторых неравенствах, относящихся к обыкновенным интегралам и интегралам в конечных разностях» (1859), но иногда именуемое неравенством Шварца (по имени немецкого математика Г. А. Шварца, вновь опубликовавшего его 25 лет спустя), играет важную роль в интегральном исчислении и в современном функциональном анализе. Если так называемое неравенство Коши допускает геометрическую интерпретацию в многомерном евклидовом пространстве, выражая то обстоятельство, что скалярное произведение двух векторов $\{a_i\}$ и $\{b_i\}$ этого пространства по абсолютной величине не больше произведения модулей этих векторов, то неравенство Буняковского допускает аналогичную интерпретацию в бесконечномерном гильбертовом пространстве — одном из важнейших функциональных пространств.

Уже говорилось, что Буняковский живо интересовался проблемой параллельных линий. В монографии «Параллельные линии» (СПб., 1853) он критически рассмотрел многие прежние попытки доказательства постулата о параллельных. Однако открытия Лобачевского он не понял и сам пытался доказать V постулат.

Около 20 работ Буняковский посвятил теории вероятностей и статистике и с 1858 г. был правительственным экспертом по этим вопросам, в том числе по статистике народонаселения. Его «Основания математической теории вероятностей» (СПб., 1846) явились первым на русском языке руководством по этому предмету.

Деятельность Остроградского и Буняковского не только вновь подняла на высокий уровень математические исследования в Академии наук: оба они резко повысили уровень преподавания математических наук в высших школах Петербурга. Это имело далеко идущие последствия. Но, как уже отмечалось в начале этой главы, решающую роль в последующем подъеме математики в тогдашней столице России, а затем и во всей стране сыграл, при полной поддержке Буняковского и Остроградского, П. Л. Чебышев. Об этом будет рассказано в главе 21.

Глава тринадцатая

МЕХАНИКА

В главе 4 было показано, что ученые, работавшие в Петербургской академии наук в XVIII в., внесли огромный вклад в развитие механики. Фундаментальные труды Л. Эйлера по механике точки и твердого тела, а также по небесной механике, труды Д. Бернулли и Эйлера по гидродинамике в значительной мере определили направление исследований по теоретической механике в XVIII в. и легли в основу дальнейших успехов этой науки в XIX в.

В конце XVIII и начале XIX вв. развитие механики шло преимущественно по пути решения отдельных частных задач. Новый мощный подъем исследований по механике начался в первой половине XIX в. Это время было отмечено крупными успехами в развитии аналитической механики. На первом месте здесь стоят классические работы М. В. Остроградского, посвященные обобщению принципов возможных перемещений, принципа наименьшего действия, теории удара и др. В Петербурге и Москве было положено начало больших школ теоретической и прикладной механики, деятельность которых в широком объеме развернулась уже во второй половине XIX в.

Многочисленные исследования Остроградского по механике можно разбить, как это сделал Н. Е. Жуковский, на три группы: 1) работы, связанные с началом возможных перемещений, 2) с дифференциальными уравнениями механики, 3) с решением частных задач механики.

Подобно Лагранжу, рассматривавшему механику как класс задач вариационного исчисления, Остроградский изучал проблемы аналитической механики в возможно более общем виде. Мемуар Остроградского «О дифференциальных уравнениях, относящихся к задаче изопериметров» (1850) обогатил в равной мере как механику, так и вариационное исчисление. В нем Остроградский рассматривает вариационную задачу, в которой подынтегральная функция зависит от произвольного числа неизвестных функций и их производных сколь угодно высокого порядка, и показывает, что задача может быть сведена к интегрированию системы канонических уравнений У. Гамильтона. Такие уравнения можно рассматривать как форму, в которую можно преобразовать любые уравнения, возникающие в вариационной задаче, причем преобразование не требует никаких операций, кроме дифференцирования и алгебраических действий. Кроме того, Остроградский ослабил ограничения на связи, которые до него всегда считались стационарными. Поэтому интегральный вариационный принцип, сформулированный в 1834 г. Гамильтоном, справедливо называется принципом Гамильтона — Остроградского.

В 1850 г. Остроградский опубликовал мемуар, содержащий важные результаты по математической теории уравнений движения,— «Об интегралах общих уравнений динамики». Он показал, что и в более общем случае, когда связи и силовая функция содержат время, уравнения движения

также могут быть преобразованы в гамильтонову форму; этот случай был оставлен в стороне Гамильтоном и Якоби.

Одним из важных вопросов механики является задача интегрирования уравнений движения, которые составляют вариационный принцип. Разработка теории интегрирования канонических уравнений принадлежит Гамильтону, Якоби и Остроградскому. В разработку этой теории Остроградский внес существенный вклад. В исследованиях по уравнениям динамики он дает каноническую форму уравнений динамики и устанавливает теоремы о характеристической функции, принимая связи системы зависящими от времени. Независимо от Гамильтона и Якоби, Остроградский доказал, что задача определения интегралов канонических уравнений эквивалентна нахождению полного интеграла некоторого дифференциального уравнения в частных производных. Все искомые интегралы канонических уравнений можно найти дифференцированием полного интеграла уравнения в частных производных.

Работы Остроградского по механике послужили источником целого ряда дальнейших исследований по вариационным принципам механики.

Из других трудов Остроградского по механике следует отметить его «Общие соображения относительно моментов сил» (1838). Эта работа значительно расширила область применения принципа возможных перемещений, распространив его на так называемые освобождающие (или неудерживающие) связи. В этом исследовании Остроградский непосредственно продолжал и обобщал работы Лагранжа.

Лагранж в «Аналитической механике» (1788) оставил в стороне одну интересную задачу теории удара; частный случай ее был изучен вскоре Л. Карно. В мемуаре «К общей теории удара» Остроградский исследовал удар систем в предположении, что возникшие в момент удара связи сохраняются и после него. Остроградский распространил здесь принцип возможных перемещений на явление неупругого удара и вывел основную формулу аналитической теории удара, из которой легко получаются ряд теорем, решение упомянутой задачи, и в частности обобщение одной теоремы Карно.

Остроградскому принадлежат не только обобщающие теоретические труды широкого охвата, но и работы, содержащие решения конкретных частных задач механики, возникших в технической практике того времени. Эти работы и составляют, в соответствии с классификацией Н. Е. Жуковского, третью группу работ Остроградского по механике. Сюда входят исследования по гидродинамике, гидростатике, теории притяжения, теории упругости и баллистике.

К гидродинамике относится упоминавшаяся в предыдущей главе работа Остроградского «Об уравнении, относящемся к распространению теплоты внутри жидкости» (1838). В области гидростатики известна статья Остроградского «Об особом случае равновесия несжимаемых жидкостей» (1838). Здесь он с помощью обобщенной им теоремы Грина преобразовал различные встречающиеся в гидростатике поверхностные интегралы в объемные.

Теории притяжения посвящена работа «Заметка об интеграле, встречающемся в вычислении притяжения сфероидов» (1831), в которой Остроградский дал более совершенный вывод уравнения Пуассона, характеризующего притяжение некоторой массой точки, лежащей внутри этой массы или на ее поверхности.

Теории упругости посвящены две большие работы Остроградского: «Об интегрировании уравнений с частными производными, относящихся к малым колебаниям упругой среды» (1831) и «Об интегрировании уравнений с частными производными, относящихся к малым колебаниям упругих тел» (1833). В них общие дифференциальные уравнения равновесия и движения упругих тел, выведенные Навье, Пуассоном и Коши, применены к анализу распространения колебаний в однородной изотропной упругой среде, занимающей все пространство.



Н. Д. Брашман

Работы по баллистике были предприняты Остроградским по заданию русского артиллерийского ведомства. Плодом этих занятий явились два его мемуара в этой области: «Заметка о движении сферического снаряда в сопротивляющейся среде» и «Мемуар о движении сферического снаряда в воздухе» (1841). В этих работах Остроградский исследовал актуальный для артиллерии того времени вопрос о движении центра тяжести и о вращении сферического снаряда, геометрический центр которого не совпадает с центром тяжести. Здесь был сделан существенный шаг вперед по сравнению с несколько более ранними исследованиями Пуассона, который изучил движение сферических снарядов в допущении, что эти два центра совпадают. Формулы Пуассона получаются из формул Остроградского как частные случаи.

Остроградский не только оставил много ценных трудов, которые вошли в сокровищницу русской и мировой науки: он оказал неоценимую услугу отечественной науке, воспитав целую плеяду выдающихся русских ученых. Многие ученики Остроградского прославились в области прикладной механики и технических наук. И. А. Вышнеградский в ряде классических работ положил основания теории автоматического регулирования; Н. П. Петров создал гидродинамическую теорию смазки и провел ценные исследования по теории механизмов и по теории движения поездов; Г. Е. Паукер стал крупнейшим инженером и теоретиком в области строительного дела; П. И. Собко выдвинулся в строительном деле, и в частности в мостостроении; Д. И. Журавский был выдающимся конструктором мостов и автором важных работ по сопротивлению материалов и т. д.

Долгое время почти все оригинальные русские учебники и научные труды по механике несли на себе печать аналитических идей и методов Остроградского. Это относится, например, к таким учебным руководствам, как «Теория равновесия тел твердых и жидких» Н. Д. Брашмана (1837),

«Курс практической механики» Н. Ф. Ястржембского (ч. 1—2, 1837, 1838), «Элементарная механика» Вышнеградского (1860), «Рациональная механика» И. И. Сомова (ч. 1—2, 1872, 1877) и т. д.

Исследования Остроградского были развиты русскими учеными в различных направлениях. Так, его работы о начале возможных перемещений были продолжены Д. К. Бобылевым и Г. К. Сусловым, работы о принципе наименьшего действия — Ф. А. Слудским, М. И. Талызиным, И. И. Сомовым, Г. К. Сусловым, В. П. Ермаковым, Н. Е. Жуковским и др.; к работам Остроградского по баллистике примыкают исследования Чебышева и целой плеяды выдающихся баллистиков — Н. В. Маиевского, Н. А. Забудского и др.

В то время, когда в Петербурге развертывалась деятельность Остроградского, преподавание механики в Московском университете было уже поднято на такой уровень, который позволил московским механикам приступить к оригинальным исследованиям, и в частности развить идеи Остроградского. Это относится и к прикладной механике, которая имеет много точек соприкосновения с исследованиями по теоретической механике.

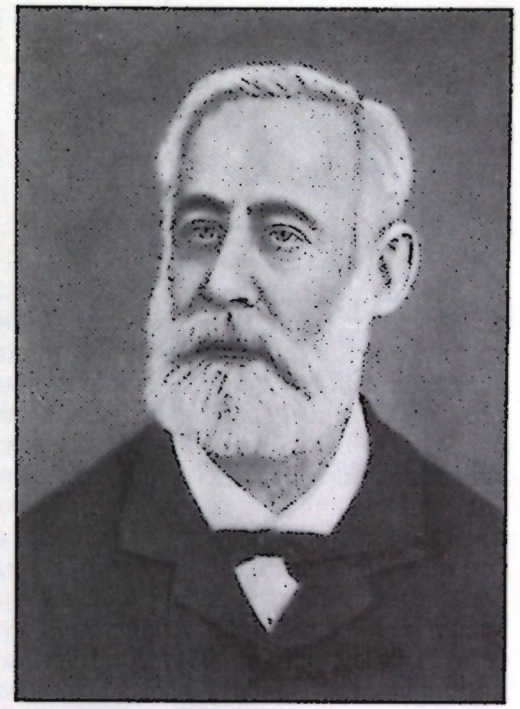
Остановимся прежде всего на деятельности Н. Д. Брашмана. Он родился в местечке Расснове около г. Брно (Чехословакия) и получил образование в Вене — в университете и Политехническом институте. В 1824 г. Брашман переехал в Россию и после кратковременного пребывания в Петербурге был в 1825 г. определен адъюнктом физико-математических наук в Казанский университет, где преподавал механику и математику. В 1834 г. его пригласили в Московский университет на должность профессора прикладной математики (механики). Здесь он работал более 30 лет, почти до самой смерти.

Из работ Брашмана по механике наибольшее значение имеют «Теория равновесия тел твердых и жидких, или статика и гидростатика» (М., 1837), в 1838 г. удостоенная по отзыву Остроградского Демидовской премии Академии наук, «Теоретическая механика» (М., 1859). На работы Брашмана по механике определяющее влияние оказал Остроградский.

В сочинении Брашмана по теории равновесия тел большое внимание уделено изложению вопроса об устойчивости равновесия плавающих тел. Глава книги, посвященная этой актуальной проблеме, положила начало ряду работ московских механиков, и прежде всего А. Ю. Давидова, на работах которого отразилась также, по словам Жуковского, широта анализа Остроградского.

Давидов родился в Либаве в семье врача. В 1841 г. он поступил в Московский университет, который окончил в 1845 г. В 1848 г. он защитил магистерскую диссертацию «Теория равновесия тел, погруженных в жидкость» (М., 1848), тема которой была выбрана им под несомненным влиянием Брашмана. С 1850 г. Давидов начал преподавательскую работу в Московском университете. В 1851 г. он защитил докторскую диссертацию «Теория капиллярных явлений» (М., 1851) и вскоре был назначен профессором Московского университета, где работал до конца жизни. Наряду с Брашманом Давидов явился создателем московской школы аналитической механики, крупнейшим представителем которой в дальнейшем был Жуковский.

Магистерская диссертация Давидова была посвящена весьма актуальной проблеме равновесия плавающих тел, большой вклад в разработку которой внес в XVIII в. Эйлер. После Эйлера крупный шаг вперед в разработке этой проблемы был сделан французским математиком и механиком Ф. П. Дюпеном, исследования которого в 1814—1822 гг. продолжили Дюгамель и Пуассон. Эти авторы, однако, далеко не исчерпали проблему, и новые крупные результаты были получены в этом направлении Давидовым. По теории равновесия плавающих тел Давидов опубликовал три работы: названную уже диссертацию и статьи «О положениях равновесия прямой трехгранной призмы, основание которой полностью погружено в жидкость» (1849) и «О наибольшем числе положений равновесия погруженной в жидкость однородной трехгранной призмы» (1854). В отличие от Дюпена, применявшего геометрические методы, Давидов пользуется при этом аналитическими методами.



А. Ю. Давидов

Механики Московского университета с большим вниманием относились к запросам промышленности и техническим задачам, требующим применения механики. Брашман в своих лекциях отводил большое место разбору устройства и действия различных машин и механизмов. Он старался заинтересовать этим студентов и молодых ученых, ставя перед ними соответствующие проблемы и выдвигая диссертационные темы. Так, А. С. Ершов в 1844 г. защитил диссертацию на степень магистра чистой и прикладной математики «О воде как двигателе» (М., 1844). Другой ученик Брашмана — И. И. Рахманинов, ставший затем профессором Киевского университета, защитил магистерскую диссертацию «Теория вертикальных водяных колес» (М., 1852). Это сочинение по отзыву Чебышева было удостоено Демидовской премии Академии наук.

С 1844 г. по предложению Брашмана в программу университета были включены курсы практической механики и начертательной геометрии, которые начал преподавать в звании доцента Ершов (в 1853 г. он получил звание профессора). Ершов сыграл выдающуюся роль в подготовке специалистов в области прикладной механики. Его большой заслугой была организация в Москве Высшего технического училища.

Сам Ершов не сделал больших открытий в прикладной механике. Но в его педагогической деятельности, как и в деятельности Брашмана, лежат истоки того глубокого интереса к теоретическому исследованию задач практики, который явился руководящим в творчестве великого воспитанника Московского университета П. Л. Чебышева, прославившегося не только своими работами в различных областях математических наук, но и созданием русской школы теории механизмов и машин.

Глава четырнадцатая

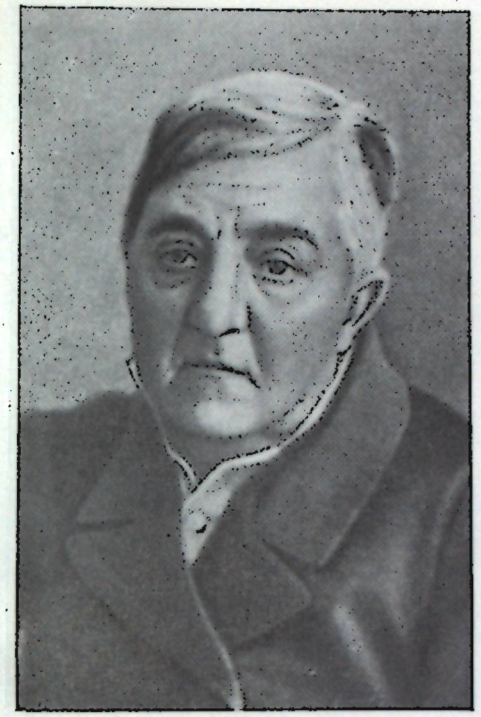
АСТРОНОМИЯ

Как и для других наук, для дальнейшего развития астрономии в России огромное значение имело создание новых университетов с их новой структурой, приспособленной к подготовке специалистов в различных областях естествознания. Возникновение физико-математических факультетов, в которых было введено преподавание астрономии, значительно расширило базу этой науки, ранее целиком сосредоточенной в Петербургской академии наук, и через некоторое время страна получила довольно большое число квалифицированных астрономов. В первой половине XIX в. при многих университетах были организованы астрономические обсерватории, оснащенные первоклассной для того времени новой техникой. Особое значение в истории русской и мировой науки имело создание в 1839 г. Главной обсерватории Академии наук в Пулкове, которая заменила обсерваторию в здании Кунсткамеры и стала центром, координирующим и направляющим работу всех обсерваторий страны. Важным мероприятием было также проведение в 1816—1855 гг. знаменитого русско-шведского градусного измерения под руководством К. И. Теннера и В. Я. Струве, в результате которого была измерена дуга меридиана в 25° 20′.

Мощное развитие техники (особенно техники обработки металла и отливки стекла) произвело настоящую революцию в астрономических наблюдениях, дав астрономам наиболее распространенный в XIX в. меридианный инструмент, снабженный очень точно градуированным кругом отсчета (вместо квадранта, т. е. четверти круга, типичного для астрономии XVIII в.), и ахроматические зрительные приборы высокого качества. Новые технические средства сделали возможным изучение ранее недоступных объектов: слабых и двойных звезд, телескопических комет и метеоров, малых планет и мелких деталей на поверхности Луны и других планет. В 1835—1838 гг. Струве, Ф. В. Бесселем и Т. Гендерсоном были наконец измерены первые расстояния до звезд (звездные параллаксы), предсказанные еще Коперником, но тщетно разыскиваемые астрономами XVI — XVIII вв.

Повышение точности астрономических и геодезических наблюдений повлекло за собой усовершенствование и математических методов их обработки, особенно в трудах Бесселя и Гаусса (в частности, Гауссом была создана теория ошибок измерений), а также привело к уточнению теории движения небесных тел, в основном разработанной в XVIII в. и подытоженной Лапласом в его «Traité de mécanique céleste («Трактат по небесной механике», 1799—1825). Это позволило открыть в 1846 г. планету Нептун и, на протяжении всего XIX в., большое число астероидов.

Фундаментальная астрономия, геодезия и небесная механика вплоть до последней трети XIX в. сохраняли ведущее положение в астрономии. Однако новая техника дала возможность также узнать много нового и важного о движении звезд и строении Галактики, исследование которых



Д. М. Перевощиков

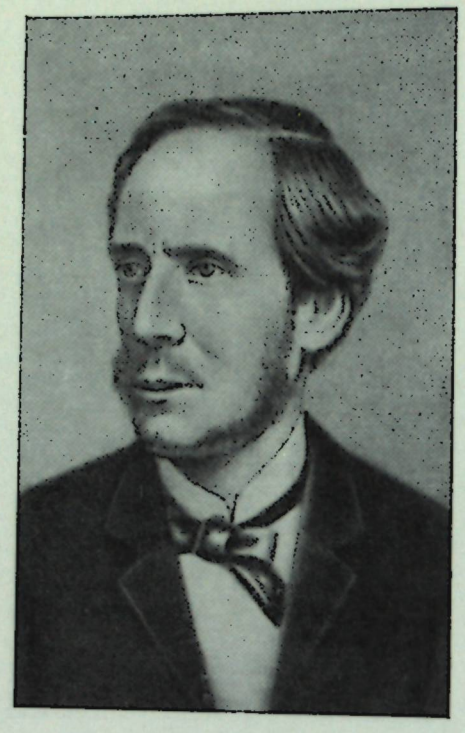


Б. Я. Швейцер

положило начало развитию звездной астрономии. Фотометрическое изучение звезд и планет (Дж. Гершель и Ф. Аргеландер, 1836—1843), изобретение фотографии (1839) и спектрального анализа (Г. Р. Кирхгоф и Р. В. Бунзен, 1859—1862) привели во второй половине XIX в. к бурному развитию астрофизики.

В Московском университете курс астрономии первоначально вовсе не читался. Лишь в 1785 г. профессор И. А. Рост и его ученики М. И. Панкевич и П. И. Страхов стали включать некоторые элементы этой науки в курсы физики или прикладной математики. В 1804 г. была наконец создана кафедра астрономии, которую в 1805—1811 гг. занимал приглашенный из Лейпцига Х. Гольдбах, начавший серьезное преподавание астрономии и первые наблюдения в небольшой обсерватории, оборудованной у него на квартире. Во время пожара Москвы 1812 г. все это оборудование погибло.

Кафедра астрономии была восстановлена лишь в 1826 г., когда заведовать ею стал выпускник Казанского университета Д. М. Перевощиков, ранее преподававший в Московском университете математику. Под его руководством в 1827—1832 гг. была построена хорошо оснащенная обсерватория. Однако наблюдения там не велись, так как сам Перевощиков ими не интересовался, занимаясь небесной механикой, педагогической и литературной деятельностью. Он издал первые на русском языке оригинальные учебники: «Руководство к астрономии» (1826) и «Основания астрономии» (1842) и прославился как блестящий лектор и популяризатор астрономии, сотрудничавший в прогрессивных журналах «Отечественные



А. Н. Драшусов



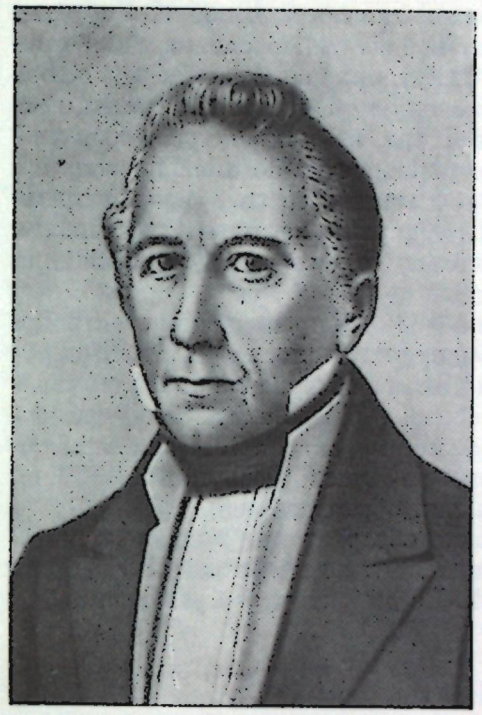
И. И. Литтров

записки», «Современник» и т. п. В 1851 г. Перевощиков перешел работать в Петербургскую академию наук.

Ученик Перевощикова А. Н. Драшусов провел в 1843—1855 гг. модернизацию Московской обсерватории, которой он заведовал в 1851—1855 гг. Первые научные работы были начаты здесь лишь с 1848 г., когда астрономом-наблюдателем стал Б. Я. Швейцер, ранее работавший в Пулкове. Уроженец Швейцарии, он плохо знал русский язык и не мог читать лекций. Однако, обучая студентов астрономическим наблюдениям, Швейцер сумел привлечь их и к научной работе. При нем начали активно работать в обсерватории выпускники университета Ф. А. Бредихин, М. Ф. Хандриков, В. К. Цераский, а также инженеры Межевого института, где он преподавал астрономию с 1850 г. Швейцер со своими добровольными помощниками провел много разнообразных наблюдений, открыл несколько комет, определил места экваториальных звезд для каталога «Bonner Durchmusterung» («Боннское обозрение»), а также участвовал в различных экспедициях. Он исследовал аномалию силы тяжести в Москве и ее окрестностях и заинтересовался астрофизикой, которая стала главным направлением работ обсерватории с 1873 г., при его преемнике Ф. А. Бредихине, и принесла обсерватории мировую славу.

Первые попытки преподавания астрономии в Казани были связаны с деятельностью Казанской гимназии, основанной еще в 1758 г. Учителя этой гимназии Г. Комов и А. Иванов читали лекции по астрономии (в 1767—1774 гг.) и организовали обсерваторию, сгоревшую при пожаре 1774 г. Дальнейшее развитие астрономия получила в Казанском университете, открытом в 1805 г. Первым профессором астрономии стал приглашенный из Австрии И. И. Литтров. Проработав здесь с 1810 по 1816 г., он построил временную обсерваторию, где проводил наблюдения вместе со своими учениками И. М. Симоновым и Н. И. Лобачевским. После отъезда Литтрова его сменил Симонов, вскоре, однако, посланный в кругосветное плавание под руководством Ф. Ф. Беллинсгаузена и М. П. Лазарева. Эта экспедиция (1819—1821) открыла много островов в Тихом океане и новый материк Антарктиду, которые были нанесены на карту по наблюдениям Симонова. В его отсутствие преподавание астрономии и наблюдения на обсерватории вел Н. И. Лобачевский. Гениальный создатель неевклидовой геометрии глубоко интересовался астрономией, полагая, что найденная им геометрия может быть геометрией космического пространства.

В 1833—1838 гг. под руководством Лобачевского и Симонова при Казанском университете была наконец построена постоянная обсерватория, одна из лучших в то время. В 1850—1855 гг. ею заведовал М. В. Ляпунов (отец знаменитого математика А. М. Ляпунова). Для чтения теоретических курсов в 1850 г. был приглашен выпускник Петербургского университета М. А. Ковальский, ставший в 1855 г. заведующим обсерваторией. Не имея помощников, он тем не менее заботился о модернизации обсерватории и вел наблюдения положений звезд, планет и комет. Однако наибольшее значение имели его работы по небесной механике и звездной астрономии, за которые он был избран членом-корреспондентом Петербургской академии наук и Лондонского Королевского общества, а также почетным членом ряда русских и зарубежных научных обществ и учреждений.



В. К. Вишневский



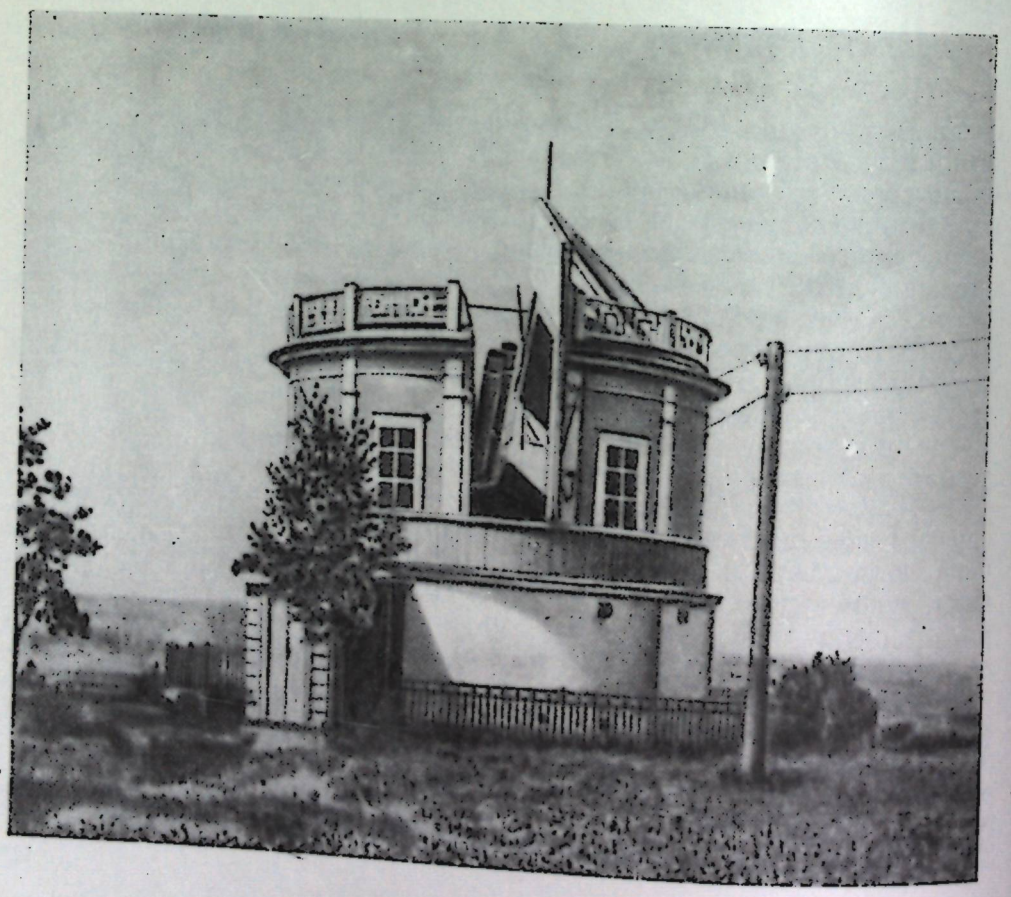
А. Н. Савич

Менее благоприятны были условия развития астрономии на Украине. Первым профессором астрономии Харьковского университета стал приглашенный из Франкфурта-на-Одере И. С. Гут, проработавший здесь с 1808 по 1811 г. Он построил небольшую временную обсерваторию, начал градусные измерения, но вскоре переехал в Дерпт, не оставив после себя учеников. Вплоть до 1888 г. Харьковский университет не имел постоянной обсерватории и постоянных кадров. Работавшие здесь в разное время А. Ф. Шагин, А. П. Шидловский, И. И. Федоренко и другие участвовали в астрономо-геодезических работах и наблюдении звезд для составления звездных каталогов.

В Киевском университете, открытом в 1834 г., преподавание астрономии, которое вел ученик Струве В. Ф. Федоров, началось с 1838 г. Под руководством Федорова была построена в 1845 г. обсерватория, модернизированная в 1856 г. Шидловским. Работавшие в Киеве астрономы участвовали в градусных измерениях, вели различные астрономические наблюдения. Серьезные научные исследования начались здесь после 1869 г., с приездом Хандрикова, который возглавил обсерваторию.

Старая Петербургская астрономическая обсерватория в здании Кунсткамеры, к началу XIX в. уже устаревшая, тем не менее широко использовалась для учебных и научных целей. Ее директором в это время был

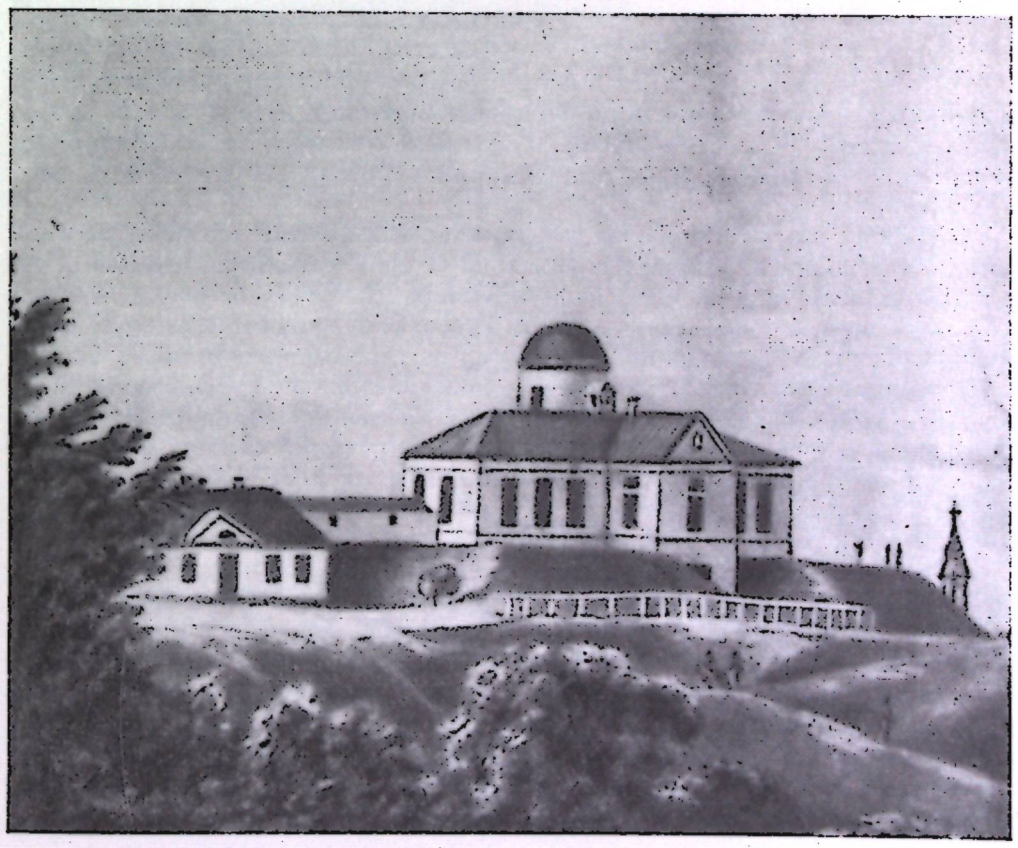
Башня большого рефрактора Киевской обсерватории, построенная при А. П. Шидловском

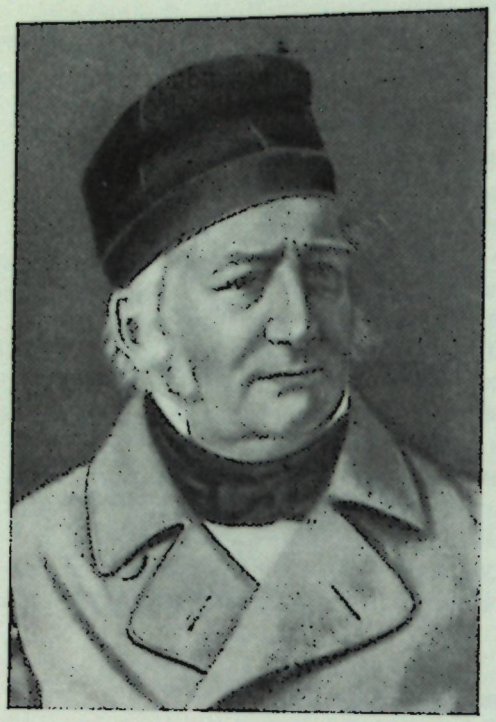


академик Ф. И. Шуберт, помощником которого стал В. К. Вишневский, изучавший астрономию у Боде в Берлине. Шуберт и Вишневский наблюдали малые планеты, кометы 1807 и 1811 гг., обучали астрономии офицеров Генерального штаба, готовили участников экспедиций И. Ф. Крузенштерна (1803—1805), О. Е. Коцебу (1816—1818 и 1823—1826), Беллинсгаузена (1819—1821), Ф. П. Литке (1826—1829) и других, а также участвовали в организации морских обсерваторий в Николаеве (1827), Або (ныне Турку) и Кронштадте. Вишневский много занимался географическими исследованиями. С 1806 по 1815 г. он определил более 250 астропунктов (правда, долготы измерялись сравнением хронометров), за что и был в 1815 г. избран академиком. После создания Петербургского университета в 1819 г. Вишневский занял там кафедру и читал лекции по теоретической и практической астрономии и по небесной механике. В 1828—1830 гг. лекции по астрономии читал его ученик П. В. Тихомиров, а затем — адмирал С. И. Зеленый.

Основателем петербургской астрономической школы стал ученик Струве А. Н. Савич, возглавивший кафедру в 1839 г. Он написал капитальный «Курс астрономии» в двух томах (СПб., 1874—1883) и ряд других учебников, воспитал многих выдающихся ученых. Однако несмотря на все старания Савича, обсерваторию при Петербургском университете удалось

Дерптская обсерватория в 1811—1824 гг.





В. Я. Струве

построить лишь в 1881 г. Савич занимался небесной механикой, участвовал в сравнении уровней Каспийского и Черного морей (1836—1838) и провел первые в России абсолютные определения силы тяжести (1865—1868). В 1862 г. он был избран академиком.

В Вильно (ныне Вильнюс) с XVII в. существовала основанная иезуитами Академия, где преподавалась астрономия и с 1752 г. работала небольшая обсерватория, основанная М. Почебутом-Одляницким. После закрытия ордена иезуитов (1773) обсерватория перешла в ведение Главной литовской школы, на базе которой в 1803 г. был открыт Виленский университет. В 1788 г. обсерватория получила новое помещение и оборудование. Почебут проводил различные астрономические наблюдения, определяя географические координаты. В 1807—1824 гг. директором обсерватории был выдающийся польский ученый Я. Снядецкий. Он прославился как исследователь и пропагандист творчества Коперника, блестящий лектор и автор учебников. В дальнейшем на Виленской обсерватории работали его ученики П. Славинский и Шагин.

В 1832 г., когда Виленский университет был закрыт, обсерватория перешла в ведение Академии наук. С 1848 г. здесь работали главным образом пулковские астрономы: правнук Эйлера П. Н. Фусс, ученик Струве Е. Е. Саблер и ученик Симонова М. М. Гусев. Саблер и особенно Гусев живо интересовались астрофизикой. По их инициативе Виленская обсерватория стала первой в России астрофизической обсерваторией. Гусев изучал фотографии Луны, собственные движения звезд, наблюдал туманности, планеты, кометы, метеорные потоки, начал фотографирование Солнца. Он также написал «Историю Виленской обсерватории за 100 лет» (1853), а в 1860—1863 гг. издавал один из первых в России физико-математических журналов «Вестник математических наук».

В 1809 г., после русско-шведской войны 1808—1809 гг., в состав России вошла Финляндия. Столицей Великого княжества Финляндского стал Або — старый университетский город, где с XVII в. велось преподавание астрономии, но не было обсерватории. В 20-е годы XIX в. с помощью Струве удалось наконец построить в Або хорошо оборудованную обсерваторию. Первым ее директором стал Х. Ю. Вальбек. Он занимался геодезическими исследованиями и опубликовал в 1819 г. работу, где приводились точные данные о форме и размерах Земли. В 1823—1837 гг. директором обсерватории был ученик Бесселя Аргеландер, назначенный по рекомендации Струве. При нем обсерватория пополнилась новым оборудованием. Он разрабатывал методы определения точных положений звезд, составил в 1832 г. большой звездный каталог для «Bonner Durchmusterung» («Бонского обозрения»), занимался звездной фотометрией, в том числе и методом наблюдения переменных звезд, изучал движение Солнечной системы. После пожара 1827 г. университет был переведен в Гельсингфорс (ныне Хельсинки). В 1837—1842 гг. директором новой обсерватории был физик и поэт Ю. Я. Нервандер, а затем ученики Аргеландера Г. Лундаль и Ф. Вольстедт.

В 1825 г. в Варшаве, объявленной в 1815 г. столицей входившего в состав Российской империи Королевства Польского, была построена хорошо оборудованная университетская обсерватория, директором которой стал Ф. Арминьский. В первой половине XIX в. на Варшавской обсерватории работали Я. Барановский, прославившийся как переводчик, исследователь и популяризатор творчества Коперника, и астрофизик А. Пражмовский, в 1860 г. открывший явление поляризации света в короне Солнца.

Выдающееся значение для дальнейшего развития астрономии в России имели работы обсерватории Дерптского университета. Его ректор Е. И. Паррот заботился о постройке обсерватории и приглашении астронома. Первым профессором математики и астрономии в Дерпте стал И. В. Пфафф, начавший с 1805 г. наблюдения на временной обсерватории вместе с Г. Шумахером, впоследствии известным астрономом, директором обсерватории в Альтоне, и студентами М. Г. Паукером и К. Виллямсом. В эти же годы заинтересовался астрономией и студент-филолог Струве.

Георг Фридрих Вильгельм Струве или Василий Яковлевич Струве, как называли его в России, родился в 1793 г. поблизости от Гамбурга, в городке Альтоне, в семье директора гимназии. В 1808 г. он поступил на филологический факультет Дерптского университета, который окончил в 1811 г. Увлекшись астрономией, он, по совету Паррота, в 1811—1813 гг. занялся математикой, физикой и астрономией и начал наблюдения на постоянной обсерватории, достроенной к 1811 г. Директор обсерватории в Дерпте И. С. Гут, переехавший сюда из Харькова, наблюдениями не интересовался и предоставил обсерваторию в полное распоряжение Струве, который стал ее фактическим руководителем.

С 1813 г. Струве начал наблюдения двойных звезд, не прерывавшиеся в течение почти всей его жизни. В 1816—1819 гг. под его руководством было выполнено измерение дуги меридиана на территории Лифляндии [1], продолженное в 1821—1827 гг. на территории Прибалтики от о. Гогланд в Финском заливе до г. Якобштадт на Западной Двине. Примерно в те же годы аналогичные работы проводились в Литве и Курляндии под руководством генерала К. И. Теннера. Струве и Теннер объединили свои результаты.

Эти работы принесли Дерптской обсерватории мировую известность. В 1822 г. Струве был избран членом-корреспондентом Петербургской академии наук, а в 1832 г.— академиком. Он значительно повысил уровень

---

[1] Лифляндией называлась одна из трех прибалтийских губерний царской России, охватывавшая земли, входящие ныне в состав главным образом Латвийской и Эстонской ССР; главную часть населения Лифляндии составляли латыши и эстонцы. На территории ее находились Рига и Дерпт.

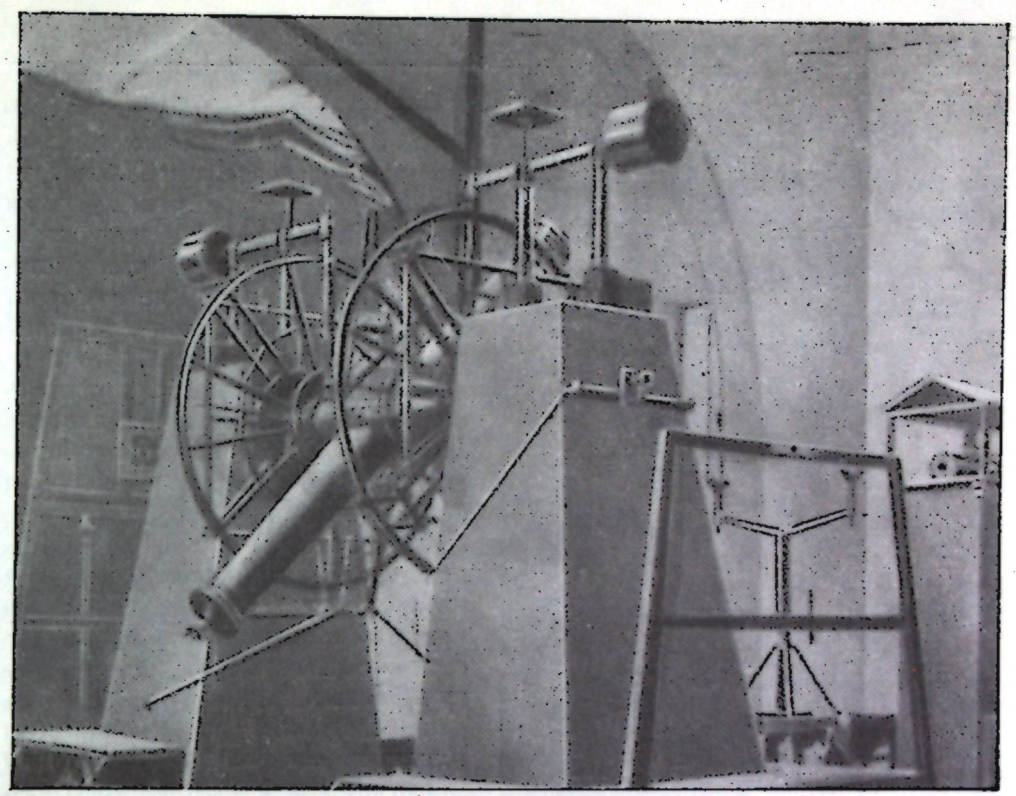
преподавания астрономии в Дерптском университете, а педагогический и организаторский талант позволили ему стать основателем астрономической школы. Его учениками были У. В. Порт (позднее первый механик Пулковской обсерватории), Саблер, Савич, Фусс, В. Дёллен, Шидловский, Федоров, Вальбек, Лапшин и др.

В 1822—1824 гг. Дерптская обсерватория получила первоклассные для того времени инструменты — меридианный круг Рейхенбаха и Эртеля и 9-секундный ахроматический рефрактор Фраунгофера. С помощью этого инструмента Струве в 1835 —1836 гг. удалось измерить первый параллакс звезды α Лиры (Веги). Его работа была опубликована в 1837 г. в Петербурге под названием «Stellarum duplicium et multiplicium mensurae micrometricae per magnum Fraunhoferi tubum...» («Микрометрические измерения двойных и кратных звезд с помощью большой трубы Фраунгофера...»). Бессель опубликовал свой результат измерения параллакса звезды 61-й Лебедя в 1838 г., а Гендерсон (Мыс Доброй Надежды) — параллакса α Центавра в 1839 г.

Естественно, что когда встал вопрос о создании Главной обсерватории страны, директором ее был назначен Струве. В апреле 1839 г. он переехал в Пулково, взяв с собой Саблера, своего сына О. В. Струве и Порта. После этого Дерптская обсерватория утратила свое значение. Сменивший Струве на посту директора обсерватории И. Г. Мэдлер, известный исследователь

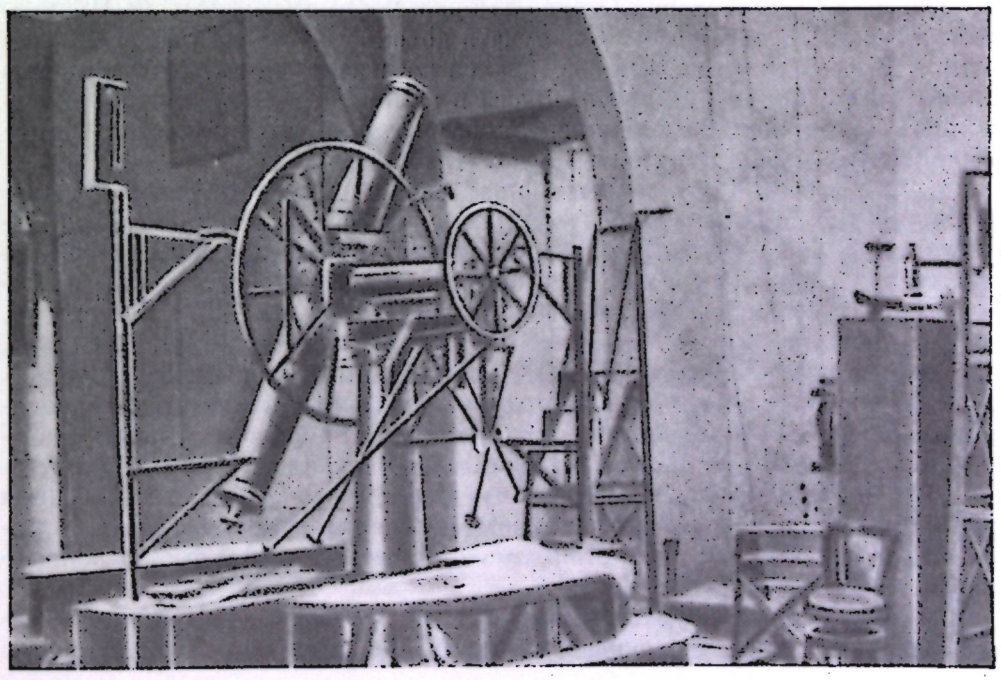
Пулковская обсерватория в середине XIX в.





Пулковский меридианный круг Репсольда

Пулковский вертикальный круг Эртеля





К. И. Теннер

Лупы, правда, продолжал его работы. Изучая собственное движение звезд в созвездии Плеяд, он установил, что наиболее яркая звезда Альциона является как бы «центральным солнцем» этой системы. В отличие от других авторов, Мэдлер не приписывал Альционе большой массы, считая, что движение звезд вызывается притяжением всей системы. Мэдлер не заботился об обновлении оборудования обсерватории, которая постепенно пришла в упадок.

Основание Пулковской обсерватории открыло целую эпоху в истории русской и мировой астрономии. Значительное расширение сети обсерваторий, ведущих работу в разных концах страны, требовало создания вблизи столицы Главной обсерватории, которая могла бы стать единым центром, координирующим и направляющим эти исследования. Обсерватория в здании Кунсткамеры не могла выполнить такую задачу, так как давно уже устарела, к тому же и ее положение в шумном городе, в верхних этажах башни сильно мешало наблюдениям.

Для новой обсерватории Струве выбрал место за городом, на Пулковских холмах, где можно было получать довольно хорошие изображения светил. Проект обсерватории обсуждался комиссией в составе академиков Вишневского, Струве, Паррота, Фусса и адмирала А. С. Грейга, руководившего ранее постройкой морской обсерватории в Николаеве. Здание обсерватории строил архитектор А. П. Брюллов.

В 1835 г. состоялась торжественная закладка обсерватории. Инструменты для нее были заказаны лучшим фирмам: Эртеля и Мерца в Мюнхене и Репсольда в Гамбурге. Главным инструментом Пулковской обсерватории стал 15-дюймовый ахроматический рефрактор Мерца, который в течение 25 лет оставался самым большим в мире. В августе 1839 г. состоялось торжественное открытие обсерватории. В ее штат вошли: В. Я. Струве, Саблер, Фусс, О. В. Струве и Х. И. Петерс, приглашенный из Германии.

В Пулковской обсерватории под руководством Струве были продолжены начатые им в Дерпте работы по фундаментальной астрометрии, звездной астрономии и градусным измерениям. Составленные на основании пулковских наблюдений фундаментальные каталоги прямых восхождений и склонений звезд до настоящего времени остаются непревзойденным образцом точности. На их основе были заново определены главные астрономические постоянные.

Продолжая начатые ранее градусные измерения, В. Я. Струве и Теннер соединили уже измеренные под их руководством дуги и продолжили

их на север, до Северного Ледовитого океана (на территории Швеции и Норвегии), а также на юг, до устья Дуная. За 30 лет, с 1816 по 1855 г., была измерена в общей сложности дуга меридиана в 25°20′. В то время это были самые крупные работы подобного рода. Более поздние американские измерения территории от Техаса до Миннесоты составили дугу в 23°. Таким образом был наконец осуществлен план Делиля, материалы которого, переданные в Генеральный штаб, были хорошо известны Струве и Теннеру. Результаты русско-шведского градусного измерения были опубликованы в книге, изданной в Петербурге в 1861 г.: «Arc du méridien de 25°20′ entre le Danube et la mer glaciale mesuré depuis 1816 jusqu'en 1855 ...» («Дуга меридиана в 25°20′, между Дунаем и Ледовитым морем, измеренная с 1816 по 1855 гг. ...»).

Намного опередила свое время и опубликованная в 1847 г. в Петербурге работа Струве «Études d'astronomie stellaire» («Этюды звездной астрономии»). В ней давался глубокий анализ данных наблюдений о строении Млечного пути и вселенной, проводилось исследование законов пространственного распределения звезд и обосновывалось поглощение света в мировом пространстве. В 1845 г. Струве составил детальное описание Пулковской обсерватории. Кроме того, он проявлял постоянную заботу о библиотеке, которой были переданы и знаменитые рукописи И. Кеплера.

В директорство В. Я. Струве Пулковская обсерватория стала центром всех астрономических работ страны. Здесь проходили обучение сотрудники разных обсерваторий и университетов, а также морские офицеры и геодезисты из Генерального штаба. Великолепное оборудование и глубоко продуманная организация работ сделали Пулковскую обсерваторию первой половины XIX в. «астрономической столицей мира», куда съезжались на стажировку многие ученые из разных стран.

Глава пятнадцатая

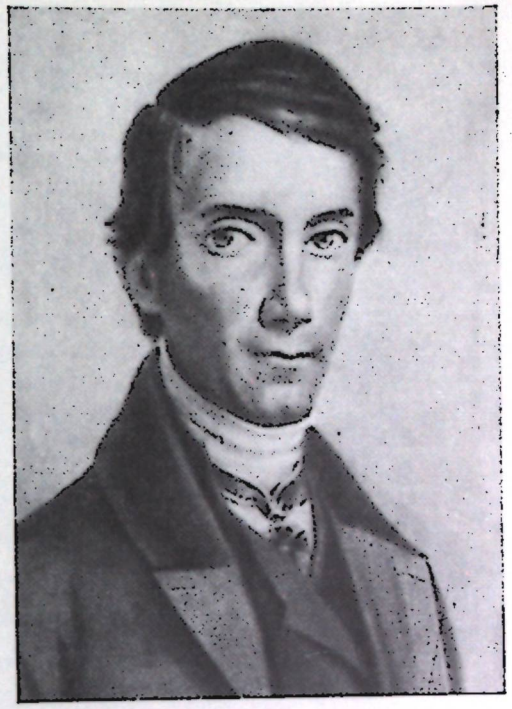
ФИЗИКА

Важным импульсом развития физики в начале XIX в. послужили сделанные в конце предшествующего столетия открытия Л. Гальвани и А. Вольта, вызвавшие огромный интерес не только среди ученых, но и у широкой публики во всех европейских странах. Физиологические эффекты «гальванического» электричества, тождество которого с электричеством, получаемым при трении, не было еще установлено, вызвали новую волну надежд у медиков. Открытие электролиза привлекло внимание химиков. Тепловые и световые действия тока открывали широкое поле исследований для физиков. Открылась возможность рассматривать природу электрических, тепловых, световых и химических явлений с единой точки зрения. Огромную роль в развитии естествознания сыграла теория горения Лавуазье. Она произвела революцию в химии и оказала сильное воздействие на естествознание в целом. Поняв роль кислорода и исключив флогистон, Лавуазье, однако, оставил в системе химических элементов тепло и свет как невесомые материи. Его влияние испытали на себе и физики, работавшие в России.

ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ЭЛЕКТРИЧЕСТВУ И ОПТИКЕ
в начале XIX века

Первая научная публикация по гальванизму, подготовленная в России, принадлежала Е. И. Парроту. Уроженец французского города Монбельяра и воспитанник Штутгартского университета, Паррот приехал в Россию в конце XVIII в. в качестве воспитателя и вскоре стал секретарем Лифляндского экономического общества в Риге, а затем первым ректором Дерптского университета. На основании опытов, проведенных в Риге и Дерпте, Паррот в 1801 г. выдвинул химическую теорию гальванического элемента в противовес контактной теории Вольта, со сторонниками которой он полемизировал в дальнейшем, до 30-х годов XIX в. Роль Паррота в становлении новой науки — электрохимии признавал, в частности, и Фарадей. Современники высоко оценивали теорию света Паррота, в которой постулировались определенные химические свойства «светового вещества». Паррот занимался также конструированием точных измерительных приборов, в частности термометра для измерения температуры человеческого тела, батометра для измерения температуры морской воды на разной глубине.

Большой цикл исследований с батареей из 2100 медно-цинковых элементов был осуществлен в 1802 г. профессором Медико-хирургической академии в Петербурге В. В. Петровым. Сын приходского священника,



Е. И. Паррот

Петров учился в Харьковском коллегиуме и учительской семинарии в Петербурге. В 1788—1791 гг. он преподавал в Колывано-Воскресенском горном училище на Алтае, а затем в Петербурге. В 1809 г. он был избран в Академию наук. В 1803 г. Петров издал первое русское руководство по гальванизму, содержащее описание его оригинальных опытов, наблюдений, идей и открытий, и в частности описание дугового разряда.

В связи с тем что открытие вольтовой дуги относят к 1807—1809 гг., часто связывая его исключительно с именем Г. Дэви, следует отметить, что Петров уже в 1802 г. получил устойчивую электрическую дугу. Он изучал дуговой разряд в жидкостях, в воздухе при атмосферном и более низких давлениях, указал на возможность применения дугового разряда в металлургии для получения чистых окислов и восстановления металлов из окислов в присутствии угольного порошка. Тогда же Петров обнаружил, что сила тока увеличивается с увеличением диаметра проволоки, а электропроводность газов повышается с ростом температуры. Он же произвел качественное сравнение электропроводности воды, спирта, масла, отмечая количество гальванических пар, необходимое для пробоя. Им были обнаружены высокие изоляционные свойства масел и доказано наличие кислорода в составе жирных масел.

Серия опытов Петрова была посвящена изучению электрического разряда в вакууме при применении источника постоянного тока высокого напряжения. Многие наблюдения Петрова, касающиеся влияния материала, из которого сделаны электроды, их формы и полярности, степени разрежения воздуха на характер разряда, представляли для того времени несомненную ценность. К сожалению, опубликованные только на русском языке, эти наблюдения и опыты остались, по-видимому, неизвестными за рубежом (хотя в 1810 г. Петров был избран почетным членом Эрлангенского физико-медицинского общества).

Первая удачная теория электролиза и электропроводности электролитов была предложена уроженцем Прибалтики Т. Гротгусом. В 1803 г. 17-летним юношей он отправился за границу и в течение следующих 5 лет учился и проводил самостоятельные исследования в Лейпциге, Париже, Неаполе и Риме, был избран почетным членом Парижского гальванического общества и членом-корреспондентом Туринской и Мюнхенской академий. Его «Мемуар о разложении воды и растворенных в ней тел с помощью гальванического электричества» («Mémoire sur la décompro-

ИЗВѢСТІЕ

О

ГАЛЬВАНИ - ВОЛЬТОВСКИХЪ

ОПЫТАХЪ,

которые производилъ

Профессоръ Физики Василій Петровъ,

посредствомъ огромной напаче батареи, состоявшей *иногда* изъ 4200 мѣдныхъ и цинковыхъ кружковъ, и находящейся при Санкт - Петербургской Медико - Хирургической Академіи.

ВЪ САНКТ-ПЕТЕРБУРГѢ,

Въ Типографіи Государственной Медицинской Коллегіи, 1803 года.

Титульный лист книги В. В. Петрова «Известие о гальвани-вольтовских опытах». 1803 г.

sition de l'eau et des corps qu'elle tient en dissolution à l'aide de l'électricité galvanique») вышел в Риме отдельным изданием в 1805 г. и сразу же был перепечатан в журналах Англии и Франции, а также реферирован в немецком журнале. Гротгус предположил существование положительного и отрицательного полюсов в молекуле воды и механизм электропроводности объяснил последовательными, от молекулы к молекуле, разложениями и воссоединениями молекул воды между электродами, в результате которых на одном электроде получается избыток водорода, на другом — кислорода.

С 1808 г. до конца своей недолгой жизни, отягощенной тяжелой болезнью, Гротгус жил вблизи Митавы (Елгавы) и продолжал заниматься физикой и химией. В 1817 г. группа митавских ученых во главе с членом-корреспондентом Петербургской академии наук, известным метрологом

Паукером организовала научное общество: в его ежегоднике Гротгус опубликовал другой свой выдающийся труд — «О химическом взаимодействии света и электричества...» («Über die chemische Wirksamkeit des Lichts und der Elektricität; besonders über einen merkwürdigen neuen Gegensatz dieser Wirksamkeit, den das Licht auf gewisse Substanzen äussert, je nachdem es entweder aus nichtoxidierenden Körper oder aus der atmosphärischen Luft unmittelbar in dieselben und aus letzteren in jene eindringt», 1819), в котором обобщил многолетние исследования по фотохимии. Гротгус установил основной закон фотохимии: только тот свет, который поглощается телом, может вызвать в нем химические изменения. Гротгус обнаружил, что средняя интенсивность света обратно пропорциональна времени, потребному для определенного фотохимического эффекта (в его опытах — обесцвечивания раствора), и сконструировал первый химический фотометр. Эти исследования Гротгуса получили признание только в XX в. Основатель новых направлений в исследовании электрохимических и фотохимических явлений, Гротгус изучал и связь между электрическими и оптическими явлениями, а именно световые эффекты при разрядах разного типа. Его понимание природы света близко к его концепции последовательного разложения и воссоединения поляризованных молекул. Эфир, заполняющий мировое пространство, является, по Гротгусу, нейтральным соединением положительного и отрицательного электричества. Световой импульс — это электрическая искра. Распространение света — это передача возникающей между элементами эфира полярности. Тепло, по Гротгусу,— это индифферентное электричество, в котором положительное и отрицательное электричество полностью нейтрализовано. Если Петров и Паррот стремились объяснить физические процессы химическими, то для Гротгуса первичным является электричество. В конце жизни он пытался дать общую картину физических явлений, в том числе магнетизма и тяготения, придавая определяющую роль электромагнитным процессам («Zwei neue den Elektromagnetismus betreffende Thatsachen».— «Journal für Chemie und Physik», v. 31, 1821).



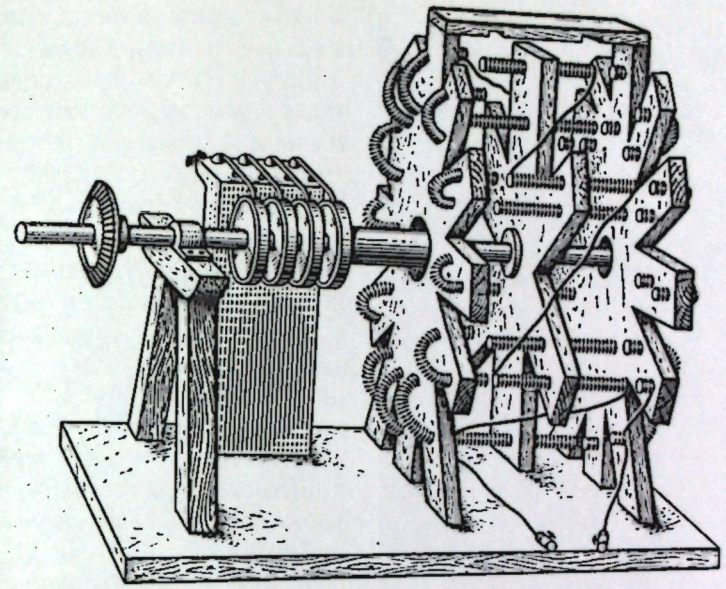
Т. Гротгус

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ЯВЛЕНИЙ в 30—40-х годах

К середине 20-х годов XIX в. физический кабинет Академии наук пришел в полный упадок из-за того, что даже предусмотренные для него уставом средства фактически годами не выдавались. Благодаря поддержке со стороны министра финансов Канкрина Парроту, избранному в 1826 г. в Академию, удалось модернизировать физический кабинет и привлечь в Академию своих учеников — Э. Х. Ленца и А. Я. Купфера, достигших впоследствии мировой известности. Еще не окончив Дерптский университет, Ленц принял участие в кругосветном плавании на парусном корабле «Предприятие» (1823—1826). Результаты проведенных им измерений температуры и удельного веса воды в океане на различных глубинах не были превзойдены по точности до конца XIX в. После избрания в Академию наук (1828) Ленц участвовал в экспедиции на Кавказ и побережье Каспийского моря, где он проводил разнообразные геофизические исследования. С 1836 г. и до конца жизни он успешно сочетал работу в Академии с преподаванием физики в Петербургском университете, а также в разные периоды — в Морском корпусе, Артиллерийской академии, Главном педагогическом институте. Своих наиболее талантливых учеников Ленц привлекал к исследованиям по электромагнетизму, которому он посвятил себя с начала 30-х годов. Именно к этой области физики относится основной вклад русских ученых в развитие мировой физики середины XIX в.

Главной задачей физиков, занимавшихся электромагнетизмом в 30—50-е годы, было создание теории электрических явлений. Фарадей предложил концепцию поля, но когда Максвелл создавал свою теорию электромагнитного поля и электромагнитную теорию света, он опирался не только на идеи Фарадея, но и на установленное Кирхгофом на основе экспериментов В. Вебера и Р. Г. А. Кольрауша (1854) совпадение величины скорости света и постоянной, входившей в формулу электродинамического закона Вебера (отношение электромагнитной единицы заряда к электростатической). Установление этого факта было невозможно без развития электроизмерительной техники и создания единой системы мер. Это было необходимо и для доказательства закона сохранения энергии (идея механического «perpetuum mobile» была скомпрометирована, но открытие электромагнетизма возбудило надежды на получение «даровой» работы).

Особенностью научного направления, развивавшегося в Петербургской академии наук, было сочетание физических, и в частности электрометрологических, исследований с решением технических проблем электроэнергетики, что естественно подводило к проблеме сохранения энергии. Эти исследования проводились Ленцем совместно с инженером-изобретателем, выходцем из Германии, Б. С. Якоби, ставшим в 1839 г. членом Петербургской академии наук. Первые работы Ленца и Якоби в области электричества относятся к началу 30-х годов. Истоки идей Якоби лежат в открытом Эрстедом взаимодействии тока и магнита (1820) и в установленном Ампером законе взаимодействия двух токов (1820); истоком же работ Ленца явилось открытие Фарадеем электромагнитной индукции (1831). И в дальнейшем Ленца всегда больше интересовал индукционный генератор тока, а Якоби — электродвигатель и другие аппараты, работавшие за счет электрической энергии.



Электродвигатель Б. С. Якоби

Сейчас же после ознакомления с открытием Фарадея Ленцу, как он сам писал, пришло в голову, что «все опыты по электродинамической индукции могут быть легко сведены к законам электродинамических движений» [1]. В 1833 г., проведя серию опытов, он доказал правильность своей мысли. Во всех случаях ток, индуцируемый при движении проводника вблизи магнита или контура с током, оказывался противоположным по направлению току, который мог бы вызвать это движение. В современной формулировке этот закон (часто неоправданно называемый правилом) устанавливает, что при всяком изменении магнитного потока через контур в нем возникает ток, препятствующий этому изменению. Первая математическая формулировка закона индукции была предложена в 1845 г. Ф. Нейманом, опиравшимся на закон Ленца.

В 1838 г. Ленц и Якоби продемонстрировали действие закона Ленца, заставив индукционный генератор тока (магнитоэлектрическую машину Пиксия) работать в двигательном режиме, но еще примерно в течение четверти века значение принципа обратимости не было осознано изобретателями, и постепенное усовершенствование двигателя и генератора происходило раздельно.

Связь закона Ленца с законом сохранения энергии выяснилась несколько раньше. Когда Г. Гельмгольц в 1847 г. подбирал примеры из различных областей физики для иллюстрации всеобщности закона сохранения энергии, он записал уравнение сохранения энергии в цепи тока, индуцированного при движении контура в магнитном поле, пользуясь законом Ленца и законом теплового действия тока Джоуля—Ленца. Сообщение

[1] *Э. Х. Ленц.* Об определении направления гальванических токов, возбуждаемых электродинамической индукцией.— В кн.: *Э. Х. Ленц.* Избранные труды. Л., Изд-во АН СССР, 1950, с. 148. Этот труд был доложен на заседании Конференции Академии наук 28 ноября (10 декабря) 1833 г. и опубликован в 1834 г.



Э. Х. Ленц

об открытии закона пропорциональности количества тепла, развивающегося в проводнике в единицу времени, его сопротивлению и квадрату силы тока было в 1841 г. опубликовано Джоулем и в более строгой и убедительной форме — в 1843 г., в работе «О законе выделения тепла гальваническим током», Ленцем, который существенно усовершенствовал электроизмерительные методы и разработал теорию нового метода калориметрических измерений.

Ленцу принадлежит первое количественное исследование электромагнитной индукции. Раньше чем были обоснованы методы тангенс- и синус-буссоли для измерения постоянного тока, Ленц столкнулся с проблемой оценки затухающих переменных токов, возникающих в обмотке якоря при отрывании его от магнита, и разрешил ее, создав баллистический гальванометр (1832). Следующий шаг в измерении переменных токов был сделан лишь в 1846 г., когда Вебер сконструировал электродинамометр. Изобретение баллистического метода позволило Ленцу установить, во-первых, пропорциональность электродвижущей силы, индуцируемой в обмотке якоря, числу витков; во-вторых, ее независимость от диаметра витков, материала, из которого сделана проволока, и ее толщины; и наконец, применимость к индукционным токам, с которыми он имел дело, закона Ома (1833, 1838). Он также установил эмпирические формулы температурной зависимости сопротивления различных металлов в квадратичной форме (1833, 1838). Плодотворность баллистического метода в этих опытах объяснялась тем, что он был первым количественным методом, примененным к изучению соответствующих явлений.

Более глубокое значение имело приложение этого же метода к измерению магнитных величин, осуществленное в совместных исследованиях Ленца и Якоби (1838—1844) по изучению электромагнитов, предпринятых в связи с проектом применения электродвигателя на флоте. Наряду с установлением ряда эмпирических закономерностей, справедливых лишь при слабых магнитных полях и толстых сердечниках (пропорциональность намагничивания силе тока и числу витков, квадратичная зависимость силы притяжения электромагнитов от силы тока и т. п.), ими был сформулирован правильный вывод о том, что «...при любом типе машин и батарей механическая работа находится в прямой зависимости от расхода цинка и не зависит от промежуточных передающих механизмов» [1].

[1] Динамомашина в ее историческом развитии. Документы и материалы. Л., Изд-во АН СССР, 1934, с. 93—94.

Этим был положен конец надежде на получение «даровой» работы с помощью электромагнетизма и сделан новый шаг к установлению закона сохранения энергии.

На примере расчета обмоток двух индукторов машины Э. М. Кларка при последовательном и параллельном их соединении Ленц в 1842 г. показал, что для получения максимального тока внутреннее сопротивление машин должно быть таким же, как и сопротивление внешней цепи.

В 1846 г. Ленц подошел к вопросу о зависимости силы генерируемого в машине тока от скорости вращения машины (опыты производились с более мощной шестиполюсной машиной Э. Штерера) и открыл явление реакции якоря. Он показал, что если положение щеток соответствует действительному положению нейтрали, то, в противоположность наблюдениям Вебера, электродвижущая сила и ток возрастают пропорционально увеличению скорости вращения, и при увеличении активного сопротивления внешней цепи электродвижущая сила почти не меняется (1849). Эти выводы Ленца представляют собой важнейшие положения теоретических основ электромашиностроения. В опытах с машиной Штерера Ленц в 1858 г. с помощью специального коммутатора впервые получил кривые изменения переменного тока (см. об этом его работу «О влиянии скорости вращения на индукционный ток, производимый магнитно-электрическими машинами», ч. 3). Важность изучения переменного тока ясна была в то время немногим. Почти через четверть века, в 1880 г., аналогичный прибор был вновь изобретен Ж. Жубером и вошел в употребление под названием диска, или шайбы, Жубера. Помимо разработки новых методов измерения электрических и магнитных величин Ленц и Якоби способствовали введению единой системы измерений: предложенный ими эталон сопротивления вошел в международную практику 40-х годов XIX в.; Якоби произвел сравнение двух методов измерения силы тока, основанных на электрохимическом и пондеромоторном эффектах (1839). Таким образом, в 30—40-е годы Ленц и Якоби параллельно с Гауссом и Вебером создавали основы электрометрологии. Ряд работ Ленца и Якоби посвящен электрохимическим явлениям. При этом Ленц первоначально заинтересовался ими, желая проверить выполнимость закона Ома для проводников второго рода, а Якоби искал наиболее рациональную конструкцию гальванической батареи как источника энергии для электродвигателя.



Б. С. Якоби

В 1834 г. Ленц доказал, что нет необходимости вводить, как это сделал Г. Фехнер, новую величину — «переходное сопротивление», помимо

электродвижущей силы (ЭДС) поляризации. Затем, совместно со своим учеником А. С. Савельевым, впоследствии профессором Казанского университета, Ленц в 1847 г. в статье «О гальванической поляризации и электродвижущей силе в гидроцепях» показал, что сумма ЭДС поляризации у каждого электрода составляет полную ЭДС поляризации, которая в свою очередь складывается алгебраически с первоначальной ЭДС элемента. Впервые в истории электрохимии был измерен ряд электродных потенциалов на границе металл — электролит для 77 различных комбинаций металлов и электролитов. За нулевой потенциал был принят электродный потенциал платины в азотной кислоте.

Переводы и рефераты статей Ленца и Савельева появились в Германии, Франции и Швейцарии. На упомянутую совместную их статью ссылался и Гельмгольц в книге «О сохранении силы» («Über die Erhaltung der Kraft», 1847).

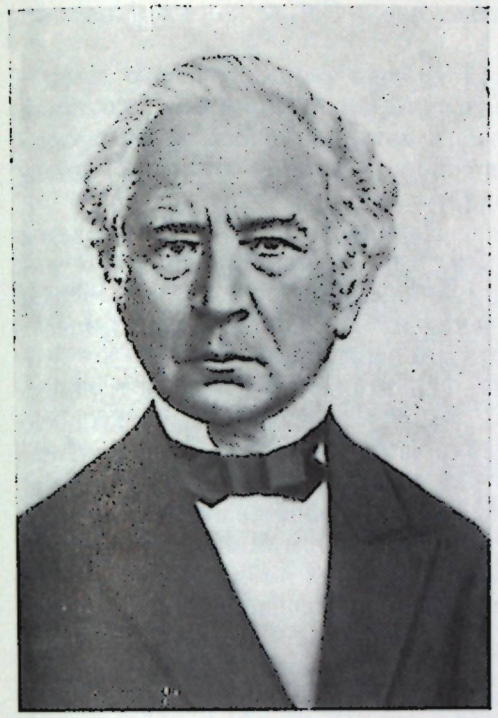
В 1836 г. в поисках наилучшей конструкции гальванической батареи Якоби сделал открытие, положившее начало новой отрасли электротехники — гальванопластике. Подробное описание технологии процесса Якоби опубликовал в 1840 г. в книге «Гальванопластика, или способ по данным образцам производить медные изделия из медных растворов с помощью гальванизма», изданной одновременно на русском и немецком языках, а в 1841 г. на английском.

В 1832 г. русский изобретатель, ученый и дипломат П. Л. Шиллинг предложил первую практически пригодную систему электромагнитного телеграфа и построил в Петербурге линию, связавшую Зимний дворец с Генеральным штабом. После его смерти в 1837 г. работы в области телеграфии продолжил Якоби; в 1843 г. он предложил синхронно-синфазный стрелочный аппарат, в 1850 г.— буквопечатающий.

В 1844 г. известный изобретатель К. И. Константинов построил первую электробаллистическую установку для определения скорости артиллерийских снарядов. Она позволяла регистрировать малые промежутки времени с рекордной для того времени точностью до 0,00006 сек. Константинову принадлежат также работы в области конструкции ракет с применением автоматического контроля и управления отдельными операциями.

ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Открытие электромагнетизма было выдающимся событием и для геофизики. Попытка Ампера объяснить земной магнетизм внутриземными токами оживила интерес к этой области геофизики. Не уменьшилась и потребность в составлении магнитных карт малоисследованных районов. В России первым проявил к этому интерес профессор Казанского университета И. М. Симонов, участник антарктической экспедиции Беллинсгаузена и Лазарева (1819—1821). В 1823 г. в Казань переехал Купфер, завершивший свое образование в Париже, Берлине и Геттингене. Он также занялся земным магнетизмом, хотя его первоначальные интересы были связаны с минералогией (ему принадлежат первые точные кристаллографические измерения ряда минералов). Одновременные наблюдения Купфера в Казани и Араго в Париже позволили установить, что причины перегулярных изменений элементов земного магнетизма не являются местными.



А. Я. Купфер



И. М. Симонов

Большую роль в установлении международного сотрудничества для изучения земного магнетизма сыграл А. фон Гумбольдт, сумевший довести до сознания не только ученых, но и правительств необходимость активизации усилий в этой области.

По-видимому, Гумбольдт первым вполне отчетливо осознал, что настала пора перехода от региональных наблюдений к созданию физики земного шара в целом.

Измерение элементов земного магнетизма в России представляло особый интерес для составления магнитной карты Земли, так как на территории России проходят две линии нулевого склонения, обнаруженные петербургским академиком Ф. И. Шубертом еще в 1805 г. во время его поездки в Китай. В 1828 г. на средства норвежского правительства была организована экспедиция известного магнитолога Х. Ганстена и молодых ученых Х. Дуэ и Г. Эрмана с целью магнитной съемки Сибири. В следующем году на средства русского правительства и с более широкой программой наблюдений по Уралу и Сибири путешествовали Гумбольдт, Х. Г. Эренберг и Г. Розе. После возвращения в Петербург в ноябре 1829 г. Гумбольдт предложил организовать систематические метеорологические и магнитные наблюдения и начать изучение изменений уровня Каспийского моря. Избранный в 1828 г. в Академию наук Купфер составил проект создания сети станций и центральной обсерватории, и вскоре регулярные наблюдения были начаты в Петербурге, Николаеве, Казани, Нерчинске и других городах. На дальнейшую работу в этом направлении оказал влияние предложенный Гауссом в 1832 г. способ измерения абсо-

лютной величины напряженности магнитного поля Земли (горизонтальной составляющей) и ее вариаций.

За 4 года до публикации знаменитой «Общей теории земного магнетизма» Гаусса она была отчасти предвосхищена Симоновым, который нашел первый член разложения магнитного потенциала Земли по сферическим функциям (1835). Годом позже, в 1836 г., Симонов открыл 27-дневную периодичность магнитного склонения.

В 1834 г. в Екатеринбурге, Барнауле, Нерчинске были организованы магнитно-метеорологические обсерватории, где велись ежедневные наблюдения над изменениями склонения и наклонения стрелки. Результаты магнитных и метеорологических наблюдений публиковались преимущественно на французском языке в виде отдельных изданий.

В 1849 г. Купферу удалось завершить строительство Главной физической обсерватории в Петербурге. По его замыслу в ее программу должно было входить всестороннее изучение физики земного шара, но фактически до XX в. здесь изучались только магнитные и метеорологические явления, которыми много занимались и в университетах. Обобщающий труд, посвященный климату Москвы, был написан профессором Московского университета М. Ф. Спасским на основании многолетних наблюдений (1847).

Подводя итоги, следует отметить, что основные физические исследования, проведенные в России в первой половине XIX в., были связаны с изучением электричества, прежде всего химических и оптических эффектов в цепи постоянного тока (Паррот, Петров, Гроттус), а затем магнитных и тепловых (Ленц), а также химических (Ленц, Савельев) явлений и явления электромагнитной индукции (Ленц). Если первый цикл исследований носил преимущественно качественный характер и имел своими результатами открытие новых явлений и выдвижение новых идей и гипотез, то для второго характерно создание новых количественных методов эксперимента, установление точных законов.

Фундаментальные изобретения были сделаны в области зарождавшейся тогда электротехники (Якоби, Ленц, Константинов). Были получены новые экспериментальные и теоретические данные о земном магнетизме (Симонов, Купфер) и о метеорологических явлениях (Купфер, Спасский).

Значение этого периода в истории физики в России состояло также в углублении преподавания физики и ее популяризации. Все это подготовило новый подъем физических исследований в России в последующие десятилетия.

Глава шестнадцатая

ХИМИЯ

В 70—80-х годах XVIII в. Лавуазье, ниспровергнув учение о флогистоне, разработал кислородную теорию и учение о химических элементах. После исследований Лавуазье и его последователей к концу XVIII в. в химии утвердилось фундаментальное положение о непревращаемости химических элементов; был составлен (1789) первый список химических элементов; получил экспериментальное обоснование закон сохранения массы вещества, позволивший подвести прочный научный фундамент под алгебраические уравнения химических реакций; утверждается количественный метод исследования с применением физических приборов (точные весы, калориметр, термометр и др.). Химия становится наукой, изучающей состав, свойства химических элементов и их соединений, химические реакции и явления, их сопровождающие.

Учение Лавуазье о химических элементах и его кислородная теория, однако, оставляли в стороне решение вопроса о причинах многообразия веществ, о внутренней природе химических элементов, определяющей специфическую индивидуальность каждого из них. Правильный подход к решению этой проблемы был дан в трудах основателя химической атомистики Д. Дальтона. Атомно-молекулярная теория в сочетании с учением о химических элементах сделалась исходным пунктом для дальнейшего развития химии и физики.

Законы постоянных и кратных отношений, закон атомной теплоемкости, явление изоморфизма служили руководящим началом в трудах химиков-аналитиков и неоргаников первой половины XIX в., усилия которых традиционно были направлены на поиски новых химических элементов, изучение состава различных минералов и подробное описание свойств открытых элементов и их соединений. Со времени Лавуазье до 60-х годов XIX в. было открыто и изучено более 30 новых химических элементов.

В первой половине XIX в. происходит дифференциация химии; возникает аналитическая, неорганическая и органическая химия. Русские химики внесли свой вклад в каждую из этих областей.

В 1811 г. член Петербургской академии наук К. С. Кирхгоф открыл реакцию каталитического действия кислот — превращение крахмала в глюкозу при кипячении с разбавленной серной кислотой. Эта реакция послужила исходной точкой для возникновения промышленности крахмального сахара. В 1814 г. при действии диастаза на крахмал Кирхгоф также получил сахар. Таким образом, была найдена вторая важная каталитическая реакция, положившая начало изучению биологических катализаторов — ферментов. Исследования Кирхгофа вызвали большой интерес у русских и зарубежных ученых и легли в основу первого промышленного каталитического процесса — получения патоки и глюкозы из крахмала. В 1812 г. Кирхгоф был избран иностранным членом Бостонской академии (США).



Г. И. Гесс

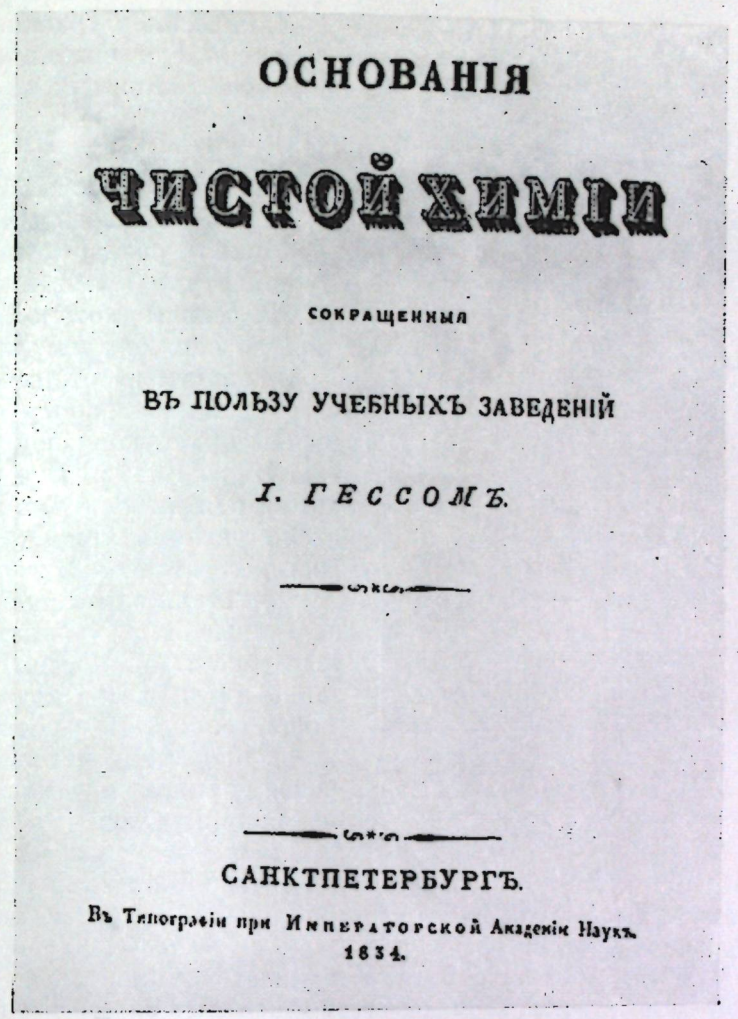
В 1805—1818 гг. Т. Гротгус разработал теорию электропроводности растворов электролитов, которая широко применялась в электрохимии XIX в. Изучая зависимость между энергией светового излучения и химической энергией, Гротгус в 1819 г. открыл основной закон фотохимии, согласно которому только тот свет, который поглощается веществом, может вызывать химическое превращение в нем.

С 1835 по 1842 г. член Петербургской академии наук Г. И. Гесс провел систематические термохимические исследования, приведшие его к открытию в 1840 г. основного закона термохимии, согласно которому тепловой эффект химического превращения определяется лишь начальным и конечным состояниями системы и не зависит от ее промежуточных состояний. Гесс задолго до Ю. Томсена и М. Бертло высказал идею о том, что количество выделяющейся теплоты может служить мерой химического сродства. Это положение вновь в 1875 г. было высказано Бертло и названо им принципом максимальной работы.

Гесс не только открыл основной закон термохимии, доказав его экспериментально, но и использовал его в качестве руководящего начала для расчета энергетических балансов физико-химических процессов. Этот закон, по словам Г. Гельмгольца, выражает принцип сохранения энергии применительно к химическим процессам. Чтобы оценить значение открытого Гессом закона, надо вспомнить, что только в 1842 г. появилась статья Р. Майера, в которой был сформулирован принцип сохранения энергии, а в 1847 г. Гельмгольц показал общее значение этого принципа. В. Оствальд так охарактеризовал значение термохимических исследований Гесса: «В этой гениальной работе мы видим подготовку всего развития современной термохимии» [1].

Гесс — автор учебника «Основания чистой химии», выдержавшего семь изданий (первое издание — 1831 г., последнее, седьмое, издание — 1849 г.). Этот учебник был принят в высших русских учебных заведениях в качестве основного руководства по химии вплоть до выхода в свет (1869—1871) классических «Основ химии» Д. И. Менделеева. Как свидетельствовал Менделеев, по учебнику Гесса «начало учиться все современное поколение русских химиков» [2].

[1] *W. Ostwald.* Lehrbuch der allgemeinen Chemie, Bd. 2, I teil. Leipzig, 1893, S. 57.
[2] *Д. И. Менделеев.* Соч., т. 15. Л.— М., Изд-во АН СССР, 1949, с. 149.



ОСНОВАНІЯ

ЧИСТОЙ ХИМІИ

СОКРАЩЕННЫЯ

ВЪ ПОЛЬЗУ УЧЕБНЫХЪ ЗАВЕДЕНІЙ

I. ГЕССОМЪ.

САНКТПЕТЕРБУРГЪ.

Въ Типографіи при Императорской Академіи Наукъ.

1834.

Титульный лист учебника Г. И. Гесса «Основания чистой химии». 1834 г.

Гесс широко применял химические уравнения, что было для того времени большим нововведением. Большинство химических реакций он выражал атомистическими уравнениями. В качестве иллюстрации таких уравнений приведем реакцию получения аммиака из хлористого аммония и окиси кальция, которую ученый выразил следующим образом [1]:

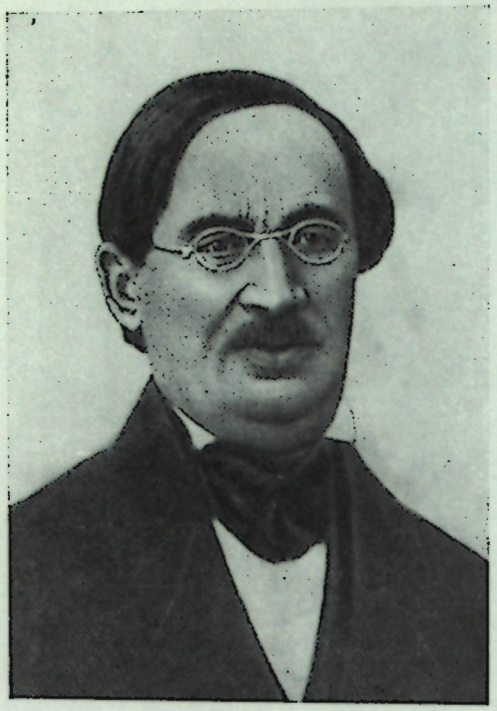
действуют получаются

$$\cancel{N}\cancel{H}^{4}\cancel{Cl} + \dot{C}a \rightarrow Ca\cancel{Cl}, \dot{\cancel{H}}, \cancel{N}\cancel{H}^{3}.$$

Реакцию образования мочевины Гесс изобразил так:

$$\cancel{N}\cancel{H}^{3} + \dot{\cancel{N}}\cancel{C} + \cancel{H}^{2} = C^{2}N^{4}H^{8}O^{2}.$$

[1] Перечеркнутые знаки соответствуют двум атомам; точка над элементом обозначает кислород.



К. К. Клаус

Химические уравнения Гесс применял и к органическим соединениям, например:

$$H^4C^2 + \dot{H} \text{ и } \dot{H}\bar{S} \rightarrow H^4C^2 \text{ и } H^2\bar{S}.$$

Гесс совместно с М. Ф. Соловьевым, С. Я. Нечаевым и П. Г. Соболевским разработал русскую номенклатуру химических соединений, основы которой сохранились до нашего времени.

В области неорганической химии крупную работу выполнил профессор Казанского университета К. К. Клаус. Его работы по химии платиновых металлов принесли ученому широкую известность. В 1844 г. Клаус открыл новый металл платиновой группы, названный им рутением (Ruthenia — по-латыни Россия). Разработанный Клаусом и в дальнейшем видоизмененный сернокислый метод получения чистой платины, родия, иридия и рутения долгое время применялся на аффинажных заводах.

В 1826—1827 гг. П. Г. Соболевский и В. В. Любарский разработали способ получения ковкой платины из сырой платины. Этот метод положил начало порошковой металлургии.

В 30—40-е годы XIX в. появляются исследования русских химиков, посвященные определению атомных весов отдельных элементов и установлению правильных химических формул их соединений. Так, в 1842 г. русский горный инженер и химик ученик Гесса И. В. Авдеев впервые установил правильный атомный вес бериллия — 9,308 (при H = 1), или 9,34 (при O = 16). (По современным данным, атомный вес бериллия равен 9,0122.) Авдеев при этом исходил из правильного атомного состава окиси бериллия — BeO, а не Be_2O_3, как принимал Берцелиус и многие другие химики того времени. Менделеев считал «победу взгляда Авдеева имеющей для истории периодического закона не меньшее значение, чем открытие скандия» [1].

В области органической химии крупные исследования принадлежат А. А. Воскресенскому, Ю. Ф. Фрицше и Н. Н. Зинину — «яркое трехзвездие русской химии первой половины XIX в., своими экспериментальными исследованиями создавшее в России органическую химию» [2].

Учитель Менделеева профессор Петербургского университета Воскресенский, работая в Гисенской лаборатории Ю. Либиха, открыл в 1839 г.

[1] Д. И. Менделеев. Периодический закон. М., Изд-во АН СССР, 1958, с. 228.
[2] *П. И. Вальден.* Очерк истории химии в России.— В кн.: *А. Ладенбург.* Лекции по истории развития химии от Лавуазье до нашего времени. Одесса, 1917 с. 476.

хинную кислоту и хиноил-хинон ($C_{12}H_8O_2$). Открытие хинона сыграло большую роль в развитии химии, так как многие важнейшие классы красителей (ализариновые, антрахиноновые) имеют хиноидное строение. Либих считал Воскресенского наиболее талантливым среди многих своих учеников. Имея в виду Воскресенского, Либих писал, что «в России появляются химики-органики, своими трудами прославившие русское имя и создавшие школы для этой отрасли химии» [1]. В 1841 г. Воскресенский выделил из бобов какао новый алкалоид, который назвал теобромином.

Академик Ю. Ф. Фрицше в 1838—1839 гг., окисляя мочевую кислоту, получил уроксин (аллоксантин). В серии работ он исследовал продукты разложения индиго, выделив и изучив при этом анилин ($C_6H_5NH_2$) (1841). Работы Фрицше по установлению строения индиго получили высокую оценку Либиха. В 1848 г. Фрицше выделил из степной руты алкалоид гармин. В 1867 г. он впервые получил в чистом виде антрацен. Большое применение в лабораторной практике получила найденная Фрицше реакция пикриновой кислоты с ароматическими углеводородами с образованием хорошо кристаллизующихся молекулярных соединений (1857). В 1868 г. Фрицше открыл чувствительный реактив на углеводороды — динитроантрахинон, получивший название «реактив Фрицше».



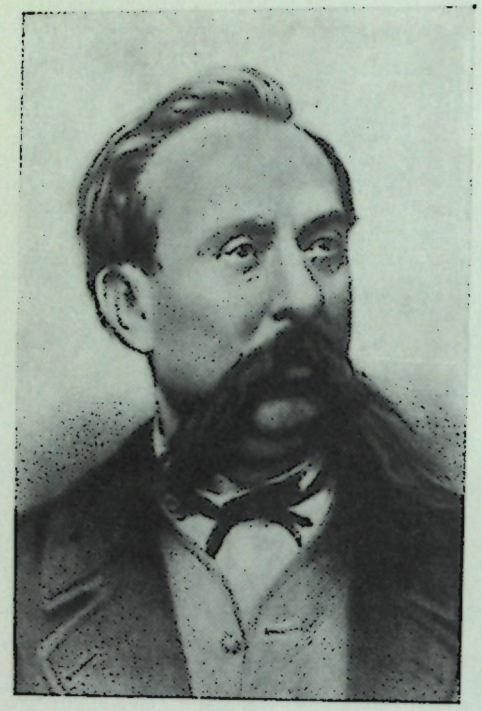
А. А. Воскресенский

Классические исследования по химии соединений ароматического ряда принадлежат академику Н. Н. Зинину — учителю А. М. Бутлерова, А. П. Бородина и многих других русских химиков-органиков.

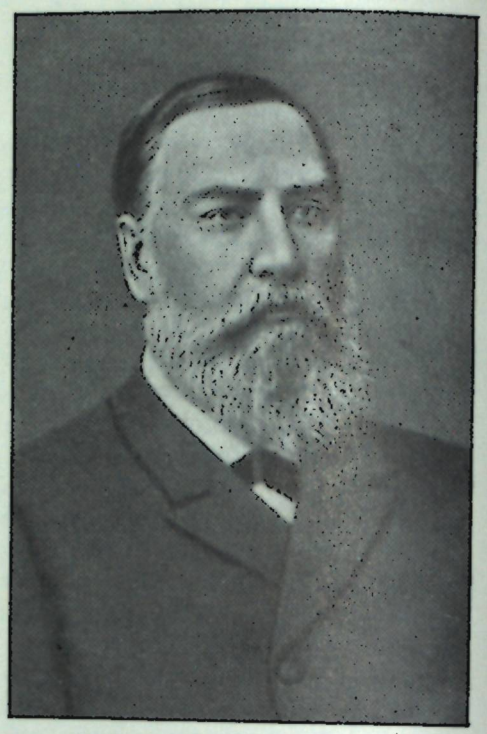
По словам Бутлерова, «Зинину... русская химия по преимуществу обязана своим вступлением в самостоятельную жизнь и тем видным местом, какое отводится ей теперь западноевропейскими учеными. Имя Зинина открывает целый ряд имен русских химиков, сделавшихся известными в науке, и большинство этих химиков — ученики Зинина или ученики его учеников» [2].

Зинину принадлежит заслуга разработки новой общей реакции восстановления нитросоединений в амины, нашедшей широкое применение в

[1] *A. Woskressensky.* Über die Zusammensetzung des Naphtalins.— «Ann. Chem. Pharm.», 1838, Bd. 26, S. 66; Über die Zusammensetzung der Chinasäure, Chinoyl.— «Ann. Chem. Pharm.», 1838, Bd. 27, S. 257—270.
[2] А. М. Бутлеров. Научная и педагогическая деятельность. Сборник документов. М., Изд-во АН СССР, 1961, с. 286.



Н. Н. Зинин



Л. Н. Шишков

органической химии. В 1842 г. Зинин открыл знаменитую реакцию восстановления нитробензола в анилин:

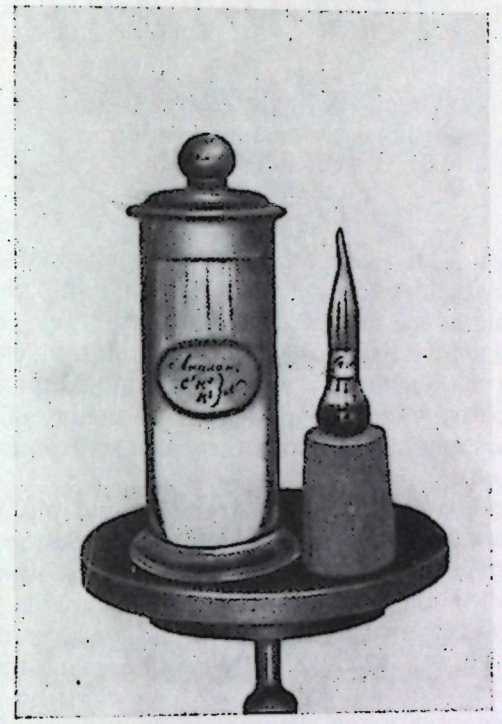
$$C_6H_5NO_2 + 3H_2S \rightarrow C_6H_5NH_2 + 3S + 2H_2O.$$

Эта реакция через несколько лет получила широкое применение в анилинокрасочной промышленности. В 1845 г. Зинин сделал еще одно ценное открытие — он получил азоксибензол (действием спиртовой щелочи на нитробензол), а из него восстановлением — гидробензол, который под влиянием минеральных кислот подвергался внутримолекулярной перегруппировке с образованием анилина.

Простой и доступный зининский метод восстановления нитросоединений позволил легко получать различные ароматические амины (анилин, нафтиламин, фенилендиамин, бензидин и др.), которые стали исходными веществами в таких отраслях химической промышленности, как анилинокрасочная, фармацевтическая, промышленность взрывчатых веществ. Выступая на заседании Немецкого химического общества с речью, посвященной памяти Зинина, А. В. Гофман сказал, что «если бы Зинин не сделал ничего более, кроме превращения нитробензола в анилин, то его имя и тогда осталось бы записанным золотыми буквами в истории химии» [1].

В 1853—1854 гг. Зинин, изучая нитроглицерин, показал возможность технического применения этого соединения как сильнейшего взрывчатого

[1] *A. Hoffman.* N. Zinin. (Nekrolog).— «Ber. Deut. Chem. Ges.», 1880, Bd. 13, S. 449—450.



Препарат анилина, полученный Н. Н. Зининым (хранится в Казанском университете)

вещества. Небезынтересно отметить, что этими опытами Зинина заинтересовался шведский инженер Альфред Нобель, тогда живший в Петербурге.

В 1857 г. на одном из заседаний Парижской академии наук впервые обсуждалась научная работа русского химика Л. Н. Шишкова, посвященная исследованию гремучей кислоты. Работа получила высокую оценку химиков. Ж. Б. Дюма, например, в письме на имя Шишкова поздравил его с блестящим успехом. В 1857 г. совместно с Бунзеном Шишков выполнил большое физико-химическое исследование процесса горения пороха. Ознакомившись с этой работой, Бертло пришел к выводу, что Шишков и Бунзен поставили проблему изучения порохов на научную почву.

Таким образом, в России в первой половине XIX в. были выполнены крупные исследования, обогатившие мировую химическую науку. В 1805—1818 гг. Гротгус разработал теорию электролиза; в 1811 г. Кирхгоф открыл каталитическую реакцию превращения крахмала в глюкозу; в 1826—1827 гг. Соболевский и Любарский разработали оригинальный метод получения ковкой платины из сырой платины; в 1839 г. Воскресенский выделил и изучил хинон; в 1840 г. Гесс открыл фундаментальный закон термохимии (постоянство сумм тепла) и закон термонейтральности; в 1842 г. Зинин открыл реакцию превращения органических нитросоединений в аминосоединения и получил анилин; в 1844 г. Клаус открыл новый химический элемент платиновой группы — рутений.

Эти открытия свидетельствовали о том, что в России начался подъем химической науки, приведший к ее расцвету во второй половине XIX в.

Глава семнадцатая

ГЕОЛОГИЯ

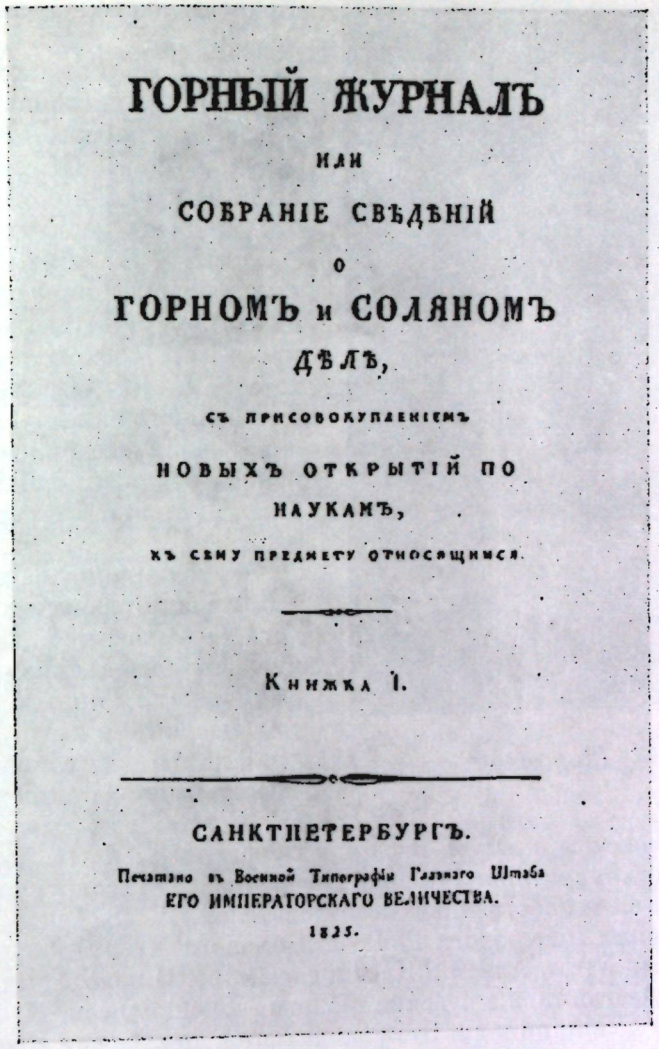
Первая половина XIX в. характеризуется исключительно бурным развитием геологии. Углубление и детализация знаний о геологических явлениях, структурах и процессах привели к началу дифференциации геологии на ряд новых отраслей: стратиграфию, геотектонику, учение о рудных месторождениях и к дальнейшему развитию минералогии и петрографии.

Этот период отмечен также острой борьбой между общетеоретическими геологическими концепциями—нептунизмом и плутонизмом, катастрофизмом и униформизмом.

Расцвет нептунизма относится ко второй половине XVIII в. Нептунисты считали, что все геологические процессы на Земле обусловлены действием воды, что первоначально вся поверхность земного шара была покрыта «первозданным океаном». На дне этого океана путем химических осаждений отложились кристаллические породы, составившие «первозданные горы». Затем, при понижении уровня океана, отложились другие горные породы, частью путем химического осаждения, частью механическим путем, из обломков суши. Вулканические явления вызывались, по мнению нептунистов, горением пластов каменного угля и не имели большого значения в жизни Земли. Положительным в нептунизме было внимание к процессам осадкообразования и попытка разработать геологическую хронологию. В дальнейшем это способствовало развитию стратиграфии. Однако нептунисты считали, что на поверхности Земли не происходило никаких изменений с тех пор, как после понижения уровня океана обнажилась суша. Поэтому по сравнению с высказанными раньше взглядами об изменчивости земной поверхности представления нептунистов были шагом назад.

В конце XVIII в. против нептунизма выступили представители школы вулканизма (плутонизма). Это учение опиралось на представления о существовании центрального огня внутри Земли. Плутонисты считали, что развитие Земли протекает по определенным циклам: суша разрушается, обломки сносятся на дно океана, где они затвердевают под влиянием внутреннего жара Земли; затем под действием воздымающей силы подземного огня дно океана поднимается, образуются новые материки, и весь цикл повторяется сначала. В начале XIX в. плутонизм стал преобладающей концепцией. Этому способствовало утверждение в науке космогонической гипотезы Канта — Лапласа, из которой вытекало представление об огненно-жидких недрах Земли, покрытых тонкой земной корой. В эту схему, как казалось, хорошо укладывалось объяснение причин извержений вулканов, землетрясений, наличия изверженных горных пород и т. п.

Большинство русских геологов начала XIX в. быстро приняло вулканистическую концепцию. Развивая ее, они, однако, не отбрасывали некоторые существенные моменты теории нептунизма. В чистом же виде нептунизм в России почти не получил распространения и серьезного влия-



ГОРНЫЙ ЖУРНАЛЪ

ИЛИ

СОБРАНІЕ СВѢДѢНІЙ

О

ГОРНОМЪ и СОЛЯНОМЪ

ДѢЛѢ,

СЪ ПРИСОВОКУПЛЕНІЕМЪ

НОВЫХЪ ОТКРЫТІЙ ПО

НАУКАМЪ,

КЪ СЕМУ ПРЕДМЕТУ ОТНОСЯЩИМСЯ.

Книжка I.

САНКТПЕТЕРБУРГЪ.

Печатано въ Военной Типографіи Главнаго Штаба
ЕГО ИМПЕРАТОРСКАГО ВЕЛИЧЕСТВА.

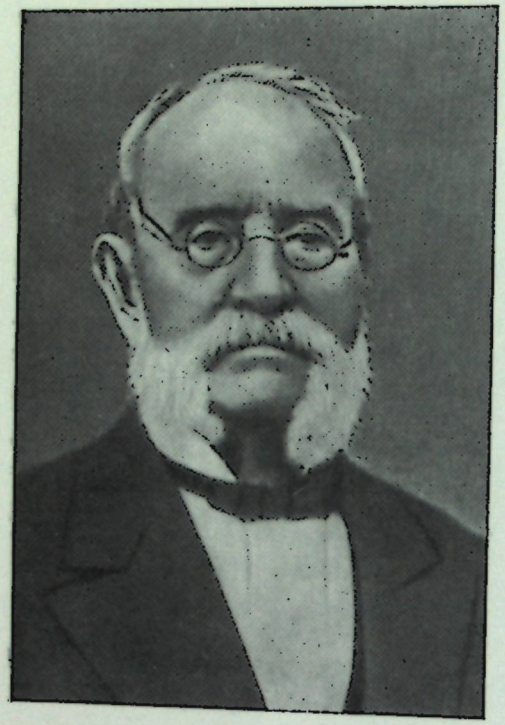
1825.

Титульный лист первой книжки «Горного журнала». 1825 г.

ния, если не считать вынужденных, под давлением господствовавшей идеологии, поклонов религиозным догматам о всемирном потопе, созвучных учению нептунистов.

В связи с нарастающим размахом геологических исследований в России совершенствовалась организация горно-геологической службы. В 1807 г. взамен Берг-коллегии был организован Горный департамент (с 1811 г. он назывался Департаментом горных и соляных дел). С 1825 г. при этом Департаменте был создан Ученый комитет. В этом же году начал издаваться «Горный журнал». Развитию геологических знаний способствовала также деятельность Вольного экономического общества, Московского общества испытателей природы и Минералогического общества.

С начала XIX в. экспедиционные геологические исследования приобретают систематический и региональный характер, например исследования Донецкого горного кряжа (1829, Е. П. Ковалевский),



Г. Е. Щуровский

Подмосковного угольного бассейна (40—50-е годы, Г. П. Гельмерсен, Г. Д. Романовский и др.). На Кавказе систематические геологические работы начались в 20-х годах XIX в. (И. И. Эйхфельд, Н. И. Воскобойников и др.). Более 30 лет посвятил изучению Кавказа Г. В. Абих. В центральных районах, на Урале (1838) и на Алтае (1846) вел исследования профессор Московского университета Г. Е. Щуровский.

Геологические исследования охватывали все более отдаленные районы страны: Забайкалье, Сибирь, Дальний Восток, Камчатку и др.

Экспедиционные работы способствовали развитию геологического картирования. Систематические геолого-съемочные работы были начаты Горным департаментом еще в 30-е годы. Геологические карты Европейской части России были составлены в 1840 г. Н. И. Кокшаровым, в 1841 г.— Г. П. Гельмерсеном и в том же году — географом А. К. Мейендорфом.

Обширность территории России и разнообразие ее геологического строения привлекали и иностранных исследователей. В 1829 г. А. Гумбольдт в сопровождении минералога Г. Розе и биолога Х. Эренберга совершил путешествие на Урал, Алтай и Каспийское море. В некоторых маршрутах принимали участие также русские геологи — Гельмерсен, И. Р. Лисенко, Н. П. Барбот де Марни и др. Этой экспедиции, так же как и впоследствии экспедиции Р. Мурчисона, были созданы самые благоприятные условия для работы. В результате своего путешествия Гумбольдт составил схему орографии Центральной Азии, основанную на его концепции о «поднятии» гор под действием огненного расплава внутри Земли.

В 1840 и 1841 гг. геологию европейской части России при содействии русских геологов изучала экспедиция под руководством английского геолога Мурчисона. В 1845 г. он опубликовал в Лондоне большое сочинение по геологии европейской части России и Урала. Им была составлена геологическая карта в масштабе 140 верст в 1 дюйме. Авторами карты и описания к ней были также французский палеонтолог Э. Вернейль и русский геолог А. А. Кейзерлинг. Карта эта дважды переиздавалась в России во второй половине 40-х годов.

Раньше других ветвей геологической науки в России, как и в других странах, начала развиваться минералогия, носившая первоначально качественно-описательный характер. К началу XIX в. в этой области был накоплен значительный материал. Большую роль в развитии минералогии сыграли работы В. М. Севергина, опубликованные на рубеже XVIII и

XIX в. Севергин развивал основы описательной минералогии и химии минералов, уточнил минералогическую терминологию. Он выдвинул идею постоянства совместного нахождения минералов в природе (их «смежности»). Его «Опыт минералогического землеописания Российского государства» (1809) был первым обзором геологии и минералогии всей страны. Следует отметить также, что Севергин критически относился к крайним выражениям концепции нептунизма. В 1789 г., изучая близ Геттингена выходы базальта, который нептунисты считали осадочной породой, Севергин пришел к правильному заключению о его вулканическом происхождении. Севергин был членом ряда западноевропейских научных обществ и одним из организаторов русского Минералогического общества.

Из общих сочинений по минералогии следует упомянуть «Историю минералогии» (1819) профессора А. М. Теряева, фундаментальное «Руководство к минералогии» (1832) и «Курс геогнозии» (1839) профессора Горного института в Петербурге Д. И. Соколова.

Петрография, которая впоследствии оформилась в самостоятельную науку о горных породах, в первой половине XIX в. еще тесно переплеталась с минералогией, так как горные породы рассматривались лишь как скопление минералов. Однако уже Севергин отделял описание горных пород от описания минералов. Зарождению химического направления в петрографии способствовали труды Абиха. С 1830 г. в трудах русских геологов подробно описывались явления метаморфизма (Д. И. Соколов, А. Н. Чайковский, П. С. Усов и др.). В середине XIX в. рассматривались также вопросы кристаллизации изверженных пород из подкорового расплава (С. С. Куторга).

Во второй четверти XIX в. получили дальнейшее развитие гипотезы рудообразования, тесно связанные с вулканистическими представлениями. Высказывались предположения об образовании руд из расплавленного вещества (Гельмерсен, 1838), из металлических паров при застывании изверженных пород (А. Г. Влангали, 1853) и из минерализованных вод (Абих, 1858). Существенное значение для поисков нефти имела установленная Абихом в 40—50-х годах закономерность — приуроченность скоплений нефти к антиклинальным поднятиям. Развивались идеи о происхождении каменного угля из уплотненных остатков растений и животных (Н. П. Щеглов, 1826, А. А. Иовский, 1828). Теорию органического происхождения нефти поддерживал А. Л. Ловецкий (1830), исходивший в этом вопросе из взглядов М. В. Ломоносова. Ловецкий подчеркивал также, что условия современного угленакопления отличны от древних.

Для развития стратиграфии большое значение имело открытие палеонтологического метода, т. е. определения возраста слоев по заключенным в них ископаемым (У. Смит в 1799 г. в Англии, Ж. Кювье, А. Броньяр в 1808 г. во Франции), а также геологическое картирование.

В России в области биостратиграфии и палеонтологии наиболее существенными были работы, выполненные Х. И. Пандером по описанию нижнепалеозойских отложений в окрестностях Петербурга (1830), П. М. Языковым — по меловым отложениям Поволжья (1837), Г. И. Фишером и К. Ф. Рулье — по палеозою и мезозою Подмосковья и др. Сводку по палеонтологии России составил Э. И. Эйхвальд (1850—1868). В 1868 г. известный немецкий геолог Л. фон Бух на основе изучения посланной ему Горным институтом коллекции ископаемых, собранных русскими геолога-

ми в разных районах России, сделал попытку идентифицировать геологические формации России и Западной Европы.

В первой половине XIX в. началось формирование еще одной отрасли геологии — тектоники, науки о движении земной коры и связанных с ним процессов горообразования, о формах залегания горных пород. Во второй четверти XIX в. одно из важных положений нептунизма — о неизменности наклона пластов — было оставлено. Господствующее положение получила гипотеза поднятия, развитая в трудах немецких геологов Л. Буха, Б. Штудера и др. Согласно этой гипотезе, горы возникли путем поднятия слоев Земли под напором внутренних расплавленных масс. Различные тектонические структуры рассматривались как результат изгиба прежде горизонтальных слоев под влиянием внедрившихся плутонических масс. Этих взглядов придерживались Куторга, Соколов и др. Горный инженер М. И. Стрижев писал в 1835 г., что поднятие Уральского хребта вызвано вторжением изверженных пород. Куторга (1834) считал, что Крымские горы образовались вследствие сильного «подземного порыва». Абих пришел к заключению, что параллельные горные хребты Кавказа возникли внезапно и одновременно.

В то же время зарождаются представления о различных типах тектонических движений. Так, А. Д. Озерский в 1844 г. ввел понятие о колебательных движениях земной коры, мысль о которых мы находим еще у Ломоносова. Наряду с этим возникают представления о действии при горообразовании не только вертикального, но и бокового давления. К такому выводу пришли работавшие на Урале А. И. Антипов и Н. Г. Меглицкий (1858). Предположение об образовании гор под влиянием бокового давления, возникающего вследствие сжатия Земли от охлаждения, лежит в основе контракционной гипотезы, высказанной Л. Эли де Бомоном в 1829 и 1852 гг., но получившей распространение лишь во второй половине XIX в.

Важное место в геологии первой половины XIX в. занимала также проблема древнего оледенения и происхождения эрратических валунов, ставшая впоследствии одним из предметов изучения специального раздела геологии — четвертичной геологии. Гипотеза о древнем оледенении Европы была высказана швейцарскими геологами И. Венецем (в 20-е годы), Ж. Шарпантье и Ж. Л. Агассисом (в 30—40-е годы XIX в.). Однако с распространением ледников еще не связывалось происхождение валунов, разбросанных на территории севера Европы. Ч. Лайель предложил гипотезу дрифта, по которой валуны переносились льдинами. Много сделали для выяснения этого вопроса русские геологи. Еще Лепехин в своих «Дневных записках» (ч. 3, 1780) писал, что валуны, наблюдавшиеся им на берегах Северной Двины, могли быть занесены сюда весенним льдом. Севергин в 1815 и 1820 гг. высказал мнение, что валуны были принесены из Скандинавии льдинами и водными потоками. Г. К. Разумовский (1816) установил даже направления, по которым переносились валуны,— с северо-востока на юго-запад и с северо-запада на юго-восток. В 1829 г. горный инженер А. И. Арсеньев высказал мнение, что валуны были принесены на льдинах от берегов Финляндии или Швеции. Позднее дрифтовая гипотеза разрабатывалась в трудах Бэра (1839), Рулье (1851) и др. Капитальный труд «Исследования о ледниковом периоде» был опубликован в 1876 г. П. А. Кропоткиным. Гипотеза материкового оледенения, развитая в этой работе, получила широкое распространение.

Накопленный фактический материал создал во второй четверти XIX в. основу для формирования исторического подхода в геологии. Если в конце XVIII — начале XIX в. в теоретической геологии главное место занимала борьба нептунизма и плутонизма, то со второй четверти XIX в. на первый план выдвигается борьба между теорией катастроф и униформизмом, а в дальнейшем между теорией катастроф и эволюционной теорией. Последняя, явившись обобщением накопленных разными отраслями геологии фактических данных, стала с 30-х годов XIX в. центральной проблемой, во многом определявшей направление специальных исследований в большинстве отраслей геологии.



Д. И. Соколов

Истоки концепции катастроф лежат в глубокой древности. Представления о катастрофах, изменявших Землю, имеются еще в трудах античных мыслителей. В дальнейшем геологические исследования показали, что условия образования горных пород нередко резко изменяются. А так как история Земли, согласно библейской легенде, считалась очень короткой, то возникло представление о периодических катастрофах, изменявших земную поверхность и уничтожавших органический мир. Наиболее полно теория катастроф была развита Ж. Кювье (1812). По мнению Кювье, в геологическом прошлом были мировые катастрофы, или перевороты, выражавшиеся в стремительных поднятиях и опусканиях материков и морского дна, сильных наводнениях, разрывах и опрокидывании слоев.

Взгляды Кювье и его теория катастроф возникли на почве идей нептунистов, также считавших, что геологические события в прошлом коренным образом отличаются от современных. Во второй четверти XIX в. теория катастроф была использована и геологами-плутонистами (Бух, Эли де Бомон) в виде представлений о катастрофически быстрых процессах горообразования. Таким образом, теория катастроф хорошо согласовалась и с нептунизмом, и с плутонизмом. Ученик и последователь Кювье — Д'Орбиньи довел до крайности теорию своего учителя: он насчитывал в истории Земли 27 переворотов, каждый раз полностью изменявших лик Земли и сопровождавшихся повторными актами творения жизни на ней.

Влияния теории катастроф не избежали и некоторые русские геологи (Эйхвальд, Абих, Куторга).

В начале XIX в. наиболее прогрессивным было униформистское учение, основанное на признании однообразия и постоянства сил, действующих на протяжении длительного геологического времени.

Сущность противоположной катастрофизму эволюционной теории в геологии состоит в признании непрерывных и постепенных преобразований в природе. С середины XVIII в. после работ Бюффона, Канта, Ломоносова и других идея развития и представления о длительности истории Земли и медленном изменении ее поверхности все чаще встречаются в геологических сочинениях (Геттон, 1795; Ламарк, 1802). В наиболее полной форме эволюционная теория в геологии была развита Ч. Лайелем в его книге «Основы геологии» (1830—1833). Появление этого труда нанесло сокрушительный удар теории катастроф. Лайель доказывал, что история земли очень длительна и что изменения земной поверхности происходят медленным, эволюционным путем, под влиянием тех же геологических факторов, которые действуют и ныне. Последнее положение составляет сущность учения униформизма. В работах Лайеля был также развит и обоснован один из важнейших методов геологических исследований — метод актуализма. Сущность его заключается в том, что на основании современных геологических наблюдений делаются выводы о геологических явлениях в прошлом. Как отметил еще Ф. Энгельс, взглядам Лайеля, при всем их огромном значении, присуща известная ограниченность. «Недостаток лайелевского метода — по крайней мере в его первоначальной форме — заключался в том, что он считал действующие на Земле силы постоянными как по качеству, так и по количеству» [1]. Доказывая эволюцию земной поверхности, Лайель вплоть до появления труда Дарвина «Происхождение видов» отказывался признать эволюцию населяющих ее органических форм.

Идея длительного исторического преобразования земной поверхности имела в России глубокие корни. Она звучала лейтмотивом геологических сочинений Ломоносова. В начале XIX в. его взгляды в этой области, правда, в несколько обедненной форме, с большим креном в чистый униформизм, воспроизвел профессор Московского университета И. А. Двигубский в речи «Слово о нынешнем состоянии земной поверхности» (1806). Он говорил в ней, что земная поверхность за свою историю претерпела значительные изменения, что, вероятно, «все вещества в течение времени переменились, получили новые свойства и потеряли прежние; иные разрушились и сделались неузнаваемыми от действия на них различных сил; может быть, многие и не существовали при первом образовании тел, но постепенно происходили от других» [2]. Причинами коренных изменений земной поверхности Двигубский вслед за Ломоносовым считал действие воды, смену температур, выветривание, вулканическую деятельность. В 30-е годы XIX в. взглядов Ломоносова, включая и его представление о том, что в процессе геологической истории изменялась не только земная поверхность, но и силы, действующие на ней, придерживался профессор Московского университета Ловецкий. В 1848 г. их ярко изложил профессор того же университета Д. М. Перевощиков. В «Курсе геогнозии» Соколова (1839) говорилось, что «теперешние перемены Земли служат как бы ключом к открытию перемен незапамятных» [3].

[1] *К. Маркс* и *Ф. Энгельс*. Соч., т. 20, с. 352, примечание.
[2] *И. А. Двигубский*. Слово о нынешнем состоянии земной поверхности. — В кн.: Избранные произведения русских естествоиспытателей первой половины XIX века. М., Изд-во соц.-экон. лит., 1959, с. 58.
[3] *Д. И. Соколов*. Курс геогнозии, ч. 2. СПб., 1839, с. 62.

Вторую четверть XIX в. называют «героическим периодом» истории геологии. И если в русской науке в это время не было столь известных геологов, как некоторые западноевропейские исследователи, то все же русская геологическая мысль находилась во многих отношениях на передовых рубежах. Значение сравнительно-исторического метода для геологии (актуализма) осознавалось уже в явной форме в речи Двигубского (1806), а до него Ломоносовым. Выдающаяся роль в развитии эволюционных представлений в России принадлежит профессору зоологии Московского университета Рулье. В его работах подчеркивалось, что геологические и физико-географические условия на Земле изменялись постепенно: в связи с изменениями окружающей среды изменялись также флора и фауна на Земле. Рулье популяризировал космогоническую гипотезу Канта — Лапласа и описал последовательные этапы эволюции поверхности Земли: изменение соотношения суши и моря, климатических условий, ослабление плутонических процессов и т. д. В 1854 г. он ввел термин «сравнительно-исторический метод». Таким образом в среде русских геологов эволюционная теория встретила благодатную почву. Эволюционная теория в геологии способствовала возникновению и обоснованию теории развития в биологии.

К середине XIX в. геология была готова вступить в новую фазу своего развития. Были установлены многие существенные закономерности специфических геологических процессов, установлено, что Земля претерпела длительную историю, в процессе которой ее поверхность значительно изменилась.

Таким образом первая половина XIX в. была важным периодом в развитии мировой и русской геологии. В это время в борьбе между различными, иногда сложно переплетавшимися между собой течениями — нептунизмом, вулканизмом, катастрофизмом, униформизмом и эволюционизмом утверждался исторический подход в геологии. Следует отметить, что каждая из названных гипотез или теорий не просто отбрасывалась, а преодолевалась последующим развитием науки, сохранявшим то рациональное, что в ней содержалось. При этом, однако, происходило не просто заимствование отдельных готовых элементов из той или иной теории, а коренная переработка этих теорий в контексте новых представлений. В учении нептунистов таким рациональным зерном были представления о последовательном отложении слоев, что в соединении с палеонтологическим методом дало основу для развития стратиграфии. Связанные с вулканизмом представления о внезапном поднятии горных хребтов дали толчок к развитию геотектоники. Наряду с этим тщательные исследования разнообразных геологических структур на территории страны привели некоторых русских геологов к представлению о том, что при горообразовании играют роль не только вертикальные поднятия, но и боковое давление при тангенциальном сжатии (т. е. при действии горизонтальных сил).

Глава восемнадцатая

ГЕОГРАФИЯ[1]

Начало XIX в.— переломный момент в истории русских географических открытий и пора осуществления давних замыслов. Русские корабли вышли в Мировой океан, отечественные географы и гидрографы смогли принять участие в исследовании планеты.

В главе 9, посвященной географии в XVIII в., рассказывалось о двух Камчатских экспедициях, руководимых В. Берингом. В числе задач, поставленных перед экспедициями, были и поиски пути в Индию. Но еще до начала работ Первой Камчатской экспедиции Петр I организовал «южную» экспедицию в Индию — вокруг Африки, с заходом на Мадагаскар. Однако корабли, вышедшие 21 декабря 1723 г. из Ревеля, из-за сильного шторма далеко не продвинулись и вернулись.

Появление в последней четверти XVIII в. русских поселений на Алеутских островах, а затем и на Северо-Американском континенте заставило вновь вернуться к мысли о морском пути на Дальний Восток и в Америку. В 1787 г. была организована новая экспедиция под общим руководством Г. И. Муловского, но осуществлению ее помешала война со Швецией.

Первая русская кругосветная экспедиция состоялась лишь в 1803—1806 гг. 26 июля 1803 г. из Кронштадта вышли корабли «Надежда» и «Нева». Их капитанами были И. Ф. Крузенштерн и Ю. Ф. Лисянский — опытные моряки, уже побывавшие к тому времени в Южной Африке и Индии. В Тихий океан корабли направились вокруг мыса Горн, и там их пути разошлись.

Крузенштерн побывал на Камчатке, исследовал Курилы и Японию. Он описал Сахалин, приняв его, однако, за полуостров. Лисянский от Сандвичевых островов прошел на север к о. Кадьяк и на Ситху на Аляске. По пути от Аляски к китайскому порту Макао он открыл и нанес на карту низменный, опасный для судоходства остров, названный его именем.

Географические результаты путешествия были изложены в сочинениях командиров кораблей Крузенштерна и Лисянского [2] и сопровождавших их ученых. Кроме того, были изданы атласы карт и рисунков, иллюстрирующие природу далеких стран и быт их жителей. Во время этого путешествия впервые была измерена температура воды на глубине 400 м, а также проведены наблюдения над морскими течениями. Крузенштерн и сопровождавший его естествоиспытатель Г. И. Лангсдорф доказали, что ночное свечение воды происходит в результате деятельности микроорганизмов, а не от механического трения частиц воды.

Впоследствии на основе географических материалов, собранных русскими моряками, Крузенштерн создал фундаментальный Атлас Южного

[1] Глава написана при участии И. М. Забелина.

[2] *И. Ф. Крузенштерн.* Путешествие вокруг света в 1803, 1805 и 1806 годах на кораблях «Надежде» и «Неве» 1809—1812 (второе сокращенное издание.— М., Географгиз, 1950); *Ю. Ф. Лисянский.* Путешествие вокруг света в 1803—1806 годах... на корабле «Нева», ч. 1—2, 1812.

моря (СПб., ч. I, 1824; ч. II, 1826), а Сарычев подготовил Атлас северной части Восточного океана (СПб., 1826). Исследования первых русских кругосветных мореплавателей явились существенным вкладом в фонд мировой географической науки.



Ю. Ф. Лисянский

Событием огромного значения было открытие русскими моряками Антарктиды — последнего материка планеты. Открыла Антарктиду экспедиция на двух небольших кораблях — шлюпах «Восток» и «Мирный» под командованием Ф. Ф. Беллинсгаузена и М. П. Лазарева. Экспедиция была укомплектована добровольцами из русских морских офицеров и матросов, в ней участвовали астроном профессор Казанского университета И. М. Симонов и живописец М. Н. Михайлов.

Перед экспедицией была поставлена задача — исследовать о. Южная Георгия, расположенный под 55° ю. ш., обойти с востока Южные Сандвичевы острова, затем продвинуться к Южному полюсу с целью отыскания неизвестных земель, и прежде всего загадочного Южного материка (см. карту на стр. 219).

Гипотеза о существовании Южного материка восходит еще к античным авторам. Его пытались, но безуспешно, обнаружить многие выдающиеся мореплаватели, в том числе английский капитан Джемс Кук. В 1773—1775 гг., плавая в южном полушарии, он открыл о. Южная Георгия и Южные Сандвичевы острова, но достичь Антарктиды не смог. Оценивая в целом ледовитость южных полярных морей, Кук писал: «...ни один человек никогда не решится проникнуть на юг дальше, чем это удалось мне. Земли, что могут находиться на юге, никогда не будут исследованы» [1]. И дальше Кук заявлял, что в результате его путешествия «южное полушарие достаточно обследовано; положен конец дальнейшим поискам южного материка» [2]. Такое категорическое заявление крупнейшего мореплавателя привело к прекращению поисков Южного материка, а с географических карт исчезло его гипотетическое изображение.

Опыт кругосветных плаваний, накопленный русскими моряками, позволил Беллинсгаузену и Лазареву осуществить, казалось бы, невозможное: 15 (27) января 1820 г. «Восток» и «Мирный» достигли 69°23′ ю. ш. и 2°35′ з. д. и подошли вплотную к ледяному панцирю Антарктиды.

[1] *Д. Кук.* Путешествие к южному полюсу и вокруг света. М., Географгиз, 1948, с. 434.

[2] Там же, с. 440.



И. Ф. Крузенштерн

В рапорте о ходе экспедиции Беллинсгаузен докладывал, что в тот день они встретили «сплошной лед, у краев один на другой набросанный кусками, а внутрь к югу в разных местах по оному видны ледяные горы» [1]. В феврале корабли еще несколько раз подходили к Антарктиде. «Здесь за ледяными полями мелкого льда и островами, — докладывал Беллинсгаузен,— виден материк льда, коего края отломаны перпендикулярно и который продолжался по мере нашего зрения, возвышаясь к югу подобно берегу. Плоские ледяные острова, близ сего материка находящиеся, ясно показывают, что они суть отломки сего материка, ибо имеют края и верхнюю поверхность, подобную материку» [2].

Эти наблюдения подкреплялись и теоретическими соображениями участников экспедиции, полагавших, что суши Южных Сандвичевых островов недостаточно для образования огромных ледяных гор, встречавшихся во множестве в океане,— для этого необходимы материковые берега, покрытые ледниками.

Помимо Антарктиды участники экспедиции открыли 29 новых островов, из них 2 — в холодном поясе южного полушария, 8 — в умеренном и 19 — в жарком. Лазарев и Симонов определили координаты пунктов и островов. Зарисовки, сделанные Михайловым, до сих пор воспроизводятся в лоциях. Беллинсгаузен дал краткую, но верную характеристику климата Антарктики, объяснил происхождение водорослей в Саргассовом море и вместе с Новосильским высказал правильное предположение о происхождении коралловых островов в результате жизнедеятельности «мельчайших черепокожных животных».

Наряду с экспедицией в Антарктику в первой половине XIX в. было совершено еще несколько кругосветных плаваний, в том числе плавания В. М. Головнина на шлюпах «Диана» (в 1807—1811 гг.) и «Камчатка» (в 1817—1819 гг.). Сочинения Головнина об этих плаваниях содержат много новых физико-географических, этнографических и экономических наблюдений, особенно о Курильских и Алеутских островах; ценные сведения были собраны Головниным о Южной Африке и Японии: в 1811—1813 гг. он был пленником этой плохо известной тогда европейцам страны.

Значительные успехи в исследовании Тихого океана были достигнуты

[1] «Из рапорта Ф. Ф. Беллинсгаузена... о переходе шлюпов «Восток» и «Мирный» из Рио-де-Жанейро в Порт Джексон».— В кн.: *М. П. Лазарев.* Документы, т. 1. М., Воен.-мор. изд-во, 1952, с. 147.

[2] Там же.

экспедициями О. Е. Коцебу на «Рюрике» (в 1815—1818 гг.) и на «Предприятии» (в 1823—1828 гг.). Во время этих плаваний было открыто и описано около 400 островов, описаны побережья Азии и Америки в районе Берингова пролива, причем Коцебу и сопровождавший его натуралист М. Энгельгардт пришли к заключению, ныне подтвердившемуся, о геологическом сходстве побережий Азии и Америки в районе пролива. Во время второго плавания Коцебу, в котором принимал участие физик Э. Х. Ленц, были фактически заложены основы отечественной океанологии как науки. Используя изобретенный им (совместно с Парротом) морской батометр и глубомер, Э. Х. Ленц провел впервые в Тихом океане исследования изменений температуры с глубиной, а также химического состава воды с разных горизонтов. Коцебу и Ф. Эшшольц уточнили и развили гипотезу происхождения коралловых островов, которая впоследствии была высоко оценена Ч. Дарвином.



М. П. Лазарев

1826—1829 гг. кругосветное плавание на военном шлюпе «Сенявин» совершил Ф. П. Литке, впоследствии адмирал и вице-председатель Русского географического общества. Основной задачей экспедиции было исследование северо-восточного побережья России, Охотского и Берингова морей. В зимнее время Литке предписывалось изучать острова Тихого океана — Каролинские, Марианские, Маршалловы и др. Экспедицию сопровождали зоолог и ботаник К. Г. Мартенс, минералог и художник А. Ф. Пастельс и орнитолог Ф. Г. Китлиц.

Изданные в 1834—1836 гг. книги-отчеты Литке о его путешествиях, в которых были и статьи Пастельса, Мартенса и Китлица, явились событием в географической науке. Они получили высшую награду Петербургской академии наук — полную Демидовскую премию. Кроме того, по материалам экспедиции было составлено свыше 50 карт, вошедших затем в мореходный атлас, изданный Гидрографическим депо Морского штаба.

Несколько ранее Литке руководил исследованиями малоизученного архипелага Новая Земля. В 1821—1824 гг. он совершил из Архангельска в Арктику четыре плавания, принесшие ему мировую славу. Карты, составленные Литке, служили морякам в течение целого века.

В те же годы в восточном секторе Арктики работали экспедиции лейтенантов русского морского флота Ф. П. Врангеля и П. Ф. Анжу. Основной их задачей было уточнение карты северо-восточного побережья Ледовитого океана, а также открытие новых островов. В частности, им поручалось проверить, существуют ли «Земля Санникова» и «Земля Андреева».



Ф. Ф. Беллинсгаузен

Книга Врангеля «Путешествие по северным берегам Сибири и по Ледовитому морю...» (1841), а также записки мичмана (впоследствии — адмирала) Ф. Ф. Матюшкина, доктора медицины А. Э. Кибера и спутника Анжу — врача А. Е. Фигурина явились настоящей энциклопедией знаний о природе этого сурового края, содержавшей множество новых географических сведений.

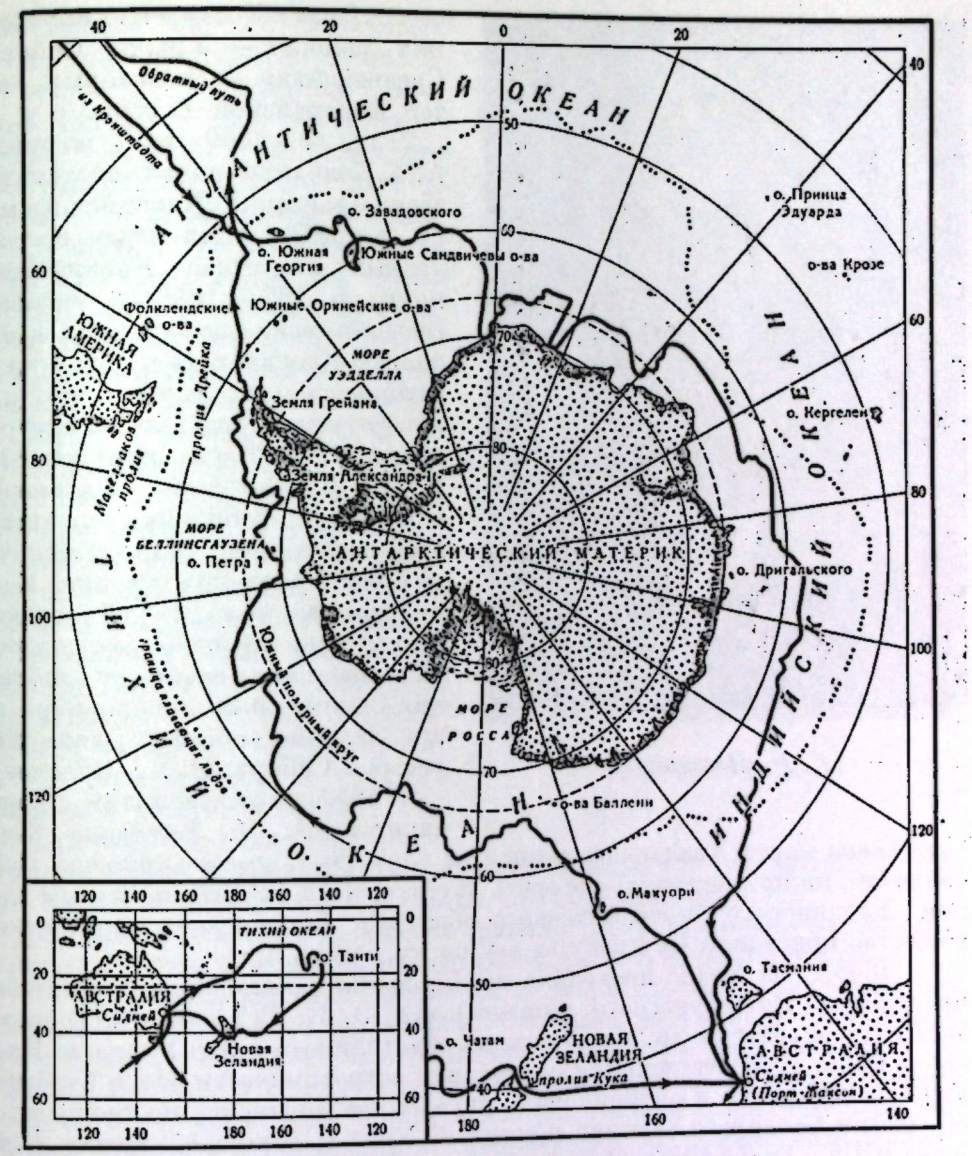
В результате экспедиций Биллингса — Сарычева (1785 — 1793), Врангеля и Анжу все побережье Восточной Сибири было положено на карту по новейшим астрономическим измерениям. Экспедиции доказали, что в высоких широтах в определенное время года Северный океан бывает доступным для плавания. Мичман Матюшкин, совершая путешествие по берегу Ледовитого океана, пришел к выводу, что к северу от Шелагского Носа должна быть земля. Место нахождения этой земли Врангель указал на карте, представленной после экспедиции. Но только в 1867 г. капитан американского китобойного судна Лонг увидел эту землю и дал ей название остров Врангеля.

В эту же серию исследований входят плавания, совершенные в 1838—1849 гг. капитаном Г. И. Невельским, открывшим морской пролив между материком и о. Сахалин.

Сибиряки уже в XVII в. знали, что Сахалин — остров, и они так и наносили его на свои карты. Но в 1787 г. французский путешественник Ж. Лаперуз пришел к выводу, что Сахалин южнее устья Амура соединяется с материком и является полуостровом. Английская экспедиция У. Броутона (1796) пришла к такому же заключению; к этим взглядам присоединился и И. Ф. Крузенштерн. Эти исследователи считали, что устье Амура закрыто с юга, не имеет хороших подходов для кораблей и неудобно для плавания. Но многие русские географы считали вопрос нерешенным.

22 июля (3 августа) 1849 г. Невельскому удалось открыть Татарский пролив и таким образом развеять заблуждения своих предшественников. С этого времени в устье Амура стали входить крупные суда, а 1(13) августа 1850 г. Невельской в присутствии гиляков, населявших низовья Амура, поднял русский флаг в том месте, где впоследствии возник город Николаевск-на-Амуре.

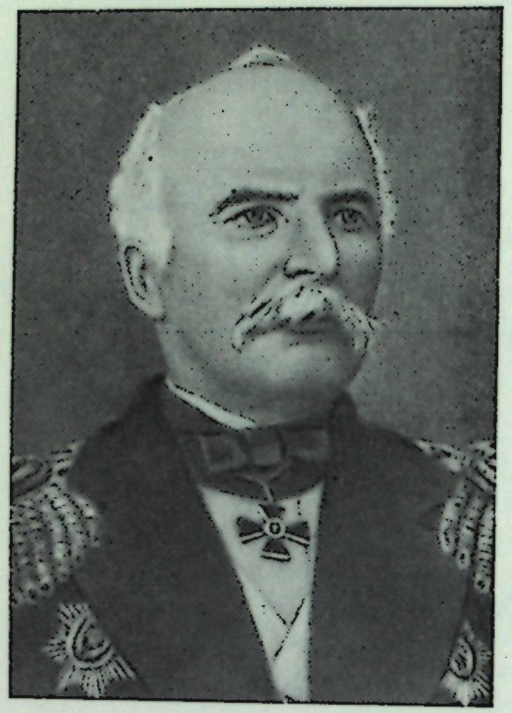
Российско-Американская компания продолжала исследования внутренних частей Аляски и с этой целью снаряжала специальные экспедиции. Одной из них была экспедиция Л. А. Загоскина в 1842—1844 гг. Загоскин собрал ценные сведения по общей географии Аляски, ее климату, гидрологии рек, этнографии, которые изложены им в сочинении «Пешеходная опись части русских владений в Америке» (ч. I—II, СПб., 1847—1848).



Маршруты путешествий Ф. Ф. Беллинсгаузена и М. П. Лазарева

Исключительно важные комплексные исследования Аляски, Алеутских и Курильских островов провел в 1839—1849 гг. И. Г. Вознесенский, доставивший Академии наук ценные коллекции. Мужественным русским исследователям принадлежит заслуга первых шагов в изучении сначала побережий, а затем и внутренних областей Аляски, освоения ее природы, повышения культуры ее коренного населения.

Одновременно с кругосветными плаваниями и исследованиями дальневосточных берегов и морей в первой половине XIX в. продолжалось



Г. И. Невельской

географическое изучение внутренних районов — Урала, Сибири, Средней Азии и некоторых частей Европейской России.

Так, с 1809 г. штурман А. Е. Колодкин начал систематические описания Каспийского моря, а в 1826 г. был издан составленный им атлас Каспийского моря. В 1853—1856 гг. физико-географические особенности и биологию Каспийского моря изучала комплексная экспедиция под руководством выдающегося натуралиста К. М. Бэра, при участии Н. Я. Данилевского. На основе наблюдений, собранных во время этой экспедиции, Бэр выдвинул теорию понижения уровня Каспийского моря и дал объяснение асимметрии строения берегов рек как следствия суточного вращения Земли. За 30 лет до Бэра на это явление обратил внимание историк Сибири П. А. Словцов.

В 1850 г. по материалам съемок капитана А. И. Бутакова была составлена карта Аральского моря. Эта карта была высоко оценена Гумбольдтом, по предложению которого Бутаков был избран почетным членом Берлинского географического общества. Лондонское Королевское общество присудило Бутакову за эту карту медаль.

В 1848 г. на Урале проводила исследования комплексная экспедиция профессора Петербургского университета Э. К. Гофмана, астронома М. А. Ковальского и др. Маршруты их охватили весь север Урала до Карского моря. Путешественники определили астрономически 186 и барометрически 72 пункта и опубликовали двухтомное сочинение по геологии и географии Северного Урала: «Северный Урал и береговой хребет Пай-Хой» (СПб., 1853—1856). Зоолог Ф. Ф. Брандт составил описание позвоночных животных Северного Урала.

Выдающиеся по своим результатам исследования севера и востока Сибири осуществил в 1842—1845 гг. профессор Киевского университета, а затем член Петербургской академии наук А. Ф. Миддендорф. Он получил от Академии наук задание: а) пересечь неизведанный самый северный участок Азии — Таймырский п-ов и выяснить условия органической жизни в высоких широтах; б) проехать в Якутск и детально проверить достоверность слухов о наличии вечномерзлых грунтов в колодце-шахте Федора Шергина, пробитом до глубины 166 м; в) если останется время, то из Якутска проехать на берег Охотского моря и осмотреть Шантарские острова.

Преодолевая огромные трудности, с риском для жизни, Миддендорф и его спутник топограф В. В. Баганов полностью выполнили поставленные задачи, каждая из которых могла бы прославить ученого. В результате экспедиции было дано глубокое физико-географическое описание Таймырского края. Выполняя задание по изучению вечной мерзлоты, Миддендорф провел наблюдения в 12 пунктах. По материалам своих исследований он установил величину геотермической ступени, в соответствии с которой высчитал, что глубина промерзания в районе Якутска должна быть около 204 м (в советское время бурением установлено, что толщина мерзлого слоя составляет здесь 216 м).



А. Ф. Миддендорф

Выполнению этой выдающейся работы способствовал житель Якутска, служащий Российско-Американской компании, Ф. Е. Шергин. Пытаясь вырыть колодец для воды, он в течение нескольких лет на свои средства пробивал вечную мерзлоту. Глубина колодца к 1842 г. достигла 116 м, но вода так и не появилась. Шергин по просьбе Академии наук измерял температуру на разных глубинах шахты и передавал результаты для опубликования.

Миддендорф впервые определил границу распространения многолетнемерзлых грунтов и положил начало исследованию вечной мерзлоты.

В отчетах экспедиции Миддендорфа дана комплексная характеристика природы обследованной территории. Особенно подробно рассмотрены в них сведения о климате, растительности и животном мире Сибири. Миддендорф предложил первую научно обоснованную схему эколого-фаунистического районирования севера и востока Сибири и обстоятельно рассмотрел вопрос о происхождении современного географического распространения животных. Опубликованная позже многотомная монография Миддендорфа «Путешествие на север и восток Сибири» (СПб., 1860—1877) отличается высоким для своего времени теоретическим уровнем, вниманием ученого к выяснению общих географических закономерностей, свойственных природе обширного края. Академия наук, оценивая итоги экспедиции Миддендорфа, отмечала, что она принесла исключительно большую пользу науке.

Большой вклад в изучение Алтая внес русский географ П. А. Чихачев. В 1842 г. он обследовал неизвестные до того места в истоках рек Абакана, Чуи и Чулышмана. Им был открыт Кузнецкий каменноугольный бассейн. Чихачеву принадлежат также обстоятельные исследования Малой Азии, Испании, Алжира и Туниса. За выдающиеся ученые труды Чихачев был избран членом Парижской и почетным членом Петербургской академии наук.

Многочисленные географические экспедиции первой половины XIX в. дали богатый материал для более полного познания климата, растительности, животного мира и топографии страны. Составлением географических и топографических карт России после ликвидации в 1798 г. Географического департамента Академии наук занималось специальное Депо карт. В 1812 г. оно было передано Военному министерству и переименовано в Военно-топографическое депо, сыгравшее выдающуюся роль в картографировании территории России.

В 1801—1804 гг. Депо карт издало замечательную для того времени «Подробную карту Российской империи и близлежащих заграничных владений» в масштабе 20 верст в дюйме (1 : 840 000), известную больше под названием «Столистовой карты». На 114 листах этой карты с большой подробностью была изображена (исключая север) территория России от границ Польши на западе до меридиана Тобольск — Хива на востоке. В 1839 г. была составлена на 60 листах специальная 10-верстная карта Западной России.

Большое значение имело определение в 1852 г. в пределах России дуги меридиана протяжением 25°20′, которая получила название дуги Струве. В 1860 г. издан «Подробный атлас Российской империи» (в 22 книгах), составленный Н. И. Зуевым. К 1863 г. было в основном закончено составление 435 листов трехверстной военно-топографической карты Западной России. В дальнейшем эта карта была увеличена до 517 листов. Издавалась она длительное время, по мере изготовления отдельных листов.

В 1842 г. министерство финансов издало «Карту промышленности Европейской России с показанием фабрик, заводов и промыслов, административных мест по мануфактурной части...» в масштабе 70 верст в дюйме (1 : 2 940 000). Это была первая в России экономико-географическая карта.

Наряду с картографическим отображением природы и экономики России публиковались географические и географо-статистические описания страны в целом или отдельных ее губерний. В 1807 г. увидело свет «Новейшее землеописание Российской империи» Е. Ф. Зябловского, а в 1810 г.— его же «Землеописание Российской империи для всех трех состояний». Обобщением большого фактического материала явился изданный в 1801—1809 гг. «Географический словарь Российского государства» А. М. Щекатова.

Безусловный интерес представляет одна из первых попыток разработки экономико-географической характеристики России, предпринятая К. И. Арсеньевым (1818). Задавшись целью оценить возможности развития народного хозяйства страны, он разделил страну на 10 почвенно-климатических районов: Северный, Балтийский, Степной и т. д. Каждому району он дал краткую физико-географическую характеристику и перечислил имеющиеся и возможные промыслы. В 1848 г. Арсеньев издал «Статистические очерки России», содержавшие большой и интересный статистический материал.

Много географических сведений дано в описаниях губерний и областей России, составленных в результате обширных работ, проводившихся с 1837 г. Генеральным штабом и имевших экономико-статистическую направленность.

Географические описания России содержались также в изданных в те годы учебниках, например в «Учебном курсе географии Российской империи» (СПб., 1852), составленном Я. П. Кузнецовым при участии академиков П. И. Кеппена и К. С. Веселовского.

Научная физико-географическая мысль в этот период продолжала развиваться под доминирующим влиянием материалистических взглядов М. В. Ломоносова. Значительное влияние на русскую географию с самого начала XIX в. оказали географические труды передовых западноевропейских ученых, прежде всего А. Гумбольдта. Его исследованиями в области климатологии и биогеографии были заложены основы развития этих частных географических дисциплин также и в России. Крупным вкладом в климатологию явилась опубликованная в 1847 г. книга профессора Московского университета М. Ф. Спасского «О климате России». В этом исследовании проблемы изучения климата рассматривались на широкой теоретической основе. Важнейшей задачей климатологии Спасский считал изучение климатических закономерностей. Эта же задача, как основная, решалась на более широком материале в фундаментальном труде К. С. Веселовского «О климате России», вышедшем в 1857 г. Ему же принадлежит заслуга разработки в 1851 г. первой сводной почвенной карты Европейской России. В первой половине XIX в. появилось значительное число описаний флоры и фауны многих областей России. Глубокая разработка теоретических вопросов биогеографии, как уже отмечалось, была дана в трудах Миддендорфа. Крупным вкладом в развитие экологического и эволюционного направлений в биогеографии явились труды К. Ф. Рулье и его ученика Н. А. Северцова, относящиеся к 40—50-м годам XIX в.

Создавались первые основы и таких частных географических дисциплин, как геоморфология, мерзлотоведение, гидрология (гидрография) суши, океанография.

Об интересе к географии со стороны передовой русской общественности свидетельствует издание в рассматриваемое время большого числа географических учебников. Лучшим из них, основанным на материалистическом представлении о развитии природы, был учебник известного физика академика Э. Х. Ленца «Физическая география», вышедший в 1851 г. Показательно определение предмета и задач физической географии, данное в этой книге. Ленц писал: «Предмет физической географии состоит в изложении явлений, наблюдаемых нами как на поверхности земного шара, так и в доступных пределах его внутренности: главная же задача ее заключается в определении, по каким физическим законам совершаются и совершались наблюдаемые нами явления» [1].

В первой половине XIX в. был организован ряд географических учреждений и обществ. Важнейшее из них — основанное в 1845 г. Русское географическое общество, которое с первых же лет своей деятельности стало подлинным центром географической науки в России, инициатором и организатором большинства экспедиций по изучению обширной территории России и сопредельных стран.

[1] *Э. Х. Ленц.* Физическая география. СПб., 1851, с. 1.

Глава девятнадцатая

БИОЛОГИЯ

Развитие биологии в первой половине XIX в. в общетеоретическом плане характеризуется нарастанием и постепенным обострением противоречий между накопленным эмпирическим материалом и господствовавшими тогда воззрениями на органический мир, ядром которых было представление о его абсолютной неизменности. Правда, коренной перелом в биологии осуществился позднее, лишь после победы эволюционной теории Дарвина, повлекшей за собой перестройку не только теоретических основ биологии, но и стиля биологического мышления. Первая половина XIX в. была подготовкой к этой крупнейшей революции в истории биологических наук. Благодаря успехам биологии и геологии вера в неизменяемость органического мира была в этот период подорвана до основания, и креационизм вступил в пору глубокого кризиса. Вторая главная особенность этого периода состоит в том, что в это время сложились и оформились в самостоятельные научные дисциплины основные отрасли биологии. Наряду с ботаникой, зоологией и анатомией человека, которые оформились как науки значительно раньше, в этот период сложились в самостоятельные отрасли сравнительная анатомия, палеонтология, сравнительная эмбриология, физиология животных и человека. Постепенно освобождаясь, с одной стороны, от грубых аналогий между организмом и простейшими механизмами, а с другой — от натурфилософии и витализма, физиология превращалась в строгую экспериментальную науку о процессах жизнедеятельности. Любопытно, что чем больше физиология выделялась из медицины и становилась самостоятельной наукой, тем сильнее становилось ее влияние на медицину и ускорялось ее превращение в одну из фундаментальных теоретических основ медицины. В этот же период формулируются главные проблемы физиологии растений, широкое развитие получают география и экология животных и растений.

В 1838—1839 гг. Т. Шванн и М. Шлейден формулируют клеточную теорию. Начинают быстро накапливаться, в особенности благодаря обобщению опыта сельскохозяйственной практики, а также экологических наблюдений в различных районах, данные об изменчивости растений и животных и влиянии на них условий существования. Вместе с данными зоогеографии, палеонтологии и сравнительной анатомии они расшатывали представления о постоянстве видов. И хотя на протяжении первой половины XIX в. эти представления еще прочно удерживались в сознании большинства ученых, они подвергались все большему сомнению и критике. Многие русские биологи были среди тех, кто решительно выступал против этих воззрений.

Систематика, описание фаун, флор и отдельных видов растений и животных продолжают еще составлять занятие большинства ботаников и зоологов. Девиз Кювье: «Называть, описывать и классифицировать — вот цель и назначение науки», который, по образному выражению русского биолога середины XIX в. Я. А. Борзенкова, вполне укладывается в два

слова: «Не рассуждать», не потерял еще своей силы. Однако как в мировой, так и в русской биологии все большее внимание привлекает проблема сущности и основных закономерностей биологических явлений.

РАЗВИТИЕ ОБЩЕТЕОРЕТИЧЕСКИХ ПРЕДСТАВЛЕНИЙ

Ломка старых представлений вызывала острый интерес к проблеме метода познания природы. На почве разочарования в грубом механицизме, не сумевшем дать сколько-нибудь удовлетворительного объяснения основных жизненных процессов, и выявившейся ограниченности чисто описательного направления в начале XIX в. значительное влияние, в особенности в Германии, приобретает шеллингианская натурфилософия. Она оказала в начале XIX в. известное воздействие и на некоторых русских биологов — Д. М. Велланского, Я. К. Кайданова, П. Ф. Горянинова, М. А. Максимовича и др. Идеи Шеллинга и Окена способствовали уяснению ограниченности плоского эмпиризма, проникновению в биологию представлений о развитии, но господствующего положения шеллингианская натурфилософия в русской биологии не получила. Напротив, воспринимая рациональное зерно в философии Шеллинга и Окена, русские биологи подвергли критике ее односторонность, недооценку опытного исследования природы, вытекавшую из ее идеалистической сущности. Даже те из русских ученых, которые в начале своей научной деятельности отдавали известную дань натурфилософии, вскоре стали отходить от нее. Так, профессор Московского университета, один из зачинателей агрономической науки в России М. Г. Павлов, который в начале 20-х годов увлекался натурфилософией, в 1828 г. в статье «О взаимном отношении сведений умозрительных и опытных» писал о несостоятельности шеллингианства. «Всякий предмет нашего познания, как он есть, может быть познан только с помощью опытности» [1]; «Сведения умозрительные, составляющие философию, возможны только при опытных составляющих науки... Философия без наук невозможна. Если же кто вздумает философствовать, не зная наук, его мудрствования будут бред, постыдный для ума, вредный для наук» [2].

Стремление преодолеть плоский эмпиризм и односторонность идеалистической натурфилософии характерно и для ученика М. Г. Павлова, профессора ботаники Московского университета М. А. Максимовича. Окен, писал он, не столько старался представить природу в своей системе, сколько хотел в природе показать свою систему. Трансцендентальная философия, по мнению Максимовича,— «блестящая гипотеза, пиитическое воззрение на природу, а не наука». Наука требует всестороннего охвата явлений. «Поэтому,— писал Максимович,— мы не довольствуемся чувственным исследованием внешней стороны явлений (эмпирией), не довольствуемся дробным различием частностей (анализом), не удовлетворяемся отвлечением разума в бестелесную, мысленную сторону бытия (идеализмом), избегаем произвольности в соединении и обобщении частностей

[1] *М. Г. Павлов.* О взаимном отношении сведений умозрительных и опытных.— «Атеней», 1828, № 2, с. 11.
[2] Там же, с. 17—18.

(синтезом), но стремимся согласовать сии односторонние способы познания и сдружить опыты чувственные с опытами ума в одно полное, живое и положительное знание» [1].

Подобные воззрения не были исключением. В той или иной форме их развивали физиолог А. М. Филомафитский и многие другие русские ученые первой половины XIX в. Они были широко представлены в журнале «Вестник естествознания и медицины», который в 1828—1832 гг. издавал профессор А. А. Иовский. Журнал отстаивал опытное направление в естествознании, не сводя, однако, его к простому описанию явлений, и выступал с решительной критикой идеалистической патурфилософии. Любопытно отметить, что здесь, пожалуй, впервые в научной литературе, была подвергнута критике теория специфической энергии зрения И. Мюллера за попытку поставить под сомнение то, что наши ощущения отражают объективную реальность. Журнал выступал против тех, кто отрицал применимость законов физики и химии к объяснению физиологических процессов. В период знаменитой дискуссии Кювье с Жоффруа Сент-Илером он стал на сторону последнего.

Наиболее яркой фигурой среди русских ученых первой четверти XIX в. был медик И. Е. Дядьковский. Он происходил из бедной семьи сельского пономаря. Первоначальное образование получил в Рязанской духовной семинарии, затем поступил в Московскую медико-хирургическую академию, которую окончил в 1812 г., и был оставлен при ней преподавателем ботаники; позже он занял кафедру терапии. С 1824 г. одновременно стал профессором Московского университета. Дядьковский пользовался огромной популярностью и имел немало последователей среди научной молодежи. Он был близко знаком со многими деятелями русской культуры: В. Г. Белинским, А. И. Герценом, Н. П. Огаревым, Н. В. Станкевичем, Н. В. Гоголем, М. С. Щепкиным, П. С. Мочаловым и др.

Взгляды Дядьковского нашли отражение уже в его диссертации «Рассуждение об образе действия лекарств на человеческое тело» [2]. Он последовательно развивал в ней тезис о том, что все явления в природе обусловлены естественными причинами и подчинены общим законам развития материи. «...Первичным источником,— писал он,— из которого следует выводить и объяснять все явления природы, нужно считать не силу или какое-то особенное начало, которое до сих пор отыскивали и которое мы можем теперь отвергнуть как совершенно бесполезное произведение вымысла, а только материю как безусловную причину явлений» [3].

Источником развития, утверждал Дядьковский, является сама материя. «Нет никакой нужды,— писал он,— одушевлять материю каким-то жизненным духом, или, следуя трансцендентальным философам, оживотворять ее идеею всеобщей жизни или разделять на субъективную и объективную части... Сама материя содержит в себе начало или основание всех своих действий» [4]. «Я,— писал Дядьковский,— ...совершенно не допускаю... никаких сил вне материи... Для объяснения явлений, совершающихся в материи, нет никакой надобности принимать находящиеся вне материи необъяснимые силы» [1].

[1] *М. А. Максимович.* Письмо о философии.— «Телескоп», 1833, № 12, с. 428—429.
[2] *J. Dladkowsky.* Dissertatio inauguralis. De modo quo agunt medicamenta in corpus humanum. Mosquae, 1816.
[3] *И. Е. Дядьковский.* Рассуждение об образе действия лекарств на человеческое тело.— Цит. по кн.: Избранные произведения русских естествоиспытателей первой половины XIX века. М., Соцэкгиз, 1959, с. 262.
[4] Там же, с. 262—263.

Дядьковский решительно отвергал витализм. Жизнь, по его представлениям, есть непрерывный физико-химический процесс.

Философский материализм Дядьковского ярко раскрывается в его взглядах на природу восприятия. Вслед за Дидро он писал, что в основе восприятия лежит свойство материи отвечать в той или иной форме на внешние воздействия. На более высоком этапе развития органической природы появляется новое свойство органических тел — ощущение, на базе которого возникает сознание. Эти высшие формы проявления связи организма с окружающей средой Дядьковский связывал с деятельностью нервной системы.

Отстаивая материалистический взгляд на природу, он доказывал, что мышление не есть сверхъестественное и чудесное свойство, но что оно целиком зависит от деятельности мозга — единственного органа мышления. Всякое нарушение психической жизни человека, по его мнению, «зависит от расстройства или деятельности, или организации мозга».

Дальнейшее развитие этих идей мы находим у И. Т. Глебова, ученика Дядьковского и учителя И. М. Сеченова. В своей диссертации «О страстях с физиологической, патологической, терапевтической и фармакологической точек зрения» (De pathematibus sensu physiologico, pathologico, therapeutico et pharmacologico», 1833) [2] Глебов пытался материалистически объяснить происхождение и основные закономерности психической деятельности. Конечно, в то время эта задача была еще неразрешимой, и представления Глебова, так же как взгляды его учителя Дядьковского, несут на себе сильный отпечаток механицизма.

Основой и критерием проверки научных теорий, по мнению Дядьковского, должен быть опыт. Всякую теорию, противоречащую опыту, он считал «не токмо бесполезной, но и вредной».

Признавая самодвижение материи, Дядьковский естественно пришел к представлению о развитии природы вообще и органического мира в частности. В своей диссертации он совершенно определенно писал о превращении одних видов в другие под влиянием пищи, климата и образа жизни. Более того, он писал в ней о единстве происхождения животных и человека. Многообразие в природе, разъяснял он, не изначально, и видимая целесообразность органических форм объясняется, по его мнению, не какими-то особыми высшими целями, предусмотренными творцом, а естественными причинами.

Дядьковского постигла участь многих передовых русских людей того времени. Его творческая деятельность была насильственно прервана. В 1835 г. он был изгнан из университета за атеистические убеждения и лишен возможности вести научную работу.

Идея единства эмпирического исследования и теоретического знания и идея развития нашли блестящее освещение и обоснование в «Письмах об изучении природы» (1845—1846) Герцена. Это сочинение во многом было ответом на вопросы, занимавшие тогда русских естествоиспытателей и

[1] Избранные произведения русских естествоиспытателей первой половины XIX в., с. 263.
[2] Там же, с. 277—294.

мыслителей. В свою очередь оно оказало огромное влияние на передовые слои русского общества, и в том числе на новое поколение естествоиспытателей.

К началу 40-х годов XIX в. в русской биологии все сильнее и ярче начинает звучать идея исторического подхода к органическому миру. Эту идею с той же решительностью, смелостью и последовательностью, с какой в первые десятилетия XIX в. выступал против витализма Дядьковский, разрабатывал и отстаивал профессор зоологии Московского университета К. Ф. Рулье. Сын сапожника и повивальной бабки, он родился в 1814 г. в Нижнем Новгороде. В 1833 г. окончил Московскую медико-хирургическую академию и, прослужив два года врачом, перешел в Московский университет, где с 1840 г. стал профессором зоологии. Он занимал кафедру зоологии в Московском университете до 1858 г., когда неожиданно умер.

В духе уже вполне сложившихся к тому времени среди русских естествоиспытателей взглядов Рулье считал нелепостью самую постановку вопроса о науке чисто опытной или чисто умозрительной. «Наблюдения и опыт немы,— писал он в 1841 г., — их должно объяснить, им должно дать значение, без того они будут лежать без пользы в науке... Зоология и вся естественная история по преимуществу опытная уже потому, что она исследует тела, и вместе с тем умозрительная потому, что должна представлять собою форму науки, а не беспорядочный, безотчетный набор необъяснимых фактов, схваченных наудачу или на случай»[1]. В природе все находится, учил он, «во внутренней, необходимой, причинной органической связи»[2]. Но это не застывшее, не однажды созданное и неизменное единство. «В природе,— писал он,— нет покоя, нет застоя... В природе всеобщее непрерывное движение. Самая малейшая пылинка, лежащая в глубине материка или вод, действует на окружающее и находится под обратным воздействием его»[3]. Все существующее имеет свою историю: подлинное, всестороннее изучение явления, доказывал Рулье, требует рассмотрения его в развитии. В природе, говорил он в 1852 г., «нет ничего вдруг, от начала данного, а все образуется путем медленных непрестанных изменений»[4]. «Образование в пространстве,— утверждал он, — становится понятным из постигания происхождения во времени»[5]. В соответствии с этим он предлагал следующее решение вопроса о методе научного исследования. «Научный путь — есть опытное исследование предмета или явления в его последовательном развитии, не как уединенного, оторванного, но как необходимо связанного с другими, относительно внешними явлениями»[6].

Рулье значительно расширил и углубил само понятие опыта. Одним из первых среди биологов он истолковывал опыт не только как наблюдение и лабораторный эксперимент, но включил в него и практику сельского хозяйства.

---

[1] *К. Ф. Рулье.* Избранные биологические произведения. М., Изд-во АН СССР, 1954, с. 28—29.
[2] Там же, с. 139.
[3] *К. Ф. Рулье.* О животных Московской губернии. М., 1845, с. 2.
[4] *К. Ф. Рулье.* Избранные биологические произведения, с. 216.
[5] Там же, с. 76—77.
[6] Там же, с. 139—140.

РАЗВИТИЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЙ ОБ ЭВОЛЮЦИИ ОРГАНИЧЕСКОГО МИРА

Идея развития природы, высказанная в XVIII в. французскими материалистами, в частности Ламеттри и Дидро, а также Ломоносовым, Бюффоном и некоторыми другими естествоиспытателями, была встречена в штыки и не получила признания в науке. Такой же была судьба и первого учения об эволюции органического мира, разработанного в начале XIX в. Ламарком.

Особенно усложнилась обстановка для защитников идеи эволюции после 1830 г., когда Жоффруа Сент-Илер потерпел поражение в своем знаменитом споре с Кювье во французской Академии наук. Даже такой крупный ученый, как Т. Гексли, ставший впоследствии одним из самых выдающихся борцов за дарвинизм, вплоть до выхода «Происхождения видов» (1859) Ч. Дарвина высказывался против попыток исторического толкования органического мира. Могучая сила традиции сказалась и на воззрениях Лайеля. Его учение о постепенном преобразовании земной поверхности и условий жизни на ней с необходимостью вело к признанию постепенного преобразования животных и растений, изменяемости видов. Однако Лайель не видел этого и даже после ознакомления с трудом Дарвина «Происхождение видов» не сразу принял теорию эволюции органического мира.

Однако и в это тяжелое для эволюционной теории время были естествоиспытатели, которые, хотя и робко и в большинстве случаев только частично, все же принимали идею эволюции и пытались обосновывать ее новым фактическим материалом. К таким естествоиспытателям принадлежали Жоффруа Сент-Илер во Франции, Л. фон-Бух, Б. Котта, Л. Окен в Германии, Ф. Унгер в Австрии, Ж. д'Омалиус в Бельгии, А. Моритци в Швейцарии. В Англии, по мнению Дарвина, определенную роль в подготовке общественного мнения к принятию теории эволюции сыграла книга Р. Чемберса «Следы творения», вышедшая анонимно в 1844 г. Правда, для большинства ученых, писавших в те годы об изменяемости видов, идея эволюции не была руководящей. Они почти не пытались применить ее в своих специальных исследованиях и не поднялись до мысли, что именно идея эволюции открывает широкие горизонты познания органического мира. Идея постоянства видов в общем оставалась в первой половине XIX в. господствующей в мировой науке.

Несколько по-иному сложилась обстановка в России. Без преувеличения можно сказать, что ряд ведущих русских естествоиспытателей первой половины XIX в. были сторонниками идеи развития, а отдельные из них выступали горячими, решительными и смелыми ее защитниками. Этому, на наш взгляд, способствовали многие обстоятельства. Некоторые из этих обстоятельств были общими для русских и западноевропейских ученых того времени. К ним следует отнести наличие таких важных трудов по вопросам эволюции, как труды Бюффона, Ламарка, Жоффруа Сент-Илера; быстрое накопление большого нового фактического материала, вплотную подводившего к необходимости признания изменяемости видов; возникновение в первой трети XIX в. исторической геологии и палеонтологии, показавших, что земная поверхность и населявшие ее животные и растения некогда были совершенно иными; наконец, быстрое развитие срав-

нительной анатомии, возникновение в 30-е годы XIX в. сравнительной эмбриологии, успехи географии растений и зоогеографии.

Наряду с этим в России были и некоторые специфические условия, способствовавшие распространению эволюционных воззрений. Как уже говорилось в гл. 11, борьба против официальной идеологии, особенно после восстания декабристов, приобрела в России особое значение и особую остроту. Это нашло отражение в творчестве многих русских мыслителей, в первую очередь Белинского и Герцена. Передовые умы России искали пути изменения социального строя, переустройства общества. Прямое вооруженное столкновение с самодержавием в 1825 г. окончилось неудачей из-за узости круга его участников. Но жизнь настойчиво требовала изменений, и, чтобы сделать их возможными, нужно было подорвать влияние идеологии самодержавия, распространить новое мировоззрение. В этих условиях борьба мировоззрений стала боевым вопросом дня. Биология, проблемы которой так близко соприкасались со жгучими вопросами мировоззрения, не могла не быть затронута общим течением теоретической мысли в стране, и русские биологи сознательно или стихийно отвечали на вопросы, поставленные жизнью общества.

Наконец, на развитие эволюционной мысли в России помимо трудов Бюффона, Дидро, Эразма Дарвина, Ламарка, Жоффруа Сент-Илера, Гегеля, Окена и других могли непосредственно влиять труды Ломоносова и Радищева, в которых была заложена основа для развития исторического взгляда на природу.

Уже в 1806 г. профессор Московского университета И. А. Двигубский в «Слове о нынешнем состоянии земной поверхности» [1], опираясь на идеи Ломоносова и других русских и иностранных ученых, утверждал, что земная поверхность и населяющие ее существа с течением времени под действием естественных причин претерпели коренные изменения. Они трудно уловимы, поскольку протекают на протяжении длительного времени и не катастрофически, а постепенно. Заслуживает внимания, что уже тогда Двигубский утверждал, что геологические силы, действовавшие в прошлом и действующие ныне, по существу идентичны. «Что за несколько тысяч лет происходило в образованном уже земном шаре, то происходит и теперь в глазах наших; хотя большая часть явлений нам, как кратковременным жителям на сем шаре, мало приметна...» [2].

Обнаружение противоречия между накопившимися фактами, говорившими об изменяемости форм, и существовавшими представлениями о неизменяемости природы само по себе еще не решало проблемы. Только создание теории, которая объяснила бы факт эволюции, могло вызвать перелом. К этому шли разными путями. Одни приходили к эволюционным взглядам как к естественнонаучному выводу из материалистического рассмотрения природы, хотя специально проблемой эволюции не занимались. Таким путем, как уже говорилось, шел Дядьковский.

Другая, значительно большая группа ученых — Я. К. Кайданов, М. Г. Павлов, П. Ф. Горянинов, Э. И. Эйхвальд, Г. Е. Щуровский и некоторые другие — искала выхода в признании развития от низшего к высшему всеобщим принципом, которому следует природа. При этом,

[1] См.: Избранные произведения русских естествоиспытателей первой половины XIX века, с. 55—68.
[2] Там же, с. 67.

однако, отсутствовала постановка вопроса об исторически преемственной изменяемости видов и их связи по происхождению. В трудах этих ученых были также отдельные попытки на фактическом материале показать, что на протяжении длительного времени формы растений и животных претерпели значительные изменения, но опять-таки без прослеживания исторической преемственности этих изменений. Некоторые из этих ученых нередко употребляли такие понятия, как «постепенное развитие», «переходные формы», но под этим подразумевалась не подлинная, историческая преемственность, а возможность представить организмы в виде ряда постепенно усложняющихся форм. Понятие «родство» или «сродство» форм для большинства ученых первой половины XIX в. означало не подлинное родство по происхождению, но лишь высокую степень подобия строения.

Наиболее характерны для этого направления работы Горянинова. Профессор петербургской Медико-хирургической академии, он был автором широко известных в то время в России учебников ботаники, зоологии и минералогии, создал оригинальную систему растений, которую изложил в книге «Первые черты системы природы...» («Primae lineae systematis naturae...», Петербург, 1834). Главными элементами, составляющими всю природу, Горянинов считал кислород, водород, углерод и азот. В результате различного сочетания этих элементов образовались все остальные элементы, составившие два круга: один — бесформенный, или аморфный, неорганический; второй — органический, характерная особенность которого — клеточное строение. Первичное образование живой материи, по Горянинову, произошло после охлаждения нашей планеты в результате взаимодействия воды, воздуха и других химических соединений с эфиром, олицетворяющим тепло и свет. Возникшие таким путем скученные ядра живой материи образуют затем клетки. Природа едина; от эфира до человека прослеживается непрерывная линия постепенного восхождения от низшего к высшему. Эта линия представлялась Горянинову в виде спирали, основание которой — первичный эфир, а вершина — человек. Исходя из признания развития органического мира, Горянинов создал систему растений, в которой с удивительной точностью определил места многих групп растений в растительном царстве. Однако дальше принятия принципа развития природы Горянинов не пошел. Ни в этом, ни в других его сочинениях конкретных представлений о процессе эволюции мы не находим. Без ответа оставался в его работах и вопрос о причинах развития в органическом мире.

В «Первых чертах системы природы...» («Primae lineae...»), а затем и в других своих сочинениях Горянинов высказывал мысль о клеточном строении организмов и считал его главным признаком, отличающим органический мир от неорганического. Но эти мысли были высказаны лишь в самой общей, натурфилософской форме и не были обоснованы фактическим биологическим материалом. Интересно, однако, что за ними стояло убеждение в единстве органического мира.

Сомнения в справедливости догматических представлений о независимом происхождении видов и их абсолютной неизменяемости и даже отказ от таких представлений видны и в сочинениях Эйхвальда, относящихся еще к 20—30 годам XIX в., хотя в эти годы он не пришел еще к эволюционным взглядам в собственном смысле слова. Так, в сочинении «О границах царства животных и ступенях развития» («De regni animalis



Древо животной жизни по Э. И. Эйхвальду (1829 г.)

limitibus atque evolutionis gradibus», Dorpati, 1821), а затем в двухтомном курсе зоологии («Zoologia specialis», v. I—II, Wilnae, 1829—1831) он писал, что основные типы животных и растений возникли не сразу, а образовались постепенно от общего корня — первичной слизи, зародившейся в водах первобытного океана, покрывавшего некогда поверхность земли, и что «каждый последующий вид животных как бы рождается и развивается из предыдущего, и семьи и разряды животных непрерывно вступают между собою все в более тесные связи» [1]. Эта мысль иллюстрируется в книге Эйхвальда рисунком, на котором животный мир изображен в виде древа. После «Elenchus Zoophytorum» (1766) Палласа это была, вероятно, первая попытка уподобить связь между основными группами органического мира ветвящемуся древу. И хотя связи эти ни в тексте, ни на рисунке ясно не обозначены, сама идея, несомненно, противоречила не только религиозным представлениям, но и взглядам, широко распространенным тогда среди биологов.

Эйхвальд подробно обсуждал недостатки искусственных систем и отстаивал преимущества принципов естественной систематики. Взамен четырех типов Кювье он предложил подразделить животный мир на шесть типов. Эйхвальд выделил два новых типа — тип червей и тип Phytozoa. К вопросу о построении естественной системы животных Эйхвальд вновь вернулся в 1833 г. в статье «О новом разделении (классификации) животных» («Ueber eine neue Eintheilung der Thiere») [2].

В ней он указал недостатки систем Кювье, Бленвиля, Латрейля и других и настойчиво стремился показать связь между типами, наличие переходов между ними. Правда, эти связи и переходы Эйхвальд, как и другие биологи его времени, еще не осмысливал в качестве подлинных филогенетических связей, но сама постановка вопроса о связях между типами означала сомнение в учении Кювье и его сторонников о независимом происхождении и постоянстве органических форм.

Теоретические взгляды Эйхвальда не отличались ясностью. Только в третьем томе его «Палеонтологии России», вышедшем в свет в 1861 г.,

[1] Zoologia specialis, § 34.
[2] См.: «Zeitschrift für die Organische Physik», 1833, Bd. III, Heft III, Eisenach, S. 261—326.

т. е. уже после книги Дарвина «Происхождение видов», мы находим вполне отчетливые эволюционные высказывания. Тем не менее на примере творчества Эйхвальда мы видим, как уже в первые десятилетия XIX в. постепенно, мучительно, с большими колебаниями, оступаясь, биологи с разных сторон шли к созданию новых представлений об органическом мире. То же самое можно сказать и о Щуровском, ранние работы которого, как и работы Эйхвальда, носили известный натурфилософский оттенок. Это было в то время распространенным явлением, и объясняется оно тем, что накопленный материал свидетельствовал о какой-то аномалии, подсказывал необходимость пересмотра старой теории, но был еще недостаточен для выявления подлинных связей в природе, и недостаток в научных знаниях восполнялся надуманными туманными построениями.

В 1834 г. Щуровский опубликовал книгу «Органология животных». В ней обстоятельно излагались взгляды Жоффруа Сент-Илера, и если и не делались эволюционные в собственном смысле слова выводы из приводимого сравнительно-анатомического материала, как не сделал их, во всяком случае до 30-х годов, сам Жоффруа, то содержалось безусловное признание единства организации животных и был поставлен вопрос об источнике этого единства, об изменяемости органов, о необходимости тесного взаимодействия морфологии и физиологии при изучении закономерностей развития органических форм и т. д. Щуровский различал гомологию и аналогию в строении органов, отмечал значение изучения эмбриональных стадий для установления единства организации животных. В 1841 г. в книге «Уральский хребет...» Щуровский уже совершенно определенно писал, что постепенное развитие «есть коренной закон природы». Относительно причин развития органического мира он писал: «Внешние условия жизни с самого начала были весьма различны от нынешних, и только исподволь, постепенно сближались с тем, что они (стали) в настоящее время. С этой постепенностью условий, должно думать, согласовалось и развитие животных... Таким образом, все прежние животные, несмотря на всю разрозненность, сливаются в одно постепенно усовершающее целое» [1].

В начале и особенно с середины 30-х годов XIX в. наряду с натурфилософским подходом к идее развития органического мира мы сталкиваемся уже с первыми попытками рассмотреть эволюцию как процесс видообразования. Такие попытки мы видим в работах Максимовича, Пандера и Бэра. Натурфилософский подход в трудах русских биологов становится все более редким и заменяется стремлением обосновать конкретным фактическим материалом подлинную, исторически преемственную эволюцию органических форм.

«Природа представляет собою,— писал Максимович в 1827 г., — непрерывную цепь явлений, состоит во всегдашнем движении; покоя в ней нет,— покой только есть относительный,— движение составляет жизнь природы» [2]. Еще раньше, в 1824 г., Максимович писал, что органический мир развивался постепенно и произошел из неорганического; органические тела возникли первоначально в виде простейших форм, которые,

[1] *Г. Е. Щуровский.* Уральский хребет в физико-географическом, геогностическом и минералогическом отношениях. М., 1841, с. 169—170.
[2] *М. А. Максимович.* О разделении естествознания на ветви или особенные науки.— Новый магазин естественной истории, физики, химии и сведений экономических, 1827, ч. I, № 1, с. 9.

развиваясь и превращаясь, создавали все многообразие ныне существующих организмов; основой организма являются пузырьки — клетки [1].

В отличие от Окена, идеи которого о первичных слизистых пузырьках подсказали Максимовичу мысль о клеточном строении организмов, Максимович рассматривал клетку как конкретное биологическое образование. Это достаточно ясно видно из его статьи «О системе растительного царства» (1823), в которой он писал, что развитие растения из исходной клетки не есть простой рост, увеличение размеров тела, но что в ходе развития происходит новообразование. Те же мысли он развивал и в своей книге «Основания ботаники» (1828). С клеткой Максимович связывал течение органических процессов, видел в ней сложные биологические образования с определенными физиологическими функциями.

В книге «О системах растительного царства» (1827) он дал обстоятельный анализ основных систем растений и решительно выступил против искусственной систематики. Системы, утверждал он, должны отражать подлинные связи между различными группами растений, отражать растительный мир таким, каков он есть в действительности. Система, предложенная Максимовичем, была далека от такого идеала и, конечно, не была естественной в подлинном смысле слова. Но в поисках путей ее построения Максимович высказал немало замечательных мыслей и догадок, в которых видно продвижение к подлинно эволюционным взглядам. В книге «Систематика растений» (1831) он писал, что степени сродства существуют не только в нашем воображении, но отражают реальные связи в природе. Максимович различал понятия «сродство» и «подобие» («киты — писал он,— подобны рыбам, но сродны зверям»). Виды—реальные группировки, обладающие устойчивыми свойствами. «Но в строгом смысле в природе не бывает и двух особей точь-в-точь одинаковых» [2]. Если такие особи попадают в различные условия, они дают начало разновидностям, которые тем больше отличаются друг от друга, чем более различаются условия, в которых они произрастают. Количество разновидностей особенно велико у видов, распространенных на больших пространствах. По-видимому, заключает Максимович, виды «суть только давно происшедшие и постоянные разности» (т. е. разновидности, по современной терминологии) [3]. Здесь, как мы видим, речь уже идет не о развитии вообще, а о конкретном пути эволюции видов.

Значительный шаг вперед в развитии эволюционных представлений был сделан Бэром. Уже его ранние работы, относящиеся к самому началу 20-х годов XIX в. (большая часть их была опубликована только в конце 50-х годов XX в. [4]), показывают, что мысль этого выдающегося ученого билась над проблемой развития природы с самого начала его научной деятельности. Однако в 20-е годы он не пришел к еще определенному выводу. В понятия «сродство» и «переходные формы», которые он широко употреблял в те годы, он не вкладывал эволюционного, филогенетического содержания. Любопытно, что во второй половине 20-х годов в связи со своими эмбриологическими исследованиями, давшими столь богатый ма-

[1] См.: *М. А. Максимович.* Главные основания зоологии. М., 1824, с. 16.
[2] *М. А. Максимович.* Систематика растений, М., 1831, с. 55.
[3] Там же, с. 57.
[4] См.: Неизданные рукописи К. Бэра. Анналы биологии, т. I. М., Изд. МОИП, 1959; *С. Р. Микулинский.* О неизвестных рукописях и других материалах К. М. Бэра.— «Вестник АН СССР», 1960, № 3.

териал для доказательства эволюции, он не только не признал ее наличие, но даже отверг саму идею эволюции. Это удивительный, но далеко не редкий случай в истории науки. Такие ситуации складывались не раз в различных отраслях знания. Они свидетельствуют о сложности процесса научного творчества. Бэр на большом фактическом материале вскрыл ошибочность представления о том, что этапы развития зародыша повторяют последовательный восходящий ряд взрослых форм. Полагая, что это ошибочное представление возникло как логическое следствие признания эволюции, он отверг ее.



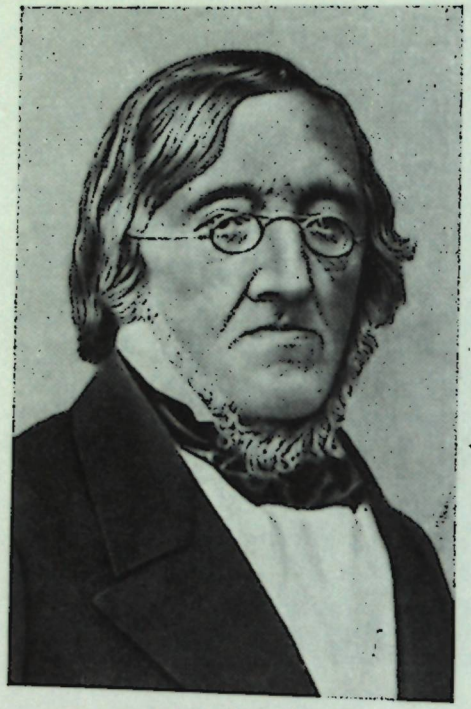
М. А. Максимович

Однако уже очень скоро, в начале 30-х годов, Бэр на основе изучения данных об изменчивости животных в домашнем состоянии, географического размещения животных и данных палеонтологии не только пришел к выводу об эволюции органического мира, но признал проблему эволюции одной из наиболее важных для биологии, отправным пунктом биологических исследований. Его работа «Всеобщий закон развития природы» (1834) [1] была наиболее глубоким систематическим изложением и обоснованием учения об эволюции в период между Ламарком и Дарвином. Особенно подробно Бэр показал в этой работе значение для обоснования учения об эволюции данных о географическом распространении видов. Он привел также большое число фактов об изменчивости животных в домашнем состоянии и палеонтологических свидетельств в пользу признания эволюции. В высшей степени любопытно, однако, что среди фактов, подтверждающих изменчивость видов, Бэр совершенно не упомянул данные эмбриологии.

Бэр не считал доказанной эволюцию от низших до самых высших форм; он допускал лишь превращение видов в пределах рода, но не исключал, что в будущем будет доказана и эволюция в более широких пределах.

Бэру принадлежат также большие заслуги в определении основных направлений эволюции. Главным из них он считал прогрессивное развитие. Он выдвинул и обосновал критерий высоты организации, который приняли и использовали в своих исследованиях многие биологи, в том числе Дарвин. Этим, однако, не ограничиваются заслуги Бэра в выяснении направлений эволюции. При чтении его работы 1834 г. бросается в глаза, что, кроме того, он ясно указал в ней еще на два важных направле-

[1] См.: Избранные произведения русских естествоиспытателей первой половины XIX века, с. 200—216.



К. М. Бэр

ния эволюции. Писавшие о Бэре почему-то не обратили на это внимания. Этими направлениями, согласно Бэру, были: 1) усовершенствование строения в последовательном ряду форм, обеспечивающее увеличение подвижности; 2) увеличение в последовательном ряду форм размеров головного мозга относительно массы тела. Последний вывод часто недостаточно обоснованно связывают исключительно с работами Э. Ларте и О. Марша.

Что касается причин изменчивости и развития органических форм, то взгляды Бэра по этому вопросу были весьма противоречивы. Во всех случаях, когда он рассматривал эти вопросы как естествоиспытатель, он сводил их к взаимодействию организмов с внешней средой. Он видел устойчивость организмов к внешним влияниям, отвергал наследование изменений, вызванных случайными внезапными воздействиями, таких, например, как потеря пальцев, ушей, хвостов, рогов и т. п. в результате травм. «Напротив,— писал он, — каждое возникающее при образовании самой особи уклонение от нормы передается дальше при размножении... Если таким образом измененные внешние влияния изменяют способ питания, то они должны воздействовать и на размножение, и чем долее это влияние продолжалось в течение ряда поколений, с тем большей силою действует оно и на последующие поколения, даже если само это влияние уже прекратилось»[1]. Однако как только Бэр переходил от рассмотрения причин изменчивости организмов к вопросу о движущих причинах развития от низшего к высшему, он покидал почву естествознания и видел эти причины в особой, имманентно присущей природе «целестремительности». Идеалистическая система взглядов, которой придерживался Бэр в общих философских вопросах, помешала ему в дальнейшем принять теорию Дарвина; он выступил против учения об отборе как главном факторе эволюции, хотя и не отказался от самой идеи эволюции. Любопытно, что еще в 1850 г., т. е. за 9 лет до выхода книги Дарвина о происхождении видов, Бэр обсуждал возможность объяснения эволюции с помощью отбора, но отверг такое объяснение как материалистическое, поскольку оно расходилось с его философскими убеждениями. При всей ограниченности и противоречивости взглядов Бэра на эволюцию, они свидетельствовали о приближающемся крахе учения о неизменяемости природы.

[1] См.: Избранные произведения русских естествоиспытателей первой половины XIX века, с. 206.

Идеи изменчивости видов придерживался и Пандер, пришедший к ней на основе изучения скелетов современных и ископаемых позвоночных. В третьем выпуске «Сравнительной остеологии» («Vergleichende Osteologie», III Lieferung, Bonn, 1822), подготовленном им совместно с д'Альтоном, прямо говорилось, что о появлении новых форм иначе как путем постепенного преобразования не может быть и речи. В шестом выпуске (1824), не называя Кювье, авторы полностью отвергли взгляды, составляющие основу его общих представлений об органическом мире. «То воззрение, по которому животные в разнообразии их форм рассматриваются как замкнутое независимое целое, неизменяемое посредством внешних влияний, не только не может объяснить разнообразие животного мира, но и лишает всякого смысла сравнения животных между собой»[1]. Изменение организации животных, говорилось там же, могло произойти «через посредство ряда связанных между собой переходных звеньев, под влиянием длительного постоянного воздействия изменяющихся внешних условий и под влиянием постепенных изменений в направлении склонностей животных»[2].

Довольно ясно выраженных эволюционных воззрений придерживался в своем «Курсе геогнозии» (1839) профессор Петербургского горного института Д. И. Соколов, опиравшийся в этой книге на работы Добюиссона (в переработке А. Бюра) и Б. Котта (D'Aubuisson de Voisins. «Traité de Géognosie», Paris, 1834; B. Cotta. «Geologisches Glaubensbekenntnis», Dresden, 1835) и др.

Мы упомянули здесь далеко не всех русских ученых, которые в той или иной мере способствовали разработке или распространению эволюционных идей в первые десятилетия XIX в. Не надо, однако, думать, что процесс этот протекал без борьбы и трудностей. Далеко не все ученые разделяли эволюционные взгляды. Так, например, профессор зоологии Петербургского университета С. С. Куторга опубликовал специальную брошюру, само название которой: «Несколько слов против теории постепенного возникновения органических существ на Земле» («Einige Worte gegen die Theorie der stufenweisen Entstehung der organischen Wesen auf der Erde», Bonn, 1839) говорит о ее направленности. В ней в самых энергичных выражениях отвергалась как противоречащая учению церкви идея постепенного преемственного развития природы, утверждалось, что все виды возникли сразу. Позже, в 50-е годы, Куторга примкнул к взглядам учеников Кювье Л. Агассиса и А. Д'Орбиньи, признавших ряд последовательных актов творения.

Нужно сказать, что середина XIX в. вообще была весьма неблагоприятным временем для развития эволюционных идей. Первые эволюционные концепции не смогли дать удовлетворительного объяснения процесса эволюции, и время подъема и надежд сменилось сомнениями и разочарованием. В России это время совпало с усилением общей политической реакции, преследованием передовых идей после подавления революционных выступлений в Европе в конце 40-х годов. Была введена в действие целая система охранительных мер. Гнет самодержавный дополнялся гнетом церковным. Идея развития природы рассматривалась как подрывающая основы не только религии, но и государства.

[1] Цит. по кн.: *Б. Е. Райков.* Русские биологи-эволюционисты до Дарвина, т. 2. М.—Л., Изд-во АН СССР, 1954, с. 177.
[2] Там же, с. 178.

Однако и в это тяжелое время, которое Герцен назвал, имея в виду последние годы царствования Николая I, «темной семилетней ночью», борьба за идею эволюции в России не прекратилась. Именно в 40—50-е годы мы встречаемся с первой в России попыткой создать целостное учение о развитии органического мира. Эту попытку предпринял Рулье. Его глубокую уверенность в историческом развитии природы не могли подорвать ни великая сила вековой традиции, ни неудачи прежних попыток доказать эволюцию, ни грозные запреты церкви, ни мнения мировых авторитетов. Последним он смело бросил в лицо: «Да, говорите, господа, вы, ныне описывающие животных, как будто от начала существующих такими же, какими вы знаете их ныне,— мы не будем довольны вашим авторитетом: накопленных фактов более против вас, нежели за вас» [1].

Уже в первой своей научной статье «Сомнения в зоологии как науке» (1841) Рулье решительно выступает против креационизма. Он не только разрабатывал учение о развитии органического мира, но страстно боролся за него, несмотря на гонения, которым подвергался. Он широко популяризовал его с университетской кафедры, в многочисленных статьях, публичных лекциях, в научно-популярном журнале «Вестник естественных наук», который он основал в 1854 г. В начале 50-х годов вокруг Рулье сформировалась группа молодых ученых, которая составила первую в мировой биологической науке додарвиновского времени школу зоологов-эволюционистов (Н. А. Северцов, А. П. Богданов, Я. А. Борзенков, С. А. Усов и др.). Историческую преемственность и развитие органических форм под воздействием условий существования впервые со времени Ламарка Рулье со всей последовательностью рассматривал как исходный теоретический принцип биологии, в свете которого должны изучаться все явления в органическом мире.

Рулье принадлежат важные исследования по геологии и палеонтологии Подмосковного бассейна. Принципиальное значение, в частности. имело предпринятое им изучение географического распространения моллюсков в юрских морях и тех физико-географических и климатических условий, которые его обусловили. Этим было положено начало палеозоогеографическим и палеоклиматологическим исследованиям. Рулье считал одной из важнейших задач палеонтологии установление связующих звеньев, «переходных членов» между различными группами животных. Недостаточно, писал, он, установить сходство и различия между ископаемыми и ныне живущими формами, необходимо установить действительные связи между ними, выпавшие звенья в цепи современных форм и таким образом обнаружить родство между ныне как бы разорванными группами. Изучение ископаемых «может идти успешно только тогда, когда идет неразрывно, рука об руку с изучением нынешних животных» [2].

С конца 40-х годов Рулье полностью сосредоточился на исследованиях в области зоологии и дал такую глубокую разработку проблемы соотношения организмов с условиями существования, что его без преувеличения можно считать вместе с его учеником Н. А. Северцовым (автором специальной сводки по экологии наземных позвоночных) одним из основоположников экологии животных. Одновременно Рулье подверг изучению

[1] *К. Ф. Рулье.* Избранные биологические произведения, с. 474.
[2] Там же, с. 66.

такое явление, как инстинкт (в частности, в связи с выяснением причин перелетов птиц) и проблему происхождения и природы психической деятельности животных. Эти исследования заложили основы зоопсихологии в России.

Работы Рулье публиковались главным образом на русском языке и поэтому остались почти неизвестными за пределами России. Этим объясняется то, что Рулье не оказал влияния на развитие экологии и зоопсихологии в других странах, хотя многие его идеи опередили свое время.

Особенно следует отметить, что, в отличие от большинства своих предшественников и современников, Рулье не просто время от времени обращался к проблеме эволюции. В его творчестве она стала предметом специального исследования, и под углом зрения учения об эволюции он рассматривал все другие проблемы биологии, в том числе и вопрос о сущности, происхождении и развитии психической деятельности животных.



К. Ф. Рулье

В 1881 г. Борзенков, вспоминая о впечатлении, которое произвела на московских зоологов книга Дарвина «Происхождение видов», писал: «Мы... читали книгу Дарвина, полученную в Москву (в немецком переводе Бронна), когда у нас память о беседах Рулье была еще свежа. Эта книга была не то самое, что мы слышали от Рулье, но что-то такое близкое, такое родственное тому, чему учил нас Карл Францович, что новое учение показалось нам чем-то давно знакомым, только приведенным в большую ясность, более строго научную форму и в особенности обставленным несравненно большим количеством фактических сведений» [1]. Другой ученик Рулье — Богданов в 1885 г. писал, что Рулье «можно назвать предшественником, подготовителем дарвинистического учения» [2].

Рулье не ограничился только поисками доказательств эволюции. Он стремился раскрыть ее движущие силы, выяснить причины и закономерности изменчивости и наследственности. Вслед за Ламарком и Жоффруа Сент-Илером он видел главную причину изменчивости в воздействии на организм внешних условий. Но он не разделял представления Жоффруа, который сводил сложный исторический процесс приспособления организмов к среде к одномоментному акту и недооценивал устойчивость наследственности, в результате чего связь индивидуального и исторического раз-

[1] *Я. А. Борзенков.* Исторический очерк направлений, существовавших в зоологических науках в XIX столетии. М., 1881, с. 43.
[2] *А. П. Богданов.* К. Ф. Рулье и его предшественники по кафедре зоологии в Московском университете. М., 1885, с. 131.

вития выпадала из поля его зрения. Поэтому учению Кювье, с одной стороны, и учению Жоффруа — с другой, Рулье противопоставляет свой взгляд, который он с полным основанием называет «нашим учением». В его основе лежало убеждение, что никакое явление в органическом мире не может определяться ни только внешними условиями, ни исключительно внутренними закономерностями организма, но лишь их взаимодействием. Рулье ясно сознавал, что изменчивость и наследственность неразрывны и представляют собой две стороны единого процесса развития.

Большое внимание Рулье уделял также таким проблемам, как влияние функций на строение органов, закономерности изменений органов в связи с утратой функций, их сменой и расширением, коррелятивная изменчивость, редукция органов.

Заслуживает внимания и то обстоятельство, что под внешними условиями Рулье понимал не только абиотическую среду, но и взаимодействие между организмами. Он отличал отношения внутри вида от межвидовых отношений, отмечал факты вытеснения одних видов другими, писал о «соперничестве» между видами. Так, например в статье «Образование каменного угля» мы читаем: «Ежели выгодные условия дозволят и какая-нибудь форма растений, особенно высших, укрепится, то, конечно, не находя многих соперников, ей легко завладеть местностью и помешать развитию всего того, что придет на эту местность после нее» [1]. В ряде статей он приводил примеры вытеснения одних видов другими. Не осталось вне его внимания и несоответствие между числом воспроизводимых зародышей и числом особей, достигающих зрелости. Мы встречаем у него такие выражения, как «война в природе», уподобление природы «естественному театру войны». Однако он не смог замеченным фактам дать правильного объяснения и иногда, как, например, при объяснении прогрессии размножения, впадал в телеологию.

Наряду с процессом постепенного изменения видов Рулье отмечал и полное вымирание отдельных видов и более крупных систематических групп. Он придавал этому обстоятельству большое значение и неоднократно возвращался к этому вопросу. Последнее особенно заслуживает внимания, и не потому только, что он был едва ли не первым эволюционистом, глубоко заинтересовавшимся проблемой вымирания, но еще и потому, что ему пришлось преодолеть ошибочные суждения Ламарка по этому вопросу.

Рулье не поднялся до открытия роли естественного отбора в эволюции. Поэтому его учение не приобрело той стройности и убедительности, той универсальности в объяснении множества явлений, какой достигло учение Дарвина. Как и все биологи до Дарвина, он не смог объяснить целесообразность в природе — этот камень преткновения всех эволюционных построений до Дарвина. Тем не менее в его творчестве нельзя не видеть крупного шага вперед в развитии эволюционных представлений.

Как никто до него, Рулье широко привлек к обоснованию учения об эволюции фактический материал, накопленный сельскохозяйственной практикой. Никто другой до Дарвина, кроме Рулье, так глубоко не понимал взаимосвязь индивидуального и исторического развития. Творчески усвоив идею Ламарка о постепенности и преемственности в развитии органического мира, Рулье разработал сравнительно-исторический метод исследования и превратил его в инструмент для изучения всех сторон жизни и строения органических форм. Он показал возможность доказательства эволюции, не прибегая к апелляции к «внутренним усилиям» животных, «воле к усовершенствованию» и другим ошибочным представлениям о факторах, ведущих к повышению организации животных, которые были присущи учению Ламарка о градациях. Он отбросил механистические представления Ламарка об «оргазме», внес принципиальные коррективы в представления Жоффруа Сент-Илера о наследственности и т. д. Все это приближало торжество гипотезы эволюции, способствовало распространению в России материалистического мировоззрения и развитию теоретических основ биологической науки.

[1] *К. Ф. Рулье.* Образование каменного угля.— «Вестник естествен. наук», 1857, т. 4, № 3, с. 81.

Ученая бюрократия и царское правительство жестоко преследовали Рулье за пламенную проповедь передовых идей в биологии. Книги его изымались, с 1852 г. ему было запрещено выступать с публичными чтениями. Его лекции в университете должны были по приказу министра просвещения читаться лишь в присутствии ректора или декана. Невыносимо тяжелые условия, в которые он был поставлен, видимо, были главной причиной его преждевременной смерти на 44-м году жизни от кровоизлияния в мозг.

ИССЛЕДОВАНИЯ В СПЕЦИАЛЬНЫХ ОБЛАСТЯХ БИОЛОГИИ [1]

В первой половине XIX в. широкий размах получили в России фаунистические и флористические исследования, что было связано с интенсивным развитием экспедиционной деятельности.

В эту работу в начале XIX в., помимо Академии наук, которая к тому времени перестала быть единственным научным учреждением в стране, включались соответствующие кафедры университетов, а также московской и петербургской Медико-хирургических академий, Московское общество испытателей природы, ботанические сады (Петербургский, Московский, Горенский под Москвой, Никитский в Крыму) и зоологические музеи Академии наук и Московского университета.

Отличительная особенность рассматриваемого периода по сравнению с XVIII в.— появление наряду со сводками по фауне и флоре разных районов страны большого числа обстоятельных монографий по отдельным систематическим группам животных и растений. Хотя многие натуралисты продолжали совмещать изучение флоры и фауны, в основном это изучение проводилось уже раздельно ботаниками и зоологами. Перечень всех экспедиций и исследований, предпринятых русскими биологами в первой половине XIX в., занял бы много страниц, поэтому отметим лишь наиболее значительные из них.

Богатый материал для познания фауны и флоры, а также уточнения и углубления представлений о географии и экономике обширных районов страны дали экспедиции Бэра на Новую Землю, в Лапландию, на Волгу, Каспийское море, на Кавказ, в долину Маныча. Особенно важное научное

[1] Раздел написан В. И. Назаровым по книге С. Р. Микулинского «Развитие общих проблем биологии в России». М., Изд-во АН СССР, 1961.

и практическое значение имело выяснение условий существования многих видов промысловых рыб Волго-Каспийского бассейна, в том числе установление их сезонных миграций, мест нереста и причин колебания численности. Созданная под руководством Бэра специальная комиссия Академии наук начала проводить систематическое обследование основных рыбопромысловых районов России.

Важное значение имели исследования профессора Казанского университета Э. А. Эверсманна, он подробно и всесторонне изучил фауну, особенно насекомых и птиц, Оренбургского края, Волго-Уральских степей, Прикаспийской низменности, Кавказа и Средней Азии. Особенно значительна его монография «Естественная история Оренбургского края» (1840—1866 гг.). Им были впервые описаны многие виды птиц, зверей и насекомых. Ему принадлежат также две капитальные монографии по перепончатокрылым и чешуекрылым Волжско-Уральского района, монография о ящерицах России. Собранная им энтомологическая коллекция содержала 11 252 вида. Эверсманн провел множество наблюдений по экологии, в частности над сезонными явлениями в жизни животных. Его исследования способствовали также развитию зоогеографии.

Большой вклад в изучение фауны Сибири внес академик А. Ф. Миддендорф, изложивший результаты своих наблюдений в работе «Путешествие на север и восток Сибири» (1860—1868). В этом сочинении он дал эколого-фаунистическое районирование обследованной территории и на обширном материале вскрыл причины современного географического распространения животных. Миддендорф положил начало широкому сравнительному изучению фауны, выяснению путей взаимного проникновения соседних фаун, роли ландшафтно-географических барьеров в распространении видов и т. д.

Богатые фаунистические коллекции собрал за время длительного пребывания (1839—1849) в дальневосточных районах России, а также на Аляске и в Русской Калифорнии И. Г. Вознесенский, работавший по возвращении из экспедиции консерватором Зоологического музея Академии наук.

Следует отметить также 5-томную сводку профессора Московского университета Г. И. Фишера фон Вальдгейма «Энтомография Российской империи» (1820—1851). Большое значение имели его обширные зоологические и палеонтологические описания ряда районов центральной России. Знания о животном мире страны были также в большой мере расширены благодаря исследованиям И. А. Двигубского, Э. П. Менетрие, Э. И. Эйхвальда, А. Ф. Севастьянова, Ф. А. Геблера, Н. А. Северцова, Ф. Ф. Брандта.

Аналогичная по размаху работа была проделана в области флористики. Растительный мир Севера Европейской части России обследовал Ф. И. Рупрехт. Результаты его исследований были обобщены им в двух капитальных монографиях (1845, 1854). Он же обработал многочисленные материалы, собранные другими натуралистами. Флору юга страны подробно изучил Ф. К. Биберштейн, явившийся автором иконографии растений этой обширной части страны (1810) и «Флоры Крыма и Кавказа» («Flora taurico-caucasica, 1808—1819), содержавшей описание 2322 видов. Его гербарий, хранящийся ныне в Ботаническом институте Академии наук СССР, содержит около 10 тыс. видов. Огромное значение имели исследования дерптского ботаника К. Ф. Ледебура на Алтае. Их результатом были

4-томная «Флора Алтая» («Flora Altaica», 1829—1833) и наиболее полная сводка «Флора России» («Flora Rossica», 1829—1833), получившая мировую известность. С большой полнотой была изучена флора Иркутской губернии и Забайкалья профессором Харьковского университета Н. С. Турчаниновым. Значительные результаты дала ботаническая экспедиция Г. С. Карелина и И. П. Кирилова на Алтай, в Джунгарию, Зайртышье и Семиречье (1839—1841). К. И. Максимович опубликовал первое описание флоры Приамурского края (1859). К. А. Триниус, крупнейший специалист по злакам всего мира, создал исключительный по полноте гербарий злаков (22 тыс. листов) и выпустил 3-томную сводку по их систематике (1828—1836), содержавшую 360 оригинальных рисунков.

Одновременно русскими натуралистами было начато широкое систематическое изучение животного и растительного мира других стран. Существенную роль сыграли в этом отношении кругосветные плавания и экспедиции в различные страны. Г. И. Лангсдорф собрал обширные коллекции птиц, насекомых и рыб во время первого русского кругосветного плавания (1803—1806), а позднее привез из Бразилии богатейшую коллекцию флоры и фауны. Им же была собрана коллекция редчайших бабочек Бразилии, Китая и Австралии. Богатый и разнообразный материал дали второе и третье кругосветные плавания под командой О. Е. Коцебу (1823—1826) и Ф. П. Литке (1826—1829). Русские ученые (В. Я. Данилевский, В. И. Мочульский К. И. Максимович, Ф. И. Рупрехт, К. Ф. Ледебур, Л. С. Ценковский, П. А. Чихачев) внесли ощутимый вклад в изучение животного и растительного мира Маньчжурии, Китая, Монголии, Тибета, Цейлона, Ирана, Малой Азии, Северной Африки, Бразилии, многих стран Западной Европы.

Благодаря обширным сборам русских ученых Зоологический музей Петербургской академии наук в первой половине XIX в. превратился в первоклассный научный центр, с огромной полнотой охвативший в своих коллекциях животный мир не только России, но и всего земного шара.

В этот же период было положено начало палеозоологическим и палеоботаническим исследованиям территории России, которые вели многие из упомянутых выше биологов, а также Г. Д. Романовский, Х. И. Пандер, Г. П. Гельмерсен, Г. Е. Щуровский, К. Е. Мерклин, А. Д. Нордман, К. Ф. Рулье, С. С. Куторга. Палеонтология постепенно приобретала значение самостоятельной дисциплины в системе морфологических наук.

Заметно продвинулись вперед в первой половине XIX в. изучение морфологии животных и разработка проблем сравнительной анатомии. Однако как по объему проделанной работы, так и по темпам развития эта область значительно отставала от фаунистических исследований.

Большое число исследований по анатомии гельминтов, пластинчатожаберных моллюсков, рыб, рептилий и млекопитающих выполнил профессор Виленского университета Л. Боянус. Тщательность исследований и великолепные рисунки принесли его трудам общеевропейскую известность. В работе, посвященной дыхательной и кровеносной системам пластинчатожаберных моллюсков, он исправил существенные ошибки, допущенные Кювье. Им были подготовлены к печати обширные монографии по анатомии овцы и лошади, а также по сравнительной анатомии зубра, домашнего и ископаемого первобытного быка.

Обстоятельное описание анатомии и систематического положения многих вымерших (мамонт, стеллерова морская корова) и современных

(бобр, выхухоль, тигр, носорог, зубр, северный олень, лось, многие виды рыб и птиц, отдельные группы беспозвоночных) животных выполнил Ф. Ф. Брандт.

Анатомию сельскохозяйственных и домашних животных изучили А. И. Кикин и В. И. Всеволодов. «Анатомия домашних животных» Всеволодова (т. I—II, 1846—1857) содержала также сведения по эмбриональному и постэмбриональному развитию.

Значительный прогресс в изучении анатомии человека и постановке ее преподавания связан с деятельностью профессоров-медиков Е. О. Мухина, П. А. Загорского, И. Ф. Буша, И. В. Буяльского и Н. И. Пирогова. «Анатомико-хирургические таблицы» Буяльского (1828), «Хирургическая анатомия артериальных стволов и фасций», 1837 («Chirurgische Anatomie der Arterienstämme und der Fascien», Dorpat, 1837) и «Топографическая анатомия» («Anatome topografica», 1852) Пирогова получили мировое признание и прочно вошли в золотой фонд науки.

Из сравнительно-анатомических исследований того времени следует упомянуть статьи Боянуса о строении черепа костистых рыб (1818—1821) и его книгу «Введение в сравнительную анатомию» («Introductio in anatomen comparatam». Вильно, 1815). Боянус развил и детализировал идею о позвоночном происхождении черепа, в частности первым признал носовые кости элементом верхней дуги переднего головного позвонка. Он считал, что для выяснения строения того или иного органа необходимо проследить его развитие в ряду низкоорганизованных форм.

Крупной работой в области сравнительной анатомии был многотомный труд Пандера «Сравнительная остеология» («Vergleichende Osteologie», 1821—1831). Снабженный прекрасными рисунками, он содержал описание скелетов представителей основных отрядов млекопитающих, многих видов птиц, а также ископаемого гигантского ленивца в сопоставлении с современными неполнозубыми. Большое значение для выяснения филогении рыб имели исследования Пандера по ископаемым рыбам древнейших отложений России.

Исключительных успехов в первой половине XIX в. достигла эмбриология животных. Решающие успехи в этой области связаны с деятельностью Пандера и особенно Бэра.

Пандер провел систематическое исследование развития куриного зародыша на протяжении первых 5 дней инкубации (1817). Он впервые показал, что определенные системы органов зародыша развиваются из определенного слоя, или листка, бластодермы — дискообразного зачатка, находящегося на поверхности желтка, и установил факт расщепления бластодермы на три слоя, или листка. Тем самым были заложены основы учения о зародышевых листках, которое создало предпосылки для развития сравнительной эмбриологии.

Открытие Пандера, а также обнаружение им первичных складок, которые он, однако, не смог правильно истолковать, послужили отправным пунктом исследований Бэра, на многие годы определивших направление развития эмбриологии во всем мире. Заслуга Бэра прежде всего в том, что он, после почти столетнего спора ученых, совершенно по-новому поставил проблему антитезы преформизм — эпигенез. Он показал, что зародыш не преформирован в яйце, но и не возникает после оплодотворения из бесформенной массы, как полагали сторонники эпигенеза. Эту мысль Бэр со всей определенностью высказал еще в начале 1822 г. в докладе, прочитанном в Кенигсберге. В 1827 г. Бэр открыл яйцо у млекопитающих, в том числе у человека, и детально описал его микроскопическую структуру. Он изучил развитие цыпленка от первого дня насиживания до вылупления из яйца, а затем распространил свои исследования на представителей остальных классов позвоночных. Он внес существенные поправки в описание процесса образования зародышевых листков, сделанное Пандером, и нарисовал точную картину последующих гистологического обособления и органогенеза. Он показал, что развитие зародыша представляет собой постепенное обособление все более специализированных систем органов из первичных более простых закладок, т. е. процесс прогрессирующей дифференциации. В этом он усматривал важнейшую характеристику всякого развития.

Бэр сформулировал следующие закономерности эмбриологического развития: образование общего предшествует возникновению специального; зародыши разных животных обнаруживают большее сходство на ранних этапах эмбриогенеза, чем на более поздних; эмбрионы высших животных напоминают не взрослые формы низших организмов, а их эмбрионы.

Важная заслуга Бэра состояла также в обосновании учения об общности основных стадий развития у всех позвоночных животных. Все это открыло путь к интенсивному исследованию индивидуального развития различных групп животных, давшему богатый материал для обоснования эволюционного учения.

В 30—40-е годы XIX в. появились значительные работы А. Грубе, А. Д. Нордмана и Н. А. Варнека по эмбриологии беспозвоночных. Примерно в это же время начались исследования по эмбриологии растений, пионерами которых стали Н. И. Железнов и Л. С. Ценковский. Железнову принадлежит одно из первых в мире исследований по онтогенезу цветка (1840).

В области клеточного учения первые оригинальные исследования появились в России только во второй половине 40-х годов XIX в. Среди них выделяются работы Бэра (1847) и Варнека (1850), отличающиеся стремлением раскрыть внутренние изменения, происходящие в клетке при делении. Варнек подробно описал изменения в яйце при созревании и оплодотворении.

Первым крупным самостоятельным гистологическим исследованием явилась монография Н. М. Якубовича и Ф. В. Овсянникова «Микроскопическое исследование начал нервов в большом мозгу» (1855). Из более ранних, помимо замечательной работы А. М. Шумлянского, можно отметить лишь работу И. Т. Глебова «Микроскопическое изучение мягких тканей мамонта» (1846). Она представляет интерес в связи с тем, что объектом изучения было ископаемое животное, и может считаться таким образом одним из первых палеогистологических исследований, хотя существенно нового в гистологию она не внесла.

Наряду с довольно высоким в общем уровнем развития биологии в России, особенно ее теоретических областей, физиология животных и растений в рассматриваемый период несколько отставала в своем развитии. Мизерные средства, которые отпускались царским правительством на науку, сильная перегрузка профессоров преподаванием, отсутствие непосредственных стимулов ввиду экономической отсталости страны — все это сдерживало развитие экспериментальных областей биологии. Физиологические же исследования по самой своей природе требуют соответствую-



А. М. Филомафитский

щей экспериментальной базы, лабораторий и специально обученного персонала.

Было бы, однако, ошибочным недооценивать значение русских физиологических исследований первой половины XIX в. Без их учета был бы непонятен небывало стремительный взлет физиологии в России, связанный с именами И. М. Сеченова и И. П. Павлова, который принес ей мировую славу во второй половине века. Блестящие открытия 60-х годов были подготовлены достаточно высоким уровнем разработки в России теоретических проблем физиологии и постепенно накопившимся во второй четверти XIX в. опытом экспериментальных исследований.

Разработка важных проблем физиологии животных и введение экспериментального метода в практику физиологических исследований приходятся на 30—40-е годы в XIX в. Они связаны преимущественно с научной деятельностью профессоров Московского университета А. М. Филомафитского, В. А. Басова, И. Т. Глебова и А. Н. Орловского.

Экспериментальные исследования Филомафитского, горячего защитника вивисекционного метода, привели к ряду важных теоретических и практических открытий. Исследуя процесс дыхания, он пришел к заключению, что источником животной теплоты являются не легкие, как было принято считать, а окислительные физико-химические превращения в тканях организма. Филомафитский впервые начал изучать процессы пищеварения при помощи наложения искусственного свища у собаки — операции, методику которой разработал Басов. Собака с искусственной фистулой желудка впервые демонстрировалась на заседании Московского общества испытателей природы в 1842 г. Этот эксперимент, получивший мировую известность, открыл широкие возможности для изучения физиологии пищеварения и сыграл впоследствии важную роль в исследованиях Павлова. Филомафитский разработал физиологические основы методов переливания крови и применения обезболивающих средств (эфира, хлороформа и т. д.) при операциях. Он сконструировал прибор для переливания крови и предложил эфирную маску для наркоза, которая применяется при операциях и поныне.

Существенную роль в пропаганде экспериментального метода сыграл учебник «Физиология» Филомафитского (ч. 1—3, 1836—1840). Будучи оригинальной критической сводкой современного состояния физиологии, этот учебник, стоявший на уровне лучших руководств того времени, содержал также результаты собственных исследований автора. Важнейшие выводы других физиологов включались в него, как правило, после повторной экспериментальной проверки. Выступив здесь как последователь И. Мюллера, Филомафитский сохранил самостоятельность в трактовке ряда явлений. Со времени Филомафитского и Глебова на естественном и медицинском факультетах Московского университета были введены практические занятия по физиологии и демонстрация опытов на лекциях.

Среди работ об общих функциях организма выделяются исследования по физиологии нервной деятельности. Одними из первых сочинений подобного рода в России были работы Е. О. Мухина «О возбуждениях...» («De stimulis corpus humanum vivum afficientibus», Göttingen, 1804) и «О месте и действии чувствительности» («De sensibilitatis sede et actione», Mosquae, 1817), Глебова «О страстях...» («De pathematibus sensu physiologico...», 1833). От Мухина берут начало такие ставшие характерными для многих русских физиологов (Дядьковский, Глебов, Филомафитский, Орловский) принципиальные установки, как признание детерминированности всей нервной деятельности, рассмотрение всякой реакции организма как ответа на действие внешних или внутренних раздражителей, убеждение в ведущей роли нервной системы не только в координировании деятельности всех систем и органов тела, но и в установлении связи между организмом в целом и внешней средой. В названном выше учебнике физиологии Филомафитского настойчиво проводится мысль о том, что всякое произвольное движение является в сущности рефлекторным и что в этом отношении нет непроходимой пропасти между произвольными и непроизвольными движениями. Однако ни у кого из физиологов этого периода еще нет и намека на попытку распространить рефлекторный принцип на всю психическую деятельность животных и человека.

В 40—50-е годы XIX в. трудами преимущественно русских зоологов были заложены теоретические основы новой, быстро развивающейся науки — экологии животных. Наибольшая заслуга в этом отношении принадлежит Рулье и Северцову. На основе изучения перелетов птиц, миграций рыб и других сезонных явлений в жизни животных, опираясь на тщательное изучение образа жизни современных и ископаемых форм, Рулье создал наиболее глубокое и передовое для своего времени учение о связи органической жизни со средой. Дальнейшим развитием и конкретным применением идей Рулье явился труд Северцова «Периодические явления в жизни зверей, птиц и гад Воронежской губернии» (1855). Это было одно из первых в мировой литературе детальных исследований по экологии наземных позвоночных.

Таким образом, развитие специальных отраслей биологии в России в первой половине XIX в. привело к накоплению богатого фактического материала и ряду важных теоретических обобщений и открытий. И хотя некоторые области биологии в России отставали в своем развитии по сравнению с передовыми западноевропейскими странами, все же достигнутый уровень знаний стал решающей предпосылкой для тех успехов всемирного значения, которых достигла русская биология во второй половине XIX в.

ЧАСТЬ ТРЕТЬЯ

ЕСТЕСТВОЗНАНИЕ В РОССИИ с 60-х годов XIX века до 1917 года

Глава двадцатая

ХАРАКТЕРИСТИКА ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ во второй половине XIX века (до середины 90-х годов)

История России с 1861 г. по 1917 г. явственно делится на два периода: первый — от отмены в 1861 г. крепостного права до середины 90-х годов, когда начался переход русского капитализма в стадию империализма; второй — с середины 90-х годов до Великой Октябрьской социалистической революции (этот период будет рассмотрен в заключительной главе).

Начиная с 60-х годов XIX в. на развитие естествознания в России оказывали воздействие два рода социальных факторов: быстрый экономический подъем пореформенной России и рост революционно-освободительного движения. Под влиянием передовых общественно-политических и философских идей многие представители русской интеллигенции обратились к естественным наукам, где защита передовых идей и учений сливалась с общественно-политической борьбой против самодержавия и крепостничества.

Особенностью развития естествознания в России этого времени было то, что даже в период методологического кризиса в естествознании, происходившего на рубеже XIX и XX вв., идеализм не получил заметного распространения среди естествоиспытателей. Характерным явлением было и то, что в сознание русских ученых идеи диалектики проникали гораздо легче, нежели этот процесс происходил на Западе; тому были свои причины, о которых речь пойдет ниже. И еще одна черта: русские естествоиспытатели того времени не связывали свою деятельность непосредственно с капиталистическими предприятиями. Среди русской прогрессивной интеллигенции был традиционно сильным дух теоретических поисков истины не ради меркантильных соображений, а во имя самого познания и вместе с тем ради содействия экономическому развитию своей страны. Это было связано с желанием ученых отдать свои силы служению народу, его просвещению, повышению общей культуры.

Заметим, что 80-е и особенно 90-е годы были временем, когда начал формироваться российский пролетариат как самостоятельный общественный класс, вышедший на арену экономической и политической борьбы. В это же время в России получает распространение марксистское учение как теоретическое оружие революционного пролетариата.

МИРОВОЕ ЕСТЕСТВОЗНАНИЕ второй половины XIX века

В середине XIX в. в естествознании произошли глубокие изменения, равносильные революционным переворотам. В физике на основе открытого независимо друг от друга в 40-е годы Р. Майером, Дж. Джоулем и другими закона сохранения и превращения энергии быстрыми темпами развивались термодинамика и молекулярно-кинетическая теория газов, связывавшие между собой механику и учение о теплоте. В 70-х годах благодаря трудам Дж. В. Гиббса и Я. Г. Вант-Гоффа возникла химическая термодинамика, связавшая химию (учение о химических реакциях и равновесиях) с термодинамикой. В 80-х годах Сванте Аррениус создал теорию электролитической диссоциации, в которой химическая термодинамика приведена в связь с учением об электричестве (на материале разбавленных водных растворов электролитов). В 1860 г. был открыт Р. Бунзеном и Г. Кирхгоффом и стал быстро развиваться спектральный анализ на стыке физики, химии и астрономии.

В 70-е годы Максвелл создал электромагнитную теорию света, связавшую учение о свете с электромагнетизмом. В 80-х годах, продолжая эту линию физических исследований, Герц открыл электромагнитные волны, практическое использование которых привело А. С. Попова (а несколько позднее — Г. Маркони) к открытию радио (1895).

В химии во второй половине XIX в. происходит быстрое развитие структурных представлений, приведшее в конце 50-х годов к введению понятия валентности, а в середине 60-х годов — к открытию А. Кекуле структурной формулы бензола, за которым последовали (начиная с 70-х годов) сложнейшие органические синтезы таких красителей, как ализарин и индиго. Вместе с тем, в 60-х годах подготовлялось появление естественной системы элементов, созданной на основе открытого Менделеевым периодического закона (1869). Еще раньше, на первом химическом конгрессе в Карлсруэ (1860), были наконец окончательно разграничены понятия атома и молекулы, лежащие в основе атомно-молекулярной теории, что оказало большое влияние на молодого Менделеева.

В биологии на основе учения Дарвина, изложенного в 1859 г. в «Происхождении видов», шла разработка различных аспектов эволюционной теории, был открыт биогенетический закон (И. Мюллер и Э. Геккель) и развита общая концепция взаимодействия между изменчивостью и наследственностью (Геккель). Несколько особняком стояло открытие в 1865 г. статистических законов наследственности (Г. Мендель), значение которых было понято лишь позднее, на рубеже XIX и XX вв.

Крупные успехи были достигнуты в области физиологии растений и животных. Интенсивно развивались в это время и другие отрасли естествознания (геология, астрономия), а также математика.

ЭКОНОМИЧЕСКОЕ РАЗВИТИЕ ПОРЕФОРМЕННОЙ РОССИИ

После крестьянской реформы 1861 г. экономика России начала усиленно развиваться. Однако юридическое освобождение крестьян от крепостной зависимости, открывавшее путь для развития в России капитализма, было проведено далеко не полно и не последовательно. Оно было

осуществлено прежде всего с учетом интересов помещиков, без наделения крестьян землей, которую они обрабатывали, и сохраняло за помещиками их земли и сословные дворянские привилегии. В результате началось сращивание капитализма со многими сохранившимися остатками помещичьего строя. Это породило громадные трудности, вставшие на пути прогрессивного экономического развития страны. В. И. Ленин назвал такой путь развития прусским в отличие от американского пути, который предполагает полное уничтожение остатков крепостничества и который максимально помог бы развитию промышленности в России. Менделеев, с энтузиазмом занявшийся в 60-е годы изучением научных основ земледелия, переработки продуктов сельского хозяйства, организации и экономики сельскохозяйственного производства, писал впоследствии: «Личные усилия убедили меня, однако, очень скоро в том, что с одним земледелием Россия не двинется к надобным ей прогрессу, богатству и силе, останется страною бедною, что настоятельнее всего рост других видов промышленности: горного дела, фабрик, заводов, путей сообщения и торговли» [1].

Однако несмотря на тормозящее влияние сохранившихся форм крепостничества в пореформенной России, экономика страны бурно развивалась. Строились новые фабрики и заводы, вытеснявшие прежние мелкие кустарные предприятия, происходил быстрый рост городов и городского населения. Внедрение вольнонаемного труда в промышленное производство стимулировало технический прогресс. Примерно к 80-м годам в главных отраслях промышленности произошел технико-промышленный переворот, означавший переход от ручного труда к машинному производству.

Наиболее развитым, в том числе и в отношении технического оснащения, было текстильное производство. Но и в тяжелой промышленности — металлургии, энергетике, машиностроении — наблюдались глубокие изменения. Происходило техническое переоснащение этих отраслей промышленности, в результате чего резко возрастала их производительность. С 1867 по 1902 г. выплавка чугуна в России возросла почти в 10 раз, а добыча каменного угля — почти в 50 раз. Начала осуществляться в широких масштабах плавка чугуна на каменном угле, внедрялся мартеновский метод выплавки стали, совершенствовались машины, в частности увеличивалась мощность паровых машин. Число паровых двигателей в Москве (с уездом) с 1860 по 1871 г. возросло от 191 до 912, т. е. почти в 5 раз [2]. Как писал В. И. Ленин, «применение паровых двигателей к производству является одним из наиболее характерных признаков крупной машинной индустрии» [3].

Возник целый ряд новых отраслей тяжелой промышленности, в том числе машиностроение, связанное с бурно развивавшимся железнодорожным и водным транспортом, который стимулировал развитие таких отраслей тяжелой промышленности, как вагоно-, паровозо- и пароходостроение, рельсопрокатное производство и др. Общая длина железнодорожной сети России с 1861 по 1896 г. увеличилась почти в 23 раза, а число речных и морских пароходов возросло за это же время в 6—7 раз. Быстро росло сельскохозяйственное машиностроение.

[1] Архив Д. И. Менделеева, т. I. Л., Изд-во ЛГУ, 1951, с. 31—32.
[2] См. *С. Г. Струмилин.* Очерки экономической истории России и СССР. М., «Наука», 1966, с. 402.
[3] *В. И. Ленин.* Полн. собр. соч., т. 3, с. 506.

С 70-х годов развивается промышленная добыча бакинской нефти, начинается разработка грозненской нефти. Однако хозяйство велось хищнически, нефть рассматривалась только как жидкое топливо и источник горючего и осветительного материала (керосина), но не как ценнейший источник получения многих веществ для дальнейшей химической переработки.

Менделеев, возмущавшийся подобным неразумным ведением хозяйства, говорил, что топить можно и бумажными ассигнациями. Он заинтересовался нефтью, ее транспортировкой и переработкой еще в 60-х годах. Техника добычи и перевозки нефти была крайне примитивной: нефть вычерпывалась из колодцев с помощью лошадей, тащивших на веревках кожаные мешки; в этих же мешках нефть и перевозили на телегах с двумя двухметровыми колесами. Сами колодцы оставались в том же виде, в каком были построены много веков назад. Менделеев ездил в США на филадельфийскую промышленную выставку (1876) и тщательно ознакомился с добычей и переработкой пенсильванской нефти. По возвращении на родину он взялся за коренную перестройку нефтяной промышленности, исходя из убеждения, что наука и ученые должны помочь ее расцвету в России. Позднее он писал: «Мои, так сказать, теоретические усилия начались с настойчивой пропаганды в пользу возможности развития — при определенных условиях — выработки бакинской нефти в эпоху, когда к нам ввозились миллионы пудов американского керосина... мой голос в свое время слышали в сферах как административных, так и предпринимательских. Последним я много помогал не только советом, но и на практике, хотя всегда отказывался от принятия участия в выгодах, так как... мои мысли не ограничивались узкими рамками какого-либо отдельного предприятия, хотя бы Кокорева или Губонина, Рагозина или Нобеля, куда меня в свое время старались привлечь» [1].

В дальнейшем Менделеев переходил, по его словам, «в изучении и возбуждении от одних фабрично-заводских дел к другим», понимая, как везде «чистая наука тесно переплеталась с практической» [2]. Горячо ратуя за свободное экономическое развитие России по пути капитализма, поскольку он не видел иной возможности и иных путей для этого развития, Менделеев писал: «Науки и промышленность — вот мои мечты» [3]. Аналогичные идеи высказывал русский математик П. Л. Чебышев. Он писал, что «науки находят себе верного руководителя в практике» и что сами они «развиваются под влиянием ее: она открывает им новые предметы для исследования...» [4].

Русские ученые, и среди них Тимирязев и Менделеев, обратили внимание на необходимость рационализации сельского хозяйства в России. Химик А. Н. Энгельгардт провел ряд исследований по химии сельского хозяйства, а в начале 70-х годов опубликовал «Письма из деревни», тогда же прочитанные К. Марксом, а позднее — В. И. Лениным. Оживилась деятельность Императорского Вольного Экономического общества, которое занялось изучением прогрессивных форм ведения сельского хозяйства.

[1] Архив Д. И. Менделеева, т. I, с. 32.
[2] Там же, с. 33.
[3] Там же, с. 36.
[4] *П. Л. Чебышев.* Полн. собр. соч., т. V. М.— Л., Изд-во АН СССР, 1951, с. 150.

Характеризуя темпы экономического развития пореформенной России по сравнению с дореформенной, Ленин писал, что «после 61-го года развитие капитализма в России пошло с такой быстротой, что в несколько десятилетий совершались превращения, занявшие в некоторых старых странах Европы целые века» [1]. И все же эти темпы могли бы быть значительно выше, если бы в России после реформы 1861 г. были ликвидированы остатки крепостничества. Ленин писал: «Если сравнивать докапиталистическую эпоху в России с капиталистической (а именно такое сравнение и необходимо для правильного решения вопроса), то развитие общественного хозяйства при капитализме придется признать чрезвычайно быстрым. Если же сравнивать данную быстроту развития с той, которая была бы возможна при современном уровне техники и культуры вообще, то данное развитие капитализма в России действительно придется признать медленным» [2].

ВЫСШЕЕ ОБРАЗОВАНИЕ, ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ УНИВЕРСИТЕТОВ И НАУЧНЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ

Начавшийся после реформы 1861 г. промышленный подъем потребовал реформ в области образования, расширения подготовки специалистов и вместе с тем стимулировал усиление научной деятельности.

Постепенно расширялась сеть научных заведений, улучшалась организация педагогического процесса, совершенствовались учебные программы. Хотя правительство регулярно создавало различного рода препятствия для проникновения не только в высшую, но и в среднюю школу «разночинной» молодежи, в гимназии, университеты и высшие технические школы во все большем числе проникали дети семей, не принадлежавших к привилегированным слоям населения,— дворянству, купечеству, высшим кругам чиновников. Но для детей рабочих и особенно крестьян даже гимназии были, за крайне редкими исключениями, недоступны, и они вынуждены были ограничиваться в лучшем случае четырех-, а то и двухклассными начальными училищами. В одном из циркуляров министерства народного просвещения от 1887 г. директорам гимназий предписывалось всячески ограждать учебные заведения от детей мелких лавочников, прачек, кучеров и т. д., ибо таких детей «за исключением разве одаренных необыкновенными способностями, вовсе не следует выводить из среды, к коей они принадлежат». Такая политика диктовалась страхом господствующих классов за свои привилегии и боязнью проникновения революционных идей в среду студентов. Из учащейся молодежи выходила не только основная масса будущих ученых, но и многие революционеры.

Университеты все более становились не только центрами подготовки кадров интеллигенции, но и научными центрами. Их роль в таких городах, как Петербург, Москва, Казань, Киев, Одесса (университет основан в 1865 г.), Варшава (университет основан в 1869 г.), Дерпт, Харьков, Томск (университет основан в 1888 г.), все возрастала. То же относится к высшим техническим школам, из которых особо упомянем Мос-

[1] *В. И. Ленин.* Полн. собр. соч., т. 20, с. 174.
[2] Там же, т. 3, с. 601.

ковское высшее техническое училище, организованное в 1868 г. на базе прежней ремесленной школы.

Основной формой подготовки научных кадров было оставление при университете сроком на 2 года лиц, окончивших курс, для сдачи магистерских экзаменов и написания магистерской диссертации; параллельно начиналась, как правило, педагогическая работа молодого ученого. Женщины в университеты не допускались, но в конце концов под давлением общественности правительство дало разрешение на открытие Высших женских курсов; первые такие курсы стали работать в 1872 г. в Петербурге и Москве, а затем и в других городах. Женские курсы существовали исключительно благодаря общественной или частной инициативе. Во второй половине 80-х годов министерство народного просвещения закрыло все высшие женские курсы, но в конце концов было вынуждено вновь разрешить их в 1889 г. в Петербурге и в 1900 г. в Москве, правда, с рядом весьма стеснительных ограничений. Более широкий размах система высших женских курсов приобрела уже в 1900-е годы.

Создавались новые научные общества, появлялись новые научные журналы. В 1863 г. в Москве возникло Общество любителей естествознания, антропологии и этнографии, просуществовавшее почти 60 лет. В 1866 г. в Петербурге образовалось Русское техническое общество, оказавшее заметное влияние на прогресс техники и промышленности в нашей стране. Его активная деятельность способствовала образованию в качестве его ответвлений других технических обществ. В 1864 г. начало свою деятельность Московское математическое общество, юридически оформленное в 1867 г., но уже в 1866 г. выпустившее первый том своего «Математического сборника». В 1868 г. возникло в Петербурге Русское химическое общество со своим журналом. Его организаторами были выдающиеся русские химики — Зинин, Бутлеров, Менделеев, Энгельгардт и др. Общество сыграло огромную организаторскую роль в последующем развитии химии, химической технологии и образования. В 1872 г. в Петербурге было создано Русское физическое общество.

Естественнонаучные общества с различными специализированными отделениями создавались и при всех университетах, причем наряду с регулярными собраниями все они издавали свои труды, выходившие чаще всего под названием «Записок». Тогда же начались съезды русских естествоиспытателей и врачей, проходившие в главных городах страны: первый в Петербурге (1868), второй в Москве (1869), третий в Киеве (1871), потом в Казани, Варшаве, Одессе и снова Петербурге и в Москве; всего до 1900 г. состоялось 10 съездов, на которых активно работали различные специальные секции. Последний, 13-й, съезд состоялся в Тифлисе в 1913 г.; число участников съездов к этому времени возросло примерно с 400 до 5000. Одновременно стали усиливать свою деятельность ранее возникшие в России общества, в том числе Московское общество испытателей природы, созданное в 1805 г. Стали организовываться всероссийские промышленные выставки, в которых принимали участие ученые. В Москве был создан Политехнический музей, открывшийся в 1872 г.

Большую научную работу вела по-прежнему Академия наук в Петербурге, состав действительных членов которой пополнился в это время такими выдающимися учеными, как математики Е. И. Золотарев, А. А. Марков, Н. Я. Сонин, механик О. И. Сомов, астроном Ф. А. Бредихин, физик Б. Б. Голицын, химик А. М. Бутлеров, геолог А. П. Карпинский,

биолог А. О. Ковалевский и др. Вместе с тем, как мы увидим, и в деятельности Академии нашла отражение борьба между прогрессивными и консервативными кругами тогдашнего русского общества. С 1862 г. стал издаваться на русском языке новый общеакадемический журнал «Записки императорской академии наук», между тем как ранее на русском языке выходили только «Известия» трех ее отделений — физико-математического, историко-филологического и русского языка и словесности. Для иностранных читателей параллельно продолжалось издание на французском языке общеакадемического «Bulletin scientifique», который был в 1894 г. преобразован в «Известия императорской Академии наук».

РЕВОЛЮЦИОННО-ОСВОБОДИТЕЛЬНОЕ ДВИЖЕНИЕ И РУССКАЯ КУЛЬТУРА

Все это происходило на фоне подъема революционного движения. В 1861 г. в 1176 имениях происходили крестьянские волнения и столкновения крестьян с войсками, которые посылались на «усмирение» восставших крестьян, возмущенных тем, что реформа 1861 г. лишила их земли, оставленной в собственности помещиков. В 1862 г. крестьяне выступили в 400 имениях. В 1863 г. вспыхнуло польское восстание, с которым слились восстания в Литве и Белоруссии.

После крестьянской реформы 1861 г. на исторической арене в России приобрела важную роль новая социальная фигура — революционный демократ-разночинец. «Падение крепостного права вызвало,— писал Ленин,— появление разночинца, как главного, массового деятеля и освободительного движения вообще и демократической, бесцензурной печати в частности»[1].

Чаяния русского крестьянства и его борьба против царизма и помещичьего гнета нашли свое отражение в идеологии русских революционных демократов («шестидесятников»), которых возглавляли Н. Г. Чернышевский и Н. А. Добролюбов. «Идейное движение, происходящее сейчас в России,— писал Маркс,— свидетельствует о том, что глубоко в низах идет брожение. Умы всегда связаны невидимыми нитями с телом народа»[2].

С начала 60-х годов XIX в. возникают нелегальные организации русской разночинной интеллигенции, в том числе студенческой молодежи (в 70-е годы это движение выливается в народничество). Однако кровавое подавление польского восстания и крестьянских волнений приводит к временному спаду революционной волны в России. Чернышевский был осужден на каторгу, русские революционные организации разгромлены.

С развитием капитализма были связаны как численный рост русского пролетариата, так и рост его классового самосознания. В 70-х годах возникли быстро разгромленные первые, еще небольшие по численности рабочие организации: «Южнороссийский союз рабочих» (1875) и «Северный союз русских рабочих» (1878). В эти годы начинает развертываться стачечное движение рабочего класса. К концу 70-х годов обстановка в России стала крайне накаленной, и это дало основание Ленину впоследствии

[1] *В. И. Ленин.* Полн. собр. соч., т. 25, с. 94.
[2] *К. Маркс* и *Ф. Энгельс.* Соч., т. 33, с. 147.

рассматривать ее как вторую (после кануна реформы 1861 г.) революционную ситуацию в России. В такой обстановке в 1881 г. был убит народовольцами царь Александр II. Путем жесточайшего террора царизм сумел раздавить революционное движение народников. Но, по словам Ленина, «...эти жертвы пали не напрасно, несомненно, они способствовали — прямо или косвенно — последующему революционному воспитанию русского народа. Но своей непосредственной цели, пробуждения народной революции, они не достигли и не могли достигнуть»[1].

В 70-е годы начинают проникать в Россию идеи марксизма В 1872 г. вышел в свет русский перевод первого тома «Капитала» Маркса. В 80-х годах развившееся рабочее движение в России стало служить основой для дальнейшего распространения и развития марксизма. В 1883 г. возникла за границей марксистская организация — группа «Освобождение труда» во главе с Г. В. Плехановым. В России появляются марксистские кружки, правда еще небольшие.

Наряду с участием в открытой политической борьбе против царизма и крупной буржуазии, ставшей союзницей царизма, прогрессивная молодежь ищет приложения своих творческих сил на благо народа также на поприще науки и культуры. Знаменитый физиолог И. П. Павлов, учившийся в Петербургском университете в начале 70-х годов, писал: «Под влиянием литературы шестидесятых годов, в особенности Писарева, наши умственные интересы обратились в сторону естествознания, и многие из нас — в числе этих и я — решили изучать в университете естественные науки»[2]. Другой крупный ученый — ботаник К. А. Тимирязев (он был несколькими годами старше Павлова), выражая настроения передовой молодежи той эпохи, писал: «Поколение, для которого начáло его сознательного существования совпало с тем, что принято называть шестидесятыми годами, было, без сомнения, счастливейшим из когда-либо нарождавшихся на Руси. Весна его личной жизни совпала с тем дуновением общей весны, которое пронеслось из края в край страны, пробуждая от умственного окоченения и спячки, сковывавших ее более четверти столетия. И вот почему те, кто сознают себя созданием этой эпохи, неизменно хранят благодарную память о тех, кто были ее творцами»[3].

По бурности и глубине протекавших процессов общественного развития эпоха 60-х годов XIX в. в России в известной мере напоминала эпоху Возрождения в Западной и Средней Европе (если вообще допустимы подобные исторические сопоставления и параллели). Быстрый экономический подъем и рост освободительного движения стимулировали развитие всей русской культуры в целом и каждой из ее сторон в отдельности. Русские писатели и поэты, художники и музыканты, примыкавшие к демократическому лагерю и испытывавшие в своем творчестве влияние идей народной освободительной борьбы, живо откликались на практические запросы общественной жизни, стремились реалистически отражать жизнь народа, выражать его надежды, помогать ему в борьбе за лучшие условия своей жизни. Многие из них находились под непосредственным влиянием идей Чернышевского. Большую роль сыграла прогрессивная поэзия Н. А. Некрасова. На 50—70-е годы приходится расцвет творчест-

[1] *В. И. Ленин.* Полн. собр. соч., т. 30, с. 315.
[2] *И. П. Павлов.* Полн. собр. соч., т. VI. М.— Л., Изд-во АН СССР, 1952, с. 441.
[3] *К. А. Тимирязев.* Соч., т. VIII. М., Сельхозгиз, 1939, с. 139.

ва И. С. Тургенева, Л. Н. Толстого, Ф. М. Достоевского, М. Е. Салтыкова-Щедрина, А. Н. Островского и других передовых писателей.

Важные сдвиги произошли в это время и в изобразительном искусстве. В начале 60-х годов И. Н. Крамской с группой единомышленников порвал с консервативной Академией художеств, где провозглашалась идея «искусства для искусства», и основал Петербургскую артель свободных художников. В 1870 г. возникло «Товарищество художественных передвижных выставок», объединившее передовых русских художников во главе с Крамским. Среди передвижников выделяется художник В. Г. Перов. Близки к ним по духу были творившие в это время величайшие русские художники-реалисты И. Е. Репин и В. И. Суриков. Темой их творчества был народ, народное движение.

Расцвету художественной литературы и изобразительного искусства в России тех лет был созвучен мощный размах музыкального творчества. Именно в начале 60-х годов возникла «Могучая кучка» — творческое объединение русских композиторов. Сюда вошли М. А. Балакирев, М. П. Мусоргский, А. П. Бородин, Н. А. Римский-Корсаков, Ц. А. Кюи. В эти же годы расцвел гений П. И. Чайковского.

Бурное развитие естественных наук в пореформенной России было неотъемлемой составной частью этого прогрессивного движения.

Культура в России той эпохи развивалась в двух главных полярно-противоположных социально-политических направлениях: помещичье-монархическом в союзе с буржуазным либерализмом и демократическом. На сцену уже вышли и чрезвычайно активизировались представители новой либеральной буржуазной идеологии, которые шли на сделку со старой, помещичьей, монархической идеологией. «...В эпоху 60-х *годов*, — писал Ленин, — сила крепостников была надломлена: они потерпели, правда, не окончательное, но все же такое решительное поражение, что должны были стушеваться со сцены. Либералы, напротив, подняли голову. Полились либеральные фразы о прогрессе, науке, добре, борьбе с неправдой, о народных интересах, нар одной совести, народных силах и т. д., и т. д.»[1]. За этими либеральными фразами скрывался новый эксплуататорский класс — крупная буржуазия. Ее идеология противостояла, пока пролетариат еще только формировался, оставаясь до поры до времени классом «в себе», идеологии разночинцев и крестьянства.

В 1911 г. Ленин писал: «Либералы 1860-х годов и Чернышевский суть представители двух исторических тенденций, двух исторических сил, которые с тех пор и вплоть до нашего времени определяют исход борьбы за новую Россию»[2].

Бóльшая часть русских естествоиспытателей, как уже говорилось, принадлежала к разночинной интеллигенции. Через развитие передового естествознания многие русские прогрессивно настроенные ученые стремились реализовать и свои общественно-политические идеалы. Многие из них сочувствовали крестьянской борьбе против царизма, а некоторые принимали в этой борьбе активное участие, как, например, математик П. Л. Лавров, геолог П. А. Кропоткин. палеонтолог В. О. Ковалевский, биохимик А. Н. Бах, кристаллограф Е. С. Федоров, физиолог Н. Е. Введенский, анатом П. Ф. Лесгафт и др. Но и те ученые, которые не участвовали

[1] *В. И. Ленин.* Полн. собр. соч., т. 1, с. 294.
[2] Там же, т. 20, с. 174—175.

в политической революционно-освободительной борьбе, впитывали в себя демократические идеи «шестидесятников». К ним относятся химик Д. И. Менделеев, физик А. Г. Столетов, физиологи И. М. Сеченов и И. П. Павлов, географ и этнограф Н. Н. Миклухо-Маклай, биолог И. И. Мечников и многие другие. Они ненавидели крепостничество, в сильнейшей степени тормозившее развитие общества и науки, они боролись за развитие производительных сил страны, за прогресс народного просвещения, отвергали отрыв науки от запросов страны и нужд народа, защищали материалистическое мировоззрение. Друг Чернышевского Сеченов разрабатывал и страстно защищал идеи материализма в физиологии и психологии. Мечников и Тимирязев были убежденными материалистами и атеистами. Менделеев решительно выступил в 70-х годах против модного тогда увлечения спиритизмом, характеризуя его как суеверие, чуждое подлинной науке.

ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ В РОССИИ второй половины XIX века

Получив в 1861 г. мощный толчок своему развитию, русское естествознание вскоре вышло на одно из первых мест в мировой науке. Если раньше оно развивалось в России лишь на отдельных участках, будучи представлено отдельными учеными-одиночками, то теперь его развитие приобрело фронтальный характер, захватив многие важнейшие его отрасли. Стали быстро складываться новые научные школы. Кроме специфических условий, стимулировавших развитие естествознания в пореформенной России, огромную роль в этом сыграли и уже упоминавшиеся великие открытия естествознания второй трети XIX в.: клеточная теория, учение о сохранении и превращении энергии, дарвиновское эволюционное учение, а также атомно-молекулярное учение. Отталкиваясь, как от трамплина, от этих великих естественнонаучных открытий, русское естествознание стало стремительно двигаться вперед и в некоторых важных своих отраслях даже опередило науку западных стран. Научная эстафета, которую до тех пор несли почти исключительно ученые Западной Европы, буквально в течение нескольких лет была подхвачена и продвинута далеко вперед передовыми русскими естествоиспытателями; их труды вошли в первые ряды трудов, представляющих высшие достижения мировой науки.

Так, в 1861 г. Бутлеров создает теорию химического строения органических соединений, которая подвела итог предшествующего развития органической химии и стала отправным пунктом всех ее дальнейших успехов. В 1863 г. Сеченов публикует свой труд «Рефлексы головного мозга», а в 1878 г.— «Элементы мысли», в которых рассматривается физиологический фундамент мышления. Начиная с 1864 г. Тимирязев открыто встал на защиту дарвинизма. В 1868 г. на Первом съезде русских естествоиспытателей и врачей Тимирязев выступил с докладом, который положил начало его исследованиям в области фотосинтеза растений. Опираясь на эволюционное учение, В. О. Ковалевский создал эволюционную палеонтологию, а его брат А. О. Ковалевский и И. И. Мечников — эволюционную сравнительную эмбриологию. Примерно в это же время В. В. Докучаев разработал научные основы почвоведения, которое в Европе часто на-

зывали «русской наукой». Великий хирург и анатом Н. И. Пирогов заложил основы топографической анатомии человека. К 60-м годам относятся открытия Л. С. Ценковского в области протистологии и бактериологии. В 1869 г. Менделеев создал учение о периодичности химических элементов, открыв новые пути для всего последующего развития науки о веществе и его строении. В 70—80-х годах Н. Н. Миклухо-Маклай изучал жизнь папуасов на островах Тихого океана, доказывая видовое единство всех человеческих рас. В эти же годы Н. М. Пржевальский организовал несколько экспедиций, исследовавших Центральную Азию.

В математике развернула широкую деятельность возглавляемая П. Л. Чебышевым петербургская математическая школа, в состав которой входили его ученики Е. И. Золотарев, А. Н. Коркин, А. А. Марков, А. М. Ляпунов, ученик последнего В. А. Стеклов и другие выдающиеся ученые. Оригинально развивая существовавшие уже области математики— теорию чисел, теорию функций, математическую физику, теорию вероятностей,— деятели этой школы открыли и новые направления исследований, например, в чебышевской теории наилучшего приближения функций, органически связанной с изучением актуальных задач машиностроения. Сказанное относится и к теоретической механике, крупнейшим представителем которой в это время был Н. Е. Жуковский, автор классических исследований по гидродинамике и гидравлике, аэродинамике и авиации, исследований, которые в XX в. стали теоретической основой самолетостроения. Характерная для Чебышева и особенно для Жуковского глубокая связь теоретических изысканий с задачами практики нашла яркое выражение и в некоторых других отраслях науки, принадлежавших к механике в широком смысле слова, например, в теории автоматического регулирования И. А. Вышнеградского и гидродинамической теории смазки его ученика Н. П. Петрова; заметим, что оба они были учениками одного из крупнейших математиков первой половины XIX в. Остроградского.

Все эти, а также и другие открытия свидетельствовали о зрелости естествознания в России, о его передовом характере и о его лидерстве в мировой науке в некоторых основных направлениях, например, математики, химии и биологии. Не случайно именно пореформенная Россия выдвинула целую плеяду замечательных ученых, подобно тому, как это наблюдалось на Западе в эпоху Возрождения, в Англии и Нидерландах — в эпоху буржуазных революций середины XVII в., во Франции — в эпоху Великой буржуазной революции конца XVIII в. и в Германии — в эпоху революции 1848 г.

Этот бурный научный подъем в России чрезвычайно ярко описан в книге К. А. Тимирязева «Развитие естествознания в России в эпоху 60-х годов». Рассказав о сравнительно слабом развитии русской науки в дореформенный период, Тимирязев иллюстрирует быстрое развитие естествознания в России в 60-х годах на примере химии. «За какие-нибудь 10—15 лет,— пишет он,— русские химики не только догнали своих старших европейских собратий, но порою даже выступали во главе движения, так что в конце рассматриваемого периода английский химик Франкланд мог с полным убеждением сказать, что химия представлена в России лучше, чем в Англии, отечестве Гэмфри Дэви, Дальтона и Фарадея. Успехи химии были, несомненно, самым выдающимся явлением на общем фоне возрождения наук в ту знаменательную эпоху»[1].

[1] *К. А. Тимирязев.* Соч., т. VIII, с. 154—155.

Причину, породившую такое явление, Тимирязев видел в особенностях общественно-исторического развития России того времени. Он прямо подчеркивал, что, «не пробудись наше общество вообще к новой кипучей деятельности, может быть, Менделеев и Ценковский скоротали бы свой век учителями в Симферополе и Ярославле... а сапер Сеченов рыл бы траншеи по всем правилам своего искусства»[1].

Подведем некоторые итоги. Как уже было сказано, бурное развитие науки в России началось как раз в ту пору, когда благодаря великим естественнонаучным открытиям XIX в. развернулась коренная революционная перестройка всего естествознания. В результате этого великая идея о развитии и всеобщей связи явлений природы сразу же стала отправным пунктом в трудах и открытиях передовых русских ученых 60—70-х годов XIX в. Так, отправляясь от идеи превращения «сил» природы (форм энергии), Менделеев открыл свой периодический закон и указал на закономерную связь, охватывающую собой все химические элементы. Это открытие не содержалось как данное в учении о сохранении и превращении энергии, а явилось вполне оригинальным и новым.

Столь же громадный шаг вперед сделали биология и физиология в России. Отправляясь от дарвиновского учения, русские биологи внесли свой собственный вклад в мировую биологическую науку. Тимирязев справедливо писал, что «дарвинизм вскоре стал лозунгом молодых русских зоологов; и под его флагом они завоевали себе почетное место в европейской науке»[2]. Об эволюционных идеях, содержавшихся в трудах В. О. Ковалевского в области палеонтологии, американский палеонтолог Г. Осборн писал в 1894 г.: «Эти труды смели всю сухую традиционную европейскую науку об ископаемых; они проникнуты новым духом Дарвина, которому посвящена главная работа, в них вопросам происхождения придается большее значение, чем установлению новых родов и видов»[3].

Не менее характерны в этом отношении труды И. М. Сеченова. Его главный труд «Рефлексы головного мозга» (1863) буквально всколыхнул умы передовых естествоиспытателей. Как писал Тимирязев, ни один русский ученый не оказал тогда такого широкого и благотворного влияния на русскую науку и на развитие научного духа в русском обществе, как Сеченов.

Сказанное относится и к трудам самого Тимирязева. Еще Р. Майер поставил вопрос о том, что свет, падающий на живой организм (на растение), имеет совершенно иное назначение, нежели свет, падающий на мертвые тела. Ответ на этот вопрос дал впервые Тимирязев, раскрыв внутреннюю связь между солнечной энергией, жизнью на Земле и хлорофиллом растений.

Так развивалось естествознание в России после крестьянской реформы 1861 г. и примерно до середины 90-х годов XIX в. Дальнейшие главы посвящены развитию отдельных отраслей естествознания с 60-х годов XIX в. до 1917 г. Общая характеристика естествознания и условий его развития в России в конце XIX — начале XX в. будет дана в заключительной главе книги.

[1] *К. А. Тимирязев.* Соч., т. VIII, с. 144.
[2] Там же, с. 162.
[3] Цит. по кн.: *А. А. Борисяк.* В. О. Ковалевский, его жизнь и научные труды. Л., Изд-во АН СССР, 1928, с. 119.

Глава двадцать первая

МАТЕМАТИКА

ОСНОВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ РАЗВИТИЯ МАТЕМАТИКИ с 60-х годов XIX века до 1917 года

Развитие математики в России в рассматриваемое время характеризуется значительным расширением области изысканий, а также возникновением научных коллективов с отчетливо выраженными тематикой и принципом исследований. Первым по времени возникновения и по значению таким коллективом была петербургская математическая школа во главе с крупнейшим математиком П. Л. Чебышевым, возглавлявшим ее более трех десятков лет, до самой смерти, последовавшей в 1894 г.; иногда эту школу называют по имени ее главного вдохновителя и организатора чебышевской. В творчестве Чебышева получили развитие теория чисел, теория вероятностей, интегрирование алгебраических функций; в непосредственной связи с запросами техники он создал теорию наилучшего приближения функций. Исследования Чебышева были продолжены и распространены на новые области его учениками. А. Н. Коркин, Е. И. Золотарев, А. А. Марков, Г. Ф. Вороной продвинули дальше теорию квадратичных форм, Золотарев — теорию алгебраических чисел, Марков и Ляпунов — проблемы, связанные с предельными теоремами теории вероятностей, в которой Марков создал важный раздел — теорию так называемых цепей Маркова. В теории наилучшего приближения функций успешно работали братья А. А. и В. А. Марковы; новое направление ей сообщил С. Н. Бернштейн.

А. М. Ляпунов, в связи с одной задачей, поставленной Чебышевым, создал огромный цикл работ по фигурам равновесия вращающейся жидкости; он же блестяще развил классическую теорию устойчивости и качественные методы исследования систем обыкновенных дифференциальных уравнений, а также усовершенствовал методы исследования уравнений математической физики. Ученик Ляпунова В. А. Стеклов получил выдающиеся результаты в математической физике и теории ортогональных функций. Теорию дифференциальных уравнений разрабатывал также Коркин, а его ученику А. Н. Крылову принадлежат ценные исследования по прикладной математике.

Петербургская математическая школа была связана более всего с Петербургским университетом (отсюда произошло ее название), а также с Академией наук. В 1876—1915 гг. членами Академии были последовательно избраны Золотарев, Имшенецкий, А. А. Марков, Сонин, Ляпунов, Стеклов, Крылов. Из названных ученых только В. Г. Имшенецкий и Н. Я. Сонин получили математическую подготовку вне Петербурга — первый в Казанском, а второй — в Московском университете. Вместе с тем представители чебышевской школы работали также в Харькове (Ляпунов, Стеклов), в Варшаве (Вороной, Д. Д. Мордухай-Болтовский), Казани (А. В. Васильев). Влияние Чебышева распространилось на всю страну.

Школа Чебышева была в России наиболее сильной и влиятельной среди математиков. Наряду с ней возник целый ряд и новых направлений, центрами которых стали Москва, Казань, Киев и другие университетские

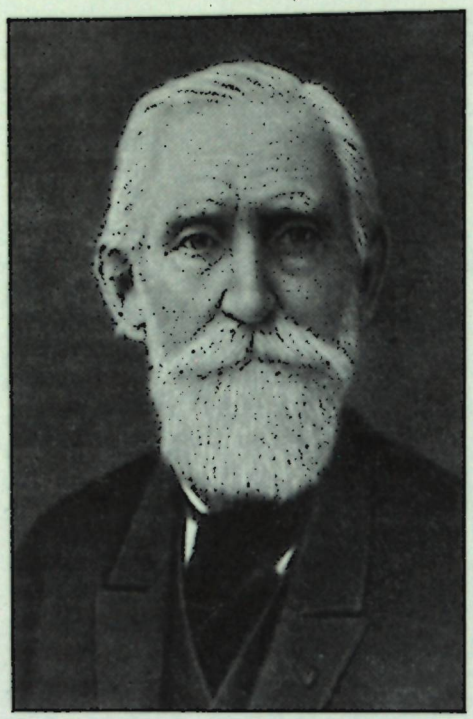
города. Здесь разрабатывались неевклидова и многомерная геометрия, высшая алгебра и теория групп, теория функций комплексного переменного с ее приложениями (например, к изучению эллиптических функций), теория множеств, проблемы оснований математики, математическая логика и т. д. Так, в последней трети XIX в. в Москве возникла дифференциально-геометрическая школа, толчок работам которой сообщил ученик Ф. Г. Миндинга К. М. Петерсон. Позднее, уже в начале XX в., здесь же Д. Ф. Егоров и Н. Н. Лузин положили начало московской школе теории функций действительного переменного. В Казани, четверть века спустя после смерти Лобачевского, возобновились исследования по неевклидовой геометрии (Ф. М. Суворов, А. П. Котельников) и начаты были работы по математической логике (П. С. Порецкий). Блестящие результаты в теории уравнений с частными производными были получены С. В. Ковалевской (правда, вне университетских рамок) и затем, в начале XX в., С. Н. Бернштейном. П. Г. Боль в Риге разрабатывал топологические методы теории обыкновенных дифференциальных уравнений. В Дерпте успешно работал над проблемами теории гиперкомплексных чисел Ф. Э. Молин. В Киеве возникла алгебраическая школа (Д. А. Граве, О. Ю. Шмидт), в Одессе — школа оснований геометрии (В. Ф. Каган, С. О. Шатуновский).

Мы перечислили далеко не все течения математической мысли, возникавшие в России на протяжении последнего предреволюционного пятидесятилетия: другие будут названы далее. Первые достижения в этих направлениях по своему значению еще далеко уступали замечательным открытиям петербургской школы. Но в исторической перспективе их роль была велика: они устанавливали взаимосвязи с некоторыми направлениями математики, быстро развивавшимися в то время в странах Западной Европы, и вместе со школой Чебышева обеспечили возможность нового быстрого и разностороннего расцвета математики в России в первые же годы после Октябрьской революции.

П. Л. ЧЕБЫШЕВ И ПЕТЕРБУРГСКАЯ МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ШКОЛА

Пафнутий Львович Чебышев, сын небогатого помещика, получил математическое образование в Московском университете, где на его научное формирование оказал заметное влияние профессор Н. Д. Брашман. Магистерская диссертация Чебышева (1845) содержала оригинальное изложение начал теории вероятностей. В 1847 г. он был приглашен на работу в Петербургский университет, где сперва в качестве доцента, а с 1850 г. в звании профессора в течение 35 лет вел преподавание и подготовил многочисленных учеников, составивших ядро петербургской математической школы. Чебышев был не только великим математиком, но и великим учителем: как никто другой, он умел находить дарования и направлять первые шаги начинающих ученых. Непосредственными учениками его были А. Н. Коркин, Ю. В. Сохоцкий, Е. И. Золотарев, А. А. Марков, А. М. Ляпунов, И. Л. Пташицкий, И. И. Иванов, К. А. Поссе, Д. А. Граве, Г. Ф. Вороной, А. В. Васильев.

В. Я. Буняковский привлек Чебышева к изданию теоретико-числовых мемуаров и рукописей Эйлера. Это побудило Чебышева заняться некоторыми проблемами теории чисел и вместе с тем связало его с Академи-



П. Л. Чебышев

ей наук. В 1849 г. вышли из печати два тома арифметических трудов Эйлера; в том же году была издана «Теория сравнений» Чебышева, которую он защитил в качестве диссертации на степень доктора чистой математики. В 1853 г. он был избран членом Академии наук. Впоследствии, когда слава его распространилась по всему миру, его избрали своим иностранным членом и членом-корреспондентом академии в Париже, Берлине, Лондоне, Риме и Стокгольме.

Первую громкую известность Чебышеву принесли его работы по теории распределения простых чисел (1849—1851), к которым мы еще обратимся. Но проблемы теории чисел вскоре были оттеснены на второй план проблемами, лежащими на стыке математики и прикладной механики. Пристальный интерес Чебышева к технике нашел яркое выражение в его отчете о командировке во Францию, Англию и Германию, предпринятой им в июле — ноябре 1852 г. Вот несколько строк из этого документа:

«...До 8 августа занятия мои ограничивались предметами, которые находятся в Париже и его окрестностях. При всей ограниченности времени, которое я должен был делить между Conservatoire des arts et métiers, мастерскими Каве и многими предметами по части практической механики, в высшей степени интересными, как-то: атмосферическою железною дорогою в Сен-Жермене, дорогою Со, замечательною по своим изгибам, машиною Марли и другими, я счел необходимым не упускать из виду и того, что мог приобрести для моего теоретического образования из беседования с знаменитыми французскими геометрами. По сему, дообеденные часы проводил я или в Conservatoire des arts et métiers или на фабриках, большею частью у Каве, вечера же посвящал частью на беседование с гг. Коши, Лиувиллем, Бьенэме, Гермитом (т. е. Эрмитом.— *Авт.*), Серре, Лебегом и другими учеными, частью же на теоретические занятия, которые имели или непосредственное отношение с данными, полученными мною из рассмотрения различных систем машин, или с вопросами анализа, на которые был наведен разговором с кем-либо из ученых. Таким образом, по желанию гг. Лиувилля и Гермита, я занялся развитием тех начал, на которых написана была моя диссертация, представленная в С.-Петербургский университет в 1847 г. pro venia legendi» [1].

[1] *П. Л. Чебышев.* Поли. собр. соч., т. V. М.— Л., Изд-во АН СССР, 1951, с. 247—248. В этой диссертации «на право чтения лекций» Чебышев решил некоторые вопросы теории интегрирования алгебраических функций; ее основное содержание он включил в позднейшие свои труды (сама диссертация была напечатана только в 1930 г.).

Сообщив о результатах, полученных в этом направлении, Чебышев рассказывает о начале своих занятий теорией механизмов и созданной им теорией наилучшего приближения функций: «Из многих предметов исследования, которые представились мне при рассмотрении и сличении между собою различных механизмов передачи движения, особенно в паровой машине, где и экономия в топливе и прочность машины много зависят от способов передачи работы пара, я особенно занялся теорией механизмов, известных под названием параллелограммов» [1]. Математическим результатом исследований Чебышева в этом направлении явилась разработка только что названной теории приближения функций, к которой мы обратимся далее; об изобретенных им многочисленных шарнирных механизмах будет сказано в главе, посвященной механике.

Единство теории и практики, столь ярко выраженное в цитированном отчете Чебышева, было определяющим в математическом творчестве как его самого, так и его школы. Свои общие методологические установки Чебышев сформулировал в речи «Черчение географических карт», произнесенной на торжественном акте в Петербургском университете в 1856 г. «Науки математические,— говорил он,— с самой глубокой древности обращали на себя особенное внимание; в настоящее время они получили еще более интереса по влиянию своему на искусства и промышленность. Сближение теории с практикою дает самые благотворные результаты, и не одна только практика от этого выигрывает; сами науки развиваются под влиянием ее: она открывает им новые предметы для исследования, или новые стороны в предметах давно известных» [2].

Эти взгляды Чебышева разделяли его ученики. Единство петербургской математической школы определялось не только и даже не столько близостью проблем и методов ее деятелей (круг интересов их постоянно расширялся, и средства исследования становились все богаче и разнообразнее) — главным являлся общий подход к математике, который Ляпунов в статье, посвященной памяти Чебышева, охарактеризовал таким образом: «Детальная разработка вопросов, особенно важных с точки зрения приложений и в то же время представляющих особенные теоретические трудности, требующие изобретения новых методов и восхождения к принципам науки, затем обобщение полученных выводов и создание этим путем более или менее общей теории — таково направление большинства работ П. Л. Чебышева и ученых, усвоивших его взгляды» [3]. Со всем этим было связано постоянное стремление получать строгое и одновременно эффективное решение поставленных задач с точным числовым ответом или по крайней мере с вполне пригодным приближенным результатом, погрешность которого заключена в определенных границах.

[1] *П. Л. Чебышев.* Поли. собр. соч., т. V, с. 248—249.
[2] Там же, с. 150.
[3] Цит. по кн.: *П. Л. Чебышев.* Избранные математические труды. М.—Л., Гостехиздат, 1946, с. 20.

ТЕОРИЯ ЧИСЕЛ

Среди различных отделов теории чисел в XIX в. видное место заняли вопросы распределения простых чисел среди чисел натурального ряда. Еще древние греки доказали, что простых чисел бесконечно много, но как часто они встречаются среди других целых положительных чисел, было неизвестно. Французский математик А. М. Лежандр в 1798—1808 гг. пришел к заключению, что при больших значениях x число простых чисел, не превосходящих x,— теперь это число обозначают $\pi(x)$ — приближенно выражается формулой $\pi(x) \approx \frac{x}{\ln x - 1{,}08366}$. Затем в течение 40 лет по этому вопросу ничего более не было опубликовано. Чебышев открыл новые пути исследования функции $\pi(x)$. Прежде всего в 1849 г., используя свойства введенной еще Эйлером функции $\zeta(s) = \sum_{n=1}^{\infty} 1/n^s$ для действительных значений s, он установил важные соотношения между $\pi(x)$ и так называемым интегральным логарифмом $Li\, x = \int_2^x dt/\ln t$ и с их помощью доказал принципиальную неточность лежандрова приближения для всех достаточно больших x. Вместе с тем Чебышев показал, что если отношение $\pi(x)$ к функциям $Li\, x$ и $x/\ln x$ при стремлении x к бесконечности имеет предел, то таким пределом может быть лишь 1. К этому же результату пришел и Гаусс, сообщивший его в письме к Энке в 1849 г. (напечатано в 1863 г.). В другой статье (1852) Чебышев доказал предположение Ж. Бертрана о том, что между числами n и $2n - 2$ при $n > 3$ всегда имеется по меньшей мере одно простое число. Кроме того, теперь были впервые установлены границы, между которыми безусловно заключается $\pi(x)$: эта функция может отклоняться от $x/Li\, x$ при больших значениях x лишь немногим более чем на 10%.

Новый шаг вперед в изучении $\pi(x)$ сделал в 1859 г. Риман, введя в рассмотрение дзета-функцию $\zeta(s)$ при комплексных значениях s. Это расширило возможности применения $\zeta(s)$ в теории чисел и позволило в 1896 г. Ж. Адамару и Ш. де ла Валле Пуссену доказать, что упомянутое отношение $\pi(x)$ к Lix или $x/\ln x$ при $x \to \infty$ имеет предел 1. В 1949 г. этот асимптотический закон распределения простых чисел был доказан с помощью функций действительного переменного (А. Сельберг, П. Эрдеш). Весь этот круг исследований относится к аналитической теории чисел.

Другую страницу в истории теории чисел в России открыли профессор Петербургского университета и Морской академии Коркин и профессор того же университета и член Академии наук Золотарев. Оба они далеко продвинули разработку арифметической теории квадратичных форм, т. е. выражений вида $\sum_{i,j=1}^{n} a_{ij}x_ix_j$, где коэффициенты $a_{ij} = a_{ji}$ суть какие-либо действительные числа, а переменные x_k принимают целые рациональные значения. В зависимости от числа переменных n различаются двоичные, троичные и т. д. формы. Если данная форма может принимать значения только одного знака (не считая нулевого значения), то она называется определенной, а если среди ее значений имеются как положительные, так и отрицательные, то неопределенной.

Изучение арифметики квадратичных форм начали со случая двоичных форм $a_{11}x_1^2 + 2a_{12}x_1x_2 + a_{22}x_2^2$ Эйлер и Лагранж, и его далеко продвинул вперед Гаусс. Важный задачей явилось разыскание минимумов форм, т. е. наименьших значений, принимаемых ими при зафиксированных коэффициентах a_{ij}, когда переменные x пробегают всевозможные целые рациональные значения, не равные одновременно нулю. Решение этой задачи представляет интерес не только для теории форм, оно получает приложения и в других отделах теории чисел, например в вопросах диофантова анализа — решения в целых числах неопределенных алгебраических уравнений. В середине XIX в. задачей занялся Ш. Эрмит, который нашел некоторую верхнюю границу минимумов определенных положительных форм с n переменными и с данным определителем, составленным из коэффициентов форм, и выдвинул гипотезу относительно значения точной верхней границы этих минимумов. Вслед за Эрмитом к задаче обратились Коркин и Золотарев; последний прежде всего встретился с ней для случая двоичных и троичных форм в магистерской диссертации, посвященной решению одного неопределенного уравнения третьей степени (1869). В серии совместных статей 1872—1877 гг. Коркин и Золотарев предложили новые сильные методы, опирающиеся на введенное ими понятие предельной формы, детально изучили минимумы положительных форм с 4 и 5 переменными; попутно они показали, что гипотеза Эрмита справедлива лишь для некоторых классов форм.



Е. И. Золотарев

Эти открытия были с большим интересом встречены Эрмитом и Чебышевым и затем продолжены многими учеными как в России, так и за рубежом. Вскоре затем А. А. Марков, отправляясь от одного замечания Коркина и Золотарева, в магистерской диссертации 1880 г. полностью выяснил законы распределения минимумов неопределенных двоичных форм. При этом он с замечательным искусством использовал аппарат непрерывных дробей, которые успешно применял в решении многих вопросов Чебышев. Теории непрерывных дробей и ее приложениям (в особенности в теории моментов) Марков посвятил свою докторскую диссертацию 1884 г.

В конце XIX в. немецкий математик Г. Минковский, родившийся в России, открыл глубокое сходство, существующее между свойствами квадратичных форм и правильных точечных решеток в евклидовом пространстве, число измерений которого равно числу переменных формы.

Все понятия арифметической теории квадратичных форм имеют при этом свои аналоги; так, например, минимум формы выступает как квадрат наименьшего расстояния между точками решетки. Так возникла новая дисциплина — «геометрия чисел» (так назвал свою книгу, изданную в 1896 г., Минковский). В геометрии чисел успешно взаимодействуют геометрические и арифметические представления и методы. Первым представителем геометрии чисел в России явился ученик А. А. Маркова Вороной, бывший с 1894 г. профессором Варшавского университета.

К идеям геометрии чисел Вороной пришел в одно время с Минковским и независимо от него. Фактически Вороной применил эти идеи уже в 1896 г. в своей докторской диссертации, хотя изложил последнюю на чисто арифметическом языке [1]. Десять лет спустя, в двух больших работах, напечатанных в 1908—1909 гг. (вторая вышла уже после ранней смерти автора), Вороной открыто применил геометрические методы к дальнейшей глубокой разработке теории положительных квадратичных форм. Введя особый тип форм, названных им совершенными, Вороной создал алгоритм их разыскания, опирающийся на рассмотрение соответствующих формам многогранников n-мерного евклидова пространства, координатами которого служат входящие в формы переменные $x_1, \ldots, x_n$. Грани этих многогранников определяются с помощью линейных неравенств, содержащих коэффициенты форм a_{ij}. При этом Вороной построил общую теорию параллелоэдров — выпуклых многогранников, посредством параллельного и смежного расположения которых по целым граням можно заполнить все пространство, без пересечений и пустот. Трехмерные параллелоэдры были еще в 1885 г. изучены выдающимся кристаллографом Е. С. Федоровым в ходе разработки теории так называемых кристаллических групп.

Работы Вороного и Минковского по геометрии чисел оказали очень большое влияние на дальнейшее развитие многих отделов теории чисел.

Упомянутая магистерская диссертация Золотарева 1869 г. сообщила толчок исследованиям русских ученых по теории алгебраических чисел, т. е. чисел, являющихся корнями алгебраических уравнений с целыми рациональными коэффициентами. Задачи диофантова анализа (в частности, знаменитая теорема Ферма о неразрешимости в целых числах уравнения $x^n + y^n = z^n$ при $n > 2$ и $xyz \neq 0$, до сих пор доказанная только для частных значений показателя n) потребовали разработки общей теории числовых алгебраических колец и полей и теории делимости в них. Множество чисел называется кольцом, если сумма, разность и произведение элементов множества также принадлежат этому множеству. Таковы, например, множество целых рациональных чисел и множество четных чисел; напротив, множество нечетных чисел не есть кольцо. Если и частное двух любых элементов кольца a и b при условии $b \neq 0$ также есть элемент этого кольца, то оно называется полем. Примерами полей служат множества всех рациональных чисел, или всех действительных, или же всех комплексных чисел; множества целых рациональных и четных чисел не являются полями. Если к рациональному полю присоединить все числа, являющиеся рациональными функциями с рациональными коэффициентами от иррационального корня какого-либо неприводимого алгебраического уравнения n-й степени, то получается новое расширенное поле степени n, зависящее от этого корня или уравнения.

[1] См. *Б. Н. Делоне.* Петербургская школа теории чисел. М.— Л., 1947, Изд-во АН СССР, с. 213.



Н. В. Бугаев

В теории делимости целых рациональных чисел решающее значение имеет теорема о возможности и единственности разложения каждого такого числа в произведение простых множителей (включая $+1$ или -1). Когда понятия рациональности, целости и простоты чисел были распространены на общие алгебраические поля, выяснилось, что теорема о единственности разложения на простые множители, вообще говоря, теряет силу для колец целых алгебраических чисел (так называют корни алгебраических уравнений с целыми рациональными коэффициентами, из которых коэффициент при высшей степени равен 1). В ходе занятий теоремой Ферма Э. Куммеру потребовалось восстановить эту теорему для кольца чисел, зависящего от так называемого уравнения деления круга. Ему удалось это сделать, введя особые «идеальные» множители, не принадлежащие самому кольцу (1847).

Следующим и решающим в теории алгебраических чисел этапом явилось распространение только что указанной идеи Куммера на общие поля. В поисках решения поставленной Чебышевым задачи об интегрируемости в конечном виде некоторого эллиптического интеграла такое обобщение произвел Золотарев. Этой проблеме он посвятил докторскую диссертацию «Теория целых комплексных чисел с приложением к интегральному исчислению» (СПб., 1874) и две примыкающие к ней статьи (1877, 1880), из которых вторая увидела свет уже после его ранней гибели в возрасте всего 31 года.

Одновременно с Золотаревым и на другой основе построил теорию идеальных множителей общих алгебраических числовых полей Р. Дедекинд в 1871—1879 гг., а несколько позднее также Л. Кронекер. Равносильность теорий Золотарева и Дедекинда, каждая из которых получила важные применения, доказал в 1891—1893 гг. петербургский математик И. И. Иванов. Вслед за Золотаревым проблемами теории алгебраических чисел, кроме Иванова, занимались также Сохоцкий, А. А. Марков, изучивший кольцо целых чисел, зависящих от кубического корня из кубического числа (1892), и Вороной, который в своих магистерской (1894) и докторской (1896) диссертациях построил теорию целых чисел, зависящих от корней любых уравнений третьей степени, и для этих целей широко

обобщил алгоритм непрерывных дробей. В начале XX в. в дальнейшей разработке теории большую роль сыграла киевская алгебраическая школа: Д. А. Граве, В. П. Вельмин, затем Б. Н. Делоне, Н. Г. Чеботарев и др.

Вопросы аналитической теории чисел также не выпадали из круга интересов русских математиков после первых работ в этом направлении, принадлежавших Чебышеву. Ряд открытий в этой области, именно асимптотических формул для некоторых арифметических функций, принадлежит московскому профессору Н. В. Бугаеву (1871—1872). В 1870—1873 гг. Бугаев опубликовал также большое число арифметических тождеств, применяемых в современной теории чисел, в частности при элементарном доказательстве асимптотического закона распределения простых чисел.

Новое направление работам по аналитической теории сообщил Вороной. В 1903 г. он существенно улучшил данную в 1849 г. Дирихле оценку для больших значений n функции $S(n)$, выражающей число точек с целыми координатами x, y, для которых $xy \leqslant n$, $x > 0$, $y > 0$, т. е. которые расположены между верхней ветвью гиперболы $xy = n$ и осями координат. При решении этой задачи Вороной применил формулу суммирования Н. Я. Сонина (1885), являющуюся обобщением известной формулы Эйлера — Маклорена. Ученик Вороного польский математик В. Серпинский применил его метод к аналогичной задаче для точек внутри круга $x^2 + y^2 \leqslant n$. Асимптотическим представлением числовых функций, а также теорией квадратичных форм со многими переменными занимался в Петербурге и Я. В. Успенский.

Наконец, только что упомянутая работа Вороного явилась отправным пунктом первых исследований воспитанника петербургского университета И. М. Виноградова, который предложил новый, значительно более простой метод оценки асимптотических выражений арифметических функций (1917). Свой метод Виноградов успешно применил тогда к задачам, рассмотренным Вороным и Серпинским; кроме того, он получил более точную, по сравнению с ранее известными оценку асимптотического выражения в одной задаче Гаусса из теории двоичных квадратичных форм. Вскоре он еще улучшил последний упомянутый результат, использовав для этого новый, более сильный метод исследования (опубликовано в 1918 г.). Разработку все более общих и мощных методов решения задач аналитической теории чисел Виноградов продолжил и в дальнейшем, и уже вскоре после Великой Октябрьской революции он выдвинулся в ряды самых выдающихся в мире специалистов в теории чисел. С 1929 г. он состоит членом Академии наук СССР и с 1932 г. возглавляет крупнейший в СССР Математический институт им. В. А. Стеклова.

ТЕОРИЯ ВЕРОЯТНОСТЕЙ

Целью магистерской диссертации Чебышева (1845) явилось построение теории вероятностей на элементарной основе, и этой цели автор достиг. Одновременно Чебышев дал новый, более строгий вывод закона больших чисел Пуассона (1846). Чтение курса теории вероятностей и занятия баллистикой побудили Чебышева в 60-е годы вновь обратиться к закону больших чисел. В классической работе «О средних величинах» (1867) он с помощью неравенства, теперь носящего его имя, вывел новый, более

широкий закон больших чисел, распространенный на обширные классы последовательностей независимых случайных величин. Теорема Чебышева устанавливает, что для последовательности n случайных величин $x, y, z, \ldots$, имеющих математические ожидания $a, b, c, \ldots$ и удовлетворяющих некоторым условиям, можно с вероятностью, близкой к достоверности, утверждать, что для достаточно больших значений n среднее арифметическое случайных величин сколь угодно мало отличается от среднего арифметического их математических ожиданий. Эта теорема непосредственно следует из данной Чебышевым численной оценки вероятности того, что первая средняя отклонится от второй не более чем на какую-либо данную положительную величину. Частными случаями закона Чебышева являются и теорема Пуассона (1837) и простейший закон больших чисел Я. Бернулли (опубликованный в 1713 г.). Замечательно простое доказательство Чебышева стало впоследствии общепринятым.

В статье «О двух теоремах относительно теории вероятностей» (1887) Чебышев распространил на суммы независимых случайных величин и другое важнейшее предложение теории вероятностей — теорему Муавра — Лапласа. Эта центральная предельная теорема Чебышева гласит, что сумма многих независимых случайных величин, удовлетворяющих некоторым условиям, может быть принята с вероятностью, близкой к достоверности, за случайную величину, подчиняющуюся нормальному закону распределения Гаусса. Теорема Чебышева открывала более широкие, чем прежде, возможности применения теории вероятностей к тем задачам математической статистики, в которых изучаемое явление можно рассматривать как результат совместного действия очень большого числа случайных факторов, влияние каждого из которых весьма невелико по сравнению с их влиянием в совокупности.

Эти две статьи Чебышева сыграли выдающуюся роль в дальнейших успехах теории вероятностей. Отмечая, что благодаря Чебышеву русская школа теории вероятностей вышла на первое место в мире, крупнейший современный специалист в этой области А. Н. Колмогоров пишет:

«С методологической стороны основной переворот, совершенный Чебышевым, заключался не только в том, что он впервые с полной настойчивостью выдвинул требование абсолютной строгости доказательства предельных теорем (выводы Муавра, Лапласа и Пуассона были с формально-логической стороны отнюдь не безупречны, в отличие, впрочем, от Бернулли, который свою предельную теорему доказал с исчерпывающей арифметической строгостью), но главным образом в том, что Чебышев всюду стремился получить точные оценки отклонений от предельных закономерностей, возможных хотя бы и при большом, но конечном числе испытаний, в виде безусловно правильных при любом числе испытаний неравенств.

Далее, Чебышев впервые ясно оценил и использовал всю силу понятий «случайной величины» и «математического ожидания» (среднего значения) случайной величины. Понятия эти были известны и ранее и являются производными от основных понятий «события» и «вероятности». Но случайные величины и их математические ожидания подчинены гораздо более удобному и гибкому алгоритму» [1].

---

[1] *А. Н. Колмогоров.* Роль русской науки в развитии теории вероятностей.— Учен. зап. Моск. Гос. ун-та. М., 1947, вып. 91, с. 56.

При доказательстве обеих предельных теорем Чебышев опирался на свои работы по оценке значений определенных интегралов. Вот, в механических выражениях, постановка простейшей задачи, на которую обратил внимание Ж. Бьенэме и которая получила обобщение и детальную разработку у Чебышева и его учеников. Даны: длина, вес, место центра тяжести и момент инерции материальной прямой с переменной плотностью; требуется найти наиболее тесные пределы для веса некоторого отрезка прямой. В более общем виде задача такова: найти границы, между которыми лежит значение интеграла $\int_a^b f(x)\,dx$, если известны значения моментов функции $f(x)$ — интегралов $M_k = \int_a^b x^k f(x)\,dx$, $k = 0,1 \ldots, m$, причем $A < a < b < B$. Задача была изучена Чебышевым (1874 и следующие годы), а также в несколько иных условиях А. А. Марковым, Поссе, Сониным и другими. Этим кругом вопросов, тесно связанным с теорией непрерывных дробей, во Франции успешно занимался почти одновременно Т. Стилтьес. А. А. Марков, в частности, доказал одно предложение Чебышева, использованное последним при выводе центральной предельной теоремы без доказательства, и тем самым сообщил этому выводу недоставшую полноту.

А. А. Марков, крупнейший, наряду с Ляпуновым, ученик Чебышева, блестяще продолжал традиции своего учителя как в качестве профессора Петербургского университета, где он преподавал с 1880 г., так и в Академии наук, избравшей его своим членом в 1886 г. С помощью метода моментов Марков провел глубокое исследование закона больших чисел и центральной предельной теоремы и показал, что оба они сохраняют силу и при менее ограничительных условиях, чем предполагавшиеся первоначально. Для еще более широких классов случайных независимых величин центральную предельную теорему доказал Ляпунов (1900—1901), применивший при этом метод характеристических функций, восходящий к Лапласу и усовершенствованный самим Ляпуновым. Через несколько лет Маркову удалось доказать теорему Ляпунова и с помощью дополненного им метода моментов (1908). Обе предельные теоремы явились впоследствии предметом многочисленных изысканий в СССР и других странах, причем удалось значительно раздвинуть область их применения. Метод моментов Чебышева — Маркова используется и в наше время, хотя главное место в изучении случайных величин занял метод характеристических функций Ляпунова.

Основным предметом теории вероятностей до начала XX в. служили независимые случайные величины. Решающее значение для дальнейшего прогресса этой науки приобрело введение Марковым «испытаний, связанных в цепь» или, как стали говорить позже, марковских цепей. К разработке теории зависимых случайных величин Марков приступил в 1906 г. Последовательность случайных величин называется простой цепью Маркова, если условные вероятности значений, принимаемых $(n+1)$-й величиной (вероятности перехода), оказываются вполне определенными, когда известны значения, принятые непосредственно предшествующей ей n-й величиной, так что при известном значении n-й величины $(n+1)$-я величина не зависит от первых $n-1$ величин. В сложной цепи Маркова k-ого порядка вероятности значений величины определяются значениями k

предшествующих ей величин. Цепь Маркова называется однородной, если вероятностная зависимость от предыдущих одна и та же для всех номеров величин, и неоднородной, если эта зависимость меняется от номера к номеру. Частные задачи на цепи Маркова решал еще А. Пуанкаре. Первой работой Маркова в этой области была статья «Распространение закона больших чисел на величины, зависящие друг от друга», именно на простые однородные цепи (1907). В том же году Марков распространил на некоторые виды цепей центральную предельную теорему. В 1910—1911 гг. он построил теорию сложных и неоднородных цепей.



А. А. Марков

В качестве примера употребления теории цепей Марков рассмотрел (1913) закономерности чередования гласных и согласных букв в начале романа Пушкина «Евгений Онегин». Он исходил из того, что вероятность появления в данном месте текста гласной и согласной зависит от характера одной или двух предыдущих букв. Такой пример мог показаться в то время малозначительным; впоследствии теоретико-вероятностное изучение чередований букв и слогов в разных языках стало актуальной проблемой теории информации. Но еще задолго до появления теории информации марковские цепи нашли многообразное применение в статистической физике, технике и биологии. Наряду с теорией дискретных цепей бурное развитие получила теория непрерывных «марковских процессов».

В начале XX в. в России велись также работы по различным вопросам математической статистики, особенно профессором Петербургского университета А. А. Чупровым и работавшим тогда в Киеве Е. Е. Слуцким. Наконец, в 1917 г. С. Н. Бернштейн предложил первую систему аксиом теории вероятностей. Основные работы Бернштейна и Слуцкого в области теории вероятностей были выполнены уже после Октябрьской революции.

ТЕОРИЯ РАВНОМЕРНОГО ПРИБЛИЖЕНИЯ ФУНКЦИЙ

Приближения функций с помощью степенных и тригонометрических рядов или интерполяционных формул были известны издавна. Чебышев предложил новый подход к этой проблеме. В машиностроении важную роль играет выбор такого соотношения между звеньями шарнирного механизма, преобразующего вращательное движение в поступательное и об-

ратно, при котором поступательное движение возможно более близко к прямолинейному; к таким механизмам относится, например, параллелограмм Уатта, переводящий вращение кривошипа в поступательное движение поршня и обратно. Чебышев поставил задачу определения элементов механизма Уатта, при котором наибольшее отклонение некоторых связанных с ним точек от прямой было бы на некотором участке возможно меньшим. Это привело его к задаче об определении среди функций того или иного класса тех, которые наименее отклоняются в указанном смысле на данном промежутке от данной функции. В первой работе, посвященной этому вопросу,— «Теория механизмов, известных под названием параллелограммов» (1854) Чебышев ставит вопрос о нахождении среди всех многочленов $P_n(x)$ степени не выше n такого, чтобы значение $\max\limits_{a \leqslant x \leqslant b} |F(x) - P_n(x)|$, т. е. максимальное «уклонение» многочлена от данной непрерывной функции $F(x)$ на промежутке (a, b) было наименьшим. Эту теорию сейчас называют теорией равномерного приближения функций.

Чебышев положил начало общей теории равномерного приближения. До него Лаплас, Фурье и Понселе решили только отдельные весьма частные вопросы такого рода. В только что названном мемуаре Чебышев привел некоторые характерные свойства многочленов наилучшего приближения. В частности, он решил задачу приближения с помощью многочленов $(n-1)$-й степени функции x^n, или, что то же, задачу об отыскании многочлена $x^n + p_1 x^{n-1} + \ldots + p_n$ степени n с коэффициентом при старшей степени равным 1, наименее уклоняющегося от нуля на промежутке $(-1, +1)$. В качестве результата он нашел многочлен

$$\frac{T_n(x)}{2^{n-1}} = \frac{\cos(n \arccos x)}{2^{n-1}} = \frac{1}{2^n}\left[(x + \sqrt{x^2-1})^n + (x - \sqrt{x^2-1})^n\right];$$

многочлены $T_n(x)$ носят теперь имя Чебышева (T — первая буква его фамилии во французской транскрипции).

В работе «Вопросы о наименьших величинах, связанные с приближенным представлением функций» (1859) Чебышев рассматривает более общую задачу выбора параметров $p_1, p_2, \ldots, p_n$ функции $F(x, p_1, p_2, \ldots, p_n)$ в промежутке $(-h, h)$, при которых наибольшее отклонение функции от нуля, т. е. значение $\max\limits_{h \leqslant x \leqslant h} [F(x, p_1, p_2, \ldots, p_n)]$ является наименьшим. Здесь Чебышев установил необходимое условие, при котором система параметров дает решение задачи, а также рассмотрел некоторые случаи, когда $F(x)$ есть рациональная функция. Чебышев решил и отдельные задачи, в которых искомая функция, наименее уклоняющаяся от нуля, должна удовлетворять дополнительным требованиям, например при данном значении x принимать данное значение.

Исследования Чебышева по приближению функций были продолжены Золотаревым (1877) и А. А. Марковым, который, отправляясь от одной задачи, поставленной Менделеевым, приступил к изучению связей между предельными значениями многочленов и их производных (1889). В 1892 г. В. А. Марков распространил исследование своего старшего брата на производные любого порядка. К сожалению, замечательный талант В. А. Маркова не успел расцвести: он умер от туберкулеза всего 26 лет от роду. В 1912 г. оценка, полученная А. А. Марковым для верхнего предела значений производной, была значительно улучшена Бернштейном.

С теорией равномерного приближения функций тесно связаны многие проблемы: интерполирование функций, теория ортогональных многочленов (к числу которых относятся и многочлены Чебышева), формулы приближенного интегрирования и т. д. Во всех этих областях Чебышев и его ближайшие последователи, особенно А. А. Марков, Поссе, Сохоцкий, Сонин, сделали важные открытия, приумноженные математиками последующих поколений.

В начале XX в. теория наилучшего приближения функций получила совершенно оригинальное развитие благодаря установлению тесных связей между нею и теорией функций, которую разрабатывали К. Вейерштрасс, Э. Борель, А. Лебег, Ш. Ж. де ла Валле-Пуссен и другие зарубежные математики. В школе Чебышева была разносторонне изучена задача об отыскании многочлена n-й степени $P_n(x)$, наименее уклоняющегося на данном отрезке (a, b) от данной непрерывной функции $f(x)$. Обозначим максимум абсолютного значения $[f(x) - P_n(x)]$ на (a, b) через $E_n[f(x)]$ [1]. С увеличением степени n многочлена $P_n(x)$ уклонения E_n, вообще говоря, уменьшаются. Чебышев и его ближайшие ученики не интересовались вопросом о поведении величины E_n при возрастании n; они занимались всякий раз отысканием наилучшего приближения для данной функции при заданной степени $P_n(x)$ в тех или иных конкретных условиях. В 1885 г. Вейерштрасс доказал, что всякая непрерывная на отрезке (a, b) функция $f(x)$ может быть представлена как сумма равномерно сходящегося ряда степенных многочленов. Поэтому для всякой непрерывной функции $f(x)$ значения уклонения $E_n[f(x)]$, соответствующие ее аппроксимации многочленами наилучшего приближения, при $n \to \infty$ стремятся к нулю.

В начале XX в. ряд математиков Западной Европы заинтересовались проблемами приближения функций степенными многочленами и изучением поведения величины, обозначенной ими $E_n[f(x)]$. Исходя из конкурсной задачи, выдвинутой в 1908 г. по предложению де ла Валле-Пуссена Бельгийской академией наук, Бернштейн, в то время приват-доцент Харьковского университета, приступил к исследованию общих свойств уклонения $E_n[f(x)]$ при неограниченном увеличении n. В работе, премированной в 1911 г. Бельгийской академией и составившей главную часть его докторской диссертации — «О наилучшем приближении непрерывных функций посредством многочленов данной степени» (1912), Бернштейн показал, что между аналитическими и дифференциальными свойствами функции $f(x)$ и асимптотическим законом убывания $E_n[f(x)]$ при $n \to \infty$ имеются глубокие и тесные зависимости. Некоторые частные результаты такого рода были тогда же получены и американским ученым Д. Джексоном. Эта работа Бернштейна открыла совершенно новые области теории наилучшего приближения функции; в 1912 г. он сделал по этому вопросу обзорный доклад на V Международном конгрессе математиков в Кембридже. Впоследствии, в 1938 г., Бернштейн назвал всю совокупность соответствующих направлений конструктивной теорией функций. К рассматриваемому времени относится и статья Бернштейна по теории так называемых квазианалитических функций (1914).

В 1917 г. Бернштейн был избран профессором Харьковского университета, а в 1929 г.— членом Академии наук СССР.

[1] От французского слова écart (уклонение).

ИНТЕГРИРОВАНИЕ АЛГЕБРАИЧЕСКИХ ФУНКЦИЙ

Выше было отмечено, что диссертация на право чтения лекций, представленная Чебышевым в 1847 г., имела своим предметом теорию интегрирования иррациональных алгебраических функций, которой перед тем в России занимался Остроградский. В дальнейшем Чебышев посвятил этой теории еще 6 работ: первая из них (1853) содержала обобщение открытий, изложенных в диссертации. Целью Чебышева было установление условий, при которых алгебраические иррациональные функции некоторого класса интегрируются в элементарных функциях, и в определении окончательного результата интегрирования. Доказанные Чебышевым теоремы позволили ему, в частности, окончательно решить одну задачу, восходящую к Ньютону, Гольдбаху и Эйлеру. Усилиями этих математиков было выяснено, что биноминальный дифференциал $x^m (a + bx^n)^p dx$ при рациональных m, n, p интегрируется в конечной форме, если какое-либо из чисел p, $(m+1)/n$, $(m+1)/n + p$ — целое положительное. Чебышев доказал, что этими случаями дело и ограничивается, в остальных же случаях интеграл в элементарных функциях не выражается.

Вслед за тем Чебышев занялся теорией эллиптических интегралов, и особенно задачей об интегрируемости в конечном виде дифференциала $\frac{(x+A)dx}{\sqrt{p_4(x)}}$, где $p_4(x) = x^4 + ax^3 + bx^3 + cx + d$ (1857, 1861). Если многочлен $p_4(x)$ имеет равные корни, интеграл вычисляется без труда; в противном случае он либо вовсе не интегрируется в конечном виде, либо интегрируется при одном-единственном значении постоянной A. Чебышев сообщил без доказательства прием, позволяющий в случае рациональных коэффициентов a, b, c, d найти соответствующее значение A, если оно существует, или же показать, что интеграл не выражается в элементарных функциях ни при каком значении A. Составной частью приема является исследование целых решений некоторой неопределенной системы двух уравнений шестой степени с тремя неизвестными. В 1872 г. Золотарев опубликовал полное обоснование приема Чебышева с помощью теории эллиптических функций Якоби. В докторской диссертации 1874 г. Золотарев распространил решение вопроса и на случай любых действительных коэффициентов. Именно в этой связи Золотарев построил свою общую теорию делимости алгебраических чисел, которой с полным основанием придавал гораздо более широкое значение, чем обобщению метода Чебышева.

Разработкой проблем интегрирования алгебраических функций занимался тогда же профессор Петербургского университета и академик О. И. Сомов (1850), бывший, как и Чебышев, учеником Брашмана. Этому кругу вопросов Сомов посвятил еще свою магистерскую диссертацию (1841), защищенную еще в Москве; в Петербурге он первым начал чтение университетского курса теории эллиптических функций. Занимаясь главным образом теоретической механикой, Сомов применил эллиптические функции к задаче о движении твердого тела вокруг неподвижной точки, усовершенствовав ее решение в двух рассмотренных к тому времени случаях — Эйлера — Пуансо и Лагранжа — Пуассона (1851, 1856).

Приведением интегралов иррациональных функций к эллиптическим занимался и петербургский математик А. В. Бессель (1865). Позднее много и успешно работали в этой обширной области профессор Петербургского университета И. Л. Пташицкий, посвятивший ей свои магистерскую (1881) и докторскую (1888) диссертации, и воспитанник, а затем профессор петербургского Горного института И. П. Долбня (1890 и последующие годы). Общей теории абелевых интегралов была посвящена также магистерская диссертация ученика Поссе и Маркова Мордухай-Болтовского (1906), профессора университета в Варшаве, а затем в Ростове-на-Дону.

ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЕ УРАВНЕНИЯ

Теория дифференциальных уравнений разрабатывалась в рассматриваемое время в нескольких направлениях. Следуя хронологическому порядку, мы прежде всего остановимся на исследованиях в области уравнений с частными производными, классические методы решения которых, от Эйлера до Якоби, были изложены в первой докторской диссертации по математике, защищенной в 1837 г. в Москве Н. Е. Зерновым.

Уроженец Риги и ученик Зернова и Брашмана по Московскому университету А. Ю. Давидов, один из основателей и первый президент Московского математического общества, опубликовал несколько работ по уравнениям в частных производных. В статье «Об уравнениях с частными дифференциалами какого-нибудь порядка» (1866) он обобщил теорию характеристик, развитую Г. Монжем для уравнений первого и второго порядка, на уравнения n-го порядка с двумя неизвестными переменными.

Классические приемы интегрирования уравнений с частными производными первых двух порядков систематизировал и усовершенствовал В. Г. Имшенецкий. Выпускник Казанского университета, затем профессор в Казани и Харькове, после своего избрания в академики он работал в Петербурге. В его магистерской (1863) и докторской (1868) диссертациях были улучшены приемы Якоби интегрирования уравнений первого порядка и приемы Лапласа, Монжа и Ампера интегрирования уравнений второго порядка. Обе диссертации во французском и немецком переводах были изданы за границей. В своей докторской диссертации Имшенецкий впервые применил так называемые касательные преобразования, общую теорию которых вскоре развил норвежский математик С. Ли.

Отметим попутно работы Имшенецкого по отысканию дробно-рациональных интегралов линейных дифференциальных уравнений, все коэффициенты которых являются целыми рациональными функциями независимого переменного (1887—1891). Метод Имшенецкого, основанный на применении специального интегрирующего множителя, вызвал острую полемику среди математиков; впоследствии он был усовершенствован Д. М. Синцовым (1898 и последующие годы).

Классические методы решения уравнений с частными производными обобщались и уточнялись также в диссертациях киевского математика В. П. Ермакова (1873, 1877), особенно известного открытием одного весьма сильного признака сходимости бесконечных рядов (1871), в докторской диссертации Н. Я. Сонина (1874) и магистерской диссертации Д. Ф. Егорова (1898).

К общей теории уравнений с частными производными относятся и главные математические исследования С. В. Ковалевской. Разделявшая передовые идеи русского демократического движения, Ковалевская еще юной девушкой решила бороться за равноправие женщин, показав лич-



И. Я. Сонин

ным примером женщинам путь в науку. Чтобы освободиться от отцовской власти (отец ее был генералом в отставке), она вступила в брак с В. О. Ковалевским, впоследствии знаменитым палеонтологом, и в 1869 г. отправилась в Германию с целью получить там высшее образование. Математической подготовкой Ковалевской взялся руководить К. Вейерштрасс, занимавшийся с ней частным образом: в то время женщин не принимали в университеты не только в России, но и в Германии. В 1874 г. Вейерштрасс отправил в Геттингенский университет три работы Ковалевской, за которые ей была присвоена степень доктора философии. Одна из них — «К теории дифференциальных уравнений в частных производных» (опубликована в 1875 г.) — была посвящена общей теории уравнений с частными производными, вторая (опубликована в 1884 г.) — приведению некоторого класса абелевых интегралов к эллиптическим, третья (опубликована в 1885 г.) — вопросу о форме кольца Сатурна. Во всех трех работах применялись методы и результаты Вейерштрасса.

В 1874 г. Ковалевская вернулась в Россию. В 1880 и 1883 гг. она выступила с докладами на съездах русских естествоиспытателей, в 1881 г. Московское математическое общество избрало ее своим членом. Однако получить работу по специальности на родине она не могла, ей даже не было разрешено держать магистерские экзамены при Московском университете. В 1883 г., после смерти мужа, оставшись с маленькой дочерью в тяжелом материальном положении, Ковалевская приняла предложение шведского математика Г. Миттаг-Леффлера стать доцентом открытого незадолго до того Стокгольмского университета и переехала в Стокгольм. В 1884 г. она стала профессором этого университета — первым в мире женщиной-профессором, а в 1888—1889 гг. получила две премии Парижской академии наук за работы о вращении твердого тела вокруг неподвижной точки (она исследовала третий классический случай этой задачи — «случай Ковалевской») [1].

В 1889 г. после этого триумфа Ковалевской Петербургская академия по предложению Чебышева, Имшенецкого и Буняковского приняла решение о допущении женщин к избранию в члены-корреспонденты и присудила это звание Ковалевской. Однако получить работу в России она

[1] Об этих исследованиях Ковалевской говорится в гл. 22.

по-прежнему не могла. Ковалевская умерла в расцвете сил от воспаления легких.



С. В. Ковалевская

В первой из трех упомянутых работ Ковалевской (1874) была доказана известная теорема Коши — Ковалевской о существовании и единственности аналитических решений нормальных дифференциальных уравнений с частными производными и их систем при некоторых начальных условиях. Ковалевская показала также, как уравнение, не имеющее нормальной формы, можно привести к ней линейным преобразованием аргументов, и привела поразивший своей неожиданностью пример степенного ряда, формально удовлетворяющего некоторому уравнению, но, вообще говоря, расходящегося. Исследование Ковалевской содержало дальнейшую глубокую разработку вопроса, которым ранее занимался Коши; с этим связано название теоремы. Вскоре после Ковалевской почти к тем же результатам пришел также французский математик Г. Дарбу, незнакомый с ее замечательной работой.

Важные результаты в теории уравнений с частными производными были получены Бернштейном в его защищенной в Париже диссертации «Об аналитической природе решений дифференциальных уравнений с частными прозводными второго порядка» (1904), а также в магистерской диссертации «Исследование и интегрирование дифференциальных уравнений с частными производными эллиптического типа», защищенной в Харькове (1908) [1]. Бернштейн доказал существование аналитического решения задачи Дирихле для широкого класса нелинейных эллиптических уравнений с частными производными. Эти работы в большой мере определили характер исследований по 19-й и 20-й проблемам, поставленным в программном докладе Д. Гильберта на Международном математическом конгрессе в Париже в 1900 г.

Наиболее значительные результаты в теории обыкновенных дифференциальных уравнений были получены Ляпуновым, который наряду с А. Пуанкаре явился создателем общей качественной теории дифференциальных уравнений (этот термин принадлежит Пуанкаре). В этой теории свойства решений дифференциальных уравнений исследуются только на основании характера самих уравнений, без их предварительного интег-

[1] Защита диссертации за рубежом не давала права занимать должность доцента или профессора в русских университетах. Поэтому Бернштейн защитил в Харькове магистерскую диссертацию, содержавшую и новые его открытия в этой области.



А. М. Ляпунов.

рирования, которое в большинстве вопросов общей и небесной механики в замкнутой аналитической форме невыполнимо.

Ляпунов принадлежал к исключительно талантливой семье, из которой вышло много выдающихся деятелей науки и искусства; один из его младших братьев был композитором, другой — филологом-славистом. Окончив Петербургский университет, Ляпунов работал в Харькове, а с 1901 г., после избрания академиком — в Петербурге. Мы уже говорили о его работах по теории вероятностей, но основные его открытия относятся к теории дифференциальных уравнений, математической физике и гидродинамике. В своей магистерской диссертации «Об устойчивости эллипсоидальных форм равновесия вращающейся жидкости» (1884) он начал исследование классической задачи, которой занимались Ньютон, Маклорен, Клеро, Д'Аламбер, Лаплас, Якоби и Лиувилль (мы рассмотрим ее в следующей главе). Качественной теории дифференциальных уравнений посвящены докторская диссертация Ляпунова «Общая задача об устойчивости движения» (1892) и другие работы 1888—1902 гг.

В предисловии к диссертации Ляпунов так излагает постановку задачи: «В этом сочинении излагаются некоторые способы для решения вопросов о тех свойствах движения и, в частности, равновесия, которые известны под названием устойчивости и неустойчивости.

Обыкновенные вопросы такого рода... приводят к исследованию дифференциальных уравнений вида

$$\frac{dx_1}{dt} = X_1, \quad \frac{dx_2}{dt} = X_2, \quad \ldots \frac{dx_n}{dt} = X_n,$$

вторые части которых, зависящие от времени и неизвестных его функций $x_1, x_2, \ldots, x_n$ при величинах x_s, численно достаточно малых, разлагаются в ряды по целым положительным степеням последних и уничтожаются, когда все эти величины делаются нулями.

Задача состоит при этом в том, чтобы узнать — можно ли начальные значения функций x_s, не делая их нулями, выбирать настолько численно малыми, чтобы во все время, следующее за начальным моментом, функции эти оставались численно меньшими некоторых заранее данных. отличных от нуля, но сколь угодно малых пределов» [1].

[1] *А. М. Ляпунов.* Общая задача об устойчивости движения. М.— Л., Гостехтеоретиздат, 1950, с. 9.

В настоящее время систему дифференциальных уравнений указанного вида называют динамической, поскольку к ней приводятся задачи о движении конечного числа материальных точек или твердых тел, подчиняющихся законам динамики. Но такие системы характеризуют и многие другие физические процессы, например поведение электрических систем. Решения динамических систем называют траекториями. Ляпунов называл решения системы движениями, исследуемое решение, соответствующее начальному значению времени $t = t_0$, невозмущенным движением, а все остальные движения, с которыми оно сравнивается, возмущенными. Невозмущенное движение называется, по Ляпунову, устойчивым, если на всем бесконечном промежутке времени $t \geqslant t_0$ возмущенные движения (траектории) оказываются достаточно близкими к невозмущенному.

До Ляпунова рассматривались только отдельные случаи проблемы, причем пользовались более частными определениями устойчивости. Обычный прием исследования состоял в том, что в разложениях функций $X(t, x_1, x_2, \ldots, x_n)$ в ряды отбрасывались все члены выше первого измерения относительно величин x_s и вместо первоначальной системы уравнений вида $dx_s/dt = X_s$ $(s = 1, 2, \ldots n)$ рассматривалась система первого приближения, именно система линейных уравнений вида $dx_s/dt = p_{s1}x_1 + p_{s2}x_2 + \ldots + p_{sn}x_n$, где коэффициенты p_{sr}, вообще говоря, зависят от t, после чего найденный результат переносили на данную, вообще говоря, нелинейную систему. Ляпунов подчеркивал, что законность такого упрощения задачи заранее ничем не оправдывается, а условия, при которых ограничение такого рода первым приближением законно, обыкновенно не указываются. Иногда исследователи принимали в расчет члены второго или еще более высоких порядков, но, как писал Ляпунов, «вообще таким путем достигается только более точное представление функций x_s в пределах известного промежутка времени, что, конечно, не дает новых оснований для каких-либо заключений об устойчивости» (для всех $t \geqslant t_0$) [1].

За несколько лет до Ляпунова исследование решения проблемы устойчивости предпринял Пуанкаре (1878—1885), но он ограничился преимущественно изучением решений систем дифференциальных уравнений с двумя и тремя искомыми функциями. Высоко оценивая работы Пуанкаре, Ляпунов подчеркивал, что, хотя Пуанкаре рассмотрел лишь очень частные случаи, методы его допускают значительно более общие приложения.

В своей докторской диссертации Ляпунов поставил и исследовал проблему устойчивости в широком плане. Вопрос о том, когда об устойчивости можно судить по первому приближению, он рассмотрел при весьма общих предположениях о характере функций X_s, стоящих в правой части уравнений систем, и со всей строгостью, которой иногда недоставало в работах Пуанкаре. В нескольких важных случаях он изучил вопрос об устойчивости, когда решить его по первому приближению нельзя. Особенно подробно исследованы в диссертации существенные в механике системы, у которых все коэффициенты разложений функций X_s в степенные ряды постоянны (установившиеся движения) или же суть периодические функции t с общим периодом. Вот две теоремы, относящиеся к системам с постоянными коэффициентами. Если для системы первого приближения

[1] *А. М. Ляпунов.* Общая задача об устойчивости движения, с. 11.

$dx_s/dt = p_s x_1 + \ldots + p_{sn} x_n$ действительные части всех собственных чисел матрицы ее коэффициентов отрицательны, то движение системы уравнений $dx_s/dt = X_s$ устойчиво и любое возмущенное движение, достаточно близкое к невозмущенному, асимптотически приближается к нему при $t \to \infty$. Если же среди собственных чисел матрицы имеется хотя бы одно с положительной действительной частью, то движение неустойчиво.

Большие аналитические трудности возникают при наличии среди собственных чисел таких, действительная часть которых равна нулю, т. е. которые либо нули, либо чисто мнимы. Первое приближение тогда оказывается недостаточным. Ляпунов с чрезвычайным искусством разобрал до конца некоторые случаи такого рода, например важный в приложениях к механике случай, когда имеются два чисто мнимых сопряженных собственных числа, а действительные части остальных отрицательны. Не входя в другие подробности, отметим еще две статьи Ляпунова об устойчивости уравнения второго порядка $d^2x/dt^2 + p(t)x = 0$ с периодическим коэффициентом $p(t)$ (1896, 1902), которое изучал также Н. Е. Жуковский (1882, 1891). Заметим попутно, что в 1876 г. Жуковский независимо от Пуанкаре пришел к классификации особых точек дифференциальных уравнений первого порядка и исследовал поведение интегральных кривых, т. е. графиков решений уравнения, в окрестности таких точек. Этот результат, помещенный в магистерской диссертации Жуковского по гидромеханике, не обратил на себя внимания математиков, а сам он к учению об особых точках дифференциальных уравнений более не возвращался.

Рассматриваемые исследования Ляпунова тесно переплетались с аналогичными изысканиями Пуанкаре. Но если отдельные открытия обоих ученых совпадали, это не относится к главному содержанию их исследований, прекрасно дополнявших друг друга. Существенно различными были и применявшиеся ими методы. Пуанкаре развивал геометрически-топологические приемы исследования: самый цикл его главных работ назывался «О кривых, определяемых дифференциальными уравнениями». Ляпунов применял чисто аналитический аппарат. Оба подхода оказались чрезвычайно плодотворными. В XX в. качественные методы и теория устойчивости дифференциальных уравнений получили новое развитие, в частности в советской школе математиков, а их приложения вышли далеко за пределы теоретической механики и астрономии и приобрели первостепенное значение в технике: конструировании самолетов, точном приборостроении, расчете моторов и т. д.

Топологические методы теории дифференциальных уравнений были применены в России прежде всего П. Г. Болем, уроженцем Латвии, питомцем Дерптского университета, а впоследствии профессором Политехникума и университета в Риге. Работы Боля примыкали к исследованиям Пуанкаре и немецкого математика А. Кнезера, работавшего в Дерпте в 1890—1900 гг. В своей докторской диссертации (1900) Боль исследовал систему дифференциальных уравнений $\frac{dx_s}{dt} = \sum_{r=1}^{n} p_{sr} x_r + \xi_s(t, x_1, \ldots, x_n)$ с постоянными коэффициентами p_{rs}, причем функции ξ_s удовлетворяют некоторым дополнительным условиям, а собственные числа матрицы коэффициентов p_{rs} имеют ненулевые действительные части. Боль установил существование решений системы, рассмотрел структуру множества решений в зависимости от количества собственных чисел с положительной и отрицательной действительной частью и выяснил асимптотическое поведение решений при $t \to \infty$. Развитый им математический аппарат Боль применил к анализу движения механической системы под действием возмущающих сил вблизи положения неустойчивого равновесия.

При доказательстве существования решений дифференциальных уравнений Боль применил выведенную им здесь же топологическую теорему о невозможности такого непрерывного отображения круга на ограничивающую его окружность, при котором каждая точка окружности переходит в саму себя. Вслед за тем он сформулировал без доказательства обобщение этой теоремы на n-мерный шар, а доказательство этого и некоторых других весьма общих топологических предложений привел в одной статье по механике 1904 г. Известная теорема Л. Э. Брауэра о существовании неподвижной точки при непрерывном преобразовании шара в себя (1909) может быть легко выведена из предложений Боля. Однако открытия Боля в топологии и их применения в качественной теории, изложенные в его работах по приложениям дифференциальных уравнений к механике, не привлекли в свое время внимания, и Брауэр пришел к своим теоремам о неподвижных точках, следуя по совершенно другому пути. Начиная со второго десятилетия XX в., именно после работ Пуанкаре (1912) и Дж. Биркгофа (1913), метод неподвижных точек стал в качественной теории дифференциальных уравнений одним из основных средств исследования. Заметим, что в магистерской диссертации Боля (1893) впервые рассмотрены функции, названные им «периодическими в расширенном смысле» (мы называем эти функции квазипериодическими); к ним относятся линейные комбинации синусоидальных функций с несоизмеримыми периодами. Эти функции Боль также применял в работах по дифференциальным уравнениям и, в частности изучал квазипериодические решения некоторого уравнения с квазипериодическими коэффициентами (1906). Впоследствии, отправляясь от идей Боля, датский математик Г. Бор (брат физика Н. Бора) начал разработку теории почти периодических функций (1925 и последующие годы).

ЭЛЕМЕНТЫ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО АНАЛИЗА

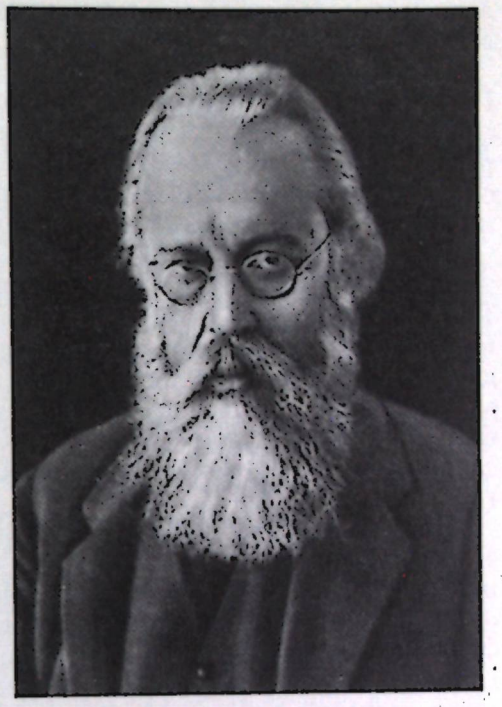
Мы уже упоминали об исследованиях Чебышева и его учеников Сохоцкого, Поссе, А. А. Маркова и других по теории ортогональных многочленов. Название «ортогональные многочлены» объясняется тем, что условие ортогональности многочленов $\int_a^b P(x) Q(x) p(x) dx = 0$, где $p(x)$ есть так называемый «вес», является обобщением условия ортогональности $\sum_{k=1}^{n} p_k x_k y_k = 0$ векторов $x = \{x_k\}$ и $y = \{y_k\}$ в n-мерном евклидовом пространстве с метрическим тензором $g_{kl} = \begin{cases} p_k & \text{при } k = l \\ 0 & \text{при } k \neq l \end{cases}$. Чебышев, которому была чужда идея многомерного пространства, именовавшаяся в его школе «псевдогеометрической», не говоря уже о бесконечномерном пространстве функций, вводил те или иные классы ортогональных многочленов, исходя не

из идеи ортогональности функций, а отправляясь от ставившихся им конкретных задач и применяя метод непрерывных дробей. Исследования Чебышева и его последователей сыграли важную роль в создании современного функционального анализа, основанного на рассмотрении функций как векторов бесконечномерных пространств с евклидовой или более общей эрмитовой метрикой. Впрочем, Сонин в 1887 г. пошел по другому пути, определяя ортогональные многочлены как целые функции, однозначно определяемые указанным интегральным условием ортогональности относительно данного веса $p(x)$ на данном промежутке (a, b) так, как это делают теперь.

Функциональный анализ, один из самых важных разделов современной математики, находящий самые широкие приложения в физике, например в квантовой механике, складывался в течение десятилетий путем синтеза и обобщения идей многих классических дисциплин, иногда далеких одна от другой: теории дифференциальных и интегральных уравнений, вариационного исчисления, геометрии многомерных пространств, теории множеств, абстрактной алгебры, операционного исчисления и т. д. Этот процесс синтеза начался в последние десятилетия XIX в. и принял вполне определенные черты в начале нынешнего столетия. Теория ортогональных функций явилась одним из элементов, вошедших в состав функционального анализа. Мы рассмотрим далее некоторые направления творчества русских математиков, в той или иной степени содействовавшие возникновению функционального анализа; при этом мы будем по возможности следовать хронологическому порядку работ.

С разработкой теории дифференциальных уравнений тесно связаны были успехи так называемого символического, или операционного, исчисления, первое систематическое изложение которого на русском языке дал в своей магистерской диссертации (1862) М. Е. Ващенко-Захарченко, впоследствии профессор Киевского университета. В этом исчислении дифференциальный оператор d/dt обозначается через p, оператор d^n/dt^n через p^n, а интеграл $\int_0^t f(t)\,dt$ рассматривается как действие на функцию $f(t)$ оператора $1/p$. Линейное дифференциальное уравнение $\sum_{k=0}^{n} a_k \frac{d^{n-k}}{dt^{n-k}} f(t) = 0$ с начальным условием $d^k/dt^k\, f(0) = 0$ $(k = 0, 1, \ldots, n-1)$ записывается в виде $P(p)f(t) = 0$, где $P(p) = \sum_{k=0}^{n} a_k p^{n-k}$, а его решение есть $1/P(p)f(t)$, вычисляемое с помощью формального разложения дроби $1/P(p)$ в бесконечный ряд. Операционное исчисление, получившее впоследствии широкое распространение благодаря работам английского физика О. Хевисайда, было строго обосновано только в XX в.

Здесь же следует упомянуть теорию «междупредельных производных», т. е. производных дробного порядка, предложенную в развитие идей, восходящих еще к Лейбницу и Эйлеру, профессором Московского высшего технического училища А. В. Летниковым, которого мы упоминали в связи с его переводом «Геометрических исследований» Лобачевского. Проблеме производных дробного порядка были посвящены магистерская (1868) и докторская (1874) диссертации Летникова. С помощью этих производных Летников развил новый метод решения ряда классов линейных дифференциальных уравнений второго порядка с переменными коэффициентами, в частности, уравнений, определяющих ортогональные многочлены Лежандра и Чебышева. Подобно операционному исчислению, обобщенные производные (правда, не в той форме, в какой их вводил Летников) включаются в общую теорию линейных операторов в функциональном пространстве.



В. А. Стеклов

Особенно крупные достижения в тех направлениях, которые вели к функциональному анализу, принадлежат В. А. Стеклову. Воспитанник Харьковского университета и ученик Ляпунова, Стеклов с 1891 г. в течение 15 лет преподавал в Харьковском университете, а в 1906 г., после выхода в отставку Маркова, возглавил кафедру математики в Петербургском университете, где положил начало большой школе математической физики, процветающей и в наше время. В 1910 г. он был избран академиком. Человек передовых общественных воззрений (быть может, в этом сыграли роль и семейные традиции: он приходился по матери племянником Н. А. Добролюбова), Стеклов сразу после Октябрьской революции вместе с другими лучшими представителями русской интеллигенции твердо стал на сторону Советской власти и с 1919 г. до самой смерти в 1926 г. вел огромную научно-организационную работу в качестве вице-президента Академии наук СССР. В 1921 г. он организовал Физико-математический институт, впоследствии разделенный на три института. Один из них, Математический институт АН СССР, являющийся крупнейшим центром, носит имя своего основателя.

Магистерская диссертация Стеклова была посвящена вопросу о движении твердого тела в жидкости (1893). В середине 90-х годов он, вслед за Ляпуновым, приступил к разработке общих методов математической физики, которой ранее в России успешно занимался Остроградский. В последней четверти XIX в. был предложен ряд приемов решения задач гидродинамики, электростатики, теплопроводности и т. д., частью обобщавших прежние методы, как метод Фурье, частью новых. В этой области работали крупные ученые — К. Нейман, Г. Шварц, А. Пуанкаре и другие.

Однако Ляпунов показал, что все предшествовавшие изыскания, относящиеся к решению так называемой задачи Дирихле, основной в этой области, опирались на некоторые сомнительные и неточные допущения. В цикле работ 1897—1902 гг. Ляпунов, со свойственным ему стремл-

лением к совершенной строгости исследования, дал безупречное решение задачи Дирихле в общем виде.

Стеклов занялся тем же кругом проблем, но пошел другими путями. Первый итог своих исследований он подвел в докторской диссертации «Общие методы решения основных задач математической физики. Задача о распределении электричества. Основная задача гидродинамики. Задача об установившейся температуре. Задачи Дирихле (метода К. Неймана) и Гаусса. Фундаментальные функции и приложения» (1901).

Как подчеркнул в своем отзыве о диссертации Ляпунов, наиболее важной ее частью была глава о функциях, которые Пуанкаре назвал в 1897 г. фундаментальными и которые содержат в себе, в частности, различные классы функций, издавна применявшихся при решении краевых задач — тригонометрических функций, шаровых функций и т. д. Основное значение имеет вопрос о возможности разложения какой-либо данной функции в ряд, членами которого служат те или иные системы фундаментальных функций. Этому вопросу Стеклов впоследствии посвятил еще много работ.

На языке функционального анализа фундаментальные функции — это собственные функции линейного оператора, определяемого тем или иным уравнением. В важнейших случаях эти функции образуют системы ортогональных функций. Стеклов нашел «условие замкнутости» системы фундаментальных функций (по современной терминологии — условие полноты этой системы), состоящее в том, что сумма квадратов коэффициентов разложения функции системы равна (с некоторым множителем) интегралу от квадрата этой функции. Это условие представляет собой бесконечномерное обобщение теоремы Пифагора или равенства квадрата модуля вектора сумме квадратов его координат. Хотя Стеклов, верный традициям школы Чебышева, был чужд идей многомерной и тем более бесконечномерной геометрии, его открытия сыграли важную роль в создании функционального анализа.

С идеями функционального анализа тесно связана и теория интегральных уравнений $\int_a^b K(x, s) f(s)\, ds = g(x)$, являющихся бесконечномерным аналогом систем линейных уравнений $\sum_{l=1}^{n} a_{kl} x_l = b_k (k = 1, 2, \ldots, n)$. Если решение последних можно геометрически истолковать как пересечение плоскостей многомерного пространства, то теорию интегральных уравнений можно рассматривать как аналогичную теорию в бесконечномерном пространстве, причем роль векторов $\{x_k\}$ и $\{b_k\}$ здесь играют неизвестная и известная функции одного переменного $f(s)$ и $g(x)$, роль матрицы (a_{kl}) играет функция двух переменных $K(x, s)$, называемая ядром интегрального уравнения, а суммированию по индексу l соответствует интегрирование. В докторской диссертации уроженца Варшавы петербургского математика Сохоцкого «Об определенных интегралах и функциях, употребляемых при разложениях в ряды» (1873) было положено начало изучения сингулярных интегральных уравнений (с ядрами, обращающимися в бесконечность), ныне находящих обширные приложения в задачах математического естествознания. Работа Сохоцкого долгое время оставалась незамеченной, и основы теории сингулярных уравнений были впоследствии разработаны Гильбертом, Пуанкаре и другими крупнейшими западноевропейскими математиками. Решением отдельных классов интегральных уравнений занимались также Сонин (1884), Ляпунов в своих работах по фигурам равновесия вращающейся жидкой массы и некоторые другие математики. Общая теория интегральных уравнений, созданная на рубеже XIX и XX вв., стала особенно мощным средством исследования вопроса о разложении функций в ряды по системам ортогональных функций; однако Стеклов предпочитал идти собственными путями.

Мы уже не раз указывали на значение ортогональных функций в создании функционального анализа. Существенную роль в этом сыграли и другие специальные функции, в частности цилиндрические, часто (без достаточного основания) называемые функциями Бесселя. В развитие теории цилиндрических функций, впервые введенных Д. Бернулли и Л. Эйлером, крупный вклад внес только что названный Сонин, питомец Московского университета, с 1872 г. работавший в Варшавском университете, а с 1893 г., после избрания академиком,— в Петербурге. В «Исследованиях о цилиндрических функциях и о разложении непрерывных функций в ряды» (1880) Сонин дал новое и весьма общее построение всей теории цилиндрических функций, определив их как решения некоторых функциональных рекуррентных функций. Там же он ввел так называемые полуцилиндрические функции. Многочисленные теоремы Сонина приводятся теперь во всех руководствах по теории цилиндрических функций.

Таким образом, хотя представители петербургской математической школы были далеки от слишком абстрактных, с их точки зрения, идей многомерных функциональных пространств, они, вместе с другими русскими учеными, активно участвовали в разработке зачатков будущих методов функционального анализа. Но значение охарактеризованных нами работ состояло не только в подготовке последующих синтезов, осуществленных в рамках этой новой математической дисциплины. Эти работы имели собственную познавательную ценность, и, например, исследования Стеклова по теоремам разложения были основными в своей области до того, как достигла высокой ступени развития теория интегральных уравнений (которой сам Стеклов не пользовался).

Следует добавить, что в самые последние годы рассматриваемого времени идеи многомерного функционального пространства, пропагандировавшиеся школой Гильберта, общей теории функций действительного переменного, методы теории интегральных уравнений привлекли внимание молодых петербургских математиков, а затем и получили применение в их исследованиях. К этому поколению принадлежали профессор, впоследствии академик В. И. Смирнов, 5-томный курс высшей математики которого до сих пор служит настольной книгой советских ученых и инженеров; физик А. А. Фридман, прославившийся глубокими изысканиями по теории относительности; Я. Д. Тамаркин (впоследствии работавший в США) и многие другие лица.

Мы рассмотрели здесь далеко не все изыскания русских математиков в теории ортогональных функций, теории уравнений с частными производными и иных только что указанных направлениях. Так, мы оставили в стороне интересные работы по теории характеристик уравнений с частными производными Н. М. Гюнтера, ученика Коркина и Маркова, с 1894 г. и до кончины работавшего в Петербургском, а затем Ленинградском университете. (Заметим, что уже в советское время Гюнтер оригинально продолжал работы Стеклова, применяя в решении задач математической

физики предложенный последним «метод сглаживания».) Мы не назвали еще важные исследования крупнейшего теоретика кораблестроения, с 1916 г. академика А. Н. Крылова, который многое сделал и в математике (применение классических методов математической физики к решению различных задач теории колебаний, улучшение сходимости рядов Фурье, совершенствование методов приближенных вычислений, конструкция машины для приближенного интегрирования обыкновенных дифференциальных уравнений). Нельзя не упомянуть и работы Крылова по истории науки, а особенно его необыкновенное умение находить в трудах математиков прежних времен, начиная с Ньютона, забытые методы, успешно служащие и сейчас для решения актуальных задач механики и техники. В 1915 г. Крылов опубликовал русский перевод «Математических начал натуральной философии» Ньютона, снабдив его глубокими комментариями; никогда ранее этот знаменитый труд не находил столь проницательного толкователя.

В заключение этого параграфа назовем еще воспитанника Петербургского политехнического института, впоследствии профессора и академика Б. В. Галеркина, в 1915 г. значительно усовершенствовавшего и обобщившего метод, предложенный в 1908 г. В. Ритцем для приближенного решения задач вариационного исчисления и дифференциальных уравнений.

В 1912 г. такой же прием, как Галеркин, использовал при решении отдельных задач теории упругости корабельный инженер и профессор Петербургского политехнического института И. Г. Бубнов. Метод Ритца — Галеркина вскоре получил очень широкое распространение. Он был развит далее питомцем и в 1912—1917 гг. профессором петербургского Горного института, впоследствии академиком, Н. М. Крыловым, а затем рядом советских ученых.

ТЕОРИЯ АНАЛИТИЧЕСКИХ ФУНКЦИЙ

Общая теория функций комплексного переменного лежала, вообще говоря, далеко от интересов петербургской математической школы XIX в. Главные успехи в этой области были достигнуты в то время во Франции и в Германии, особенно Коши, Риманом и Вейерштрассом. Единственным представителем старшего поколения учеников Чебышева, успешно занимавшимся общей теорией аналитических функций, был Ю. В. Сохоцкий, который в 1869 г. прочитал и первый курс по этому предмету в Петербургском университете.

В своей магистерской диссертации (1868) Сохоцкий изложил общие начала теории интегральных вычетов и показал некоторые применения ее к ряду вопросов, которыми занимался Чебышев. Важнейшим с точки зрения теории функций комплексного переменного открытием Сохоцкого явилась теорема: однозначная аналитическая функция принимает в сколь угодно малой окрестности своей существенно особой точки значения, как угодно близкие к любому данному комплексному числу. Одновременно с Сохоцким эту теорему открыл также итальянский математик Ф. Казорати и к ней же пришел Вейерштрасс, который опубликовал ее в 1876 г. и под именем которого она излагается во всех учебниках теории аналитических функций. После Вейерштрасса изучением поведения однозначных

функций вблизи существенно особых точек занимались многие математики, начиная с Э. Пикара (1879).

Другие важные исследования Сохоцкого имели своим предметом свойства аналитических функций вблизи границы области, в которой они являются однозначными и аналитическими, именно граничные свойства интегралов типа Коши. Соответствующие открытия и формулы Сохоцкого содержатся в его уже упоминавшейся докторской диссертации (1873). Впоследствии этим кругом вопросов занимались многие зарубежные и советские ученые. Позднее Сохоцкий к общей теории аналитических функций не обращался, а сделанные им в этой области открытия оставались почти никому не известными до середины XX в.

В одно время с Сохоцким теорией аналитических функций занялся в Киеве М. Е. Ващенко-Захарченко, посвятивший свою докторскую диссертацию (1867) изложению теории Римана. Впрочем, эта диссертация не содержала новых идей; некоторое время ею пользовались как руководством. Зато ученик Ващенко-Захарченко Б. Я. Букреев, с 1885 г. преподававший в Киевском университете, опубликовал целый ряд оригинальных работ, примыкавших к вейерштрассовой теории аналитических функций.

Методы теории Вейерштрасса широко применяли в своих изысканиях и другие русские математики, как, например, его прямая ученица Ковалевская и Ляпунов. Теорией эллиптических функций в духе Вейерштрасса занимались тот же Сохоцкий, воспитанник Петербургского университета М. А. Тихомандрицкий, ученики Бугаева П. М. Покровский и П. С. Назимов, применивший эллиптические функции к решению некоторых вопросов теории чисел. Не перечисляя всех ученых, занимавшихся этими и родственными проблемами теории аналитических функций, назовем еще одесского математика И. Ю. Тимченко, магистерская диссертация которого, изданная отдельной книгой в 1899 г., представляет собой не превзойденный до сих пор по богатству материала обзор истории вопроса до 1825 г.

ВЕКТОРЫ И НЕЕВКЛИДОВА ГЕОМЕТРИЯ

Вопросы геометрии в школе Чебышева изучались сравнительно мало. Значительно большее значение имели работы академика О. И. Сомова (занимавшегося также механикой) по векторному исчислению, основы которого были заложены в 40-х годах XIX в. независимо друг от друга У. Гамильтоном в Ирландии, Г. Грассманом в Германии и А. Барре де Сен-Венаном во Франции. Для первого из трех названных ученых отправным пунктом явилась алгебра, для второго — геометрия, а для третьего — механика. Гамильтон и Барре де Сен-Венан разработали также начала векторного анализа.

Сомов, исходя из исследований Барре де Сен-Венана, развил аппарат дифференцирования векторных функций скалярного переменного и применил его к изучению пространственных кривых (1864), а затем рассмотрел дифференцирование векторных функций двух скалярных аргументов (1865).

Учение Барре де Сен-Венана — Сомова о векторах и учение Гамильтона были синтезированы П. О. Сомовым — сыном О. И. Сомова, профессором механики в Варшаве и Петербурге, читавшим в Петербургском университете лекции по векторному анализу.

Теорию Гамильтона применил к механике доцент Казанского университета Г. Н. Шебуев (1893). Ученик Шебуева А. П. Котельников (сын профессора Казанского университета П. И. Котельникова), сам бывший профессором в Казани, Киеве и Москве, построил винтовое исчисление в евклидовом пространстве (1895), а также в пространстве Лобачевского и в эллиптическом пространстве (1899). Винты Котельникова представляли собой векторы, координаты которых в случае пространства Лобачевского — обычные комплексные числа, в случае эллиптического пространства — двойные числа $a + be$, $e^2 = 1$, а в случае евклидова пространства — дуальные числа $a + b\varepsilon$, $\varepsilon^2 = 0$, введенные У. К. Клиффордом (1873). Винты, как показал Котельников, очень удобны для записи кинематических и силовых винтов механики. Геометрические приложения винтового исчисления основаны на том, что ориентированные прямые пространств Евклида и Лобачевского и эллиптического пространства изображаются винтами единичного модуля, т. е. точками сферы в трехмерном дуальном, комплексном или двойном евклидовом пространстве, причем движения пространства изображаются вращениями этой сферы.

Независимо от Котельникова теория винтов в евклидовом и неевклидовом пространствах была развита немецким математиком Э. Штуди (1901). Геометрические применения винтового исчисления были далеко продвинуты воспитанником университета в Одессе Д. Н. Зейлигером, до 1917 г. работавшим профессором в Казани и Петербурге.

ОСНОВАНИЯ ГЕОМЕТРИИ И МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ЛОГИКА

Геометрия Лобачевского находилась также в центре внимания одесского геометра В. Ф. Кагана, после революции основавшего в Московском университете тензорную геометрическую школу. В 1893—1898 гг. он опубликовал цикл статей по геометрии Лобачевского, вышедший отдельной книгой (1900). Геометрия Лобачевского привела Кагана к проблемам обоснования геометрии, бывшей в то время в центре внимания Гильберта и других первоклассных математиков. В 1902 г. Каган выдвинул оригинальную систему аксиом евклидовой геометрии. Если Гильберт задавал метрику пространства с помощью понятия конгруэнтности фигур, а Ф. Шур — с помощью понятия движения, то в аксиомы Кагана расстояние между точками входит явно, что делает его систему аксиом весьма компактной (в ней всего 10 аксиом). Полный анализ этой системы аксиом, а также вывод из них большого числа теорем евклидовой геометрии дан в первом томе диссертации Кагана «Основания геометрии» (1905): второй том содержит обстоятельный историко-критический очерк развития учения об основаниях геометрии.

Отметим также оригинальный и чрезвычайно простой вывод, предложенный Каганом (1903) для теоремы Дена (1902) об условии, при котором два равновеликих многогранника равносоставлены (т. е. могут быть разбиты на соответственно конгруэнтные части).

Другой одесский математик, С. О. Шатуновский, в 1902—1904 гг. разработал аксиоматику скалярной величины; к ней его привели исследования по теории площадей и объемов, частично совпадавшие с исследованиями по этому вопросу Гильберта. Шатуновский развил также элементарную теорию измерений объемов многогранников (1902), оригинально преодолев трудности, возникшие из-за того, что равновеликие многогранники могут быть неравносоставленными.



В. Ф. Каган

Математики Казани и Одессы наряду с вопросами, связанными с основаниями геометрии, занимались и математической логикой. Профессор Казанского университета П. С. Порецкий (первоначально астроном) опубликовал большой цикл статей по математической логике (1884—1908). Критически развивая учение Дж. Буля и Э. Шредера об «алгебре логики», Порецкий внес весьма значительный вклад в логику высказываний и логику классов (множеств предметов, обладающих некоторым характерным свойством) и, в частности, создал алгоритмы, решающие вопрос о множестве следствий, вытекающих из данных посылок, и позволяющие установить посылки, следствием которых является данное логическое равенство. Изложению метода Порецкого посвящена значительная часть «Алгебры логики» французского ученого Л. Кутюра (1905).

Одесский математик И. В. Слешинский, в 1911 г. переехавший в Краков, также занимался математической логикой. К своему русскому переводу «Алгебры логики» Кутюра (1909) он добавил доказательства нескольких основных формул, вывод которых у Кутюра был недостаточно ясным. Деятельность Слешинского оказала влияние на работы Кагана и Шатуновского по основаниям геометрии. Отметим в заключение, что в одном устном сообщении 1901 г., а затем в своей работе «Алгебра как учение о сравнениях по функциональным модулям» (1917) Шатуновский указал на необходимость соблюдать большую осторожность, применяя закон исключенного третьего к элементам бесконечных множеств. Впрочем, Шатуновский не выразил сомнения в самой применимости этого закона. Между тем голландский математик Л. Э. Брауэр около 1908 г. пришел к отказу от универсальной применимости закона исключенного третьего в случае бесконечных множеств или процессов и положил начало интуиционистскому направлению в основаниях математики. В дальнейшем изучение этой проблемы сыграло большую роль в развитии математической логики.



К. М. Петерсон

ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНАЯ ГЕОМЕТРИЯ

Во второй половине XIX в. в Москве возникла новая геометрическая школа. Основоположником ее, как уже упоминалось, был К. М. Петерсон, с 1865 г. работавший учителем математики в Москве. В его кандидатской диссертации «Об изгибании поверхностей» (1853, опубликована в 1901 г.) была решена задача об определении поверхностей первой и второй квадратичными формами с точностью до движения в пространстве и о соотношениях, связывающих эти две формы; те же связи были позже найдены А. Майнарди и Д. Кодацци в 1857 и 1868—1869 гг., а теорема об определении поверхности формами была доказана О. Бонне в 1866 г. Статьей в первом томе московского «Математического сборника» (1866) Петерсон положил начало большому циклу работ московских математиков по теории важнейшего случая изгибания поверхностей — изгибания на главном основании. Теории изгибания поверхности, и в частности изгибания на главном основании, была посвящена магистерская диссертация ученика московского профессора В. Я. Цингера Б. К. Млодзеевского. Предметом докторской диссертации Млодзеевского (1889) была геометрия многомерных многообразий, и в частности теория дифференциальных инвариантов этих многообразий. В докторской диссертации другого ученика Цингера, Д. Ф. Егорова (1901), изучались триортогональные системы поверхностей, определяемых движением жидкости, обладающей потенциалом скорости. Еще два ученика Цингера — К. А. Андреев, профессор Харьковского и Московского университетов, и А. К. Власов, профессор в Москве,— разрабатывали синтетическую проективную теорию алгебраических кривых и конфигурационные теоремы. Власов занимался и вопросами аксонометрии. Теории изгибания на главном основании были посвящены магистерские диссертации (1917) учеников Млодзеевского и Егорова, будущих профессоров Московского университета С. П. Фиников и С. С. Бюшгенса.

К дифференциальной геометрии относятся также работы казанских геометров Ф. М. Суворова, А. В. Васильева, Д. М. Синцова и упоминавшиеся работы Зейлигера. Васильев, питомец Петербургского университета, работал ряд лет в Казанском университете, был организатором Казанского физико-математического общества, празднования юбилея Лобачевского в 1893 г. и издания его сочинений. В магистерской диссертации Суворова (1871) изучены трехмерные римановы пространства переменной

кривизны; в этом исследовании, независимо от занимавшегося этими же вопросами Э. Б. Кристоффеля, Суворов установил основные условия эквивалентности квадратичных форм трехмерного пространства. Докторская диссертация Суворова (1884) посвящена теории мнимых элементов на проективной плоскости, тесно связанной со многими вопросами неевклидовой геометрии.

Васильев в 1878 г. опубликовал первую работу по теории коннексов. Впоследствии этой теорией успешно занимался Синцов (1894). Позднее, переехав из Казани на Украину, Синцов создал в Харькове собственную геометрическую школу.

АЛГЕБРА

Классическая задача алгебры — решение алгебраических уравнений — ставилась русскими математиками второй половины XIX в. в трех направлениях: отделение действительных корней, численное решение корней высших степеней и решение алгебраических уравнений в трансцендентных функциях. Первому вопросу был посвящен ряд работ математиков петербургской школы — Чебышева (1859, 1872), Маркова (1886, 1903), Стеклова (1893), а также докторская диссертация Васильева (1884). Не раз упоминавшийся математик Бугаев (отец известного писателя Андрея Белого) предложил оригинальный итерационный процесс численного решения уравнений (1896—1897). Профессор Киевского университета Граве в 1893 г. применил к решению трехчленных уравнений видоизмененный метод Гаусса (1849), а в «Элементах высшей алгебры» (1914) предложил еще другой итерационный метод вычисления действительных корней, являющийся обобщением метода непрерывных дробей. Третье направление было представлено учениками Бугаева, профессорами Московского университета П. А. Некрасовым и Л. К. Лахтиным. В магистерской диссертации Некрасова (1884) к изучению уравнений вида $u^m - pu^{m-1} - q = 0$ были применены методы теории аналитических функций; корни уравнения он выразил с помощью рядов, рассмотрел свойства и сходимость этих рядов и указал приложения этих рядов в анализе. Докторская диссертация Некрасова (1886) была посвящена ряду Лагранжа, также связанному с этим уравнением. Несколько позже (1888) Некрасов выразил корни трехчленного уравнения с помощью интегралов от логарифмических функций. Лахтин в 1892—1897 гг. рассмотрел решение алгебраических уравнений высших степеней в специальных функциях, зависящих от интегралов дифференциальных уравнений, называемых «дифференциальными резольвентами».

Новое направление в алгебре возникло в связи с созданием теории групп, первые сведения о которой в России появились в магистерской диссертации воспитанника, а впоследствии профессора Харьковского университета Д. М. Деларю (1864). В этой диссертации были изложены история проблемы решения алгебраических уравнений в радикалах и важнейшие предложения теории Галуа. Идеи теории групп нашли применение в магистерской диссертации Васильева (1880) и пропагандировались в его курсе «Алгебраический анализ. Теория буквенных уравнений в связи с теорией субституций», т. е. подстановок (1886). Теории конечных групп и теории Галуа были посвящены магистерская и докторская диссертации петербургского профессора Д. Ф. Селиванова (1885, 1899).



Ф. Э. Молин

Теория непрерывных групп излагалась во втором томе «Оснований геометрии» Кагана (1907). Вопросы теории групп рассматриваются в работах киевских профессоров: в книгах Ващенко—Захарченко «Теория определителей и теория форм» (1877) и «Высшая алгебра. Теория представлений и приложение ее к алгебраическим вопросам» (1890), в статьях В. П. Ермакова (1901, 1904) и в магистерской диссертации Г. В. Пфейфера (1903), посвященной общей теории групп вращений многогранника. Докторская диссертация Пфейфера (1910) была посвящена теории алгебраических функций и поверхностей; впоследствии он работал в области дифференциальных уравнений с частными производными.

В 90-х годах XIX в. в Дерпте развернулись исследования Ф. Э. Молина по теории алгебр (систем гиперкомплексных чисел). В своей докторской диссертации (1892) Молин дал классификацию важнейших классов ассоциативных алгебр и в частности показал, что всякая простая ассоциативная алгебра над полем комплексных чисел изоморфна алгебре всех матриц некоторого порядка над этим полем. В 1897 г. Молин нашел число линейных представлений конечных групп, т. е. групп матриц, изоморфных или гомоморфных данной конечной группе. Одновременно с Молиным теорией алгебр и линейных представлений конечных групп занимался немецкий алгебраист Г. Фробениус. Многие результаты Молина по теории алгебр были независимо открыты и развиты дальше выдающимся французским математиком Э. Картаном (1898 и последующие годы). Теория линейных представлений групп, под которыми понимаются представления групп не только группами матриц, но и группами линейных операторов функциональных пространств, играет важную роль в квантовой механике.

Наиболее благоприятные условия для создания алгебраической школы существовали в Киевском университете; почва для нее была подготовлена упомянутыми выше работами Ващенко—Захарченко, Ермакова и Пфейфера. Организатором первой русской алгебраической школы явился Д. А. Граве. Ученик Коркина по Петербургскому университету, Граве защитил магистерскую диссертацию по теории дифференциальных уравнений в частных производных (1889), а докторскую — по восходящей к Эйлеру и Чебышеву математической теории построения географических карт (1896). В Киеве, где Граве получил в 1902 г. профессуру, он организовал алгебраический семинар, в котором активно участвовали О. Ю. Шмидт, Б. Н. Делоне, Н. Г. Чеботарев и другие студенты и начинающие ученые. «Теория конечных групп» Граве (1908) явилась первой в России книгой по общей теории групп. Его «Элементарный курс теории чисел» во втором издании (1913) содержал главы по теории полей, общей теории алгебраических чисел и другим алгебраическим вопросам; здесь излагались самые новые открытия, такие, как теория p-адических чисел Гензеля. В этой книге приведены и три теоремы, доказанные незадолго перед тем учениками Граве студентами Б. Н. Делоне, Е. И. Жилинским и О. Ю. Шмидтом.

Таким образом, многие ученики Граве быстро приступили к собственным исследованиям. В 1912—1913 гг. появились первые статьи О. Ю. Шмидта, сразу обратившие на себя внимание оригинальной трактовкой ряда важных вопросов, а затем в киевских «Университетских известиях» за 1914—1915 гг. была напечатана его «Абстрактная теория групп», в 1916 г. вышедшая отдельной книгой. Здесь многие теоремы и доказательства принадлежали автору, и по этому труду изучали в России теорию групп в течение более чем 20 лет (в 1933 г. книга была переиздана). В 1916 г. Шмидт стал приват-доцентом Киевского университета. С 1923 по 1949 г. он руководил кафедрой алгебры в Московском университете, где заложил основы большой научной школы. Пользуясь широким признанием в математическом мире, Шмидт получил еще бо́льшую известность как руководитель знаменитых арктических экспедиций. В 1935 г. он был избран членом Академии наук СССР.

Выдающиеся заслуги принадлежат и другим ученикам Граве, особенно Б. Н. Делоне, ставшему крупным специалистом по теории чисел, и алгебраисту Н. Г. Чеботареву. Их научная деятельность, протекавшая уже вне Киева, развернулась после Октябрьской революции. Сам Граве всю последующую жизнь оставался связанным с Киевским университетом. Его заслуги были отмечены избранием академиком Академии наук Украинской ССР (1920) и почетным членом Академии наук СССР (1929).

ВОЗНИКНОВЕНИЕ МОСКОВСКОЙ ШКОЛЫ ТЕОРИИ ФУНКЦИЙ

На рубеже XIX—XX вв. все большую роль в общем развитии математики начала приобретать общая теория функций действительного переменного, включавшая теорию множеств. Первый курс теории функции действительного переменного в Москве был прочитан в 1900 г. Млодзеевским. В этом курсе излагалась и теория множеств Г. Кантора.

Начало 1900-х годов было отмечено блестящими успехами теории функций, лидерство в которой тогда занимали французские математики Э. Боль, А. Лебег и Р. Бэр. Важное место при этом заняли теория меры и общая теория интеграла. Мера точечного множества на прямой является обобщением понятия длины отрезка: если на отрезке (a, b) дано множество точек, то его внешней мерой называют нижнюю грань длин отрезков, покрывающих это множество, внутренней мерой — разность между длиной отрезка (a, b) и внешней мерой дополнительного множества; в случае, если обе меры совпадают, множество называется измеримым и общее значение обеих мер называется мерой множества. Если для функции $f(x)$ множества всех точек, для которых $f(x) > a$, измеримы для всех действительных чисел a, функция называется измеримой.



Н. Н. Лузин

Класс измеримых функций шире как класса непрерывных функций, так и класса функций, интегрируемых по Риману. Лебег в 1902 г. существенно обобщил понятие интеграла, и это оказало влияние на все развитие теории функций и ее разнообразных приложений. Интеграл Лебега, определяемый для измеримых функций с помощью понятия меры множества, существует для всякой ограниченной измеримой функции, а в том случае, когда для функции определен интеграл Коши или Римана, он совпадает с интегралом Лебега.

Теории множеств была посвящена магистерская диссертация И. И. Жегалкина (1907), впоследствии профессора Московского университета, крупного специалиста по математической логике. Упоминавшийся уже Д. Ф. Егоров, правильно оценив широкие перспективы, которые открывала теория функций, организовал специальный семинар, в котором выросли многие видные ученые в этой области. Сам Егоров в 1911 г. доказал одну из основных теорем теории функций — о том, что если последовательность измеримых функций сходится почти всюду (т. е. за исключением множества меры нуль) на отрезке, то из этого отрезка можно исключить такое точечное множество сколь угодно малой меры, что на оставшемся множестве последовательность сходится равномерно.

Но главным идейным вдохновителем работ по теории функций в Московском университете явился ближайший ученик Д. Ф. Егорова Н. Н. Лузин, окончивший курс в 1906 г. и затем оставленный при университете для подготовки к научной и педагогической деятельности. В 1911 г. Лузин получил звание приват-доцента; в 1916 г. он защитил работу, представленную на соискание магистерской степени, но оцененную как докторская диссертация, и в 1917 г. был избран профессором. В одной из первых своих работ (1912) Лузин доказал, что всякая измеримая и почти всюду конечная на отрезке (a, b) функция непрерывна на совершенном множестве точек, получаемом из отрезка удалением из него множества сколь угодно малой меры: Лузин назвал это свойство измеримых функций C-свойством (от французского слова continuité — «непрерывность»). Это и многие другие открытия Лузина вошли в его упомянутую уже диссертацию «Интеграл и тригонометрический ряд» (1915). Благодаря своему богатому идейному содержанию, блестящему и чрезвычайно доходчивому изложению эта книга долгое время оставалась настольной для всех, кто в России занимался теорией функций.

Великолепный лектор и страстный пропагандист идей теории функций, Лузин скоро оказался руководителем и вдохновителем группы энтузиастов, в которую входили младшие коллеги Лузина — В. В. Голубев, И. И. Привалов, В. В. Степанов и бывшие тогда еще студентами П. С. Александров, Д. Е. Меньшов, А. Я. Хинчин и М. Я. Суслин.

Почти все перечисленные математики выступили со своими работами по теории функций еще до Октябрьской революции или в самые первые годы Советской власти: младшие — с отдельными статьями по теории множеств, теории меры, теории интеграла, теории тригонометрических рядов, старшие, такие как Голубев и Привалов,— с книгами, в которых методы теории функций действительного переменного применялись к различным вопросам теории аналитических функций. В этом направлении вел изыскания и сам Лузин. Таким образом, к 1917 г. в Московском университете сложилась не очень большая, но богатая талантами школа теории функций, которой предстояло дальнейшее развитие уже в ближайшие годы, когда эта школа стала пополняться новыми приверженцами.

За исключением рано скончавшегося Суслина (он умер в 1919 г.), все перечисленные математики прошли впоследствии большой путь. Сам Лузин еще долгие годы работал профессором Московского университета и в 1929 г. был избран академиком. Профессорами Московского университета и членами или членами-корреспондентами Академии наук СССР стали и все названные его последователи. Вообще трудно переоценить роль, которую сыграла московская школа теории функций в развитии математики как в СССР, так и за его пределами. Значение этой школы отнюдь не ограничивалось открытиями в самой теории функций или непосредственно примыкающих к ней частях математики. Уже в 20-е годы идеи и методы теории функций получили плодотворное применение во многих областях математики; при этом создавались новые направления, новые школы и происходило сближение с направлениями математической мысли, которые вначале казались очень далекими и даже чуждыми.

В самом деле, первое время существовал некоторый антагонизм между математиками петербургской школы, мало ценившими отвлеченные построения теории функций, представлявшиеся им бесполезными при решении важных конкретных задач математики и математического естествознания, и московскими математиками, далекими от традиционных классических проблем, стоявших в центре интересов последователей Чебышева. Однако последующее развитие вскоре показало, что антагонизм этот имел только субъективный характер и что положительные тенденции обоих больших направлений на самом деле обогащали друг друга. Абстрактные идеи и методы теории функций, как и многомерных геометрий, топологии, новейшей алгебры, оказались исключительно эффективными и ценными при решении трудных конкретных задач, которые не удавалось решить с помощью прежних методов. С другой стороны, конкретные задачи математической физики, вариационного исчисления, теории вероятностей и других классических дисциплин оказались великолепным полем приложений отвлеченных теорий и требовали дальнейшего развития самих этих теорий. Убедительным примером сказанного явилась разработка функционального анализа и его применений в новой теоретической физике. Именно к такому синтезу на первый взгляд противоположных, а в действительности дополняющих друг друга тенденций подходила математика в России в последние годы перед Великой Октябрьской революцией 1917 г.

Глава двадцать вторая

МЕХАНИКА

Во второй половине XIX в. в развитии механики, как и других отраслей науки в России, наблюдался быстрый подъем. Вырос уровень преподавания механики в университетах, усилилась исследовательская работа. Новое поколение выдвинуло ряд блестящих ученых, их оригинальные труды стали заметным явлением в мировой науке. Возникли новые научные школы.

В Петербургском университете кафедру механики занял О. И. Сомов. Он внес в программу курса механики большие изменения, нашедшие отражение и в его руководстве «Рациональная механика» (СПб., 1872—1874). В 1878 г. эта книга вышла в немецком переводе. Сомов впервые в России разделил механику на кинематику, статику и динамику (ранее механику делили на две части: статику и динамику). Эта новая структура курса стала затем общепринятой в университетском преподавании. Выделение кинематики имело большое значение для развития теории механизмов. В 1862 г. Сомов был избран членом Петербургской академии наук. В Петербургском университете работал П. Л. Чебышев, здесь же сложились такие выдающиеся механики, как А. М. Ляпунов, И. В. Мещерский и Г. К. Суслов.

В Московском университете с 1866 г. механику в течение 20 лет читал Ф. А. Слудский. В своем «Курсе теоретической механики» (М., 1881), высоко оценивая аналитический метод изложения, Слудский вводил и чисто геометрические представления. Преемником Слудского явился Н. Е. Жуковский, прославившийся впоследствии своими выдающимися исследованиями, а учеником Жуковского был С. А. Чаплыгин, также ставший затем знаменитым ученым.

РАЗВИТИЕ ВАРИАЦИОННЫХ ПРИНЦИПОВ МЕХАНИКИ

Одним из важных направлений в рассматриваемое время явились многочисленные изыскания, посвященные вариационным принципам механики, в разработку которых внес перед тем столь значительный вклад Остроградский.

При изложении принципа наименьшего действия Лагранж оставил открытым вопрос о том, варьируется ли время при вычислении вариации действия. На основании этого Брашман в «Теоретической механике» (1859) считал принцип наименьшего действия неверным. Профессор Киевского университета И. И. Рахманинов держался того же мнения. Работы Слудского, И. Д. Соколова, О. И. Сомова, М. И. Талызина дали полное решение спорного вопроса. Анализ возражений, выдвинутых противников принципа Эйлера — Лагранжа Остроградским и К. Якоби, показал, что этот принцип и принцип Гамильтона — Остроградского не исключают

друг друга, а выражают различные свойства механического действия.

Как известно, Якоби требовал исключения времени из интеграла действия, используя условие сохранения энергии. Слудский и Талызин выяснили, что такое исключение не является необходимым. В работе «О начале наименьшего действия» (1867) Талызин установил, что в принципе Эйлера — Лагранжа варьируется время и не варьируется одна из координат. Он показал, как освободить вывод Лагранжа от неясностей. К сожалению, работа Талызина в свое время осталась незамеченной как в русской, так и в иностранной литературе.

Талызин не останавливался на возражениях Остроградского, касающихся вывода Лагранжем уравнений движения из принципа наименьшего действия. Применяя способ неопределенных множителей, Остроградский пришел к выводу, что Лагранж мог получить уравнения движения только в частном случае, когда неопределенный множитель равняется нулю. Однако еще в 1815 г. О. Родриг получил тем же способом уравнения движения из принципа наименьшего действия. Вопрос этот был подробно разобран Слудским в статьях: «О начале наименьшего действия», «Заметка о начале наименьшего действия» (1867) и других работах. Вывод Слудским уравнений движения из принципа наименьшего действия представляет собой распространение этого принципа на случай, когда координаты точек не являются независимыми, а удовлетворяют уравнениям связей. Слудский внес в способ Родрига ясность, выделив изохронные и полные вариации координат. Слудский считал, что при выводе уравнений движения необходимо использовать способ неопределенных множителей.

Второй вопрос, связанный с принципом наименьшего действия,— выяснение того, при каких условиях интеграл, выражающий принцип наименьшего действия, фактически имеет минимум для действительного движения. Впервые эту проблему выдвинул К. Якоби. Он показал, что если первая вариация действия равна нулю, то вторая вариация может быть приведена к виду, удобному для исследования. Именно отсюда возник ряд работ. Хотя для решения задач механики достаточно приравнять нулю первую вариацию действия и несущественно, будет ли действие для фактического движения минимальным (поскольку суть дела состоит в возможности получить уравнения движения), вопрос об условиях осуществления минимума действия непосредственно связан с вопросами устойчивости движения и поэтому представляет значительный интерес. Исследование этого вопроса привело к теории кинетических фокусов, которая была использована У. Томсоном, Э. Раусом в Англии и Жуковским в России при исследовании устойчивости движения. Проблема была рассмотрена в нескольких мемуарах (1871—1879) французского ученого Ж. Серре, который в общем виде доказал, что вторая вариация интеграла действия положительна и что минимум этого интеграла действительно имеет место при некоторых ограничениях, наложенных на пределы интеграла в формулировке принципа наименьшего действия.

Дальнейшие исследования этой проблемы были выполнены Д. К. Бобылевым и Н. Е. Жуковским. Бобылев не только определил знак второй вариации (1889), но и нашел условия, при которых имеет место фактический минимум и для принципа наименьшего действия Эйлера — Лагранжа, и для принципа Гамильтона — Остроградского. Жуковский в работах 1879 и 1888 гг. дал остроумное чисто геометрическое доказательство минимальности действия при действительном движении системы.

ТЕОРИЯ МЕХАНИЗМОВ

Одновременно с исследованиями по общим основаниям теоретической механики в России было положено начало теории одного из важнейших отделов прикладной механики — теории механизмов.

В связи с ростом промышленности в рассматриваемый период возникли новые проблемы в области конструирования и усовершенствования машин. Эти проблемы, начиная с 50-х годов XIX в., явились источником целой серии фундаментальных работ по теории механизмов, и прежде всего работ Чебышева. Чебышев нередко знакомился с различными производствами, беседовал с видными инженерами и подбирал материал для курса практической механики, который читал в течение нескольких лет в Петербургском университете и Царскосельском лицее. Особенно интересовали его теория зубчатых передач, динамика машин, удары в частях механизмов и т. д.

Анализируя недостатки в работе так называемого параллелограмма Д. Уатта, который служит для перевода вращательного движения кривошипа в (приближенное) прямолинейное движение поршня и обратно, Чебышев выбрал в качестве объекта исследования одну из труднейших задач теории механизмов — проблему синтеза шарнирных механизмов, т. е. построение механизмов, выполняющих заданное движение (решение этой задачи не может считаться законченным и в настоящее время).

В статье «Теория механизмов, известных под названием параллелограммов» (1853) Чебышев дал рациональные основания для определения размеров прямолинейно-направляющих механизмов (до этого в течение 75 лет, начиная с Уатта, инженеры подбирали эти размеры эмпирически). Как уже говорилось, эта же статья явилась первой в серии работ Чебышева по теории наилучшего приближения функций.

Чебышев исследовал, а также построил и ряд других механизмов. Наибольший интерес из них представляют: механизм для превращения вращательного движения кривошипа в колебательное движение коромысла с двумя качаниями за один оборот кривошипа; кулисный механизм паровой машины; механизм для измерения кривизны; механизм самокатного кресла и велосипеда; гребной механизм лодки и т. д. Укажем еще так называемый парадоксальный механизм, состоящий из шести звеньев, соединенных шарнирами. Как показал Чебышев, можно подобрать такие размеры звеньев, что если ведущему звену давать вращение по часовой стрелке, то ведомое будет делать два оборота, а если вращать ведущее звено против часовой стрелки, то ведомое будет делать четыре оборота.

Изучая те части траекторий, описываемых различными точками шатуна, которые мало отличаются от окружностей, и присоединяя дополнительные звенья, Чебышев создал механизмы с остановками: отдельные звенья их на некоторое время останавливаются, хотя ведущее звено продолжает вращаться. В 1870 г. в работе «О параллелограммах» Чебышев впервые дал так называемую структурную формулу механизмов. Наконец, Чебышев построил оригинальный арифмометр с непрерывным движением. Таков далеко не полный перечень работ Чебышева по теории и синтезу механизмов.

Идеи Чебышева могли быть оценены в полной мере лишь в свете их дальнейшего развития, происходившего во всех научных центрах мира и особенно в России.

Так, интересный цикл исследований в этом направлении был проведен в Одесском университете. Ряд книг и статей по кинематике систем с приложениями к техническим задачам опубликовал профессор механики В. Н. Лигин. Ученик Лигина доцент Х. И. Гохман предложил в «Кинематике машин» (Одесса, 1890) классификацию кинематических пар по степеням свободы и разделение механизмов на шесть разрядов в зависимости от числа возможных движений. В Одесском университете защитил магистерскую диссертацию «Передача вращения и механические черчения кривых шарнирно-рычажными механизмами» (1894) и воспитанник Московского университета Н. Б. Делоне, с 1906 г. занимавший кафедру механики в Киевском политехническом институте.

Особые заслуги в теории механизмов принадлежат ученику Остроградского И. А. Вышнеградскому. Вышнеградский преподавал математику, прикладную механику и другие курсы в Артиллерийской академии и в Петербургском технологическом институте. В 1862 г. он был утвержден профессором механики, в 1888 г. избран почетным членом Академии наук. Некоторое время он был министром финансов.

Вышнеградский был выдающимся инженером-конструктором и теоретиком. Главным делом его жизни явилось создание теории автоматического регулирования, основания которой он изложил в двух сочинениях: «О регуляторах прямого действия» (1877) и «О регуляторах непрямого действия» (1878). Свои открытия Вышнеградский тогда же опубликовал во французских и немецких журналах. Введенные Вышнеградским понятия и методы получили широкое применение в современной теории регулирования, приобретающей все большее и большее значение в самых различных областях производства. Имя Вышнеградского носит, например, критерий устойчивости системы регулирования.

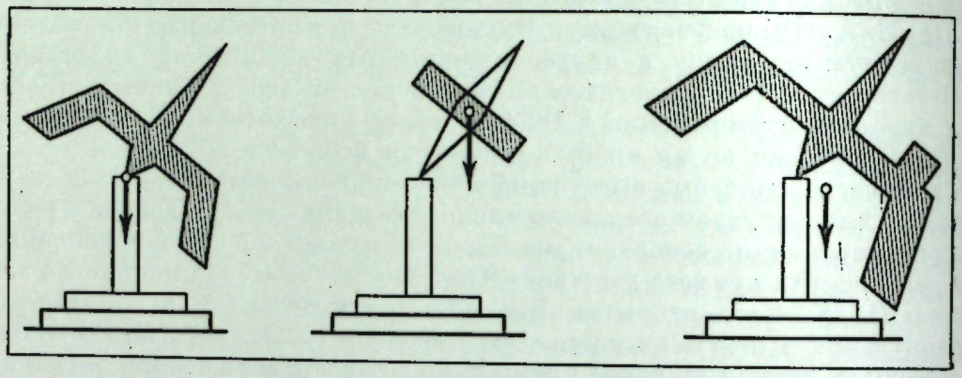
В 1909 г. было опубликовано исследование Жуковского «Сведение динамических задач о кинематической цепи к задачам о рычаге». Оно содержит теорему, имеющую глубокое принципиальное значение. Сущность ее состоит в том, что вопрос о равновесии механизма, т. е. системы тел, сводится к более простой задаче равновесия одного твердого тела, вращающегося вокруг данного центра. Метод Жуковского давал возможность решить общую задачу динамики механизмов (для механизмов с одной степенью свободы), состоящую в определении движения механизмов под действием заданных сил, т. е. позволял произвести кинетостатический расчет механизма с учетом сил инерции.

В 1914—1917 гг. появились работы профессора Петербургского политехнического института Л. В. Ассура, давшего новую общую систему классификации плоских кинетических цепей, на которой основывается методика исследования плоских механизмов, причем каждому классу соответствует свой метод анализа. Классификация Ассура и ряд введенных им понятий («точки Ассура» и др.) играют важную роль в современной теории механизмов и машин.

ЗАДАЧА О ВРАЩЕНИИ ТВЕРДОГО ТЕЛА ВОКРУГ НЕПОДВИЖНОЙ ТОЧКИ

Проблема вращения твердого тела — характерный пример тех механико-математических проблем, которые стояли в центре теоретической механики во второй половине XIX в.

Выше уже говорилось вкратце об истории этой задачи. Еще в 1758 г. Эйлер рассмотрел случай движения твердого тела вокруг неподвижной точки (полюса), когда центр тяжести совпадает с полюсом, а все силы сводятся к равнодействующей, проходящей через эту неподвижную точку.



Модели волчков для трех случаев движения твердых тел

В 1834 г. Л. Пуансо дал геометрическую интерпретацию этого случая. В 1788 г. Лагранж (и независимо от него в 1815 г. С. Пуассон) рассмотрел случай, когда тело имеет ось симметрии, проходящую через неподвижную точку, и движется под действием только силы тяжести, точка приложения которой лежит на оси симметрии и не совпадает с полюсом (симметрический тяжелый гироскоп — волчок). Обе задачи сводятся в общем случае к квадратурам, и решения выражаются через эллиптические функции.

После исследований, проведенных Эйлером, Лагранжем и Пуассоном, проблема движения тела вокруг неподвижной точки длительное время не получала дальнейшего развития. Ввиду ее важности Французская академия наук назначила премию за существенные новые успехи в исследовании задачи. Два проведенных конкурса не дали результатов. В 1888 г. конкурс был объявлен в третий раз. Из 15 представленных работ премию получила работа С. В. Ковалевской «Задача о вращении твердого тела около неподвижной точки» (1888).

В этой знаменитой работе Ковалевская глубоко исследовала новый случай вращения твердого тела вокруг неподвижной оси, для которого она нашла общий интеграл. Она впервые привлекла к исследованию подобных задач разработанный к тому времени ее учителем К. Вейерштрассом аппарат теории функций комплексного переменного. Наконец, ее работа поставила некоторые новые общие математические проблемы.

Работы Ковалевской, посвященные движению твердого тела, стали исходным пунктом многочисленных исследований (Г. Г. Аппельрот, Б. К. Млодзеевский, Жуковский, Ляпунов, Делоне). Жуковский предложил в 1896 г. очень наглядную иллюстрацию случаев Эйлера, симметрического гироскопа Лагранжа и несимметрического гироскопа Ковалевской. Ляпунову принадлежат и основоположные исследования по теории устойчивости движения механических систем с конечным числом степеней свободы (см. гл. 21).



Библіографическое
Николаю Егоровичу Жуковскому отъ автора

ДИНАМИКА

ТОЧКИ ПЕРЕМѢННОЙ МАССЫ.

РАЗСУЖДЕНІЕ

И. Мещерскаго.

САНКТПЕТЕРБУРГЪ.
ТИПОГРАФІЯ ИМПЕРАТОРСКОЙ АКАДЕМІИ НАУКЪ.
(Вас. Остр., 9 лин., № 12).
1897.

Магистерская диссертация И. В. Мещерского (экземпляр, подаренный автором Н. Е. Жуковскому)

МЕХАНИКА ТЕЛ ПЕРЕМЕННОЙ МАССЫ И ТЕОРИЯ РЕАКТИВНОГО ДВИЖЕНИЯ

На рубеже XIX—XX вв. была создана новая область механики, первые стимулы к разработке которой возникли в теоретическом естествознании и которая приобрела исключительно важное значение в технике



И. В. Мещерский

середины XX в. Это — динамика тел переменной массы И. В. Мещерского и теория ракетного движения К. Э. Циолковского.

Мещерский, воспитанник Петербургского университета, был крупным ученым и выдающимся педагогом. С 1890 г. он в течение 25 лет преподавал в университете, с 1902 г. в течение 33 лет руководил кафедрой Петербургского (позднее Ленинградского) политехнического института, организованного незадолго перед тем. Широко известен его курс теоретической механики и особенно — прекрасный задачник по механике, выдержавший более 20 изданий и принятый в качестве учебного пособия для высших учебных заведений в СССР и в ряде зарубежных стран.

Основной предмет научных исследований Мещерского — проблема движения тел с переменной массой. О первых результатах, полученных им в этой области, он сделал доклад в Петербургском математическом обществе еще в начале 1893 г. В магистерской диссертации «Динамика точки переменной массы» (1897) Мещерский установил, что если масса точки изменяется во время движения, то основное дифференциальное уравнение движения Ньютона заменяется следующим (названным уравнением Мещерского):

$$m\frac{d\bar{v}}{dt} = \bar{F} + \bar{R},$$

где $\bar{F}$ и $\bar{R} = dm/dt\ \bar{u}_r$ — заданная и реактивная силы, $\bar{v}$ — относительная скорость центра масс отделяющихся (или присоединяющихся) частиц.

В диссертации развита общая теория движения точки переменной массы для случая отделения (или присоединения) частиц. В 1904 г. был напечатан второй труд Мещерского «Уравнения движения точки переменной массы в общем случае», в котором его теория получила окончательное и в высшей степени изящное выражение. Здесь он устанавливает и исследует общее уравнение движения точки, масса которой изменяется от одновременного процесса присоединения и отделения материальных частиц.

Мещерский рассмотрел также большое количество частных задач о движении точки переменной массы, например восходящее движение ракеты и вертикальное движение аэростата. Специальному исследованию он подверг движение точки переменной массы под действием центральной силы, заложив тем самым основания небесной механики тел переменной массы. Он изучал также и некоторые проблемы комет. Мещерский впервые

сформулировал и так называемые обратные задачи, когда по заданным внешним силам и траектории определяется закон изменения массы.

Кроме работ по механике переменных масс, Мещерскому принадлежит ряд работ по общей механике.

Заслуги Мещерского в науке чрезвычайно велики. Однако лишь в последнее время с достаточной полнотой выяснилось огромное практическое значение его исследований по механике переменных масс как теоретической основы современной ракетодинамики. Дальнейшее развитие его идеи получили в трудах советских ученых. Имя Мещерского неразрывно связано в истории науки и техники с именем создателя научных основ космонавтики Циолковского.

Циолковский является пионером ракетодинамики, теории реактивных двигателей и учения о межпланетных сообщениях. Он один из основателей экспериментальной аэродинамики в России, создатель первого проекта конструкции и теории цельнометаллического дирижабля, автор многих ценных изобретений в технике летания.



К. Э. Циолковский

В 1879 г. Циолковский сдал экстерном экзамен на звание учителя средней школы и начал преподавать математику в Боровском уездном училище Калужской губернии. Все свободное время он посвящал научным занятиям и в 1883 г. подготовил свое первое исследование «Свободное пространство». В этой работе он рассмотрел вопрос о физических явлениях, которые мог бы наблюдать человек в межпланетном пространстве, а также разработал первую принципиальную схему реактивного межпланетного корабля.

Следующее большое его исследование — «Теория и опыт аэростата» (1886) — было посвящено теории предложенной им конструкции управляемого аэростата с цельнометаллической оболочкой. Узнав об этом труде, Жуковский и Столетов пригласили Циолковского в Москву для доклада на заседании физического отделения Московского общества любителей естествознания. Прочитанный летом 1887 г. доклад получил очень высокую оценку. В 1894 г. Циолковский опубликовал статью «Аэроплан или птицеподобная (авиационная) летательная машина», где предложил такую форму и устройство самолета, к которой человечество пришло только через треть века.

Продолжая свои исследования в области аэродинамики, Циолковский провел в течение следующих трех лет ряд предварительных опытов. Чтобы повысить точность экспериментов, он изобрел «воздуходувку»— аэродинамическую трубу открытого типа: это была первая в России аэродинамическая труба.

В январе 1903 г. Циолковский направил в журнал «Научное обозрение» большую статью «Исследование мировых пространств реактивными приборами». Первая ее часть появилась в пятом номере журнала. Но вскоре за тем этот журнал, в котором сотрудничали В. И. Ленин, Г. В. Плеханов и многие передовые русские ученые, был закрыт жандармским управлением, а все редакционные материалы конфискованы. Только в 1911 г. друзьям и последователям Циолковского удалось напечатать вторую часть этой выдающейся работы, закладывавшей основы теории реактивных летательных аппаратов. В ней доказывалась возможность применения ракетных аппаратов для межпланетных сообщений. Циолковский предложил ракету для исследования высоких слоев атмосферы, для запуска искусственного спутника Земли и межпланетных путешествий.

Сочинения Циолковского соединяли в себе трезвый научный расчет с замечательным полетом фантазии. Однако в дореволюционной России его открытия не получили ни признания, ни поддержки официальных кругов. Работал он в трудных материальных условиях. Его драматическая судьба в царское время и великий триумф в годы Советской власти отразили исторический перелом в судьбах отечественной научно-технической мысли.

НЕЕВКЛИДОВА МЕХАНИКА

Механика в неевклидовом пространстве возникла, когда идеи Лобачевского начали получать признание математиков. Основным стимулом развития неевклидовой механики послужило желание выяснить, не противоречит ли неевклидова геометрия принципам механики. Первые работы по неевклидовой механике появились в 1869—1870 гг. в Италии (А. Дженокки), в Германии (Э. Шеринг) и Бельгии (Ж. де Тийи).

В России исследования по неевклидовой механике начались в 90-х годах XIX в. В 1898 г. появилась статья П. С. Юшкевича «О сложении сил в гиперболическом пространстве», написанная в 1892 г.; в ней определялось сложение сил, когда они направлены по пересекающимся прямым, а также в тех случаях, когда они направлены по параллельным и расходящимся прямым.

Широко разрабатывал неевклидову механику А. П. Котельников. Наибольшее значение в развитии неевклидовой механики имеет его докторская диссертация «Проективная теория векторов» (Казань, 1899). Котельников дал определение векторов и метод сложения векторов, пригодный для всех неевклидовых пространств, определил эквивалентность систем векторов, показал, что всякая система векторов эквивалентна «канонической системе», состоящей из двух векторов, направленных по двум взаимно полярным прямым, и нашел необходимое и достаточное условие эквивалентности двух систем векторов. Последнее условие состоит в равенстве определяемых системами векторов величин особого рода — «винтов» («моторов», «динам»), тесно связанных с комплексными числами различного вида. Котельников глубоко разработал алгебру винтов, аналогичную векторной алгебре, и ее применение к геометрии (особенно к линейчатой) и механике (теория винтовых интегралов). Уже в советское время А. П. Котельников дал изящное изложение своих идей в статье «Теория векторов и комплексные числа» (опубликованной посмертно в 1950 г.).

Неевклидовой механикой в России занимались также Жуковский (1902) и непосредственные продолжатели идей Котельникова Д. Н. Зейлигер и П. А. Широков.

Последний дал простую интерпретацию правила Котельникова относительно сложения векторов в неевклидовых пространствах (1926).

БАЛЛИСТИКА

Вопросами баллистики в России занимались еще Эйлер и Д. Бернулли, а в 40-е годы XIX в. Остроградский. Крымская война 1853—1856 гг. поставила перед военными специалистами задачи, связанные с заменой сферических артиллерийских снарядов продолговатыми, иными словами, с переходом от использования гладкоствольных орудий к использованию нарезных. К решению этих задач были привлечены многие специалисты, в том числе Чебышев, который с 1855 г. в течение более чем 10 лет работал в артиллерийском отделении Военно-Ученого комитета, преобразованном затем в Артиллерийский комитет. В частности, Чебышев разрабатывал математические методы баллистики, применяемые при вычислении таблиц стрельбы; с этим, как уже говорилось, связаны были некоторые его исследования в теории интерполирования.



А. П. Котельников

Работая в Артиллерийском комитете, Чебышев находился в тесном контакте с выдающимся баллистиком Н. В. Маиевским, воспитанником физико-математического отделения Московского университета, с 1858 г.— профессором баллистики в Михайловской артиллерийской академии (ныне Военная академия им. Ф. Э. Дзержинского). С 1878 г. Маиевский — член-корреспондент Академии наук; он имел также военное звание генерала от артиллерии.

В 1858 г. Маиевский провел экспериментальные исследования по определению закона сопротивления воздуха движению сферических снарядов и получил эмпирическую формулу, расчет по которой приводил к результатам, близким к действительным. Описание этих опытов и их результаты он опубликовал в 1858—1859 гг.

Одновременно Маиевский занялся важным для артиллерии того времени вопросом проектирования нарезных орудий. В 1865 г. он опубликовал в «Артиллерийском журнале» статью «О влиянии вращательного движения на полет продолговатых снарядов в воздухе», где впервые решил задачу о движении вращающихся продолговатых снарядов. Это было пер-



Н. В. Маиевский

вое крупное исследование баллистических свойств нарезных орудий. Дальнейшее развитие эти исследования Маиевского получили в его фундаментальном «Курсе внешней баллистики» (СПб., 1870). Отличительная особенность этого труда — органическая связь теоретических исследований с практическим применением их результатов. «Курс внешней баллистики» получил мировую известность и через 2 года был издан во французском переводе.

Работы Маиевского по теории вращательного движения продолговатого снаряда были продолжены его учеником Н. А. Забудским и многими другими учеными в России и за рубежом.

Забудский, воспитанник, а затем преподаватель и профессор Михайловской артиллерийской академии, является автором ряда работ: «Об угловой скорости вращения продолговатого снаряда» (1891), «Влияние вращательного движения Земли на полет снарядов» (1894), «Исследование о движении продолговатого снаряда» (1908) и др. Он издал также весьма обстоятельный курс «Внешней баллистики» (СПб., 1895).

ТЕОРИЯ КОРАБЛЯ

Другая важная область прикладной механики, в развитии которой сыграли весьма значительную роль ученые России,— теория корабля. Еще в XVIII в. Петербургская академия опубликовала фундаментальную «Морскую науку» Эйлера. В конце XIX — начале XX в. теория корабля разрабатывалась главным образом в Военно-Морской академии. Основная заслуга в научном обосновании проектирования и строительства кораблей принадлежит А. Н. Крылову, имя которого носит теперь эта академия.

По окончании в 1884 г. Морского училища в Петербурге Крылов некоторое время работал под руководством И. П. де Колонга — выдающегося специалиста по компасному делу. В связи с этим первые теоретические работы и изобретения Крылова относились к компасам. Уже в эти годы Крылова интересовали работы по кораблестроению, и в 1888 г. он был зачислен на кораблестроительное отделение Морской академии, которое закончил в 1890 г., после чего начал вести в академии курс теории корабля. Вскоре он разработал оригинальную теорию килевой качки, которую включил в свой курс теории корабля.

Крылов принимал активное участие в создании Петербургского политехнического института и его кораблестроительного отделения. Он ввел

в институте созданный им курс «Вибрация судов», который впервые начал читать еще в Морской академии в 1901 г.

В конце 1900 г. Крылов занялся проблемой непотопляемости судов и составил таблицы непотопляемости броненосца «Петропавловск». Позднее он распространил свои исследования на разработку оптических прицелов (с 1904 г.), проблемы бронирования линейных кораблей (с 1905 г.), изучение меткости артиллерийской стрельбы во время качки корабля (с 1906 г.). Он изложил общую теорию гироскопов и их применения на практике, исследовал гироскопы с двумя и тремя степенями свободы, гироскопический маятник, гирокомпас, гироскопический стабилизатор корабля и дал описание некоторых гироскопических приборов, причем для гирокомпаса исследовал его курсовую и баллистическую девиации.



А. Н. Крылов

В 1916 г. Крылов, избранный действительным членом Академии наук, был назначен директором Главной физической обсерватории. В октябре 1917 г. он был назначен на должность директора физической лаборатории (впоследствии—Физического института) Академии наук. Неутомимая научная и организационная деятельность Крылова продолжалась еще почти 30 лет, до самой его кончины, последовавшей 26 октября 1945 г.

ТЕОРИЯ УПРУГОСТИ И СОПРОТИВЛЕНИЯ МАТЕРИАЛОВ

Связь между прикладными задачами и теоретическими обобщениями в русской механике второй половины XIX — начала XX в. получила также яркое выражение в работах по теории упругости и сопротивлению материалов.

Развитие теории упругости в России связано прежде всего с именем Остроградского, который опубликовал две статьи о малых колебаниях неограниченной изотропной упругой среды при данном начальном ее возмущении: «Об интегрировании уравнений в частных дифференциалах, относящихся к малым колебаниям упругой среды» (1831) и «Мемуар об интегрировании уравнений в частных дифференциалах, относящихся к малым колебаниям упругих тел» (1833).

Большой вклад в дальнейшее развитие теории упругости и сопротивления материалов внесли ученики Остроградского — Д. И. Журавский

и Г. Е. Паукер, а также А. В. Гадолин, Х. С. Головин, В. Л. Кирпичев, Ф. С. Ясинский и мн. др.

Журавский, воспитанник Института инженеров путей сообщения, был основоположником русской школы мостостроения. В своей работе «О мостах раскосной системы Гау» (СПб., 1855 —1856) он первый дал теорию расчета мостовых ферм и формулу для расчета балок на изгиб при наличии скалывающих напряжений. Крупнейшие иностранные ученые-механики, в том числе А. Барре де Сен-Венан, отметили значение работ Журавского по теории изгиба. В ряде курсов предложенная им формула называется теоремой Журавского.

Позднее, во второй половине XIX — начале XX в. среди русских мостостроителей особенно выделялись профессора Н. А. Белелюбский и Л. Д. Проскуряков. Белелюбский построил первую в России лабораторию по испытанию материалов и провел большие работы по определению механических характеристик цемента и бетона. Проскуряков первым в России начал применять фермы с треугольной решеткой.

Профессор Инженерной академии и почетный член Петербургской академии наук Паукер, создатель первоклассных военных и портовых сооружений и большого числа гражданских зданий, провел ряд исследований по расчету сводов и глубины залегания мостовых опор. В 1849 г. он опубликовал большую работу «О проверке устойчивости цилиндрических сводов». Много лет спустя вышел его (первый в России) курс «Строительной механики» (СПб., 1891).

С именем профессора Артиллерийской академии академика Гадолина связаны многочисленные усовершенствования в артиллерии. В работе «О сопротивлении стен орудия давлению пороховых газов при выстреле» (1861) он указал на необходимость руководствоваться при проектировании орудийных стволов началами теории упругости, в частности, использовать для этого некоторые результаты Г. Ламе. Формула Ламе для определения сопротивления стен полых цилиндров, подвергающихся внутреннему давлению, как показал Гадолин, давала величину наибольшего значения истинного давления; для определения нижней границы давления Гадолин вывел особую формулу. В другом исследовании Гадолина —«Теория орудий, скрепленных обручами» (1861) — предложен метод расчета упруго-прочного сопротивления орудийных стволов при скреплении их стальными кольцами.

Разработкой прикладных вопросов теории упругости занимался военный инженер Головин. В работе «Одна из задач статики упругого тела» (1880) он впервые дал расчет упругой арки методами теории упругости. Здесь Головин рассмотрел плоскую задачу об изгибе бруса, на внешнем радиусе которого приложены силы, распределенные по определенному закону, а на внутреннем радиусе внешние силы отсутствуют.

Большие заслуги в развитии механики и сопротивления материалов имеет Кирпичев, обучавшийся в Михайловской артиллерийской академии и там же начавший в 1868 г. свою преподавательскую деятельность. В 1885 г. он был поставлен во главе вновь учрежденного Харьковского технологического института, а в 1898 г.— Киевского политехнического института; в организации обоих институтов он принял активное участие. В Петербургском политехническом институте, где он преподавал с 1903 г., Кирпичев создал лабораторию прикладной механики; под его руководством там проводились научные исследования, в частности изучение деформаций оптическим методом. Кирпичев написал ряд учебников, в том числе «Сопротивление материалов» (СПб., 1884), «Основания графической статики» (СПб., 1902) и широкоизвестные «Беседы о механике» (СПб., 1907).

Значительный вклад в развитие теории упругости, сопротивления материалов, статики сооружений внес Ясинский, большая часть научных исследований которого связана с его инженерной деятельностью. В 1893 г. он опубликовал «Опыт развития теории продольного изгиба». Он занимался также вопросами теории устойчивости упругих стержней.

В начале своей научной деятельности (1893—1899) теорией упругости занимался В. А. Стеклов.

Вопросы устойчивости упругих систем приобрели в XX в. огромное значение для различных областей техники, поэтому многие русские ученые занимались решением связанных с этой проблемой задач. Важные результаты были получены С. П. Тимошенко, который до 1919 г. преподавал в Петербургском и Киевском политехнических институтах. Тимошенко написал много работ по теории устойчивости стержней, пластин, оболочек. За исследование «Об устойчивости упругих систем» (1910) он был удостоен премии имени Д. И. Журавского. В этой, а также некоторых других своих работах Тимошенко развил прием исследования, сходный с приближенным методом Рэлея — Ритца. Помимо большого числа научных исследований Тимошенко опубликовал замечательные руководства по сопротивлению материалов (1911) и теории упругости (1914), которыми до сих пор пользуются в высших учебных заведениях.

Оригинальный приближенный метод интегрирования дифференциальных уравнений теории упругости был разработан профессором Петербургского политехнического института и Морской академии И. Г. Бубновым. Впервые этот метод, о котором говорилось в гл. 21, Бубнов описал в 1911 г. в отзыве на упомянутое сочинение Тимошенко, представленное на премию имени Журавского. Затем Бубнов использовал свой метод для решения важных в расчетах обшивки корабельного корпуса задач на устойчивость пластин. Такие задачи разобраны в курсе Бубнова «Строительная механика корабля» (СПб., 1912). Бубнову, как и Крылову, принадлежат очень большие заслуги в теории и практике кораблестроения; в частности, он явился в России пионером строительства подводных лодок, первая из которых была спущена на воду в 1903 г. Как уже упоминалось, дальнейшее развитие метод Бубнова получил в трудах Б. Г. Галеркина, прежде всего в статье «Стержни и пластинки» (1915); этот метод Бубнова — Галеркина представляет собой широкое обобщение метода Рэлея — Ритца.

В связи с потребностями кораблестроения теорией упругости занимался и Крылов. В частности, ему принадлежит (1905) подробное исследование вынужденных колебаний стержней постоянного сечения с помощью метода, который Пуассон применил в случае свободных колебаний.

Целый ряд задач теории упругости — по устойчивости стержней и пластин, вибрациям стержней и дисков и пр.— решил в 1911—1913 гг. профессор Горного и металлургического института в Екатеринославе (ныне Днепропетровск) А. Н. Динник.

К 1914 г. относится начало работ по теории упругости Л. С. Лейбензона, прежде всего — по устойчивости упругого равновесия длинных сжатых стержней с первоначальным кручением около прямолинейной оси стержня, а затем — по устойчивости сферической и цилиндрической оболочек. Практическое значение первой задачи ясно из того, что всем извест-

ные теперь сетчатые башни системы В. Г. Шухова составлены из закрученных прямолинейных образующих.

Исследованиями в области теории упругости занимался в начале XX в. и С. А. Чаплыгин. К 1900 г. относятся его рукописи «Деформация в двух измерениях» и «Давление жесткого штампа на упругое основание» (впервые напечатанные лишь в 1950 г.). В этих статьях Чаплыгин разработал метод решения плоской задачи теории упругости, основанный на применении теории функции комплексного переменного. Аналогичный метод решения этой задачи был разработан Г. В. Колосовым, который в 1909 г. опубликовал весьма важную работу «Об одном приложении теории функций комплексного переменного к плоской задаче математической теории упругости», где установлены формулы, выражающие компоненты тензора напряжений и вектора смещения через две функции комплексного переменного, аналитические в области, занимаемой упругой средой.

В 1916 г. метод Колосова применил к тепловым напряжениям в плоской задаче теории упругости Н. И. Мусхелишвили, деятельность которого, как и части других названных здесь ученых, развернулась во всей широте уже после Октябрьской революции.

ФИГУРЫ РАВНОВЕСИЯ ВРАЩАЮЩЕЙСЯ ЖИДКОСТИ

В разработку проблемы фигур равновесия вращающейся жидкости основной вклад внес Ляпунов. До него этой проблемой занимались Ньютон, Клеро, Лаплас, Лагранж, Якоби и др. Ньютон показал, что под влиянием центробежных сил и взаимного притяжения своих частиц однородная жидкость при малой угловой скорости принимает форму сжатого эллипсоида вращения. Вопрос о форме, принимаемой равномерно вращающейся вокруг неподвижной оси жидкой массой, все частицы которой взаимно притягиваются по закону Ньютона, приобрел весьма важное значение при исследовании проблем космогонии.

В XVIII—XIX вв. при решении этой проблемы исходили из гипотезы о том, что на некоторой стадии развития небесные тела были жидкими. Клеро показал, что если скорость вращения жидкой массы очень мала, то за поверхности ее уровня с достаточной степенью точности могут быть приняты поверхности эллипсоидов вращения. Но этот результат справедлив лишь в первом приближении, а теория Клеро не позволяла найти более высокие приближения. Затем Лежандр и Лаплас предложили методы, которые позволяли находить последовательные приближения. В 1829 г. Пуассон отметил, что результаты Лежандра и Лапласа также оставляют желать лучшего, поскольку не был исследован вопрос, будут ли сходящимися ряды, к которым приводят используемые ими методы. Последующие исследования также не внесли достаточной ясности в этот вопрос.

Создавшаяся ситуация и побудила Ляпунова продолжить исследования в этой области. В отличие от Лежандра, Лапласа и Пуассона он не пользовался разложениями в ряды, а рассмотрел уравнения задачи (из которых первое является уравнением Клеро) при весьма общих предположениях о законе распределения плотности вращающейся жидкой массы.

Сначала Ляпунов занялся исследованием вопроса об устойчивости эллипсоидальных форм равновесия вращающейся жидкости; этой проблеме была посвящена его магистерская диссертация (1884). В этой работе он впервые ввел определение понятия устойчивости вращающейся жидкости и доказал, что признак устойчивости системы, обладающей конечным числом степеней свободы (теорема Лагранжа — Дирихле), не может быть безоговорочно перенесен на случай движения жидкости, имеющей бесконечное число степеней свободы. Далее он нашел достаточный критерий устойчивости фигур равновесия и показал, что эллипсоид вращения является устойчивой фигурой равновесия, если его эксцентриситет не превышает некоторой определенной Ляпуновым величины. В частности, он дал полный разбор вопроса об устойчивости некоторых ранее известных фигур равновесия, так называемых эллипсоидов Маклорена и Якоби.

В 1901 г. Ляпунов, преодолев огромные математические трудности и разработав ряд аналитических методов, выполнил строгое исследование вопроса о существовании новых фигур равновесия жидкости, равномерно вращающейся вокруг некоторой оси, если частицы жидкости взаимно притягиваются по закону Ньютона. Основной результат этого исследования таков: при выполнении определенных условий, относящихся к плотности жидкости для всех значений угловой скорости вращения, не превосходящих некоторого определенного предела, существует фигура равновесия вращающейся массы неоднородной жидкости, находящейся в поле своего собственного тяготения.

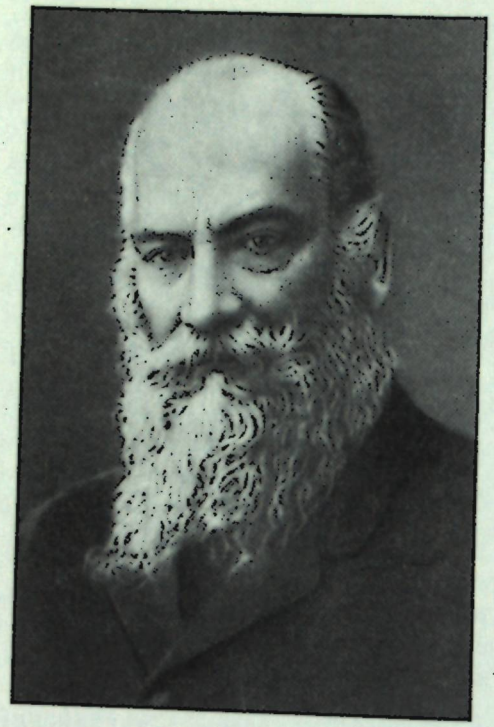
Эти работы Ляпунова вызвали длительную дискуссию с английским ученым Дж. Дарвином по вопросу о фигурах равновесия, которые Пуанкаре назвал грушевидными. Дарвин отстаивал устойчивость этих фигур и на этом построил гипотезу развития двойных звезд. Ляпунов опроверг мнение Дарвина и опубликовал ряд работ, в которых дал безукоризненное математическое доказательство своей точки зрения. Таким образом, возникшая полемика закончилась победой Ляпунова. В 1917 г. Дж. Джинс обнаружил ошибку в вычислениях Дж. Дарвина, приведшую его к неверному выводу об устойчивости грушевидных фигур.

Труды Ляпунова по фигурам равновесия вращающейся жидкости до сих пор остаются непревзойденными. Все работы отечественных и зарубежных ученых по этой проблеме, выполненные после смерти Ляпунова, в той или иной степени основаны на его идеях и методах.

ГИДРОДИНАМИКА И ГИДРАВЛИКА

Важнейшим результатом развития механико-математической мысли в России в конце XIX и в начале XX в. было появление классических работ по гидродинамике и аэродинамике, принадлежащих Н. Е. Жуковскому.

В 1868 г. Жуковский окончил физико-математический факультет Московского университета. С 1872 г. он преподавал в Московском высшем техническом училище сначала математику, а затем, с 1874 по 1919 г., механику. В 1886 г. он возглавил кафедру механики в Московском университете. В течение многих лет Жуковский руководил Московским математическим обществом, с 1903 г. как его вице-президент, а с 1905 г.— как президент. Преподавательская работа в двух крупнейших учебных заведениях России отражала в некоторой мере основное направление научной дея-



Н. Е. Жуковский

тельности Жуковского, его стремление увязать развитие научных и технических идей и на основе общих теоретических построений получать решения задач, выдвигаемых практикой.

Жуковского особенно привлекал своей наглядностью геометрический метод изложения механики. Применение этого метода, наряду с аналитическим, позволило Жуковскому в его магистерской диссертации «Кинематика жидкого тела» (1876) представить очень наглядную картину законов движения частицы жидкости в потоке. Эта работа открыла собой ряд его исследований в области гидродинамики.

Уже в первые годы своей научной деятельности Жуковский рассмотрел широкий круг проблем общей механики, механики твердого тела, гидродинамики, астрономии. Он изучает вопрос об ударе твердых тел (1878—1885), о гироскопических приборах и маятниках (1881—1895), дает геометрическую интерпретацию общего случая движения твердого тела вокруг неподвижной точки (1896). Особое место среди его работ по общей механике занимает докторская диссертация «О прочности движения» (1882), в которой он впервые ввел понятие о мере устойчивости движения и разработал метод оценки устойчивости движения.

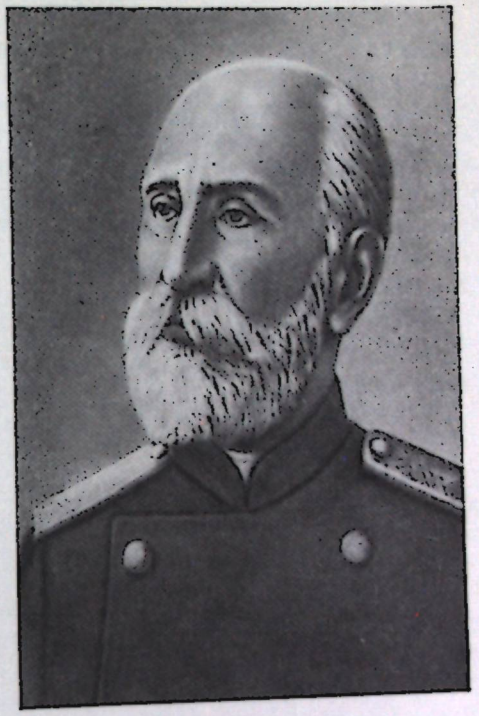
В 1885 г. он опубликовал капитальный труд «О движении твердого тела, имеющего полости, наполненные однородной капельной жидкостью». Эта работа имеет значение не только для гидромеханики: методы, разработанные Жуковским, дают возможность решать задачи в области астрономии (законы вращения планет), баллистики (теория движения снарядов с жидким наполнением) и т. д.

В 80—90-е годы появились работы Жуковского о движении тела в жидкости; этой проблемой до него занимались Пуассон, Стокс, Клебш, Томсон и Тэт, Кирхгоф и др. В работе «О парадоксе Дюбуа» (1891) Жуковский дал физическое объяснение этому парадоксу. С точки зрения общих законов механики безразлично, движется ли тело в неподвижной жидкости или тело неподвижно, а движется жидкость. Тем не менее П. Дюбуа в 1779 г. экспериментально показал, что силы, действующие на тело в том и другом случаях, различны. Оказалось, что сопротивление неподвижной пластинки в жидкости, движущейся с некоторой скоростью, больше сопротивления, испытываемого пластинкой, движущейся с той же скоростью в неподвижной жидкости. Это расхождение Жуковский объяснил тем, что в первом случае при движении реальной жидкости всегда возникают завихрения

у стенок, на поверхности и т. д. В подтверждение своего объяснения Жуковский сконструировал прибор, с помощью которого показал, что при отсутствии завихрений в жидкости давления в обоих случаях будут одинаковы.

Заметим, что проблему движения твердого тела в жидкости в те же годы и позднее изучали также Стеклов (магистерская диссертация «О движении твердого тела в жидкости», 1894, работа «О движении твердого тела в бесконечной жидкости», 1902, и др.) и Чаплыгин.

Жуковский выполнил крупные исследования и в области гидравлики, связанные с течением грунтовых вод; непосредственным поводом для них послужили задачи, возникшие при реконструкции и эксплуатации московского водопровода. Среди работ Жуковского по гидравлике особенно выделяется исследование «О гидравлическом ударе в водопроводных трубах» (1898), в котором он объяснил нередко случавшиеся аварии магистральных труб водопровода. Жуковский установил, что причиной аварий является гидравлический удар, т. е. резкое повышение давления в трубах при быстром закрытии задвижки в трубе. На основании многих опытов он раскрыл физическую сущность явления гидравлического удара и вывел формулы определения времени, необходимого для безопасного закрытия водопроводных труб, а также предложил способ предохранения водопровода от повреждений при гидравлическом ударе. Разработанная им теория и его формулы до настоящего времени являются основой решения задач, связанных с явлением гидравлического удара.



Н. П. Петров

Несколько работ Жуковского посвящено изучению речной гидравлики: процессам формирования речного русла (1914), а также вопросу о выборе на реке мест забора и выпуска воды для охлаждения машин больших силовых станций (1915).

Большие успехи были достигнуты еще в одном разделе гидродинамики, возникшем в связи с новыми потребностями промышленного производства — в разработке гидродинамической теории смазки, разработанной Н. П. Петровым. Петров работал главным образом в области железнодорожного транспорта, занимая ответственные должности вплоть до поста заместителя министра путей сообщения. Кроме того, он был профессором Инженерной академии и Петербургского политехнического института, где его учителями были Вышнеградский и Остроградский.

Петров подверг глубокой научной разработке многие задачи техники. Таковы, например, его исследования, посвященные прочности рельсов,

давлению колес на них, устойчивости железнодорожных путей, тормозным системам и пр. Его исследования по гидродинамической теории смазки были вызваны переходом промышленности от применения органических смазывающих веществ к минеральным, которые начала производить возникшая тогда в России нефтяная промышленность. Минеральные вещества были намного дешевле органических, однако первоначально их неумелое применение давало плохие результаты.

Первая печатная работа Петрова по гидродинамической теории смазки «Трение в машинах и влияние на него смазывающей жидкости» (1883) была удостоена Ломоносовской премии Академии наук. За ней последовала работа «О трении хорошо смазанных твердых тел и о главных результатах опытов над внутренним и внешним трением некоторых смазывающих жидкостей» (1884). Для проверки предложенной теории Петров произвел разнообразные опыты.

Основные законы сухого трения были установлены Ш. Кулоном еще в конце XVIII в., но действие смазывающих веществ оставалось непонятным, несмотря на то что предпринималось много попыток разрешить этот вопрос экспериментально. Оказалось, что при различных условиях смазки сила трения могла сильно изменяться. Величина же силы трения при наличии смазки зависит от закона движения смазывающей вязкой жидкости (например, машинного масла). Поскольку в 80-х годах XIX в. гидродинамика вязкой жидкости была разработана очень слабо, причина возникновения трения и обусловливающие его величину физико-механические факторы оставались неясными. Именно Петров сформулировал законы, которые могли лечь в основу расчета элементарных сил трения.

Почти одновременно с Петровым и независимо от него основы гидродинамической теории смазки разработал также английский ученый О. Рейнольдс (1884—1886). В 1900 г. Петров в работе «Трение в машинах» продвинул исследования в этой области значительно дальше.

Жуковский также занимался изучением теории смазки и посвятил ей несколько работ. В статье «О трении смазочного слоя между шипом и подшипником» (1906), написанной им совместно с Чаплыгиным, дано точное решение задачи о движении смазочного слоя. Эта работа имела большое практическое значение, вызвав ряд теоретических и экспериментальных исследований.

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ И ПРИКЛАДНАЯ АЭРОДИНАМИКА

Особое место в исследованиях Жуковского занимает разработка теоретических основ авиации. Вопросами полета на аппаратах тяжелее воздуха Жуковский заинтересовался еще в конце 80-х годов. В эти годы одной из основных проблем при решении задачи полета на аппаратах тяжелее воздуха являлась проблема подъемной силы. Исследователи ощупью, главным образом на основе эксперимента, стремились в то время решить задачу о подъемной силе крыла. Было получено большое число экспериментальных данных, пригодных, однако, для оценки величины подъемной силы только в частных конкретных случаях. Попытки оценить величину подъемной силы на основе теоретических предпосылок, и, в частности, на основе господствовавшей в то время теории струйного течения, приводили к результатам, значительно отличающимся от опытных.

Жуковский считал необходимым первоначально установить физическую картину появления подъемной силы. В работе «К теории летания» (1890) он высказал мысль, что подъемная сила может явиться результатом некоторого вихревого движения, обусловленного вязкостью жидкости. В 1890—1891 гг. он поставил интересные опыты с пластинкой, вращающейся в потоке воздуха, которые предвосхитили его идею о присоединенных вихрях, положенную им в основу создания теории подъемной силы.

В эти годы Жуковский изучает целый комплекс вопросов, связанных с решением задачи полета на аппаратах тяжелее воздуха. Уже в то время он обратил внимание на необходимость изучения вопросов устойчивости самолета. В статье «О парении птиц» (1891) он впервые рассмотрел задачу о динамике полета на аппаратах тяжелее воздуха и установил основные формы движения самолета. Жуковский теоретически обосновал возможность сложных движений самолета в воздухе, в частности «мертвой петли» (впервые «мертвая петля» была выполнена в 1913 г. русским военным летчиком П. Н. Нестеровым). В той же статье Жуковский исследовал вопрос о центре давления аэродинамических сил и показал, что положение центра давления изменяется с изменением угла атаки.

В 1890—1891 гг. Жуковский ставит эксперименты с целью изучить закономерности изменения положения центра давления крыла с простейшим профилем — плоской пластинки. Уже тогда он обратил внимание на важность исследования устойчивости посредством испытаний планеров и змеев. Он изучает также тягу винта, рассматривает возможность создания летательных аппаратов тяжелее воздуха с машущими крыльями, целесообразность применения многовинтовых геликоптеров, прочность гребных винтов. Он определяет условия наиболее экономичного полета самолета и в 1897 г. предлагает метод вычисления наивыгоднейшего угла атаки.

Жуковский придавал большое значение постановке опытов в аэродинамических трубах. В его университетской лаборатории в 1902 г., а затем в 1905—1906 гг. были построены аэродинамические трубы. В 1904 г. был основан Аэродинамический институт в Кучино (под Москвой), оборудованный новейшими по тому времени приборами.

В работах «О присоединенных вихрях» (1906, опубликована в 1937 г.) и «О падении в воздухе легких продолговатых тел, вращающихся около своей продольной оси» (1906) Жуковский установил, что подъемная сила возникает в результате обтекания потоком неподвижного присоединенного вихря или системы вихрей, которыми можно заменить тело, находящееся в потоке жидкости. Основываясь на этом, он доказал свою знаменитую теорему, позволяющую вычислить величину подъемной силы. По формуле Жуковского, величина подъемной силы равняется произведению плотности воздуха, скорости циркуляции потока вокруг обтекаемого тела и скорости движения тела. Правильность теоремы была подтверждена экспериментами с вращающимися в потоке воздуха продолговатыми пластинками, поставленными по идее Жуковского в 1905—1906 гг. в лаборатории Аэродинамического института. Исследования Жуковского о подъемной силе составляют основу современной аэродинамики; его теорема о подъемной силе имеет фундаментальное значение для теории крыла.

Аэродинамике больших скоростей Жуковский посвятил ряд статей: «Аналогия между движением тяжелой жидкости в узком канале и движением газа в трубе с большой скоростью» (1912); «О движении воды в откры-

том канале и о движении газов в трубах» (1917); «Движение волны со скоростью, большей скорости звука» (1919) и др. В последней работе Жуковский изложил теорию распространения плоской и сферической волн при больших скоростях и показал возможность применения ее к определению сопротивления снарядов.

В поле зрения Жуковского были все основные вопросы, выдвигавшиеся быстро развивающейся авиацией, а также вопросы, перспективность развития которых он предвидел. Одна из многих задач в области аэродинамики и авиации, которыми занимался Жуковский,— разработка теории винта. Жуковский создал вихревую теорию гребного винта, на основе которой были построены «винты Жуковского» («винты НЕЖ»). Жуковский исследовал также вопросы прочности самолета. В 1918 г. появилась его большая работа «Исследование устойчивости конструкции аэропланов».

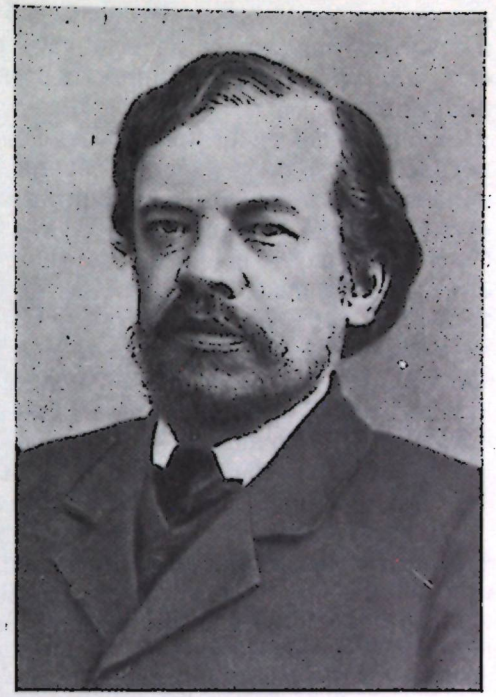
Жуковский воспитал поколение ученых и инженеров в различных областях механики. Особенно велики его заслуги в создании авиационных специалистов. Он был учителем С. А. Чаплыгина, А. И. Некрасова, Л. С. Лейбензона, А. Н. Туполева и многих других. В 1909—1910 гг. в Московском высшем техническом училище и в 1910—1911 гг. в Московском университете Жуковский ввел курс «Теоретические основы воздухоплавания».

Говоря о творчестве Жуковского во второй половине 90-х годов и в 900-е годы, нельзя отделить его деятельность от деятельности Чаплыгина. Под влиянием работ Жуковского по гидродинамике Чаплыгин, будучи еще студентом Московского университета, написал статью «О движении тяжелых тел в несжимаемой жидкости». В 1890 г. Чаплыгин окончил университет, а в 1894 г. начал преподавать в нем. В 1896—1906 гг. он преподавал также механику в Московском высшем техническом училище, а с 1901 г.— на Московских высших курсах, которыми заведовал с 1905 по 1918 г. Первые его научные работы были посвящены гидромеханике. В 1893 г. он написал большую работу «О некоторых случаях движения твердого тела в жидкости». В 1897 г. появилась магистерская диссертация Чаплыгина под тем же названием. В этих работах сказалось влияние геометрического направления в решении механических задач, характерного для работ Жуковского, в отличие, например, от аналитических по методу исследования работ Стеклова.

Центральное место в творчестве Чаплыгина занимают его исследования по механике жидкости и газа. Уже в 90-е годы Чаплыгин проявляет большой интерес к исследованию струйных течений. В 1899 г. Чаплыгин, продолжая исследования Жуковского, по несколько иным способом, решил задачу о струйном обтекании пластинки потоком несжимаемой жидкости («К вопросу о струях в несжимаемой жидкости»). Особенно привлекала Чаплыгина задача о струйном обтекании тел газом, которая, как он писал, была до тех пор «едва затронута».

В 1902 г. Чаплыгин опубликовал классический труд «О газовых струях», в которой разработал метод, позволяющий во многих случаях найти решение ранее поставленной задачи о прерывном течении сжимаемого газа. Эта работа, являвшаяся докторской диссертацией Чаплыгина, в то время не получила широкого признания. Одна из причин этого заключалась в том, что при скоростях, которые использовались тогда в авиации, не было необходимости учитывать влияние сжимаемости воздуха, а в артиллерии наибольший интерес представляли исследования при скоростях,

бóльших скорости звука. Все значение докторской диссертации Чаплыгина для авиации раскрылось в начале 30-х годов XX в., когда возросли скорости самолетов и учет влияния сжимаемости воздуха приобрел важнейшее значение.



С. А. Чаплыгин

В 1910 г. начинается цикл работ Чаплыгина по теории крыла. Результаты своих исследований аэродинамических сил, действующих на крыло самолета, Чаплыгин изложил в работе «О давлении плоско-параллельного потока на преграждающие тела (к теории аэроплана)» (1910), а также в докладе «Результаты теоретических исследований о движении аэропланов», сделанном в ноябре 1910 г. на заседании Московского общества воздухоплавания и изданном в 1911 г. Применение теории струй позволило оценить величину сил, действующих на простейшее крыло — пластинку. Чаплыгин ссылался при этом на соответствующие работы Рэлея, Жуковского и на свою работу «О газовых струях», в которой дал формулы для определения распределения скоростей и указал путь для вычисления давления в случае обтекания пластинки со срывом струй. Однако величина силы, действующей на пластинку, определенная по формулам теории струй, была значительно меньше полученной опытным путем и далеко не достаточна, чтобы объяснить явление полета. Он рассмотрел вопрос о подъемной силе, основываясь на том, что появление циркуляции и подъемной силы связано с многозначностью потенциала скоростей, причем вычислил циркуляцию скорости вокруг бесконечно удаленной точки.

Чаплыгин также впервые занялся изучением величины продольного момента, действующего на крыло, считая этот вопрос существенным элементом теории крыла. Используя общую формулу для момента подъемной силы, он установил простую зависимость продольного момента от угла атаки, которая лишь через несколько лет была установлена экспериментально и явилась впоследствии одной из основных аэродинамических характеристик крыла. Он показал, что коэффициент продольного момента при больших углах атаки положителен и уменьшается с уменьшением угла атаки; при угле атаки, соответствующем нулевой подъемной силе, он имеет отрицательную величину. При отрицательных углах атаки продольный момент остается отрицательным, но абсолютная величина его с ростом абсолютного значения угла атаки крыла возрастает.

Указывая на наличие значительного опрокидывающего момента, действующего на самолет, Чаплыгин предупреждал об опасности быстрого

изменения угла атаки. В своих работах он вывел интересное свойство изогнутых пластинок, показав, что при нулевом угле атаки подъемная сила пластинок зависит лишь от стрелки прогиба и не зависит от хорды пластинки.

Решив задачу о крыле бесконечного размаха, Чаплыгин отмечал необходимость и важность решения задачи о крыле конечного размаха, полагая при этом, что такое крыло может быть смоделировано вихревой схемой в виде П-образного вихря. Основываясь на своей работе «О газовых струях», Чаплыгин показал, что результаты его исследований крыла бесконечного размаха, выполненных при условии обтекания тел несжимаемым потоком, могут быть применены к определению аэродинамических характеристик крыльев самолетов. Вместе с тем он отмечал, что при некоторых скоростях полета и углах атаки возникают местные звуковые скорости, и тогда может наступить новое явление — течение с разрывом сплошности; в таких случаях эти результаты не применимы.

Идеи Чаплыгина нашли свое дальнейшее развитие в многочисленных работах советских и зарубежных ученых.

Деятельность Жуковского и Чаплыгина продолжалась и в советское время. В первые же годы после Октябрьской революции Жуковский при поддержке Советского правительства провел огромную работу по организации широких теоретических и экспериментальных исследований в области авиации. Под его руководством и при участии Чаплыгина в 1918 г. был создан Центральный аэрогидродинамический институт (ЦАГИ). После кончины Жуковского в 1921 г. научным руководителем ЦАГИ стал С. А. Чаплыгин. На базе основанных Жуковским в 1913 г. теоретических курсов для летчиков возник авиационный техникум, в 1922 г. преобразованный в Военно-воздушную инженерную академию им. Жуковского.

В 1920 г. было отмечено 50-летие научной деятельности Жуковского. В декрете, подписанном В. И. Лениным, были высоко оценены огромные заслуги Жуковского как «отца русской авиации»[1].

[1] Декрет Совета Народных Комиссаров.—«Известия. ВЦИК» 8 декабря 1920 г.

Глава двадцать третья

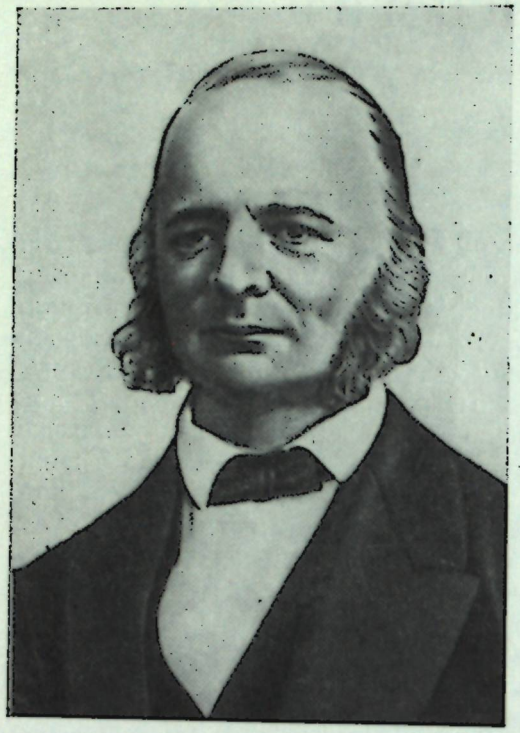
АСТРОНОМИЯ

Во второй половине XIX в. в России наряду с уже существовавшими университетскими астрономическими обсерваториями — Виленской, Дерптской, Харьковской, Казанской, Московской и Киевской — возникли новые: Одесская (1871), Ташкентская (1873, первоначально принадлежала военному ведомству) и Петербургская (1881). Но все они имели тогда крайне ограниченные штаты, скудные средства и, как правило, весьма несовершенное оборудование. Ведущее положение по-прежнему занимала Пулковская обсерватория, основанная В. Я. Струве и ставшая в период его директорства (1839—1862) своеобразной «астрономической столицей мира», как назвал ее известный американский астроном Б. Гулд, посетивший Пулково. Именно здесь проходили школу классических научных исследований многие выдающиеся астрономы, не только русские, но и иностранные (Д. Скиапарелли, К. Аббе и др.).

Систематичность и последовательная скрупулезность многолетних астрометрических наблюдений, выполняемых по хорошо продуманному плану с самого основания Пулковской обсерватории, снискали мировую известность ее звездным каталогам, периодически, вплоть до настоящего времени, пополняемым и уточняемым. Руководитель Американского морского астрономического ежегодника и почетный член Петербургской академии наук С. Ньюкомб считал, что одно наблюдение на пулковском вертикальном круге равноценно 20, 30 и даже 40 наблюдениям, проведенным привычным наблюдателем на обычном меридианном круге. При составлении фундаментальных каталогов положений и собственных движений звезд, когда сводились в одну систему результаты наблюдений многих обсерваторий, высокоточные пулковские данные принимались неизменно с наибольшим весом.

Пулковская обсерватория, основатель которой В. Я. Струве руководил, как уже говорилось в главе 14, грандиозной работой по точнейшему измерению огромной дуги меридиана от Северного Ледовитого океана до Черного моря (1816—1855), в последующие годы играла важную роль в подготовке геодезистов и топографов. Осуществляемые ими экспедиционные работы на обширной и малоизученной территории России стимулировали разработку новых методов точного определения широты и долготы (или поправки времени) с помощью единого, так называемого универсального инструмента, метода Н. Я. Цингера для определения поправки часов по соответствующим высотам различных звезд (1874), аналогичного метода М. В. Певцова для определения широты (1884) и некоторых других усовершенствований.

Специальные исследования теоретически предсказанных еще Л. Эйлером колебаний широты, начатые уже к середине XIX в. в Пулкове (Х. Петерс), затем были продолжены, кроме Пулковской обсерватории, в Ташкенте (Д. Д. Гедеонов), Казани (М. А. Грачев) и Москве (П. К. Штернберг); в конце XIX в. они привели к созданию Международ-



О. В. Струве

ной службы широты, целью которой было следить за положением и движением полюсов Земли. О. В. Струве, сменивший в 1862 г. своего отца на посту директора Пулковской обсерватории и руководивший ею почти 30 лет (до 1889 г.), значительно расширил его каталог двойных звезд и выполнил ряд других работ. При нем в 1885 г. Пулковская обсерватория была оснащена новым, крупнейшим для своего времени рефрактором; объектив для этого инструмента диаметром 30 дюймов (76 см) был заказан американской фирме Кларков, стекла для него изготовил завод Фейля в Париже, а монтировку телескопа поставила фирма Репсольдов в Германии.

О. В. Струве понимал необходимость развития новых, астрофизических направлений, о чем свидетельствуют сделанные им в 1866 г. в Академии наук специальные доклады («Фотография на службе астрономии» и «О положении астрофизики в астрономии»), но опасался, чтобы увлечение новизной и своеобразная погоня за открытиями не увели астрономию от ее «жизненного принципа» научной строгости и математической точности.

Наряду с классической астрометрией отдельные астрофизические исследования проводились в Пулковской обсерватории с самого начала ее существования. Так, например, В. Я. Струве, определив постоянную аберрации, установил постоянство скорости света всех звезд относительно Земли и уточнил величину этой скорости (1840—1843). О. В. Струве из наблюдений полного солнечного затмения 1851 г. сделал заключение, что протуберанцы и корона суть не оптические явления, производимые Луной, как полагали раньше, а образования, присущие самому Солнцу. В 1868—1869 гг. шведский астроном-геодезист П. Розен, находившийся на практике в Пулкове, определял яркости звезд с помощью фотометра Целльнера. Затем, с 1870 г., этими работами на протяжении более четверти века занимался ученый секретарь обсерватории Э. Э. Липдеман, включивший в программу своих наблюдений помимо звезд постоянного блеска и переменные звезды. В 1872—1889 гг. в Пулкове работал приглашенный из Стокгольма шведский астрофизик Б. Гассельберг, начавший внедрять в практику наблюдений фотографические методы (поскольку в то время еще не существовало сухих фотопластинок, ему приходилось самому изготовлять непосредственно перед использованием мокрые, коллоидные фотопластинки). Гассельберг основал в Пулковской обсерватории астрофизическую лабораторию (1876). Сочетая в своих работах

спектральные наблюдения и лабораторные эксперименты, он обнаружил присутствие углеродистых соединений в кометах. С 1882 г. до своего возвращения в Швецию он занимал специально учрежденную в Пулковской обсерватории должность астрофизика.

В 1890 г. Пулковскую обсерваторию возглавил Ф. А. Бредихин, создавший ранее первую в России астрофизическую школу в Московском университете, где он работал в качестве профессора (с 1865 г.). Бредихин опубликовал большое количество статей в научных и научно-популярных изданиях, разработал свою теорию кометных форм и руководил после Б. Я. Швейцера университетской обсерваторией (1873—1890), организовав там систематические наблюдения планет и метеоров, фотографирование Солнца.



Ф. А. Бредихин

При нем и затем в годы директорства О. А. Баклунда (1895—1916), который занимался небесной механикой, деятельность Пулковской обсерватории приобрела более широкий характер в соответствии с общими тенденциями в развитии астрономии.

Вместе с тем сохраняла первоклассный мировой уровень и традиционная пулковская меридианная астрометрия. В частности, когда на международной конференции 1909 г. в Париже известный голландский астроном Я. Каптейн предложил идею построения фундаментального каталога, выяснилось, что в Пулкове аналогичная идея уже давно осуществляется, и предложенный Баклундом список звезд, вошедших в пулковские каталоги 1900 и 1905 гг., был принят в качестве международного списка фундаментальных звезд. Дополненный звездами южного неба (список Хофа, составленный на Мысе Доброй Надежды), этот список звезд Баклунда — Хофа определил главное содержание работы всех основных астрометрических обсерваторий земного шара в последующие 15—20 лет.

Если В. Я. Струве, установив сгущение звезд к средней плоскости Млечного Пути (явление так называемой галактической концентрации) и выдвинув правильное предположение о межзвездном поглощении света, фактически заложил основы современной звездной астрономии, то свое дальнейшее значительное развитие она получила в пионерских исследованиях профессора Казанского университета (с 1852 г.) и бессменного на протяжении четверти века (с 1855 г.) директора университетской обсерватории в Казани М. А. Ковальского, который открыл уменьшение собственных движений звезд с приближением их к галактической плос-



О. А. Баклунд

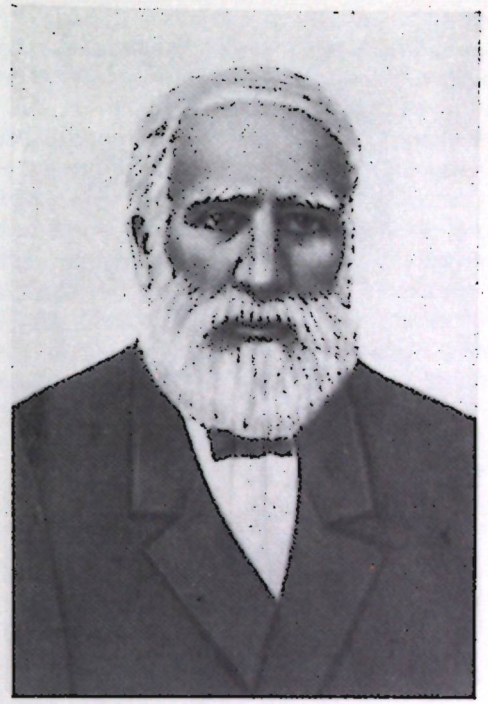
кости. Это явно свидетельствовало о больших средних расстояниях в этой плоскости и, следовательно, указывало на, сплющенную форму Галактики, заставляя считать рассматриваемые звезды входящими в некоторую определенную звездную систему и наводя на мысль о ее вращении.

К сожалению, оригинальные результаты Ковальского, опубликованные им в 1859—1860 гг. в Казани на французском языке в работе «Sur les lois du mouvement propre des étoiles du catalogue de Bradley» («О законах собственного движения звезд каталога Брэдли»), как-то прошли мимо внимания современников. Ковальский разработал и применил, независимо от директора Гринвичской обсерватории Д. Эри, один из лучших методов определения движения Солнца относительно звезд, тем не менее названный впоследствии методом Эри. Предложенный Ковальским способ нахождения преимущественных направлений в движениях звезд оказался лежащим в основе открытия «звездных потоков Каптейна», объясняемых вращением Галактики. Ковальский, имея в виду вращение нашей звездной системы, задолго до Г. Гюльдена указал и проверил на примере астероидов метод, позволяющий установить вращение системы небесных тел посредством исследования их собственных движений. По существу, это тот самый метод, с помощью которого Я. Оорт лишь в 1927 г. доказал вращение Галактики, использовав появившиеся к этому времени достаточные наблюдательные данные об относительных движениях звезд (в 1887 г. аналогичную попытку определить вращение Галактики предпринял Л. О. Струве, сын О. В. Струве, но полученный им результат еще не выходил за пределы неточности имеющихся наблюдений).

Кроме того, Ковальский многое сделал в области небесной механики: он разработал теорию движения Нептуна с учетом возмущений от Юпитера, Сатурна и Урана (1852) и затем составил, используя накопленные наблюдения над Нептуном на разных обсерваториях, таблицы движения этой недавно открытой планеты, предложил рациональный способ расчета орбит компонент в системах двойных звезд (1872) и предпринял специальное исследование известной проблемы Бертрана, связанной с установлением справедливости закона всемирного тяготения Ньютона для кратных звездных систем (1880).

Успехам небесной механики способствовали и многие другие исследователи. Д. М. Перевощиков, работавший в Москве и избранный за свои работы по математике и небесной механике академиком Петер-

бургской академии наук, опубликовал обширные мемуары по теории планетных возмущений и теории прецессии и нутации. В Петербурге небесной механикой занимался А. Н. Савич, профессор Петербургского университета в 1839—1880 гг., учитель М. А. Ковальского, создавший целую школу небесных механиков; в Киеве — М. Ф. Хандриков, профессор Киевского университета и директор университетской обсерватории в 1870—1901 гг., автор трехтомной «Системы астрономии» и ряда работ по теории движения планет и комет; там же работали В. И. Фабрициус и Р. Ф. Фогель, усовершенствовавшие в 80—90-е годы теорию определения кометных орбит Ольберса. Успешно развивалась эта отрасль и в некоторых других университетских городах тогдашней России, а также в Пулковской обсерватории, где О. А. Баклунд организовал многолетние коллективные вычислительные работы по изучению движения кометы Энке по наблюдениям с 1871 по 1916 г. и открыл ее вековое ускорение, наблюдаемое при каждом прохождении через перигелий и получившее теоретическое объяснение лишь в середине XX в. (действие реактивной силы, возникающей от выброса газов при сближении кометы с Солнцем).



М. А. Ковальский

Начало астрофизическому подходу к исследованиям комет положил Бредихин, создавший механическую теорию кометных форм, которая объясняла все типы наблюдаемых кометных хвостов различными (в зависимости от физического состава истекающего из кометных ядер вещества) соотношениями исходящего от Солнца притяжения и отталкивания. Этой области астрономии он посвятил свою первую печатную работу («Несколько слов о хвостах комет», 1861), магистерскую и докторскую диссертации («О хвостах комет», 1862; «Возмущения комет, не зависящие от планетных притяжений», 1864), а также множество последующих исследований, принесших ему широкую известность и общее признание.

Реальность соответствующей силы отталкивания, могущей исходить от Солнца, обнаружилась, когда П. Н. Лебедев открыл эффект давления света, сначала теоретически (1891), а затем и экспериментально, как для твердых тел (1900), так и для газов (1910). Современная физическая теория комет учитывает, кроме того, специфическое поведение разреженной плазмы в межпланетном магнитном поле.

Бредихин вообще многое сделал для развития астрофизики в России, консолидации отечественных ученых, установления тесной связи Пулков-



В. К. Цераский

ской обсерватории с университетскими астрономическими обсерваториями. Именно с ним и с его учениками еще по Московскому университету — В. К. Цераским, А. А. Белопольским, С. К. Костинским — связано эффективное становление всех основных разделов астрофизики, применение астрофизических методов исследования к разнообразным небесным объектам в Московской и Пулковской обсерваториях.

Вся творческая жизнь Цераского с 1870 г. (еще до окончания университета, когда он получил золотую медаль за сочинение на тему «Определение орбиты Марса по трем наблюдениям» и предложение занять место астронома-вычислителя) и до 1916 г. (пока позволяло здоровье) была связана с Московской университетской обсерваторией, которую он возглавлял более четверти века после избрания Бредихина академиком и его перехода в 1890 г. в Пулково.

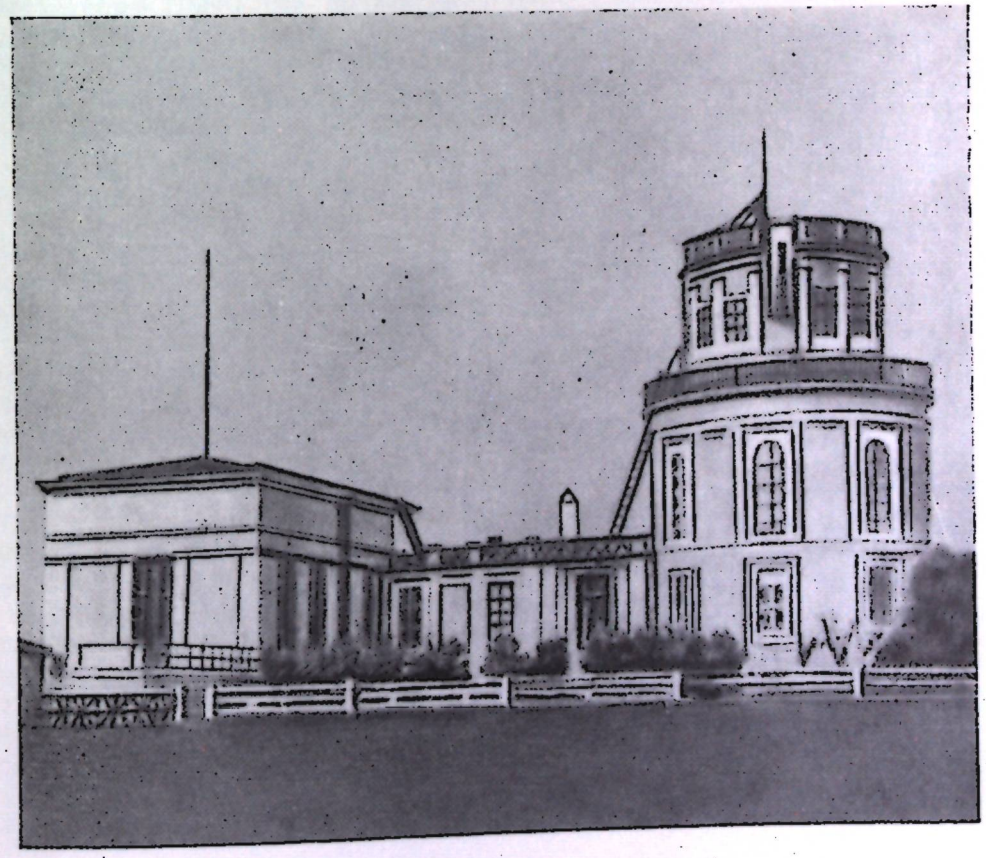
Цераский уделил особое внимание тщательной разработке астрофотометрии, скрупулезно выясняя и по возможности устраняя причины различных неточностей, объективных (инструментальных) и субъективных (личных). В частности, он радикально усовершенствовал фотометр Целльнера, создав свой, гораздо более универсальный астрофотометр, пригодный для определения звездных величин любых видимых в телескоп звезд. При этом в качестве эталона использовалась искусственная звезда, получаемая с помощью специальной керосиновой лампы, причем по просьбе Цераского в химической лаборатории В. В. Марковникова был найден особый состав керосина с наиболее полным сгоранием и разработана технология получения такого керосина. Вообще Цераский сконструировал целый ряд оригинальных приборов и приспособлений, оказавшихся чрезвычайно удобными на практике: окуляр с клином из затемненного стекла и с круглой диафрагмой для детального изучения солнечной поверхности, астрономический бинокль, прибор для определения угловой скорости метеоров, параллактический штатив для астрономической трубы, который вошел в употребление у многих любителей астрономии, и т. п. Без таких изобретательских и конструкторских способностей заниматься тогда астрофизикой практически было немыслимо.

Цераскому удалось посредством простого и остроумного эксперимента впервые дать надежную и сравнительно близкую к действительности нижнюю оценку температуры Солнца, собрав его лучи в фокусе метрового вогнутого («зажигательного») зеркала Московского политехнического музея и расплавив помещенные в этот фокус образцы наиболее тугоплав-

ких веществ, металлов и минералов (1895). Он же получил весьма точное значение звездной величины Солнца, сравнивая «точечное» солнечное изображение с дневной Венерой, а ночную Венеру — с избранной звездой (1906).

Исключительное значение придавал Цераский внедрению фотографии в астрономию. Ему принадлежит ставшее классическим лаконичное определение ценнейших свойств фотопластинки для изучения космоса: моментальность, интегральность, детальность и документальность. И он старался полностью использовать эти свойства, фотографируя Солнце и звезды, создавая богатейшую «стеклянную библиотеку» систематических обзоров звездного неба Московской обсерватории. Разновременные снимки одних и тех же участков неба были успешно использованы для поисков переменных звезд. Жена ученого, Л. П. Цераская, открыла таким способом около 200 переменных звезд. В основе этой уникальной коллекции фотоснимков, до сих пор плодотворно используемой для поисков и исследований переменных звезд, лежит многолетний труд одного из учеников Цераского — С. Н. Блажко, позднее (уже в советское время) ставшего директором Московской обсерватории и избранного, вслед за своим учителем, членом-корреспондентом АН СССР.

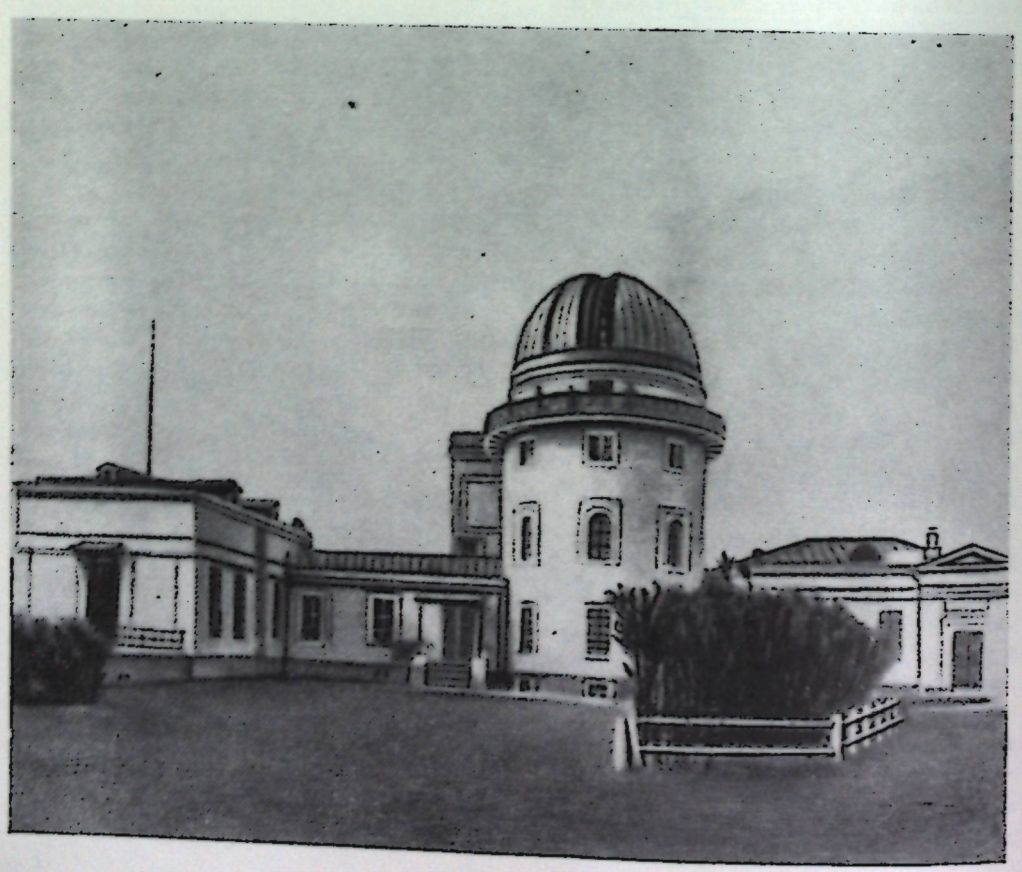
Московская астрономическая обсерватория в 60-е годы XIX в.



Цераский создал одну из первых фундаментальных фотометрических систем — каталог очень точно измеренных величин околополярных звезд.

Наряду с интенсивной научной работой он добился значительных успехов в капитальной перестройке и оборудовании Московской обсерватории. Ему удалось получить на эти цели беспримерные по тем временам ассигнования в размере около 100 тыс. руб.; ни одна из университетских обсерваторий царской России никогда не получала и десятой части подобной суммы (лишь привилегированная Пулковская обсерватория могла добиться выделения 300 тыс. руб. для приобретения 30-дюймового рефрактора). Были приобретены новые инструменты (в частности, 15-дюймовый астрограф) и лабораторные приборы, модернизированы помещение и инструмент для меридианных наблюдений, устроена мастерская, выстроена аудитория для чтения курсов астрономии непосредственно на обсерватории, построены новые наблюдательные башни и т. п. Белопольский еще до окончания университета (1877) был привлечен Бредихиным к работе в Московской университетской обсерватории, чтобы заменить Цераского, тогда ассистента обсерватории, производившего систематическое фотографирование Солнца, но вынужденного прервать

Главное здание Московской обсерватории после расширения его в 1895 и 1900 гг.



эту работу из-за необходимости поехать на юг для поправки здоровья. В 1887 г. Белопольский защитил магистерскую диссертацию «Пятна на Солнце и их движение». Обнаружив зональность вращения Солнца (с наименьшим периодом в экваториальных частях) и придя к выводу, что она обусловлена более быстрым вращением внутренних слоев Солнца, он поставил специальные опыты в лабораторных условиях, чтобы убедиться в закономерности подобного характера вращения любого жидкого тела в согласии с теоретическими прогнозами Н. Е. Жуковского.



А. А. Белопольский

Вообще Белопольский всегда старался все проверять на опыте. Его научная деятельность приобрела особенно широкий размах после перехода в Пулковскую обсерваторию (1888), где он вскоре занял должность астрофизика (1890) и до конца своей жизни (1934) оставался руководителем астрофизических работ.

Он экспериментально подтвердил правомерность перенесения принципа Доплера из акустики в оптику, фотографируя спектр солнечного света, многократно отраженного от быстро движущихся (вращающихся) и, для сравнения, неподвижных зеркал. Тем самым было получено надежное обоснование эффективного метода определения лучевых скоростей небесных объектов по наблюдаемому смещению их спектральных линий.

Белопольский измерил этим способом лучевые скорости многих звезд, обнаружил ряд спектрально-двойных звездных систем. Он первым выполнил капитальную работу по исследованию лучевых скоростей переменной звезды δ Цефея (прототип известных цефеид), установив, что они изменяются вместе с ее блеском (докторская диссертация, 1896). Умов в диспуте по этой докторской диссертации высказал правильную догадку, что изменения блеска рассматриваемой звезды объясняются не ее двойственностью, а периодическими пульсациями под действием внутренних физических причин.

Фундаментальные исследования Белопольского по звездной спектроскопии оказались возможными только благодаря его незаурядному таланту конструктора-изобретателя. Пулковский 30-дюймовый рефрактор, остававшийся даже после изготовления Кларками еще более крупных линзовых объективов диаметром 36 и 40 дюймов для двух американских обсерваторий (Ликской в 1888 г. и Йеркской в 1896 г.) одним из крупнейших инструментов в мире, но предназначенный лишь для визуальных наблюдений, ему пришлось приспосабливать для совершенно новых задач



С. К. Костинский

и сконструировать специальный спектрограф к этому телескопу. Позднее, чтобы повысить качество получаемых фотографических спектров звезд, он сделал спектрограф с термостатом для поддержания постоянной температуры всех частей прибора. Им же была разработана конструкция большого солнечного спектрографа, установленного в Пулкове уже в советское время.

Спектральные определения лучевых скоростей сыграли значительную роль в исследованиях не только звезд, но и планет. Около 1895 г. независимо и почти одновременно астрономы разных стран (Белопольский в России, Кэмпбелл и Килер в США, Деландр во Франции) установили, что скорость вращения кольца Сатурна уменьшается с увеличением расстояния от планеты, т. е. подтвердили метеоритную природу этого уникального планетного образования в соответствии с предсказаниями директора Парижской обсерватории Д. Кассини, теоретически обоснованными Э. Роше, Дж. Максвеллом и С. В. Ковалевской. Таким же методом Белопольский установил зональное вращение Юпитера, более быстрое в экваториальной зоне. Это явно свидетельствовало о том, что при непосредственном наблюдении видна не твердая поверхность Юпитера, а лишь какие-то наружные слои его мощной атмосферы.

Много лет работал в Пулковской обсерватории (1890—1936) Костинский, приглашенный туда Бредихиным сразу же после окончания университета и работавший там сначала сверхштатным астрономом, с 1894 г. — штатным адъюнктом, а с 1902 г. и до самой смерти — старшим астрономом обсерватории. С его именем связано систематическое развитие астрофотографии, находящей самые разнообразные применения: определение звездных параллаксов и собственных движений звезд, изучение далеких звездных скоплений и туманностей, дальних планет и их почти совсем не исследованных спутников. При этом для достижения предельной точности тщательно анализировались различные специфические ошибки, возникающие, например, из-за своеобразного взаимоотталкивания близких фотографических изображений звезд, зависящего от продолжительности экспозиции («эффект Костинского»), или происходящие в результате характерных неправильных личных оценок центров соседних звездных изображений.

На рубеже XIX и XX вв. детальные фотографические исследования Солнца осуществил А. П. Ганский. После завершения университетского образования (1894) он был оставлен при Одесском университете для

подготовки к научной работе, но связал затем свою деятельность с Пулковской обсерваторией (фактически с 1896 г., официально с 1905 г.). Много времени он провел за границей, во Франции (1897—1905). Он открыл зависимость формы солнечной короны от количества пятен на Солнце и определил физические характеристики солнечных гранул (размеры, скорости движения, время существования). Стараясь использовать для своих наблюдений наиболее благоприятные в астрономическом отношении условия, он не ограничивался работой в Пулковской обсерватории, но 9 раз восходил на Монблан, чтобы поработать в созданной французским астрономом Жансеном обсерватории на высочайшей горной вершине Западной Европы. Именно там он получил внезатменные снимки солнечной короны, приспособив к бездействовавшему до того 30-сантиметровому рефрактору обсерватории на Монблане специально разработанную им аппаратуру, экранируя изображение самого Солнца металлическим кружком в фокусе инструмента и помещая перед фотопластинкой красный светофильтр, чтобы ослабить посторонний фон. Там же он провел и другие астрономические исследования: определение солнечной постоянной, т. е. оценку практически неизменной величины интенсивности радиационного потока, падающего от Солнца на Землю; наблюдения Венеры для уточнения периода ее вращения и т. п.



А. П. Ганский

Вообще Ганский был талантливым, энергичным и смелым исследователем. Его неоднократные экспедиции на Монблан, доступные не каждому альпинисту-профессионалу, позволили ему в общей сложности полтора месяца плодотворно работать в условиях этой высокогорной обсерватории, где земная атмосфера гораздо меньше мешает астрономическим наблюдениям, чем на уровне моря. Трижды поднимался он на воздушном шаре — в Петербурге и в Париже — для наблюдения метеорного потока Леонид.

Он был инициатором организации в Симеизе южного астрофизического филиала Пулковской обсерватории (1908). Там же, в Крыму, трагически оборвалась его короткая кипучая жизнь: он утонул во время купания в море, когда ему было всего 38 лет.

По мере общего развития астрономии становилась все более очевидной необходимость наряду с поддержанием высокого уровня Главной Пулковской обсерватории укрепить и расширить существующие университетские обсерватории, создать новые астрономические обсерватории, особенно на

юге России, а также в высокогорных условиях. Однако до Октябрьской революции 1917 г. это было практически неосуществимо.

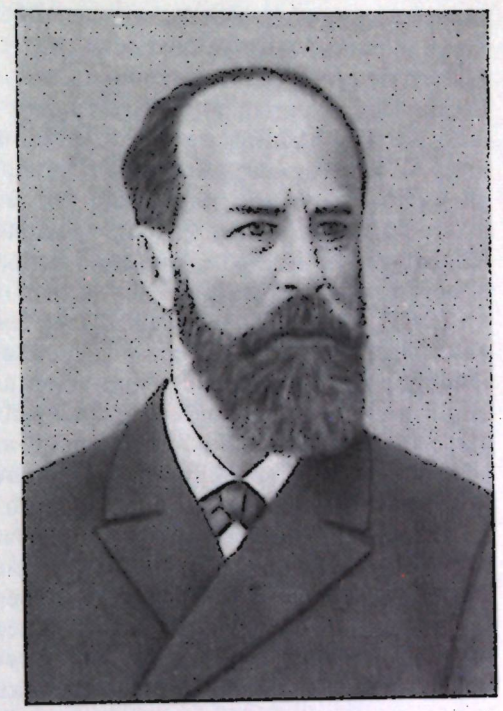
Штаты тогдашних университетских обсерваторий, как правило, состояли из директора (он же заведующий кафедрой астрономии) и астронома-наблюдателя. Отпускаемые средства были большей частью мизерны. Порой для организации тех или иных работ приходилось рассчитывать только на частные пожертвования, как это было при проведении коллективных вычислительных работ по изучению движения кометы Энке — Баклунда и по предвычислению возвращения кометы Галлея в 1910 г. Основой загородной Казанской обсерватории (1901) послужила, например, созданная в Дрездене в 1877—1879 гг. В. П. Энгельгардтом великолепная, одна из лучших в Европе, с третьим после пулковского рефрактором и другими отличными инструментами, частная обсерватория, которую этот просвещенный русский коллекционер и астроном, доктор астрономии и философии, член-корреспондент Петербургской академии наук (с 1889 г.) еще при жизни передал Казанскому университету вместе с завещанием всех своих средств. История Симеизской астрономической базы начинается со скромной частной обсерватории богатого любителя астрономии Н. С. Мальцева (1900), которую он в 1908 г. подарил Пулковской обсерватории; лишь в 1912 г. там был установлен двойной 12-сантиметровый астрограф Цейсса с объективной призмой и только в 1926 г. — метровый рефлектор Гребба, заказанный в Англии еще до первой мировой войны.

Россия не имела тогда собственной оптико-механической базы для создания сколько-нибудь крупных астрономических телескопов. Большинство обсерваторских инструментов заказывалось за границей—в Америке, Англии и Германии. Правда, уже предпринимались отдельные попытки организовать отечественное производство астрономических инструментов. Так, в начале XX в. инженер Ю. А. Миркалов, изготовлявший самодельные рефракторы (в частности, 15-сантиметровые телескопы для крейсера «Аврора», для обсерватории на Каменном острове в Петербурге и для школ), создал фирму «Русская Урания», которая выпустила более 100 телескопов и более 50 вращающихся куполов типа «Россия». Крупнейшим из выпущенных инструментов был 10-дюймовый астрограф, объективы для которого были выписаны из-за границы. Не имея надлежащей производственной базы, эта фирма просуществовала недолго— до 1917 г.

Еще в конце XIX в. профессор Петербургского университета С. П. Глазенап на протяжении нескольких лет в экспедиционных условиях проводил астрономические наблюдения в горах Крыма и Кавказа, используя благоприятные возможности ясных южных звездных ночей. Но о создании там постоянных обсерваторий в то время можно было только мечтать. Лишь в 1932 г. на горе Канобили в Грузии, где ранее Глазенап наблюдал с 22-сантиметровым рефрактором двойные звезды и убедился в весьма высоком качестве получаемых звездных изображений, была основана стационарная высокогорная Абастуманская астрофизическая обсерватория Академии наук Грузинской ССР.

До революции даже для достаточно хорошо оснащенной Пулковской обсерватории представлялось весьма трудным делом создание и оборудование необходимых новых южных астрофизических обсерваторий: до организации Симеизского филиала она имела лишь Одесское отделение

(1898—1910), прекратившее свое существование после переноса всех инструментов в Николаевскую обсерваторию. До этого Николаевская обсерватория принадлежала морскому ведомству, но затем в связи с переводом главной базы Черноморского флота из Николаева в Севастополь (1909) была передана в ведение Пулковской обсерватории. Что же касается новых астрономических кадров, то они уже в дореволюционной России готовились довольно успешно благодаря усилиям университетских профессоров—Бредихина, Цераского и П. К. Штернберга в Москве, А. Н. Савича и Глазенапа в Петербурге, И. М. Симонова и Ковальского в Казани, М. Ф. Хандрикова в Киеве, А. К. Кононовича в Одессе и многих других.



С. П. Глазенап

Их учениками были известные астрономы следующих поколений, в том числе и те, кто получил особенно значительные результаты уже в советское время: член-корреспондент АН СССР С. И. Белявский, открывший свыше 250 переменных звезд, 37 малых планет и одну комету; академик А. А. Михайлов — один из крупнейших специалистов в области астрометрии, теории солнечных затмений и гравиметрии; Г. Н. Неуймин, закрепивший за Симеизской обсерваторией одно из первых мест в мире по числу открытых малых планет и комет; член-корреспондент АН СССР Б. В. Нумеров, усовершенствовавший методы интегрирования дифференциальных уравнений небесной механики; член-корреспондент АН СССР и действительный член АН Украинской ССР А. Я. Орлов, основавший Полтавскую гравиметрическую обсерваторию, которая стала всесоюзным центром по изучению колебаний широты и движения полюсов Земли; член-корреспондент АН СССР С. В. Орлов, продолжавший разрабатывать идеи Бредихина о физической природе комет; член-корреспондент АН СССР М. Ф. Субботин, первым создавший на русском языке капитальный трехтомный «Курс небесной механики»; член-корреспондент АН СССР и действительный член АН Казахской ССР Г. А. Тихов, обративший внимание на исключительную приспособляемость земных растений к самым разнообразным физическим условиям и начавший исследования по проблемам астроботаники; академик В. Г. Фесенков — основатель и многолетний редактор «Астрономического журнала» Академии наук СССР, один из ведущих советских астрофизиков, сделавший существенный вклад во многие разделы современной астрофизики и космогонии, организатор Астрофизического института АН Казахской ССР; академик Г. А. Шайн — основатель и первый директор Крымской астрофизической

обсерватории АН СССР, выдающийся специалист в области звездной спектроскопии и физики газовых туманностей, и многие другие.

Ведущие русские астрономы академики В. Я. Струве, А. Н. Савич, Д. М. Перевощиков, О. В. Струве, О. А. Баклунд, Ф. А. Бредихин, А. А. Белопольский, члены-корреспонденты Академии наук И. М. Симонов, М. А. Ковальский, М. Ф. Хандриков, С. К. Костинский, В. К. Цераский (избранный уже после революции) и почетный член АН СССР С. П. Глазенап пользовались заслуженной известностью и признанием. Некоторые из них одновременно являлись почетными членами различных иностранных академий и научных обществ.

С другой стороны, среди иностранных членов Петербургской академии наук были такие известные астрономы того времени, как руководитель Американского морского астрономического ежегодника С. Ньюкомб; директор Солнечной обсерватории в Кенсингтоне Дж. Н. Локьер, английский астрофизик, открывший гелий на Солнце; директор Парижской обсерватории Ф. Тиссеран, автор капитальной четырехтомной «Небесной механики»; профессор Кембриджского университета Дж. Г. Дарвин.

Иностранные специалисты, приезжавшие в Россию, не владея достаточно свободно русским языком, не могли заниматься преподавательской деятельностью в университетах и оседали в Пулковской обсерватории. Но выбор приглашаемых специалистов, как правило, был удачен. Они ревностно и со знанием дела вели научную работу. Примером в этом отношении может служить плодотворная деятельность работавшего в Пулковской обсерватории шведского астрофизика Б. Гассельберга или, в более ранний период, не менее успешная работа в Пулковской и Московской обсерваториях выходца из Швейцарии Б. Я. Швейцера. Но постоянно ориентироваться при подборе наиболее квалифицированных астрономов только на приглашение иностранцев было бы, конечно, нелепо, да в этом и не было необходимости.

Бредихин после своего перехода в Пулковскую обсерваторию привлек туда целую плеяду молодых русских астрономов, объездив для этого все университетские обсерватории России. Вместе с тем он позаботился об укреплении научных связей между Пулковом и другими крупнейшими обсерваториями Европы, предприняв с этой целью заграничную поездку, во время которой посетил Берлин, Потсдам, Вену, Париж и Лондон.

Без национального и международного объединения астрономов было бы невозможно осуществить многие важные астрономические мероприятия, требующие широкого коллективного сотрудничества.

Основанное в 1863 г. на съезде астрономов во Франкфурте-на-Майне Германское астрономическое общество в течение длительного времени объединяло астрономов не только Германии, но и многих других стран. В Совет общества избиралось приблизительно одинаковое число немецких и иностранных ученых. Конгрессы общества проводились поочередно в Германии и других странах. В это общество входили и русские астрономы. В августе 1914 г. по случаю 75-летия Пулковской обсерватории в Петербурге должен был состояться его съезд, который мог бы способствовать установлению сотрудничества в международном масштабе, но этому помешала разразившаяся первая мировая война.

С другой стороны, в самой России среди астрономов-профессионалов и любителей начало проявляться стремление к созданию соответствующих объединений.

В 1879 г. Ковальский прислал в Петербург в адрес математической секции шестого Всероссийского съезда естествоиспытателей и врачей телеграмму с призывом: «Устройте Русское астрономическое общество». Для организации общества и проведения через официальные инстанции его устава секция избрала специальную комиссию под председательством Савича. Однако из-за трений, возникших при попытках наладить коллегиальную работу, комиссия распалась. И только в 1890 г. благодаря усилиям Глазенапа, преодолевшего неприязненное отношение бюрократических сфер к организации общества с широкими научно-просветительными задачами, в Петербурге было создано Русское астрономическое общество. Первым его председателем был избран Бредихин, которого сменил Глазенап, занимавший эту должность с 1893 по 1905 г. Заслушивание оригинальных и обзорных докладов на заседаниях общества способствовало установлению более тесных контактов между астрономами и геодезистами петербургских учреждений — университета, Пулковской обсерватории, морского и военного ведомств. Общество регулярно издавало «Известия», на страницах которых многие любители и начинающие астрономы впервые смогли опубликовать свои труды, организовывало вычислительные работы, устраивало экспедиции для наблюдений солнечных затмений.

В Нижнем Новгороде вскоре после полного солнечного затмения 1887 г. образовался кружок любителей физики и астрономии, который начал ежегодно издавать получивший большую популярность «Астрономический календарь». В 1908 г. возник московский кружок любителей астрономии, затем переименованный в общество, в котором молодежь получила возможность заниматься астрономией и вести простейшие наблюдения.

В дальнейшем, в 1932 г., на базе Русского астрономического общества и Московского общества любителей астрономии образовалось Всесоюзное астрономо-геодезическое общество, состоящее ныне при Академии наук СССР и имеющее несколько десятков республиканских, областных и городских отделений.

В 1905 г. после образования Международного союза для исследования Солнца Белопольский организовал Русское отделение этого союза, объединившее астрономов и физиков, занимавшихся изучением Солнца.

Летом 1916 г. группа пулковских астрономов разослала научным сотрудникам других обсерваторий России предложение о созыве астрономического съезда и об учреждении Общества русских астрономов. В апреле 1917 г., несмотря на всевозможные трудности, в Петрограде удалось собрать такой съезд, в котором приняли участие 64 представителя почти всех русских обсерваторий. На этом съезде был создан Всероссийский союз, объединивший специалистов, работающих в разных областях астрономии.

Однако лишь организованный в 1937 г. Астрономический совет Академии наук СССР смог по-настоящему взять на себя координацию научно-исследовательских работ по астрономии в масштабах всей страны. Только в советское время, после создания отечественной оптико-механической промышленности, расширения системы образования и быстрого развития науки во всех республиках, возник целый ряд новых, хорошо оснащенных астрономических учреждений.

Глава двадцать четвертая

ФИЗИКА

Во второй половине XIX в. в Западной Европе и в США значительно усилилось влияние результатов физических исследований на прогресс техники.

Достижения физики этого периода оказали непосредственное воздействие на развитие теплотехники, электротехники, оптического и электрического приборостроения, электрических средств связи. А это в свою очередь стимулировало физические исследования и сопровождалось расширением контрольных, научно-исследовательских и учебных физических лабораторий.

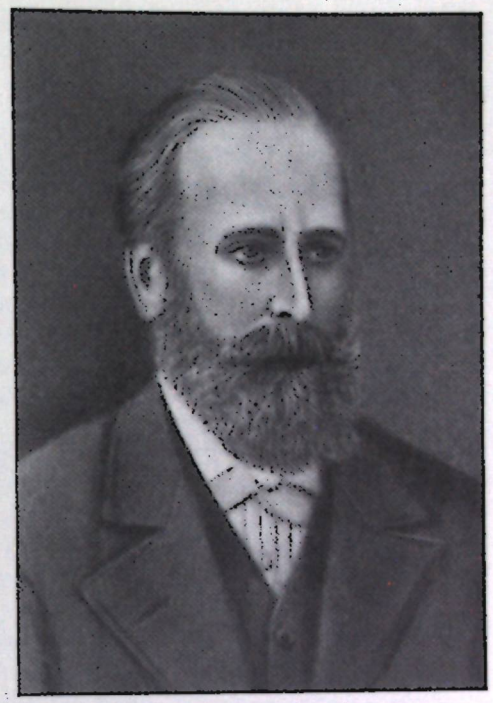
В несколько иных условиях находилась в это время физика в России. Хотя отмена в 1861 г. крепостного права ускорила промышленное развитие России, она продолжала оставаться в основном аграрной страной. Развитие физики в России было связано в это время главным образом с немногочисленными университетами, получавшими совершенно недостаточную материальную поддержку правительства и не располагавшими хорошо оборудованными лабораториями. Это неблагоприятно отражалось на физических исследованиях, нуждавшихся в солидной и быстро обновляющейся материальной базе. Число физиков было в это время очень невелико. Русские физики поддерживали тесные связи с крупнейшими иностранными учеными, активно участвовали в международных научных съездах и жили интересами и проблемами мировой науки. Они не боялись браться за самые трудные проблемы, отвечавшие задачам эпохи, и, несмотря на свою малочисленность, сумели внести в разработку многих из них заметный вклад.

Во второй половине XIX и в начале XX в. в России возникли и выросли научные школы, которые после Октябрьской революции послужили своего рода центрами кристаллизации, обеспечившими ускоренный прогресс и выдающиеся успехи советской физики.

МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА

В физике XIX в. впервые утвердилось представление об агрегатных состояниях, а вместе с ним и убеждение в том, что при надлежащих условиях все так называемые постоянные газы могут быть превращены в жидкости.

После того как Ш. Каньяру-Латуру удалось в 1822 г. комбинированным действием холода и давления привести углекислоту в жидкое состояние, М. Фарадей предпринял систематические попытки ожижения некоторых газов и в ряде случаев добился успеха. В 1847 г. А. Реньо показал, что у всех газов наблюдаются отклонения от закона Бойля — Мариотта, свидетельствующие о возрастании сжимаемости с понижением температуры. Вместе с тем он пришел к выводу, что для любого газа должна существовать температура, выше которой его ожижение принципиально невозможно.



М. П. Авенариус

Изучая в 1860—1861 гг. вязкость, тепловое расширение и поверхностное натяжение жидкостей, Д. И. Менделеев впервые высказал мысль о том, что существует, как он ее назвал, температура абсолютного кипения, температурная точка, выше которой данная жидкость обращается в пар при любом внешнем давлении. Он подчеркнул, что коэффициент поверхностного натяжения, как правило, уменьшающийся у всех жидкостей с ростом температуры, должен обращаться в нуль в точке абсолютного кипения. Вскоре, в 1869 г., к тому же выводу пришел Т. Эндрюс на основании своих исследований углекислоты. Он назвал эту температурную точку критической температурой.

Заметим, что в 1874 г. Менделеев преобразовал уравнение Э. Клапейрона (1834) $pv = AT$ (где коэффициент A зависит от природы газа), отнеся его к 1 молю вещества, и впервые получил известное уравнение

$$pv = RT,$$

зависящее от универсальной газовой постоянной R (обычно его называют теперь уравнением Клапейрона, хотя было бы правильнее называть его уравнением Клапейрона — Менделеева).

Значительная часть первых работ Менделеева либо относится к чистой физике, либо устанавливает связи между физическими и химическими свойствами. Более того, Менделеев не видел особой необходимости в разделении молекулярных явлений на физические и химические. Он говорил, что можно отличать только механические смешения от молекулярных, а подразделять последние на химические и физические неосновательно. В этом отношении Менделеев продолжал традиции Бойля — Ломоносова — Лавуазье, рассматривавших физику как основу химии. «Моя химия — физическая»,— писал Ломоносов, понимая под этим всю химию в целом. Эта традиция особенно глубоко и прочно утвердилась в России и привела впоследствии к столь успешному развитию физической химии.

В физике Менделеева интересовали, по-видимому, главным образом, межмолекулярные взаимодействия, т. е. нарождающаяся физика молекул. Предвидение успешного развития этой области науки пронизывало всю



Б. Б. Голицын

передовую физику того времени. Профессор Московского университета А. Г. Столетов, рассказывая в своей вступительной лекции (1866 г.) об основных направлениях физики того времени, говорил: «Основной идеей является все сильнее возрастающая потребность проникнуть глубже в законы тех скрытых, тонких и изменчивых молекулярных сил, которые действуют между частицами материи на неприметных расстояниях. Эти силы все больше и больше напрашиваются на точный анализ, и незнание их все ощутительнее стесняет шаги науки» [1].

Именно стремление распознать природу межмолекулярных сил и заставило многих русских физиков в конце XIX в. приняться за подробное изучение критического состояния. Наиболее широко эти исследования были развиты начиная с 1873 г. профессором Киевского университета М. П. Авенариусом и его школой. После появления работ Эндрюса Авенариус подробно рассмотрел результаты работ Реньо по изучению испарения некоторых жидкостей, причем сделал вывод, что скрытая теплота испарения жидкости резко уменьшается по мере приближения к критической температуре. Хотя Реньо и не достиг в своих опытах критической точки, Авенариус, экстраполируя его данные, показал, что скрытая теплота испарения должна обращаться в нуль при критической температуре. Это позволило Авенариусу и его ученикам измерить критическую температуру и критические параметры многих веществ. Рано умерший талантливый ученик Авенариуса А. И. Надеждин разработал оригинальный метод определения критической температуры. Исследуемая жидкость заключалась в эвакуированную длинную запаянную трубку, подвешенную на манер коромысла весов. При температурах ниже критической конец трубки, заполненный жидкостью, перевешивает другой ее конец. После достижения критической температуры трубка приходит в горизонтальное положение. Тщательные исследования Надеждина, которому впервые удалось установить критическую температуру воды, были опубликованы лишь в 1887 г., через год после его смерти.

Другой ученик Авенариуса, О. Э. Страус, разработал в 1880—1882 гг. вопрос о критических температурах бинарных смесей жидкостей. Еще один из его учеников, Е. И. Павловский, изучил закономерности критических температур в гомологических рядах органических соединений (1882—

[1] *А. Г. Столетов.* Собр. соч. т. I. М.— Л., Гостехиздат, 1939, с. 28.

1888). Очень тщательные исследования органических веществ провел в лаборатории Авенариуса В. И. Зайончковский.

Числовые данные по критическому состоянию, полученные Авенариусом и его школой с 1873 по 1894 г., составили около четверти всего экспериментального материала по этому вопросу, опубликованного во втором издании известных «Физико-химических таблиц» Ландольта—Бернштейна («Physicalisch-chemische Tabellen»), вышедшем в Германии в 1894 г.

Методике измерения критической температуры были посвящены в 1890—1893 гг. работы Б. Б. Голицына, который впоследствии приобрел всемирную известность фундаментальными исследованиями в области сейсмологии. Анализируя оптический метод измерения, основанный на наблюдении момента исчезновения мениска жидкости, Голицын пытался экспериментально выяснить, в какой степени могут влиять на точность измерения критической температуры происходящие при этом в жидкости и в паре молекулярные процессы (диссоциация). Этот вопрос широко обсуждался в иностранной литературе Л. Кальете, Ж. Жаменом и др.

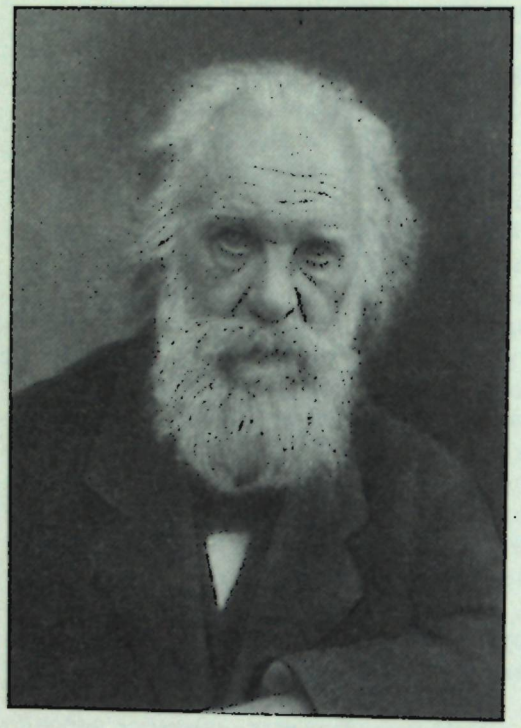
Исчерпывающий анализ исследований критического состояния и развернувшейся по этим вопросам дискуссии был приведен в четырех капитальных работах Столетова о критическом состоянии тел, опубликованных в 1890—1894 гг. Напомним, что основная идея Эндрюса состояла в том, что для каждой жидкости существует определенная критическая температура, начиная с которой (при нагревании) жидкость отождествляется со своим насыщенным паром. Возражения, высказанные Кальете и другими, основывались отчасти на экспериментальных данных, нередко приводивших к разбросу численных значений, отчасти на старых теоретических воззрениях (Жамен). Тщательно рассмотрев эти возражения, Столетов показал их принципиальную несостоятельность, рассмотрев предполагаемые источники погрешности, которые могли исказить лишь отдельные экспериментальные данные.

Наряду с критическим состоянием как одним из наиболее ярких проявлений междучастичных сил, русские физики исследовали и другие стороны этой проблемы. Разумеется, физика XIX в. не могла вплотную подойти к объяснению междучастичных сил, поскольку представления о строении атомов и молекул были в это время еще крайне туманными.

ЭЛЕКТРОМАГНЕТИЗМ

С самого начала развития теории электромагнитных явлений в ней возникли два противоположных течения. Одно из них исходило из представления о локализованных статических электрических зарядах, или магнитных массах, или отрезках проводников с электрическим током, взаимодействующих друг с другом на расстоянии. Теории, основанные на этой идее, следуют методу, примененному в свое время Ньютоном к явлениям гравитационного взаимодействия. Таковы были электродинамические теории, развитые А. Ампером, В. Вебером, Ф. Нейманом в первой половине XIX в. По мере открытия новых явлений все сложнее становились как физические предположения, так и математическая форма этих электродинамических теорий.

Другое направление исходило из представления о близкодействии, т. е. о взаимодействиях через посредство промежуточной среды. В XVIII в.



Н. А. Умов

яркими представителями этого течения в электростатике были Л. Эйлер и М. В. Ломоносов. В первой половине XIX в. это направление вновь развивал уже в области электродинамики Фарадей, однако идеи Фарадея имели еще чисто качественный характер.

Таким образом, к середине XIX в. стало выявляться явно неудовлетворительное состояние электродинамики.

Русские физики этого периода стремились построить теорию электричества на основе физических представлений о близкодействии. В 1870 г. такого рода попытку, правда неудачную, сделал Ф. Н. Шведов, а в 1872 — 1874 гг. подобную теорию развил Н.А.Умов, рассматривая распространение упругой энергии. При этом в своей докторской диссертации «Уравнения движения энергии в телах» Умов впервые в 1874 г. получил выражение для плотности потока энергии в упругой среде. В 1885 г. аналогичное выражение вывел английский физик Дж. Пойнтинг для плотности потока электромагнитной энергии. Это фундаментальное выражение получило название вектора Умова — Пойнтинга.

Все возрастающую роль в электродинамике второй половины XIX в. стали играть вопросы распространения по проводу электрических сигналов, возникшие благодаря развитию телеграфной техники. В 1853 г. У. Томсон вывел так называемое телеграфное уравнение в связи с прокладкой трансатлантического телеграфного кабеля. В 1857 г. Г. Кирхгоф установил, что скорость распространения электрического возмущения вдоль провода численно равна отношению электромагнитной единицы заряда к электростатической, которое, как показал опыт, оказалось равным $3{,}1 \cdot 10^{10}$ см/сек. Кирхгоф первый обратил внимание на численное совпадение этой величины со скоростью света.

Насколько чутко прислушивались русские физики к биению пульса мировой науки, можно видеть из уже цитированной лекции А. Г. Столетова, произнесенной в Московском университете в 1866 г. Изложив теории Неймана и Вебера, основанные на представлениях о дальнодействии электрических флюидов, Столетов сказал: «Новая наука, упростив число невесомых исключением теплорода и магнитных материй, пытается поколебать и это положение, удержанное нами как основное. Происхождение центров электрических действий стараются вывести из некоторых динамических процессов той невесомой среды, которая с наибольшим правом утвердилась в теоретической физике светоносного эфира. В фактах, тесно связывающих обе сферы явлений,— свет и теплоту, с одной стороны, электричество — с другой,— в таких фактах нет недостатка. Стоит только напомнить знаменитый опыт Фарадея, где магнитные силы изменяют поляризацию лучей света или тепла. Стоит заметить другой любопытный факт. Скорость электрической волны, пробегающей в замкнутой линейной цепи в моменты, предшествующие образованию стационарного тока,— скорость, вычисленная на основании закона Вебера и с его же числовыми данными,— ближе подходит к средней цифре скорости света, найденной И. Л. Физо, чем отдельные результаты этого исследования. Тем не менее мы не имеем еще теории, достаточно разработанной с этой новой точки зрения, — теории, которая бы в простоте и ясности основных представлений, в свободе от побочных гипотез и натяжек, не уступала общепринятому взгляду» [1].



А. Г. Столетов

Через несколько лет, в 1873 г., такая теория действительно появилась в «Трактате об электричестве и магнетизме» («A treatise on electricity and magnetism») К. Максвелла. Русские физики сразу оценили ее принципиальное значение и предприняли ее экспериментальную проверку. Из западноевропейских физиков теорией Максвелла в то время занялись только Л. Больцман и Г. Гельмгольц, большинство же западноевропейских физиков приняли участие в ее разработке лишь после открытия Г. Герцем электромагнитных волн (1886).

В 1872—1874 гг. Больцман осуществил первое экспериментальное исследование диэлектрической проницаемости некоторых газов. В 1874 г. киевский физик Н. Н. Шиллер, работая у Гельмгольца, исследовал диэлектрическую проницаемость некоторых твердых тел, впервые воспользовавшись методом электрических колебаний. В 1875 г. П. А. Зилов в Москве с помощью статического метода впервые измерил диэлектрическую проницаемость ряда жидкостей. В этой работе Зилов пользовался некоторыми советами Гельмгольца, очень интересовавшегося всесторонней проверкой теории Максвелла.

Экспериментальная проверка максвелловского соотношения $n^2 = \varepsilon$ (где n — показатель преломления, а ε — диэлектрическая проницаемость), произведенная на газах (Больцман), жидкостях (Зилов) и твердых телах (Больцман, Шиллер), сыграла важную роль в признании теории Максвелла.

---

[1] *А. Г. Столетов.* Собр. соч., т. I, с. 27.

Одной из основ теории Максвелла была гипотеза о существовании «токов смещения», возникающих на тех участках контура, где обрываются токи проводимости, при наличии в контуре нестационарного электрического поля. Эта гипотеза, введенная Максвеллом чисто формально, вызывала у современников серьезные возражения. Возражал против нее и Гельмгольц, в общем принимавший теорию Максвелла. По предложению Гельмгольца, Шиллер попытался экспериментально доказать, что концы разомкнутого контура — «концы тока» — действуют электродинамически в соответствии с законом Ампера. Начав это исследование в лаборатории Гельмгольца, а затем продолжив и развив его несколько другим методом в лаборатории Столетова в Москве, Шиллер, который сам придерживался идей Гельмгольца, не получил подтверждения этих идей. Он пришел к обратному выводу, что не существует электродвижущей силы, предполагаемой законом Ампера. Стало быть, остается допустить, что в электродинамическом отношении нет «концов тока» и диэлектрики действуют подобно проводникам.

Из магистерской диссертации Зилова можно видеть, что работа Шиллера была воспринята русскими физиками как первое, хотя и косвенное, подтверждение гипотезы Максвелла о токах смещения. Разумеется, наиболее убедительным доказательством ее явилось открытие Герцем электромагнитных волн, но оно последовало лишь 10 лет спустя, в 1886 г.

Важным аргументом в пользу электромагнитной теории света было замеченное Кирхгофом совпадение величин скорости света и отношения электромагнитной единицы заряда к электростатической. Однако далеко не во всех опытных исследованиях это совпадение оказалось точным. Придавая численному совпадению этих величин важное значение, Столетов еще в 1871 г., будучи в Гейдельберге у Кирхгофа, занялся измерением константы c, равной отношению единиц *CGSM* к *CGSE*, с помощью метода измерения емкостей, предложенного Максвеллом и Ф. Дженкином еще в 1863 г. Для этой цели Столетов применил «абсолютный конденсатор» — плоский конденсатор, снабженный охранным кольцом, теория которого была уже предложена Кирхгофом. Принцип метода состоял в следующем: конденсатор заряжают от батареи Вольта, а потом сравнивают разрядный ток с постоянным током, который непосредственно вызывается той же батареей в цепи заданного сопротивления.

Как указывал Столетов, результаты исследований его и английских авторов В. Эйртона и Перри оказались близки между собой и дали для c значения в пределах $2{,}98—3{,}00 \cdot 10^{10}$ см/сек. Не будучи удовлетворен этим результатом, но и не обладая в то же время надлежащей технической базой для увеличения точности своих измерений, Столетов на Парижском конгрессе электриков 1881 г. предложил Международной комиссии электрических единиц заняться точным измерением c, считая крайне важным убедиться в тождестве двух величин для окончательной проверки теории Максвелла, связывающей теорию электричества с теорией света.

Несколько лет спустя (1886) величина c была измерена учеником Столетова Р. А. Колли с помощью метода колебательного разряда конденсатора. Метод основан на следующем принципе: если контур содержит конденсатор емкости C_m и самоиндукцию L_m (C_m и L_m измерены в системе *CGSM*), то, согласно формуле Томсона, период колебаний

$$T = 2\pi \sqrt{L_m C_m}.$$

Поскольку $C_l/C_m = c^2$ (где C_l — емкость, измеренная в единицах *CGSE*), то

$$c = \frac{2\pi}{T} \sqrt{L_m C_l}.$$

Для измерения c требуется определить L_m, C_l и период колебаний T. Самоиндукция L_m и емкость C_l могут быть либо строго рассчитаны, либо достаточно точно измерены путем сравнения с эталоном. Колли предложил оригинальный способ определения периода T. Он изобрел новый прибор, первый осциллограф, названный им осциллометром, представлявший собою легкий магнитик, жестко скрепленный с маленьким зеркальцем, подвешенным на натянутой вертикально нити между двумя катушками, по которым проходил исследуемый переменный ток колебательного разряда. Время колебания магнита измерялось оптическим методом.

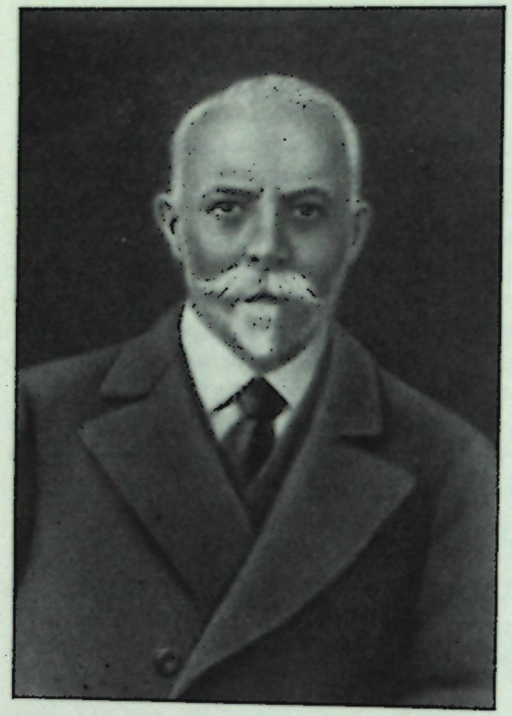
Для достижения необходимой точности наблюдений требовалось сделать T по возможности большим, применяя большие самоиндукцию и емкость. Колли получал весьма медленные колебания и определил

$$c = 3{,}015 \cdot 10^{10} \text{ см/сек}.$$

Метод колебательного разряда конденсатора применялся позднее и английскими физиками А. Вебстером (1898), О. Лоджем и Р. Глэзбруком (1899), получившими для c значения, мало отличающиеся от найденного Колли.

В теории Максвелла не был разработан вопрос о природе тех субстанций, которые движутся в проводниках, создавая электрический ток. Максвелл придумал ряд электроинерционных опытов, которые должны были ответить на этот вопрос, и безуспешно пытался осуществить эти опыты на металлах, оставив без внимания электролиты. Колли впервые обратил внимание на электролиты. Еще в 1875 г. в магистерской диссертации «Исследование одного случая работы гальванического элемента» он рассмотрел заполненную раствором электролита вертикальную колонку и обратил внимание на необходимость существования разницы между силой тока, «нисходящего и восходящего по колонке электролита», поскольку некоторая часть энергии должна расходоваться на поднятие тяжелых ионов.

Опираясь на представление о переносе тока в электролитах с помощью заряженных ионов (представление в то время еще далеко не общепринятое), Колли указывал, что то, что мы называем электричеством, может двигаться в этих телах не иначе, как вместе с материальным носителем. Поэтому в момент прекращения тока этот носитель должен вследствие инерции передать свое движение всему проводнику, что должно привести к появлению некоторой пондеромоторной силы. В то время еще не существовало никаких данных о природе носителей тока в металлах. Многие продолжали считать текущее в них электричество невесомым безынерционным флюидом. Постановка электроинерционных опытов на электролитах, где носителями должны быть весомые ионы, имела, таким образом, важный принципиальный характер. Колли фактически наблюдал предвиденный им эффект в 1881 г., хотя и не смог его измерить. Это удалось осуществить голландскому физику Т. де Кудру в 1892—1895 гг. В 1910—1915 гг. эти опыты были в усовершенствованном виде повторены американскими физиками Р. Стюартом и Р. Толменом сначала на электролитах, а затем и на металлах.



А. А. Эйхенвальд

Таким образом, русские физики еще до появления фундаментальных работ Герца экспериментально доказали следующие положения максвелловской теории электромагнитного поля: а) среда, окружающая взаимодействующие наэлектризованные, намагниченные или обтекаемые током тела, принимает непременное участие в качестве передатчика взаимодействий, характер которых существенно зависит от свойств среды в соответствии с выводами теории; б) не существует «концов тока», а через диэлектрик проходит ток смещения; в результате все токи оказываются замкнутыми; в) имеет место равенство $\varepsilon = n^2$ для твердых и жидких диэлектриков; г) носители электрического заряда в электролитах обладают инерцией [1].

В тесной связи с вопросом о носителях электрического тока стоит вопрос о магнитном поле движущихся зарядов, рассмотренный Герцем в 1890 г. с позиций теории Максвелла. Еще в 1838 г. Фарадей безуспешно пытался обнаружить магнитное поле движущихся заряженных тел. Максвелл в своем «Трактате...» (1873) наметил схему эксперимента, с помощью которого можно было бы обнаружить это поле, несмотря на то что даже при максимальных практически осуществимых в то время скоростях перемещения электрически заряженных тел (100 м/сек) создаваемое ими магнитное поле должно было быть крайне слабым — менее 1/4000 земного магнитного поля. Эта схема была в 1876 г. осуществлена Г. Роулэндом в лаборатории Гельмгольца и повторена В. Рентгеном (1885) и некоторыми другими физиками. Одновременно Рентген обнаружил и другое не менее важное явление — магнитное поле, вызываемое движением поляризованного диэлектрика.

Исчерпывающее экспериментальное исследование этих и подобных им явлений было осуществлено в 1901—1904 гг. московским физиком А. А. Эйхенвальдом. С помощью очень тщательно продуманных экспериментов Эйхенвальд не только обнаружил, но и достаточно точно измерил магнитное поле, создаваемое вращающимся заряженным металлическим проводником, или диэлектриками. Опытные результаты Эйхенвальда хорошо согласовывались с теоретическими. Следует отметить, что из всех этих опытов можно было определить численное значение c, что и было сделано как зарубежными авторами, так и Эйхенвальдом. Особое

[1] *В. М. Дуков.* Развитие теории электромагнитного поля в трудах русских физиков до опытов Г. Герца.— Успехи физических наук, 1953, т. 49, вып. 4, с. 569—599.

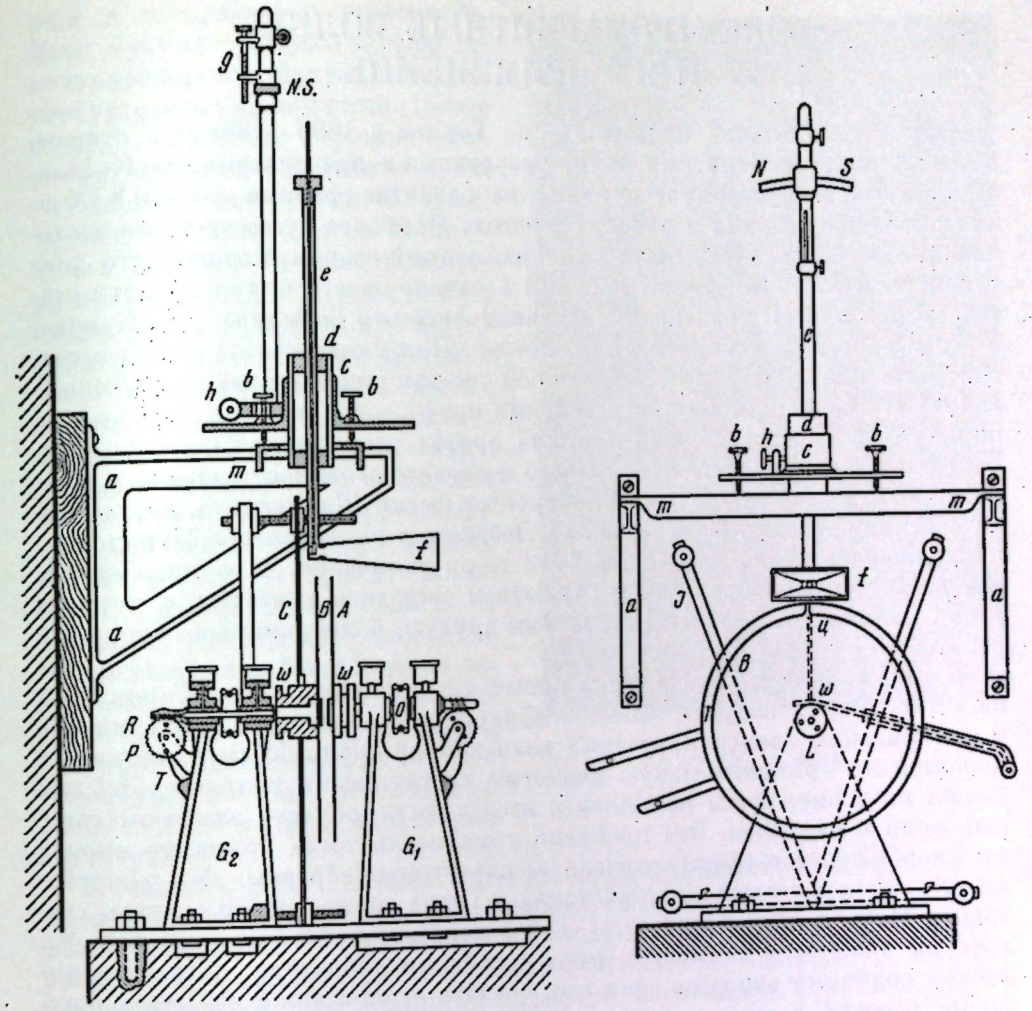


Схема установки А. А. Эйхенвальда для исследования магнитного поля вращающихся электрически заряженных тел

внимание привлек к себе «опыт Эйхенвальда», являющийся развитием «опыта Рентгена» по обнаружению магнитного поля, вызванного вращением поляризованного диэлектрика, точнее, заряженного конденсатора (1908).

А. Ф. Иоффе, о котором еще будет сказано далее, дополнил в 1911 г. эти исследования измерением магнитного поля катодных лучей при газовом разряде. Следует заметить, что первая попытка такого рода была сделана Герцем еще в 1883 г., но из-за побочных эффектов привела к отрицательному результату, что дало повод Герцу даже усомниться в электрической природе катодных лучей.

Из совокупности описанных выше опытов вытекало важное заключение об эквивалентности магнитных полей всех известных нам видов тока: тока проводимости, тока смещения и тока конвекции. Русские ученые внесли заметный вклад в это достижение экспериментальной физики.

Упомянутые работы Эйхенвальда и Иоффе сыграли роль в экспериментальном обосновании специальной теории относительности.

ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ВОЛНЫ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ

Экспериментальное подтверждение Герцем в 1886—1888 гг. существования электромагнитных волн, теоретически предсказанного К. Максвеллом, оказало огромное влияние на развитие физики конца XIX в. Эта проблема увлекла и русских ученых. Наиболее существенные исследования в этой области были выполнены профессором Московского университета П. Н. Лебедевым, который в начале своего научного пути стажировался в области экспериментальной физики в Германии у А. Кундта, а затем работал в лаборатории Столетова. При университете Лебедев создал свою школу физиков, из которой вышел ряд крупнейших ученых. В 1911 г. вместе с рядом прогрессивных профессоров и преподавателей он покинул университет в знак протеста против реакционной политики министра народного просвещения Кассо и перенес свою деятельность в Московский городской народный университет имени Шанявского, созданный на частные средства. Однако работа Лебедева в университете Шанявского продолжалась очень недолго: в 1912 г. он скончался. Мировую известность Лебедев приобрел своим открытием светового давления, о котором речь будет ниже. Здесь мы рассмотрим другую, более раннюю группу его работ.

В 1895 г. Лебедев предпринял попытку продолжить опыты Герца. Как известно, Герцу впервые удалось обнаружить отражение, преломление и поляризацию электромагнитных волн длиной около 60 см и тем самым доказать их принципиальную аналогию со световыми волнами. Лебедев решил по возможности приблизить исследуемую область электромагнитных волн к световым. Эта проблема привлекала тогда внимание многих физиков. Столетов сформулировал ее следующим образом: «Мы допустили, что электрический луч Максвелла и Герца тождественен с лучом световым. Нельзя ли доказать это? Такое доказательство мы получили бы, если бы удалось, уменьшая период колебания вибратора, дать электрической волне все свойства световой, сделать ее способной вызывать ощущение света» [1].

В 1894 г. итальянскому физику А. Риги удалось получить волны в 7,5 см, с помощью которых он мог наблюдать полное внутреннее отражение. Он наблюдал также двойное лучепреломление этих волн на деревянной пластине. Лебедев в 1895 г. впервые получил волны длиной 6 мм и смог поэтому наблюдать двойное лучепреломление на кристаллах ромбической серы, проверив закон Максвелла для кристаллической среды. Ему удалось изготовить из кристалла серы призму Николя для тех же волн и «пластину в $^1/_4$ волны», т. е. осуществить на миллиметровых волнах самые разнообразные оптические опыты.

В то же время, когда Лебедев, Риги и другие физики продолжали чисто научное исследование природы электромагнитных волн, эти волны нашли применение в технике связи. Предварительные шаги в этом направлении сделал английский физик О. Лодж в 1894 г. Но еще в 1889 г., т. е. вскоре после опубликования работ Герца, электромагнитными волнами глубоко заинтересовался А. С. Попов, через несколько лет пришедший к изображению радиосвязи.

[1] *А. Г. Столетов.* Собр. соч., т. II, 1941, с. 256.



П. Н. Лебедев

Еще будучи студентом физико-математического факультета Петербургского университета, Попов сочетал глубокое изучение теоретических основ физики с практической деятельностью. В 1882 г. он защитил диссертацию «О принципах магнито- и динамоэлектрических машин постоянного тока». Годом позже он публикует работу об оптимизации режимов электрических машин. Стремление к исследовательской работе и практическому приложению достижений физики заставило его отказаться от лестного предложения остаться на кафедре физики в университете и принять должность преподавателя физики в Минных офицерских классах в Кронштадте, где были хорошо оснащенные лаборатории. Впоследствии Попов был профессором Электротехнического института в Петербурге на кафедре физики; в 1905 г. был избран директором института.

Начиная с 1889 г. Попов прочитал курс публичных лекций на тему: «Новейшие исследования о соотношении между световыми и электрическими явлениями». Чтобы повторить опыты Герца перед большой аудиторией, Попову необходим был более совершенный индикатор электромагнитных волн, чем резонатор Герца, и он занялся поисками такого прибора. В качестве наиболее удобного для этих целей индикатора он выбрал «радиокондуктор» французского физика Э. Бранли, в котором были использованы металлические опилки. Однако существенным недостатком этого прибора было то, что для повторного использования индикатора необходимо было встряхивать опилки. Английский физик О. Лодж, также изучавший опыты Герца, придал прибору Бранли более удобную форму, снабдил его механическим встряхивателем и назвал когерером. Попов и воспользовался когерером в своих опытах.

Работая в морском ведомстве, Попов хорошо понимал насущную потребность флота в средствах беспроводной сигнализации. Лабораторные опыты 1889—1893 гг. с электромагнитными волнами привели его к мысли использовать их для связи. Эта идея определила все дальнейшие исследования Попова. Ни Бранли, ни Лодж не ставили перед собой такой задачи.

Имевшийся в распоряжении Попова индикатор, однако, не годился для целей связи, поэтому он сделал его более чувствительным и устойчиво работающим. После этого Попов поставил перед собой другую задачу — «добиться такой комбинации, чтобы связь между опилками, вызванная



А. С. Попов

электрическим колебанием, разрушалась немедленно автоматически» [1]. Это необходимо было потому, что в процессе беспроводной связи сигналы могли повторяться «последовательно один за другим», и к приходу каждого из них индикатор должен быть готов к действию. Такой автоматизм работы индикатора Попову удалось осуществить в построенном им «приборе для обнаружения и регистрирования электрических колебаний»; этот прибор по существу и явился первым в мире радиоприемником. Когерер в нем был последовательно включен в цепь чувствительного поляризованного реле и гальванической батареи. Контакты реле включали цепь электрического звонка, который сигнализировал о приходе электромагнитного сигнала и в то же время молоточек звонка ударял по когереру, каждый раз приводя его в чувствительное состояние. В качестве источника электромагнитных волн Попов пользовался вибратором Герца, возбуждаемым от индукционной катушки Румкорфа. Для увеличения мощности вибратора, и тем самым для достижения большей дальности связи, вибратор имел на концах стержней «квадратные металлические листы 40 см в стороне». Для сигнализации условным кодом Попов использовал телеграфный ключ в качестве замыкателя цепи питания индукционной катушки.

Приемник электромагнитных волн Попова был переносным и имел в качестве антенны вертикальный провод длиной 2,5 м.

Таким образом, весной 1895 г. Попов имел в своем распоряжении все звенья системы беспроводной связи и сначала осуществил сигнализацию в пределах физического кабинета Минных офицерских классов, а затем, вынеся приборы в сад училища, добился связи на расстояние до 30 сажен. Так произошло рождение радиосвязи.

Во время опытов со своим прибором Попов обнаружил, что он откликается не только на сигналы от вибратора Герца, но и на грозовые разряды в атмосфере. Попов решил изучить, насколько часты атмосферные электрические колебания, от каких причин они зависят и как могут влиять на беспроводную связь. Для этих целей он построил еще один прибор, который фиксировал сигналы от атмосферных разрядов на барабанном самописце Ришара. Впоследствии этот прибор был назван грозо-

[1] Изобретение радио. А. С. Попов. Документы и материалы. М., «Наука», 1966, с. 64, документ № 23.

отметчиком. В 1895—1896 гг. он использовался для метеорологических целей в Лесном институте в Петербурге. Опыты показали, что грозоотметчик может предсказывать грозы задолго до их начала. Стало также ясно, что атмосферное электричество не составляет серьезной помехи беспроводной связи. Впоследствии грозоотметчик был установлен на электростанции Нижегородской ярмарки для своевременного выключения электрических сетей перед грозой.

На заседании физического отделения Русского физико-химического общества 7 мая (25 апреля) 1895 г. Попов рассказал о своих работах и продемонстрировал в действии приборы для беспроводной сигнализации. Газета «Кронштадтский вестник», сообщая об этом докладе, отмечала: «Поводом ко всем этим опытам служит теоретическая возможность сигнализации на расстоянии без проводников, наподобие оптического телеграфа, но при помощи электрических лучей» [1].



П. Н. Яблочков

В январском номере (1896 г.) «Журнала Русского физико-химического общества» и в ряде других научных журналов была опубликована статья Попова с подробным описанием его опытов [2]. Попов понимал, что его работы имели важное практическое значение и в то же время отдавал себе отчет в том, что это лишь первые шаги. Поэтому он закончил статью следующими словами: «В заключение могу выразить надежду, что мой прибор при дальнейшем усовершенствовании его может быть применен к передаче сигналов на расстояния при помощи быстрых электрических колебаний, как только будет найден источник таких колебаний, обладающий достаточной энергией» [3].

Не придавая значения коммерческой стороне дела, Попов не взял патента на свое изобретение. В июле 1896 г. в английской печати появились краткие сообщения об опытах итальянца Г. Маркони по использованию электромагнитных волн для связи. Летом 1897 г. был опубликован английский патент Г. Маркони на «усовершенствования в передаче электрических импульсов и сигналов и в аппаратуре для этого». Сравнение этого патента с ранее опубликованным описанием устройства Попова обнаружило, что схема приемного аппарата Маркони практически

[1] Изобретение радио..., с. 50, документ № 20; с. 51—25, документ № 21.
[2] Там же, с. 57—70, документ № 23.
[3] Там же, с. 70, документ № 23.

является повторением опубликованного изобретения Попова. Маркони включил в свой патент также многое из того, что было до него уже описано в научных статьях Э. Бранли и О. Лоджа. Располагая значительными материальными средствами, Маркони широко организовал технические разработки и своей деятельностью сильно стимулировал развитие радиотехнической промышленности и распространение радиосвязи. Пользуясь патентом и успехами своей фирмы, он претендовал на приоритет в изобретении радио. Специально созданная в 1908 г. физическим отделением Русского физико-химического общества комиссия под председательством профессора Петербургского университета О. Д. Хвольсона на основании документальных материалов, а также писем, полученных от Бранли и Лоджа, неопровержимо установила приоритет Попова. Несомненно, что вопрос о создании радиосвязи в то время уже «висел в воздухе», но первый практический шаг в этой важнейшей области современной техники был сделан Поповым.

В 1895—1896 гг. Попов работал над усовершенствованием своих приборов. Весной 1897 г. он достиг дальности 600 м, а при испытании на кораблях летом того же года — 5 км. В это время он обнаружил, что металлические корпуса кораблей влияют на распространение радиоволн и предложил способ определения направления на работающий передатчик. В 1899—1900 гг. дальность связи уже была 45 км, а в 1901 г. в корабельных условиях — 150 км. В 1901 г. он применил свои приборы для предупреждения об изменении уровня воды в рукавах р. Дона близ Ростова-на-Дону.

В 1899 г. Попов создал новый тип «телефонного приемника депеш», основанный на детекторном эффекте когерера. Этот приемник выпускался в России и во Франции фирмой «Дюкрете», которая прямо называла свою продукцию прибором системы Попова.

Некомпетентность и неповоротливость царских чиновников привели к тому, что радио, изобретенное в России, интенсивнее развивалось за рубежом, чем на Родине. В русско-японскую войну 1904—1905 гг. корабли русского флота почти не имели радиоаппаратуры, в то время как японский флот был довольно хорошо оснащен радиосвязью.

Судьба изобретения Попова типична для царской России на рубеже XIX и XX вв. Вспомним судьбу таких изобретений, как запатентованные в 1876 г. электрические фонари П. Н. Яблочкова, вскоре с триумфом обошедшие Париж, Лондон, Берлин и Мадрид под названием «русского света», но не нашедшие тогда распространения на родине изобретателя, или же лампу накаливания с металлической нитью А. Н. Лодыгина, удостоенного в России в 1874 г. Ломоносовской премии, но не получившего возможности реализовать это изобретение в своей стране и в конце концов вынужденного в 1888 г. продать патент фирме «Вестингауз» в США.

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ СВЕТА С ВЕЩЕСТВОМ

Рассматривая в своем «Трактате об электричестве и магнетизме» (1873) пондеромоторные силы, возникающие в любой магнито- или электрически поляризованной среде, Максвелл указал, что «в среде, в которой распространяется волна, появляется в направлении ее распространения давящая сила, которая во всякой точке численно равна количеству находящейся там энергии, отнесенной к единице объема»[1]. В 1883 г. А. Бартоли пришел к аналогичному результату, «следуя по совершенно иному пути и, видимо, не зная указанного Максвеллом свойства луча»[2]. Он пришел к этому, исследуя термодинамические свойства теплового излучения. Это «давление света» впервые удалось экспериментально обнаружить лишь в 1901 г. Лебедеву (к этому исследованию мы вернемся позднее). Никаких других эффектов воздействия света на вещество Максвелл не предвидел. Однако в 1887 г. Герц заметил, что ультрафиолетовый свет, испускаемый искрой, облегчает прохождение разряда в другом, соседнем искровом промежутке, если при этом освещается отрицательный электрод. В том же году В. Гальвакс в Германии открыл внешний фотоэлектрический эффект, т. е. испускание металлами отрицательного электричества под действием света. В 1888 г. это явление почти одновременно начали исследовать Риги в Италии и Столетов в Москве, позднее к ним примкнули и французские исследователи Э. Бишa и Р. Блондло.

В отличие от Гальвакса, который экспериментировал с изолированным проводником и наблюдал потерю этим проводником заряда под действием света в зависимости от потенциала, подаваемого на проводник, Столетов создал (1888) установку, явившуюся прототипом установок, применяемых современными исследователями внешнего фотоэффекта. Он помещал вертикально расположенные и параллельные друг другу либо металлическую сетку и металлический диск, либо металлическую пластинку с большим количеством отверстий и диск. Дырчатая пластинка (или сетка) позволяла освещать диск ультрафиолетовым светом от дуги. Пластинка (или сетка) и диск присоединялись через батарею к гальванометру. Таким образом, между ними создавалось электрическое поле. Столетов в отличие от Гальвакса и Риги с самого начала установил, что фотоэлектрический ток наблюдается только тогда, когда диск присоединен к отрицательному полюсу батареи. В дальнейшем Столетов и Риги неоднократно ставили независимо друг от друга сходные опыты и приходили к близким результатам. Но Столетову принадлежит, как в свое время подчеркнул Иоффе, приоритет в выяснении следующих важных особенностей этого явления, названного им «активно-электрическим»: «Освещая отрицательную пластинку конденсатора сквозь сетчатую поверхность положительного электрода, Столетов наблюдал в цепи, содержащей конденсатор, батарею элементов и гальванометр, непрерывный ток. Сила тока оказалась прямо пропорциональной интенсивности падающего света и освещаемой площади; ток тем больше, чем сильнее поглощение света в поверхностном слое; он зависит от контактной разности потенциалов между освещаемой пластинкой и сеткой.

---

[1] *J. C. Maxwell.* Treatise on electricity and magnetism. N. Y., 1954, v. 2, § 792, p. 440—441.

[2] *П. Н. Лебедев.* Собр. соч. М., 1913, с. 121.

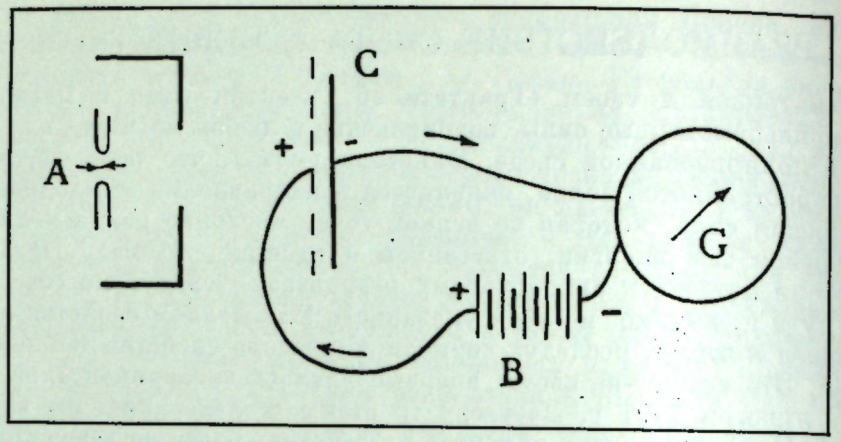


Схема опыта А. Г. Столетова по исследованию фотоэффекта

Фотоэлектрический ток возрастает с увеличением приложенной к конденсатору разности потенциалов, но не пропорционально последней. Столетов наблюдал в своем исследовании впервые явление тока насыщения и формулировал законы, определяющие роль упругости и природы газа» [1].

Установив, что фототок зависит от контактной разности потенциалов между электродами, Столетов пришел к мысли о возможности получения тока в цепи без приложения извне дополнительной разности потенциалов, создаваемой батареей. «Система Zn, Ag и воздух, при условии освещения Ag активными лучами, временно обращается в настоящий гальванический элемент, где роль жидкости играет газовая среда,— писал Столетов.— Принимая в расчет, что при этом лучи д о л ж н ы п о г л о щ а т ь с я серебром, мы можем сказать (в чем бы ни состоял механизм явления), что энергия тока в этом воздушном элементе возникает за счет энергии освещающих лучей» [2]. Таким образом, Столетов в 1888—1889 гг. фактически создал первый в мире газонаполненный фотоэлемент, основанный на использовании внешнего фотоэлектрического эффекта. В 1890 г. он показал, что фотоэлектрический эффект может наблюдаться и в разреженных газах.

Столетов не запатентовал свое замечательное изобретение. Он увидел в фотоэлементе лишь наглядное подтверждение своих теоретических представлений. Иначе обстояло дело за рубежом. В 1890 г. физики Ю. Эльстер и Г. Гейтель получили в Германии патент на самостоятельно разработанный ими фотоэлемент и на использование его в некоторых измерительных приборах.

В 1894 г. Лебедев обратил внимание на третий вид взаимодействия излучения с веществом. «В исследовании Герца,— писал Лебедев,— в интерпретации световых колебаний как электромагнитных процессов, скрыта еще и другая, до сих пор не затронутая задача — задача об *источниках лучеиспускания*, о тех процессах, которые совершаются в молекулярном вибраторе в то время, когда он отдает световую энергию в окру-

[1] *А. Ф. Иоффе.* Фотоэлектрический эффект.— В кн.: О. Д. Хвольсон. Курс физики, т. 5. Изд. 2-е. Берлин, 1923, с. 832.
[2] *А. Г. Столетов.* Собр. соч., т. I., с. 255.

жающее пространство; такая задача ведет нас, с одной стороны, в область *спектрального анализа*, а с другой как бы совершенно неожиданно приводит к одному из наиболее сложных вопросов современной физики, к учению о *молекулярных силах*. Последнее обстоятельство вытекает из следующих соображений: становясь на точку зрения электромагнитной теории света, мы *должны утверждать*, что между двумя лучеиспускающими молекулами, как между двумя вибраторами, в которых возбуждены электромагнитные колебания, существуют пондеромоторные силы: они обусловлены электродинамическими взаимодействиями переменных электрических токов в молекулах (по законам Ампера) или переменных зарядов в них (по законам Кулона),— мы, следовательно, должны утверждать, что между молекулами в этом случае существуют *молекулярные силы*, причина которых неразрывно связана с процессами лучеиспускания» [1].

Лебедев подчеркнул трудность рассмотрения вопроса о физическом теле, в котором одновременно действуют друг на друга много молекул, причем колебания этих последних благодаря их близкому соседству не являются независимыми друг от друга. Он указал, что знание спектроскопических данных позволило бы предвычислить величины молекулярных сил, обусловленных лучеиспусканием, добавив, что эти явления могут быть ответственны лишь за некоторую часть межмолекулярных взаимодействий.

Так в области излучения неожиданно всплыл вопрос о межмолекулярных силах, который, как уже говорилось, считался в московской школе физиков одним из наиболее актуальных. Лебедев обратил внимание на то, что подобные силы должны возникать не только в случае электромагнитных систем, но и в случае гидродинамических и акустических. В развитие этих идей он опубликовал в 1893—1897 гг. «Экспериментальное исследование пондеромоторного действия волн на резонаторы» [«Ueber die mechanische (ponderomotorische) Wirkung der Wellen auf ruhende Resonatoren»].

Прежде всего Лебедев изучил пондеромоторное действие электромагнитных волн длиной около 350 см на легкие миниатюрные электрические и магнитные резонаторы (весом около 1 г), подвешенные на тонких кварцевых нитях. Далее он исследовал пондеромоторное гидродинамическое действие волн, возбуждаемых в жидкости осциллирующим шариком, на соответствующий резонатор и, наконец, аналогичное действие акустических воздушных волн длиной в 100 мм на легкоподвижные акустические резонаторы. При этом обнаружилась полная тождественность зависимости пондеромоторных сил от разности частот γ осциллатора и γ_0 резонатора для всех трех «столь различных колебательных движений, каковы колебания электромагнитные, гидродинамические и акустические» [2]. В своих выводах Лебедев подчеркнул принципиальную возможность «распространить найденные законы на область светового и теплового испускания отдельных молекул тела и предвычислять получающиеся при этом междумолекулярные силы и их величину» [3]. Попытки таких расчетов с помощью классической теории не могли, разумеется, дать надлежащих результатов. Силы, называемые теперь дисперсионными, были рассчитаны Ф. Лондоном лишь около 40 лет спустя на основе квантовой механики. Идея Ле-

[1] *П. Н. Лебедев.* Собр. соч., с. 56—57.
[2] Там же, с. 119—120.
[3] Там же, с. 120.

бедева оказалась принципиально правильной, но в то время как он имел в виду фактическое лучеиспускание, современная квантовомеханическая теория оперирует виртуальным излучением взаимодействующих молекул.

Исследуя пондеромоторное действие волн на резонаторы, Лебедев, как мы видели, разработал тончайшие приборы для наблюдения этого эффекта. Эта экспериментальная работа явилась в известной мере подготовкой к значительно более трудному изучению светового давления, которое интересовало Лебедева уже давно. Еще в 1892 г. он теоретически рассмотрел вопрос в работе «Об отталкивающей силе лучеиспускающих тел» («Ueber die abstossende Kraft strahlender Körper») и показал, что отталкивание, вызванное давлением света, излучаемого Солнцем, может для некоторых тел оказаться примерно одного порядка с силой гравитационного притяжения этих тел к солнцу. Для всех небесных тел, у которых плотность $\rho > 1$, а радиус $r > 10$ м, отступления от гравитационного закона Ньютона ничтожны. «Чем меньше мы возьмем радиус r тела, тем более будет выступать отталкивательная сила солнца» [1].

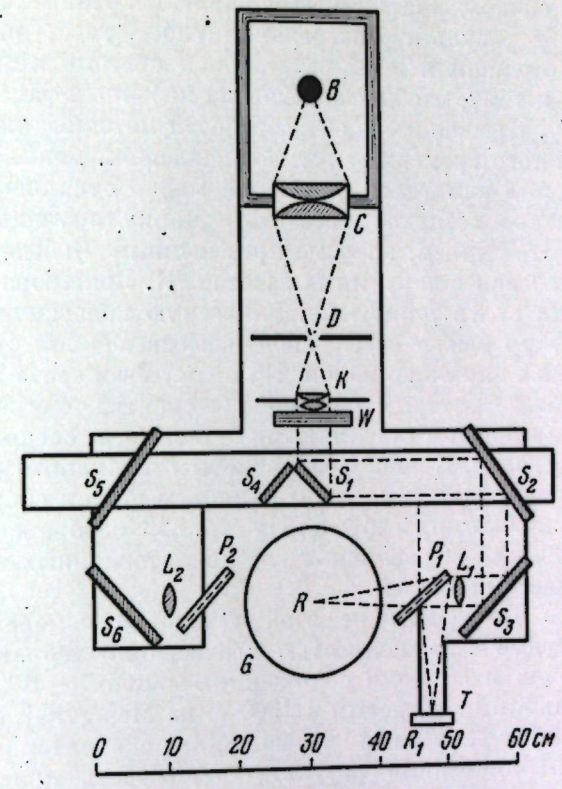
Свои расчеты Лебедев применил к задаче о предполагаемом воздействии солнечных лучей на кометные хвосты, поставленной еще Кеплером. Он пришел к выводу, что опубликованные незадолго до того известным русским астрономом Ф. А. Бредихиным наблюдения кривизны кометных хвостов не противоречат представлению о влиянии на них светового давления солнечных лучей. Как мы знаем теперь, отталкивательная сила, испытываемая кометными хвостами, значительно превосходит давление световых лучей Солнца и объясняется давлением «солнечного ветра» — потока протонов, выбрасываемых из солнечной короны. По-видимому, проблема давления света на кометные хвосты сильно увлекала Лебедева.

Вместе с тем Лебедев справедливо считал проблему экспериментального обнаружения и количественного измерения светового давления одной из наиболее актуальных проблем физики своего времени. Это была проверка и теории электромагнитного поля и термодинамики лучистой энергии. Связывая эту проблему с упомянутым выше явлением пондеромоторного действия электромагнитных волн на резонаторы, Лебедев видел в ее исследовании также некую возможность проникновения в природу молекулярных сил.

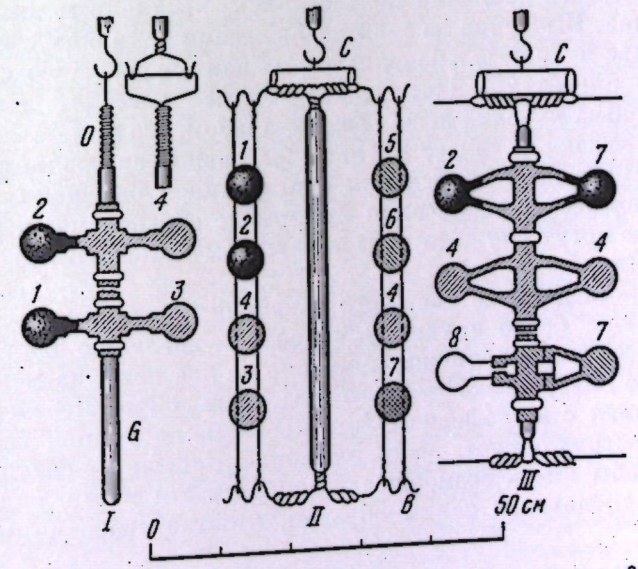
Максвелл в своем «Трактате...» писал: «Сконцентрированный электрический свет будет производить, вероятно, еще большее давление (чем солнечный свет.— *Авт.*), и нет ничего невозможного в том, что лучи такого света, падая на тонкую металлическую пластинку, легко подвешенную в пустоте, будут оказывать на эту пластинку заметное механическое действие» [2]. Однако на этом пути еще в 1877 г. потерпел неудачу немецкий физик И. Целльнер, обративший внимание на то, что радиометрический эффект приблизительно в 10^5 раз больше эффекта светового давления.

Итак, с чисто экспериментальной точки зрения, задача представляла огромные трудности, главным образом потому, что эффект давления света легко может маскироваться как радиометрическим эффектом, так и конвекционными потоками в разреженном газе. Как известно, радиометрический эффект обусловлен влиянием на молекулы окружающего газа разности температур нагрева освещенной и неосвещенной стороны пластинки,

[1] *П. Н. Лебедев.* Собр. соч., с. 30.
[2] *J. C. Maxwell.* Treatise on electricity and magnetism. N. Y. 1954, v. 2, § 792, p. 441.



Установка П. Н. Лебедева для исследования светового давления на твердые тела



Подвесная система П. Н. Лебедева для исследования светового давления на твердые тела

которая должна обнаруживать световое давление. Конвекционные же потоки возникают в результате нагревания слоев газа, непосредственно прилегающих к стенкам и к чувствительной системе прибора. Лебедев принял ряд мер к тому, чтобы действие этих побочных факторов было сведено к минимуму. Прежде всего он разработал методику получения весьма высокого для того времени вакуума с давлением менее 10^{-4} мм ртутного столба, который достигался при непрерывной откачке насосом путем вытеснения остатков воздуха с помощью циркулирующих в приборе ртутных паров. Этот прием, впервые примененный Лебедевым, впоследствии был использован в вакуумных насосах И. Лэнгмюра. Далее Лебедев сам изготовил столь тонкую металлическую подвесную систему, что разность температур между освещенной и неосвещенной сторонами крылышка оказывалась ничтожно малой. На пути лучей света источника (дуги) были поставлены фильтры, убиравшие из спектра те его области, которые могли быть поглощены стеклянными стенками и, следовательно, вызвали бы их нагревание. Кроме того, размеры стеклянного баллона были выбраны достаточно большими, чтобы влиянием стенок сосуда на подвесную систему можно было пренебречь. На стр. 353 изображена общая схема установки Лебедева и различные виды изготовленных им самим чувствительных подвесных систем.

Произведенное Лебедевым на этой установке измерение светового давления на твердые тела полностью подтвердило теоретические соображения Максвелла и Бартоли с точностью около $\pm 8\%$. Доклад об этой работе, сделанный Лебедевым в 1900 г. на Международном конгрессе физиков в Париже, вызвал чрезвычайно одобрительные отклики. Вскоре после опубликования результатов Лебедева появилась работа американских физиков Э. Никольса и Г. Халла [1], подошедших к измерению светового давления на твердые тела несколько иным методом: они эмпирически подбирали давление газа, при котором радиометрический эффект, меняя знак в условиях прибора, оказывался близким нулю и при измерении светового давления пользовались кратковременным освещением крылышка. Вычислив из своих наблюдений величину светового давления, Никольс и Халл заключили, что их данные согласуются с теорией Максвелла в пределах $\pm 1\%$. Однако Лебедев отметил, что в основе выводов Никольса и Халла лежит гипотеза о том, что при столь кратковременных освещениях «имеет место то же равновесие радиометрических эффектов, которое наблюдается при стационарном освещении» [2]. По Лебедеву, эта гипотеза Никольсом и Халлом не обоснована, а поэтому их результаты не могут служить доказательством даже существования светового давления.

Закончив исследование светового давления на твердые тела, Лебедев обратился к еще более трудному вопросу — давлению света на газы, которое по абсолютной величине примерно на два порядка меньше давления на черную поверхность твердого тела. Этот вопрос Лебедев непосредственно связывал с астрофизическими проблемами. Испробовав более 20 различных конструкций установки, он добился успешного результата лишь в 1907 г. «Чтобы иметь возможность измерять эти малые силы,— писал он,— опыт располагался таким образом, что газ свободно мог переме-

[1] В транскрипции самого Лебедева — Гулль.
[2] *П. Н. Лебедев.* Собр. соч., с. 395.

щаться в направлении пронизывающих его лучей и производил давление на очень чувствительный поршневой аппарат, на который лучи света непосредственно действовать не могли» [1]. Основным затруднением в этих опытах были конвекционные потоки в газе, связанные с неравномерностью нагревания. С помощью искусных приемов Лебедеву удалось практически исключить побочное влияние таких потоков.

Между тем как экспериментальное исследование давления света на твердые тела было впоследствии повторено другими исследователями,

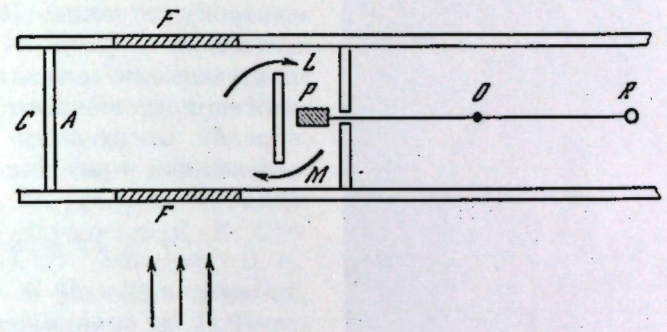


Схема прибора П. Н. Лебедева для исследования светового давления на газы

подтвердившими результаты Лебедева, его опыт измерения давления света на газы до сих пор никому еще не удалось повторить. Полученные Лебедевым экспериментальные результаты подтвердили теоретические расчеты в пределах $\pm 30\%$.

В 1898 г., незадолго до того как Лебедев приступил к своим экспериментальным исследованиям давления света, А. И. Садовский, работавший в Юрьевском университете, теоретически обосновал существование другого замечательного эффекта, носящего его имя,— вращательного пондеромоторного действия (т. е. возникновения момента вращения) при прохождении поляризованного по кругу светового луча через кристаллическую пластинку, превращающую его в линейно-поляризованный. Однако Садовскому не удалось обнаружить этот эффект опытным путем, и работа его в то время не встретила одобрения. Она была теоретически подтверждена многими авторами значительно позднее, а экспериментально эффект Садовского обнаружил американский физик Р. Бэйт лишь в 1936 г.

Крупный вклад в физическую оптику внесла экспериментальная работа астрофизика А. А. Белопольского, впервые убедительно доказавшего применимость принципа Х. Доплера к свету (1900). Результаты этого исследования были затем подтверждены в работах Б. Б. Голицына и И. Вилипа и ряда иностранных ученых.

В 1906—1912 гг. в Петербурге начали работать два талантливых молодых физика — А. Ф. Иоффе и Д. С. Рождественский, сыгравшие впоследствии важную роль в развитии физики в СССР.

Иоффе, проработавший после окончания Петербургского технологического института несколько лет у Рентгена в Мюнхене, возвратился в

[1] *П. Н. Лебедев.* Собр. соч., с. 175.



А. Ф. Иоффе

1906 г. в Россию. В 1907 г. он заинтересовался только что появившейся теорией фотоэлектрического эффекта А. Эйнштейна, в которой была выдвинута гипотеза о корпускулярной природе света. По мнению Эйнштейна, при фотоэлектрическом эффекте один «атом света» сообщает свою энергию одному электрону металла. Поэтому кинетическая энергия W электрона, вылетевшего из металла, измеряет энергию поглощенного им кванта света $h\nu$ за вычетом работы K, совершенной при выходе из металла:

$$W = h\nu - K.$$

Немецкий физик Э. Ладенбург в том же году опубликовал результаты экспериментального исследования фотоэффекта, из которых сделал вывод, что его данные противоречат гипотезе Эйнштейна. Иоффе тогда же критически проанализировал работу Ладенбурга и доказал, что, напротив, никакого расхождения между его опытными данными и теорией «атомов света» не существует.

Затем Иоффе сам предпринял обстоятельную экспериментальную проверку Эйнштейновой теории фотоэффекта. Часть исследования касалась строгой проверки уравнения Эйнштейна. Результаты полностью подтвердили это уравнение, но поскольку в это время (1912) появилась в печати известная работа Р. Милликэна и В. Райта, необходимость в продолжении данного исследования отпала. Однако в корпускулярной теории взаимодействия света с веществом оставался один принципиально важный вопрос. Если свет представляет собой поток корпускулярных фотонов, то, согласно классическим представлениям, при очень слабых интенсивностях света фотоэффект должен носить статистический характер. Разумеется, с точки зрения современной квантомеханической теории статистический характер этого явления не может служить критерием чисто корпускулярной или чисто волновой природы света. Но в те годы еще господствовали классические представления.

Иоффе впервые предпринял экспериментальную проверку статистического характера фотоэффекта, изучая элементарный фотоэлектрический эффект, т. е. вылет отдельных электронов с металлической пылинки, взвешенной в эренгафтовом конденсаторе. Установка, примененная им для этой цели, описана в его работе «Элементарный фотоэлектрический эффект» (1913). Тщательные опыты полностью подтвердили предположение о статистическом характере эффекта. В 1925 г. А. Ф. Иоффе и Н. И. Добронравов еще более углубили разработку вопроса в классическом эксперименте, в котором наблюдалось вырывание отдельных электронов отдельными фотонами рентгеновского излучения.



Д. С. Рождественский

Научная деятельность Иоффе приобрела особенно широкий размах после Октябрьской революции. В 1918 г. он создал в Петрограде Физико-технический институт; в 1920 г. был избран действительным членом Академии наук СССР. Как ученый и педагог Иоффе явился основателем большой физической школы, и его учениками были Н. Н. Семенов, П. Л. Капица, И. В. Курчатов, Д. В. Скобельцын, Ю. Б. Харитон, В. Н. Кондратьев, И. К. Кикоин, Б. П. Константинов, А. П. Александров, Л. А. Арцимович и многие другие крупнейшие советские физики.

В 1912 г. возвратился из-за границы и развернул свои исследования Д. С. Рождественский, который после окончания Петербургского университета совершенствовал свое образование в Лейпциге и Париже. Он впервые обратил внимание на проблему точного измерения интенсивности спектральных линий, разработав для этой цели оригинальный чрезвычайно чувствительный интерференционный метод, получивший название метода крюков Рождественского. В докторской диссертации Рождественского «Аномальная дисперсия в парах натрия», опубликованной в 1912 г., впервые было показано, что отношения интенсивностей в спектральных дублетах, испускаемых парами натрия, имеют целочисленный характер и не зависят от температуры и давления паров. Этот факт, подтвержденный на спектрах других элементов, получил рациональное истолкование лишь после появления модели атома Бора. В 1918 г. Рождественский организовал Государственный оптический институт и создал первоклассную школу физиков-оптиков. В 1929 г. он был избран действительным членом Академии наук СССР.

ФИЗИКА КРИСТАЛЛОВ

При исследовании кристаллических тел в первой половине XIX в. изучались преимущественно их оптические свойства. Со второй половины XIX в. началось систематическое физико-химическое изучение кристаллов. Одновременно с этим развивалось геометрическое направление, исходившее из представления о пространственной кристаллической решетке и имевшее целью объяснить форму и внешнюю огранку кристаллов. Фундамен-



Е. С. Федоров

тальный вклад в эту область внесли работы кристаллографа Е. С. Федорова. В своем классическом труде «Симметрия правильных систем фигур» (1890) Федоров решил основную геометрическую задачу структурной кристаллографии: строго математически установил все принципиально возможные дискретные пространственные группы симметрии.

Почти одновременно с Федоровым и независимо от него дискретные пространственные группы определил немецкий математик А. Шёнфлис («Krystallsysteme und Krystallstruktur», 1891). Первоначально как Федоров, так и Шёнфлис не обнаружили некоторые группы, а другие сосчитали дважды. Благодаря сразу установившейся между ними переписке эти первоначальные недосмотры были быстро устранены, и оба исследователя окончательно доказали, что возможно только 230 пространственных групп симметрии. Этот результат в дальнейшем был неоднократно подтвержден. Таким образом, Федоров и Шёнфлис открыли основной закон кристаллографии.

Федоров не ограничился разработкой теоретической кристаллографии. Еще в 1889 г. он изобрел двукружный теодолитный гониометр для измерения углов на кристаллах. В 1891 г. Федоров создал специальный прибор для поляризационного микроскопа, получивший название столика Федорова, который позволяет поворачивать и наклонять препарат для нахождения положения кристаллографических и кристаллооптических элементов.

В 1901 г. Федоров был избран адъюнктом Петербургской академии наук, но, не встретив поддержки своей идеи организовать Минералогический институт, в 1905 г. покинул Академию. Уже после Октябрьской революции, в 1919 г. он был вновь избран действительным членом Академии наук. Но ему уже не суждено было развернуть в ней свою деятельность: в том же году Федоров скончался.

Другой выдающийся кристаллограф того времени, Ю. В. Вульф, первоначально работал в Казанском и Варшавском университетах, 1906—1908 гг. провел в Женеве, а затем стал приват-доцентом Московского университета. В 1911 г. Вульф, как и Лебедев, покинул Московский университет в знак протеста против реакционной политики царского министра Кассо и перешел в университет им. Шанявского. После Февральской революции 1917 г. Вульф вернулся в Московский университет.

Еще в 1897 г. Вульф разработал простой графический метод обработки результатов измерения кристаллов и предложил для этой цели специальную стереографическую сетку (так называемую сетку Вульфа), широко применяемую в настоящее время в кристаллографических исследованиях. Большое значение имеет исследование Вульфа «К вопросу о скоростях роста и растворения кристаллических граней» («Ueber Wachstums- und Auflösungsgeschwindigkeit der Krystalle», 1895). Гиббс впервые указал (1878), что форма кристалла при данном объеме должна соответствовать минимальному значению его поверхностной энергии; затем вопрос о форме кристаллов изучал П. Кюри (1885). Вульф показал, что минимум поверхностной энергии при данном объеме многогранника достигается при таком взаимном расположении его граней, когда они удалены от одной и той же точки на расстояния, пропорциональные их капиллярным постоянным. Отсюда он вывел чрезвычайно важное следствие, что скорости роста кристаллических граней пропорциональны их поверхностной энергии, т. е. коэффициентам поверхностного натяжения относительно маточного раствора. Этот принцип нередко именуется принципом Гиббса — Кюри — Вульфа.



Ю. В. Вульф

В 1913 г., вскоре после открытия М. Лауэ, В. Фридрихом и П. Книппингом дифракции рентгеновых лучей в кристаллах (1912) Вульф одновременно с У. Г. и У. Л. Брэггами и независимо от них вывел соотношение, связывающее длину волны λ рассеянных кристаллом рентгеновых лучей с величиной угла отклонения θ этих лучей от первоначального направления после рассеяния и с межплоскостным расстоянием d в решетке кристалла

$$2d \sin \frac{\theta}{2} = n\lambda,$$

где n — положительное целое число. Брэгги выразили это соотношение в несколько иной, ныне общеупотребительной, форме, связав λ с d не через θ, а через угол скольжения ϑ — угол между падающим (или отраженным) пучком лучей и отражающими плоскостями

$$2d \sin \vartheta = n\lambda.$$

По существу оба выражения идентичны. Поэтому это соотношение вполне справедливо называют соотношением Вульфа — Брэггов. Вульф явился пионером рентгеноструктурного анализа в России.

Крупные исследования в области физики кристаллов были проведены Иоффе, который начал их еще во время своего пребывания в мюнхенской лаборатории В. Рентгена в 1903 г. Рентген предложил ему исследовать

природу пьезоэлектричества кристаллов кварца (открытого братьями Ж. и П. Кюри в 1885 г.) путем наблюдения упругого последействия. У Рентгена сложилось убеждение, что упругое последействие является фундаментальным свойством твердых тел, и он надеялся путем такого исследования выяснить, что́ является причиной пьезоэлектричества — деформация или напряжение. Иное представление было у Иоффе, считавшего упругое последействие несовместимым с основными представлениями о правильном строении кристаллов. «Я лично сомневался в существовании последействия в кристаллах кварца вообще»,— писал Иоффе впоследствии. Путем тщательных опытов он неопровержимо показал, что упругое последействие кристаллов кварца — эффект побочный, обусловленный самим появлением пьезоэлектрических зарядов. Приняв меры к быстрому снятию этих зарядов, Иоффе практически устранил упругое последействие. Таким образом, Иоффе удалось еще до открытия в 1912 г. рентгеноструктурного анализа подтвердить модельные представления о строении кристаллов.

Иоффе провел совместно с Рентгеном большое количество исследований в области электрических свойств кристаллов. Однако Рентген в то время с болезненной подозрительностью относился к любым модельным представлениям и стремился лишь накапливать опытные факты. Он всячески уклонялся от опубликования работ, произведенных в его лаборатории. Лишь часть из них была намного позднее, в 1923 г., опубликована Иоффе. Остальные так и не увидели света и были уничтожены после смерти Рентгена (1923) вместе со всем его личным архивом во исполнение его завещания.

Работая в 1914—1916 гг. в Политехническом институте в Петрограде, Иоффе совместно с М. В. Кирпичевой поставил ряд весьма важных экспериментальных исследований по изучению механизма прохождения электрического тока через диэлектрики. В то время физическая картина этих явлений была настолько запутана, что вся эта проблема была названа своего рода диэлектрической аномалией [1]. Исследования Иоффе и Кирпичевой внесли значительную ясность в этот вопрос. Они показали, что электропроводность большинства ионных кристаллов носит электролитический характер и обусловлена отчасти внедрением в решетку ионов примеси, а отчасти тепловой диссоциацией самой решетки. При прохождении тока происходит накапливание подвижных ионов противоположного знака вблизи электродов, т. е. поляризация. Учет этой поляризации, создающей встречное электрическое поле, позволил Иоффе впервые доказать, что закон Ома действителен и для диэлектриков (1916).

Исследования русских физиков по кристаллографии и кристаллофизике в дореволюционные годы фактически наметили новые пути в изучении механических и электрических свойств твердого тела и предопределили дальнейшее широкое развитие этой важной области физики в советское время.

МАГНИТНЫЕ ЯВЛЕНИЯ

Физика магнитных явлений получила серьезное развитие лишь после появления электронной теории. Магнитные исследования носили во второй половине XIX в. преимущественно феноменологический характер. При изучении ферромагнетизма, привлекшего наибольшее внимание в свя-

[1] *А. Ф. Иоффе.* Физика кристаллов. М.—Л., Гос. изд-во, 1929.

зи с нарождающейся электротехникой, впервые возник вопрос о влиянии формы образца на экспериментальные результаты, следовательно, об измерении истинной зависимости намагниченности материала от интенсивности приложенного внешнего магнитного поля. Вопрос о значении формы ферромагнитного образца был подробно математически разработан Г. Кирхгофом (1870). Он впервые обратил внимание на то, что при измерениях, проводимых на образцах, имеющих форму колец с обмоткой по всей периферии кольца, вопрос о так называемом размагничивающем действии принципиально отпадает. По предложению Кирхгофа, такого рода экспериментальное исследование было проведено молодым Столетовым, которому принадлежит заслуга разработки так называемого метода кольца для измерения магнитных свойств мягкого железа.



В. К. Аркадьев

Бóльшее значение имели магнитные исследования ученика Лебедева В. К. Аркадьева, в 1907 г. впервые предпринявшего экспериментальные, а затем теоретические исследования поведения ферромагнетиков в быстропеременных полях. Ему принадлежит заслуга разработки математической теории электромагнитного поля в ферромагнитных металлах, широко применяемой в современной электро- и радиотехнике. Классическая теория Максвелла не может быть непосредственно применена к ферромагнитным металлам. Аркадьев разработал принципы, позволяющие применять теорию Максвелла и в этом случае. Кроме того, он впервые обратил внимание на возможность существования в ферромагнитных телах резонансных и релаксационных явлений, которые должны приводить к дисперсии электромагнитных волн в ферромагнетиках, и в 1912 г. ему удалось экспериментально проверить существование этих явлений; в 1921 г. эти результаты были подтверждены Р. Гансом и Р. Лоярте. Впервые полученные экспериментально Аркадьевым и его учениками «магнитные спектры» ферромагнетиков охватывают фактически весь сложный комплекс явлений «ферромагнитного резонанса».

Исследования Аркадьева получили широкий размах с 20-х годов, когда он организовал крупную магнитную исследовательскую лабораторию при Московском университете. В 1923 г. Я. Г. Дорфман дал квантовую интерпретацию открытого Аркадьевым явления ферромагнитного резонанса и одновременно фактически предсказал (названное им фотомагнитным эффектом) явление электронного парамагнитного резонанса, которое было открыто Е. К. Завойским в 1942 г.

ФИЛОСОФСКАЯ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ ДОСТИЖЕНИЙ ФИЗИКИ И ИХ ПОПУЛЯРИЗАЦИЯ

В конце XIX в. стала явственно осознаваться ограниченность мировоззренческих принципов классической физики. Исследования в области электродинамики движущихся тел, взаимодействия излучения с веществом были связаны с результатами, теоретическое объяснение которых встречало серьезные трудности. В конечном итоге эти исследования привели к возникновению теорий, заставивших физиков коренным образом пересмотреть свои мировоззренческие принципы. В самом начале XX в. была создана специальная теория относительности, изменившая традиционные представления о пространстве и времени, а в 20-е годы — квантовая механика, сопряженная с новыми идеями, касающимися внутреннего строения вещества, природы излучения, роли причинности в физике.

Сама практика научного исследования заставляла физиков того времени интенсивно заниматься философскими вопросами своей науки. В конце XIX в. появился ряд философских работ, содержащих критику механистических и метафизических принципов, свойственных классической физике. Однако становление нового мировоззрения не было гладким. Отказ от механистических принципов привел часть физиков к отходу от материализма и увлечению распространенными в «профессорской среде» идеалистическими и позитивистскими учениями.

Влияние идеалистических и позитивистских концепций, в частности, Э. Маха, К. Пирсона, П. Дюгема, а также энергетизма В. Оствальда затронуло и некоторых русских физиков (А. И. Бачинский, О. Д. Хвольсон, Н. А. Гезехус и др.). Однако большинство русских физиков стояло на позициях материализма и пыталось разрешить познавательные трудности своей науки, приобщаясь к идеям диалектики.

Достижения физики конца XIX и начала XX в. вызвали интерес широких кругов интеллигенции, что способствовало появлению обширной научно-популярной литературы в этой области как в Западной Европе, так и в России. На русский язык переводилось множество иностранных книг и брошюр. Наряду с этим широкую популяризаторскую работу проводили А. Г. Столетов, Н. А. Умов, П. Н. Лебедев, А. С. Попов и многие другие. Развитие научно-популярного жанра способствовало более широкому обсуждению философских вопросов физики.

С западной популярной литературой в русские читательские круги проникали махистские и другие позитивистские идеи, которые часто подвергались русскими физиками основательной критике. Так, Столетов еще в 1894 г. выступал против «энергетизма» В. Оствальда, указывая, что, хотя закон сохранения энергии, как и само понятие энергии, играет исключительно важную роль в современной физике, попытка сведéния всего многообразия явлений к процессам превращения энергии подобна «игре на одной струне» и потому не выдерживает никакой критики. Столетов отмечал, что физико-химик Оствальд делает необоснованные философские выводы. Столь же критически относился Столетов к попыткам Э. Маха игнорировать успехи молекулярной физики. Зато он с величайшим уважением относился к противнику Маха Л. Больцману, считая его авторитетом и в теоретико-познавательных вопросах.

Наиболее широкую популяризаторскую работу вел Умов. В своих

многочисленных речах и статьях он выступал как сторонник материализма, понимая его, однако, вначале в духе механического материализма. Под влиянием новых физических открытий его взгляды обогащались идеями диалектики.

Еще в 1888 г. в статье «Памяти Кларка Максвелла» Умов, ссылаясь на открытую Менделеевым периодическую систему как на доказательство эволюции элементов, подверг критике концепцию Максвелла о неизменности и неразрушимости атомов и молекул. В 1905 г. он опубликовал статью «Эволюция атома», в которой указывал, что изучение внутриатомной физики, возможно, приведет к открытию свойств и законов, глубоко отличных от принятых в старой физике.

Умов не разделял разочарования некоторых своих современников в связи с крушением старых представлений классической науки и видел в новых открытиях путь к дальнейшему познанию природы.

В такой же степени стихийными, но убежденными материалистами являлись Эйхенвальд, Михельсон и многие другие русские физики того времени.

Характерно, что выпущенный в 1910 г. русский перевод известной популярной речи М. Планка «О единстве физического мировоззрения» («Die Einheit des physikalischen Weltbildes»), в которой он резко критиковал Маха, сопровождался редакционным предисловием, рекомендовавшим русскому читателю именно точку зрения Планка как соответствующую духу физического исследования.

Как в Западной Европе, так и в России идеалистические тенденции, получившие развитие в этот период крутой ломки научных представлений, не ограничивались одной лишь сферой естествознания. Сторонники реакционных направлений в философии и политике немедленно ухватились за махистское истолкование новейших открытий физики как за якобы научное обоснование несостоятельности материализма вообще и вытекающих из него передовых революционных идей. Появилась обширная литература по «опровержению» материализма.

В. И. Ленин, опираясь на научную теорию К. Маркса и Ф. Энгельса, сразу отчетливо увидел ту огромную опасность, которую таят в себе разнообразные попытки «опровержения» материализма и марксизма, использующие в качестве троянского коня идеалистическую квазинаучную трактовку физических открытий. Значительная часть знаменитой книги Ленина «Материализм и эмпириокритицизм. Критические заметки об одной реакционной философии» (1909), а именно вся пятая глава, посвящена философским проблемам, связанным с революцией в физике, происшедшей на рубеже XIX и XX вв., и основана на очень подробном изучении физической литературы, опубликованной в Германии, Франции, Англии и отчасти в России,—Ленин отмечал, что, находясь в эмиграции за границей, он не имел возможности в достаточной мере ознакомиться с физической литературой, выходившей в те годы в России. Проанализировав ситуацию в науке, Ленин пришел к выводу, что модное в то время течение — махизм, нередко именуемое его идеологами философией естествознания XX в. или философией современного естествознания и т. п., является лишь разновидностью идеализма [1].

---

[1] См. *В. И. Ленин*. Полн. собр. соч., т. 18, с. 9—10.

Ленин в своей книге не ограничился только философской критикой махистских и других идеалистических течений. Он наглядно показал методологическую продуктивность диалектико-материалистических принципов. Не вторгаясь в узкоспециальную проблематику, Ленин отметил, что все новейшие достижения физики того времени получают ясную и естественную интерпретацию в свете диалектического материализма и тем самым подтверждают это философское направление.

Таким образом, в период распространения махизма и сходных с ним идеалистических учений, когда многие философы и физики растерялись и не смогли сделать правильные выводы из новейших достижений физики, Ленин дал этим достижениям глубокое философское истолкование. Тем самым он не только защитил, развил и углубил философию диалектического материализма, но и оказал большую услугу физике. Справедливой оказалась не только данная Лениным общая оценка достижений физики этого периода, но и философская интерпретация отдельных ее проблем. Так, отчетливо подтвердился данный Лениным прогноз о делимости атома, о взаимной превращаемости отдельных видов материи, о новых представлениях о пространстве и времени, о неисчерпаемости атома и электрона.

Весь ход дальнейшего развития физики в XX в. служил и служит неопровержимым доказательством справедливости положений, высказанных Лениным в его «Материализме и эмпириокритицизме». Уже многие десятилетия этот труд используется физиками как одно из самых мощных методологических средств исследования.

Глава двадцать пятая

ХИМИЯ

ОБЩАЯ И НЕОРГАНИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

Если в начале XIX в. химия как самостоятельная наука еще только скромно заявляла о своих правах и возможностях, то уже к 60-м годам она стала мощной наукой с большой армией исследователей. Середина XIX в. ознаменовалась многими великими открытиями в области теоретической и практической химии. Выдающийся успех атомно-молекулярного учения выразился в создании А. М. Бутлеровым теории химического строения и открытии Д. И. Менделеевым периодического закона химических элементов. Эти два великих русских химика во многом определили развитие химии во второй половине XIX и начале XX в.

Д. И. МЕНДЕЛЕЕВ

Дмитрий Иванович Менделеев родился 27 января (8 февраля) 1834 г. в Тобольске. После окончания гимназии в 1850 г. он был принят в Главный педагогический институт в Петербурге, где в то время преподавали М. В. Остроградский, А. А. Воскресенский, Э. Х. Ленц.

Еще в институте Менделеев заинтересовался химией. Будучи студентом, он напечатал работы «Об анализе ортита и пироксена из Финляндии» (1854), а по окончании курса представил кандидатскую диссертацию «Изоморфизм в связи с другими отношениями кристаллической формы к составу» (1855). В 1856 г. Менделеев защитил диссертацию «Удельные объемы» на степень магистра химии и в 1857 г. стал доцентом Петербургского университета, где читал сначала теоретическую, а затем органическую химию. В 1859 г. он отправился в двухгодичную научную командировку за границу, в Гейдельберг, для дальнейшей самостоятельной экспериментальной работы по химии. В 1860 г. Менделеев совместно с Н. Н. Зининым, А. П. Бородиным, Л. Н. Шишковым, В. И. Савичем, В. Лесинским и Я. Натансоном принял участие в работе Первого Международного химического конгресса в Карлсруэ.

«На конгрессе было приятно видеть то, что новые начала, которым все молодые русские химики давно следуют, взяли сильный верх над рутинными понятиями, господствующими еще в массе химиков» [1],— писал не без гордости Менделеев.

В 1861 г. Менделеев вернулся в Петербург и приступил к чтению курса органической химии в университете. В 1863 г. он получил кафедру технической химии в Петербургском университете, в 1865 г. защитил докторскую диссертацию на тему «О соединении спирта с водою», а в 1867 г. стал профессором общей химии. В 1890 г. Менделеев вынужден был покинуть университет вследствие конфликта с министром народного просвещения

[1] *Д. И. Менделеев.* Научное наследство, т. 2. М., Изд-во АН СССР, 1951, с. 87.

И. Д. Деляновым, отказавшимся принять от Менделеева петицию студентов.

В 1861 г. Менделеев издал свою «Органическую химию», о которой А. М. Бутлеров писал, что это «единственный и отличный русский оригинальный учебник органической химии...» [1]. 15 марта 1863 г. Г. Шифф из Берна писал Менделееву: «Я... был восхищен им (курсом.— *Авт.*) и не только с научной точки зрения... Ваша книга — первый курс научной химии... Я хочу думать, что это будет иметь место не только в области химии, надеюсь, что также и в других науках проявит себя рождающийся гений русской нации...» [2].

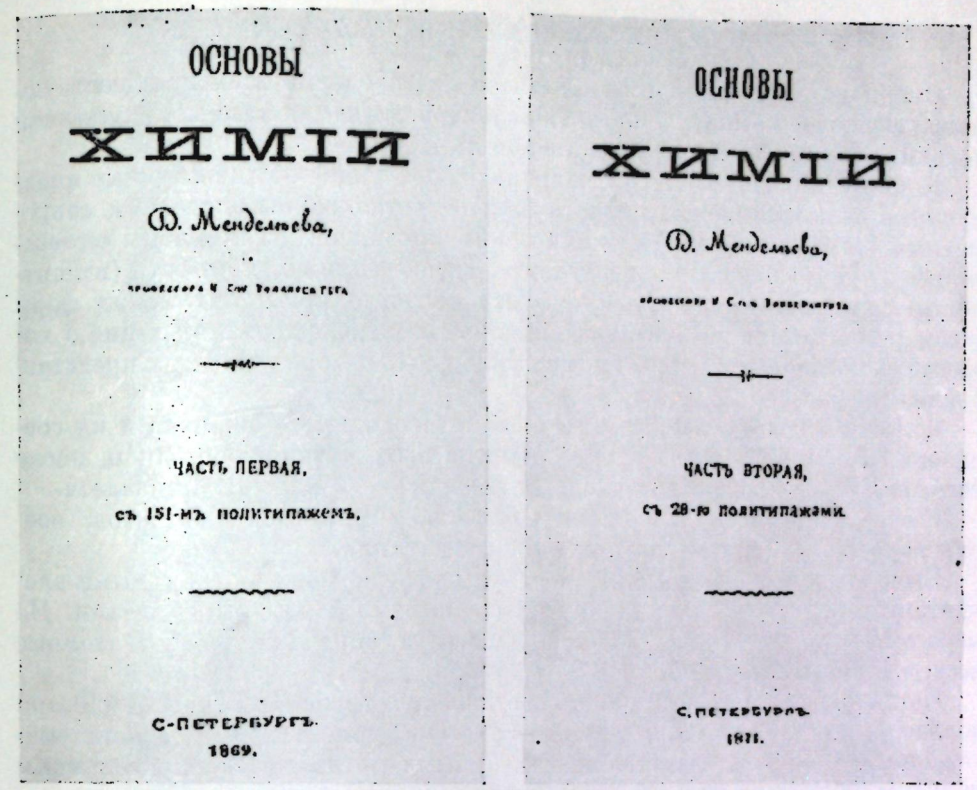
В 1869—1871 гг. Менделеев создает «Основы химии». ««Основы»— любимое дитя мое. В них — мой образ, мой опыт педагога и мои задушевные научные мысли»,— писал он. В процессе преподавания химии Менделеев убедился, что «одно собрание фактов, даже и очень обширное, одно накопление их... не дадут еще метода, обладания наукою... ни даже права на имя науки, в высшем смысле этого слова» [3]. Этот учебник Менделеева приобрел всемирную известность. В русской и иностранной химической литературе он занимает совершенно особое место как сочинение, глубоко затрагивающее и освещающее сложнейшие вопросы химии.

В России он являлся основным руководством для многих поколений химиков и до сих пор сохранил свое значение. При жизни Менделеева было выпущено 8 изданий «Основ химии», каждое из которых существенно перерабатывалось и исправлялось. «Основы химии» были переведены на немецкий, французский и английский языки. В 1891 г. появился английский перевод пятого русского издания «Основ химии» в двух томах. Менделеев писал: «Этот перевод для меня был очень радостен. В Оксфорде и Кембридже стали много применять мою книгу». В 1897 г. появился новый английский перевод (с шестого русского издания). «Этот перевод... для меня тем важен, что показал полный расход 1-го издания, а оно, говорят, было 5000 экземпляров»[4], — отмечал Менделеев. В 1880 г., когда открытия и труды Менделеева уже приобрели мировую известность, реакционное большинство Петербургской Академии наук отвергло его кандидатуру в действительные члены Академии (членом-корреспондентом Петербургской академии наук Менделеев был избран в 1876 г.). В знак протеста против этого решения пять университетов России и ряд академий, университетов и научных обществ западноевропейских стран избрали Менделеева своим почетным членом.

В 1888 г. Менделеев получил приглашение прочесть лекцию в Королевском институте в Лондоне и Фарадеевский доклад в Лондонском химическом обществе. Здесь ему была вручена Фарадеевская медаль.

В 1891 г. Менделеев приглашается в правительственную комиссию по выработке единого таможенного тарифа. В 1891—1892 гг. он опубликовал «Толковый тариф». Занимаясь экономическими вопросами, он одновременно работал по поручению военного ведомства над проблемой бездымного пороха. В ноябре 1892 г. Менделеев был назначен хранителем Депо образцовых мер и весов, которое он в 1893 г. реорганизовал в Главную палату мер и весов, организовав в ней важные метрологические исследования. Здесь он работал до конца жизни. Умер Менделеев 20 января (2 февраля) 1907 г.

[1] *А. М. Бутлеров.* Соч., т. 2. М., Изд-во АН СССР, 1953, с. 12.
[2] Из неопубликованной переписки Д. И. Менделеева.— Вопросы истории естествознания и техники, 1957, вып. 3, с. 176—177.
[3] *Д. И. Менделеев.* Соч., т. 24. М.— Л., Изд-во АН СССР, 1954, с. 6.
[4] Архив Д. И. Менделеева, т. I. Л., Изд-во ЛГУ, 1951, с. 98.



ОСНОВЫ

ХИМІИ

Д. Менделѣева,

ЧАСТЬ ПЕРВАЯ,

съ 151-мъ политипажемъ.

С-ПЕТЕРБУРГЪ.
1869.

ОСНОВЫ

ХИМІИ

Д. Менделѣева,

ЧАСТЬ ВТОРАЯ,

съ 28-ю политипажами.

С. ПЕТЕРБУРГЪ.
1871.

Титульные листы первого издания «Основ химии» Д. И. Менделеева

Многочисленные труды Менделеева посвящены различным областям техники, промышленности, народного просвещения, развитию производительных сил в России. В развитии науки и промышленности Менделеев видел путь к экономической независимости России, к ее расцвету и могуществу, и он со всей страстью отдавал свои силы этим целям.

Менделееву принадлежит идея подземной газификации угля (1888). Он выступал против нерациональных методов добычи и использования нефти. Основная его мысль заключается в том, что нефть надо рассматривать как сырье для выработки ценных продуктов. Менделеев подчеркивал недопустимость сжигания сырой нефти.

Менделеев много занимался вопросами механизации сельского хозяйства и его химизации. Он был одним из организаторов Русского химического общества и предвестником современной агрохимии, выступал за широкое народнохозяйственное освоение естественных богатств России, особенно Севера и Дальнего Востока. Все это было необходимо, по мнению Менделеева, для развития науки и промышленности России.

Но главная научная заслуга Менделеева — открытие периодического закона химических элементов.

ПЕРИОДИЧЕСКИЙ ЗАКОН ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ

Открытие периодического закона было подготовлено всем предшествующим развитием химии, главным образом развитием атомно-молекулярной теории и учения о химических элементах.

К концу 60-х годов XIX в. выявились следующие общие научные предпосылки открытия периодического закона: установлены близкие к современным атомные веса многих химических элементов; установлены «естественные группы» сходных элементов; развито учение об атомности (валентности) химических элементов; открыто сходство кристаллических форм (изоморфизм) различных химических элементов; разработано учение о химическом соединении, основанное на унитарных и молекулярных представлениях.

«...Периодическая зависимость свойств несходных элементов и их соединений от атомного веса элемента могла быть установлена лишь после того, как она доказана для сходных элементов» [1],— писал Менделеев.

К середине XIX в. было открыто более 50 химических элементов; возник вопрос о их систематизации и классификации.

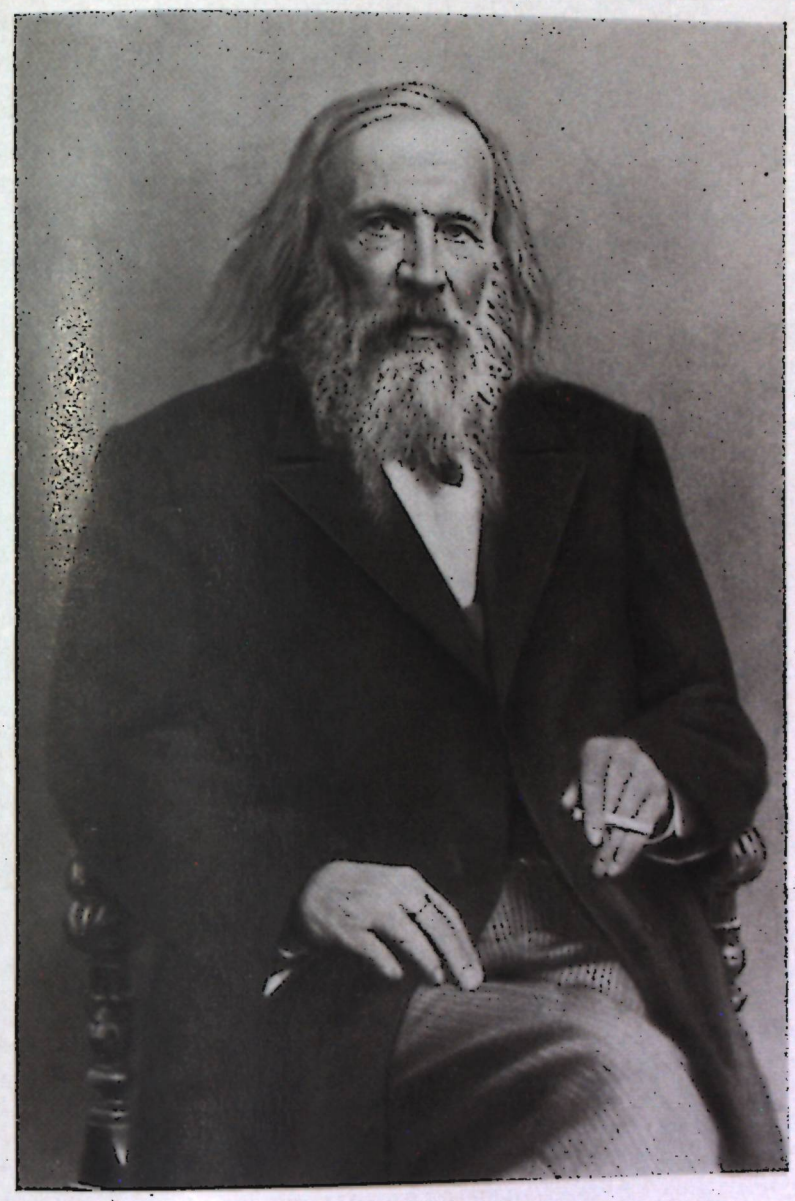
Было сделано немало попыток найти сходство между отдельными элементами и выразить связь между их свойствами и атомными весами. По мере того как открывались новые элементы и определялись их атомные веса, эти попытки повторялись.

Когда Менделеев предпринял составление «Основ химии» (1869), он должен был остановиться на какой-то системе элементов, чтобы в систематизации их руководствоваться не случайными мотивами, а определенным научным началом. Такое «начало», тесно связанное с природой самого вещества, Менделеев нашел в атомном весе элементов. При построении своей периодической системы элементов Менделеев пользовался трудами Ж. Дюма, Д. Гладстона, М. Петтенкофера, П. Кремерса и Э. Ленсена. Работы А. де Шанкуртуа и Д. Ньюлендса Менделееву не были известны.

С самого начала своей научной деятельности Менделеев придерживался мнения, что между массой и химическими свойствами элементов должна существовать связь и что нужно искать зависимость индивидуальных свойств элементов от их атомных весов. Это в известной мере выразилось уже в его ранних работах, посвященных изучению отношений между кристаллической формой и химическим составом различных веществ (работа по изоморфизму и «Удельные объемы», 1856). Именно этот путь исканий, особенно при написании «Основ химии», привел его к открытию количественного критерия сходства или различия веществ, периодичности, повторяемости свойств элементов при возрастании их атомных весов и к естественной классификации элементов. В феврале 1869 г. Менделеев начал подбирать (написав на отдельных карточках известные тогда 63 элемента с их атомными весами и основными свойствами) сходные элементы и близкие атомные веса, что, по его словам, «быстро и привело к тому заключению, что свойства элементов стоят в периодической зависимости от их атомного веса, причем, сомневаясь во многих неясностях, я ни на минуту не сомневался в общности сделанного вывода, так как случайности допустить было невозможно» [2].

---

[1] *Д. И. Менделеев.* Избр. соч., т. 2. Л., ОНТИ—Госхимтехиздат, 1934, с. 221.
[2] *Д. И. Менделеев.* Периодический закон. М., Изд-во АН СССР, 1958, с. 326.



Д. И. Менделеев

Впервые основные положения, которые легли в основу Периодической системы химических элементов, Менделеев высказал 17 февраля (1 марта) 1869 г., когда он разослал русским и иностранным химикам свой «Опыт системы элементов, основанной на их атомном весе и химическом сходстве». 6 (18)марта 1869 г. на заседании Русского химического общества Н. А. Меншуткин от имени Менделеева, уехавшего в это время из Петербурга, сделал сообщение: «Соотношение свойств с атомным весом элементов» [1], основное содержание которого заключалось в следующем.

1. Элементы, расположенные по величине их атомного веса, представляют явственную периодичность свойств.

2. Сходные по химическим свойствам элементы имеют или близкие атомные веса (Pt, Ir, Os), или последовательно и однообразно увеличивающиеся (K, Rb, Cs).

3. Сопоставление элементов или их групп по величине атомного веса соответствует их так называемой атомности (валентности.— *Авт.*).

4. Распространенные в природе элементы имеют малый атомный вес, а все элементы с малым атомным весом характеризуются резко выраженными свойствами, поэтому они являются типическими элементами.

5. Величина атомного веса определяет характер элемента.

6. Нужно ждать открытия еще многих неизвестных элементов, например сходных с Al и Si, с атомным весом 65—75.

7. Величина атомного веса элемента иногда может быть исправлена, если знать аналоги данного элемента.

8. Некоторые аналоги элементов открываются по величине веса их атома.

Вся периодическая законность, как отмечал Менделеев, выражена в в этих положениях. Основное из них заключалось в том, что физические и химические свойства элементов находятся в периодической зависимости от их атомного веса.

В работе «Об атомном объеме простых тел» [2] (1870) Менделеев развил некоторые положения, которые ранее сформулировал в статье «О периодической зависимости между свойствами элементов и величиною их атомного веса» (1869). Менделеев показал, что при сравнении удельных весов и удельных объемов элементов, принадлежащих разным рядам, также наблюдается периодичность свойств элементов. Он установил, что по объему соединений нельзя судить об объеме их составных частей. Особое внимание обращалось на нисходящие и восходящие ряды элементов и на последовательность изменения атомных объемов простых тел.

В 1870 г. Менделеев, видоизменяя первый вариант периодической системы, разработал новую короткую форму таблицы элементов с подразделением всех элементов на 8 групп.

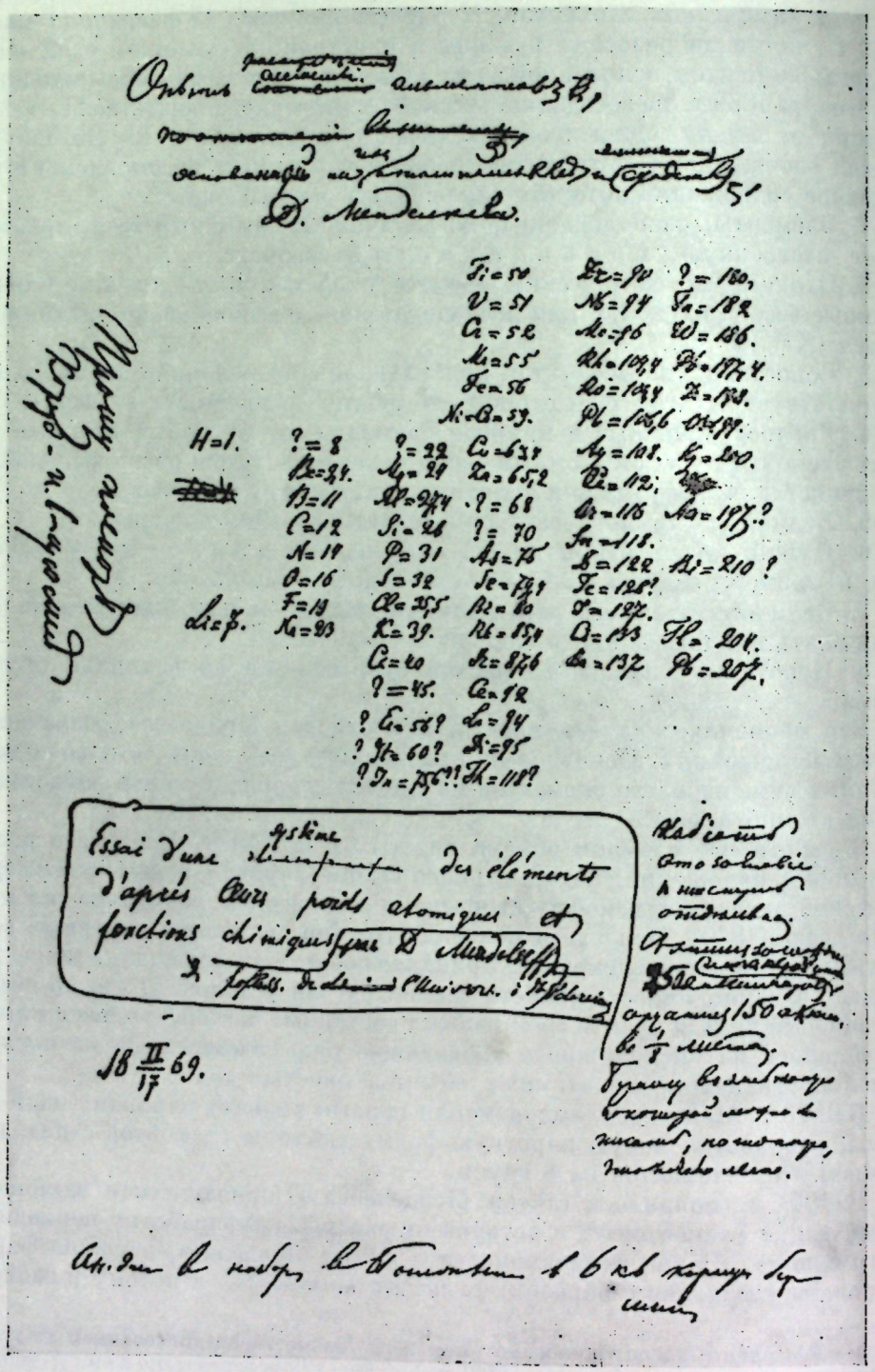
В 1871 г. появилась статья Менделеева «Периодическая законность химических элементов» [3], в которой он завершает разработку периодического закона. «Закон периодичности,— писал Менделеев,— можно формулировать следующим образом: *свойства элементов*, а потому и свойства

---

[1] Это сообщение было опубликовано тогда же в только что организованном «Журнале Русского химического общества» (1869, т. I, с. 60—77); перепечатано в кн.: *Д. И. Менделеев.* Периодический закон, с. 10—31.

[2] *Д. И. Менделеев.* Периодический закон, с. 32—49.

[3] *D. I. Mendelejeff.* Die periodische Gesetzmässigkeit der chemischen Elemente.— «Ann. Chem. Pharm.»., 1871, Suppl. B. 8, H. 2, S. 133—229. С немецкого впоследствии



Автограф раннего варианта Периодической системы элементов Д. И. Менделеева

образуемых ими простых и сложных тел, *стоят в периодической зависимости от их атомного веса*» [1] (здесь и далее курсив Менделеева.— *Авт.*). Статья содержала предсказания о существовании неизвестных элементов (экабора, экаалюминия и экасилиция) с точным описанием их свойств, а также исправления атомных весов малоизученных элементов.

Отмечая огромное теоретическое и практическое значение периодического закона, Д. И. Менделеев в 1871 г. писал: «Каждый естественный закон... тогда только приобретает особое научное значение, когда из него есть возможность извлекать практические, если можно так выразиться, следствия, т. е. такие логические заключения, которые объясняют не объясненное еще, указывают на явления, до тех пор не известные, и, особенно, когда он дает возможность делать такие предсказания, которые возможно подтвердить опытом. Тогда очевидна становится польза закона и получается возможность испытать его справедливость. Тогда он становится по меньшей мере стимулом для разработки новых частей науки» [2].

Менделеев был настолько уверен в справедливости открытого им закона, что на основе его исправил атомные веса девяти элементов (индия, урана, тория, церия и др.). При составлении таблицы Менделееву пришлось нарушить в ряде случаев правильное возрастание атомных весов, поставив более тяжелый кобальт перед более легким никелем, теллур — впереди йода, а впоследствии аргон — перед калием. На основе работ И. В. Авдеева Менделеев, приняв атомный вес бериллия равным 9,4, поставил его во вторую группу. Он поставил церий в группу углерода (таблица 1881 г.), а спутники его — лантан и дидимий соответственно в группы третью и пятую. До Менделеева атомный вес церия принимался равным 92. Он исправил его на 138, а затем на 140 и поместил в четвертую группу. Впоследствии работы чешского химика Б. Браунера убедительно показали, что церий должен стоять в четвертой группе.

В 1889 г. Браунер писал Менделееву: «Только Вам я обязан за то... что мне случилось найти этот драгоценный камень (периодический закон) на моей химической дороге... Какие неоцененные средства дает Ваш периодический закон при исследованиях в неорганической химии. ...Горжусь, что жизнь свою могу пожертвовать разработке Вашего закона» [3]. Браунер нашел атомный вес церия равным 140,25 и подтвердил таким образом положение в таблице бериллия и теллура. Атомный вес теллура в начале был найден равным 128, поэтому, помещая его между сурьмой и йодом с атомными весами 120 и 127, Менделеев ставил возле 128 вопросительный знак. Этот вопрос был снят после точных исследований Браунера, который определил атомный вес теллура равным 125. Впоследствии Браунер нашел, что атомный вес теллура равен 127,5. Причина этой «аномалии»

были сделаны переводы — французский: La loi périodique des éléments chimiques.— «Le moniteur scientifique», 3-ème série, 1879, t. IX, p. 695—737, и английский: The periodic law of the chemical elements.— «Chemical news», 1879, v. 40, N 1042—1048; 1880, v. 41, N 1049—1060. Рукописный оригинал этой статьи на русском языке был впервые опубликован в 1950 г. (Д. И. Менделеев. Новые материалы по истории открытия периодического закона. М.— Л., Изд-во АН СССР, 1950, с. 19—83).

[1] *Д. И. Менделеев.* Периодический закон, с. 111.

[2] Там же, с. 123.

[3] *Т. В. Волкова.* Укрепители периодического закона. Письма Лекока де Буабодрана, Винклера, Нильсона и Браунера Д. И. Менделееву.— «Успехи химии», 1944, т. 13, вып. 4, с. 325—326.

периодической системы элементов заключалась в явлении изотопии, о котором в то время не было еще известно. Лишь после 1913 г. было выяснено, что природный йод состоит из одного изотопа (J = 127), теллур же — из нескольких изотопов.

Менделеев изменил атомный вес урана: вместо 120 он принял его равным 240, что впоследствии подтвердилось исследованиями немецкого химика К. Циммермана. Некоторые изменения были внесены Менделеевым в атомные веса элементов платиновой группы и редкоземельных элементов. В 1901 г. Браунер выделил все редкоземельные элементы в совершенно особую, замкнутую группу и поместил ее в одной большой клетке, расположенной в середине периодической системы, около церия, в виде особой интерпериодической. (В дальнейшем оказалось, что все это семейство нужно расположить около лантана, на что в свое время указывал Менделеев.)

Особенно ярко проявилось значение периодического закона в предсказании свойств неизвестных элементов, для которых Менделеев оставил в таблице пустые места. На основании свойств известных элементов той же группы, стоящих в таблице выше и ниже, Менделеев предсказал все основные свойства еще не открытых элементов.

Размещая известные элементы в таблице, Менделеев заметил, что в некоторых случаях оказывается невозможным поставить два элемента рядом, так как при этом происходит слишком резкий «скачок» от одного атомного веса к другому. Таких «пробелов» в таблице было немало. Один пробел находился в четвертом ряду (второй период по горизонтали между B = 11 и J = 88), два других — в пятом ряду (по вертикали между Al = = 27 и In = 114, а также между Si = 28 и Sn = 118). Неизвестные элементы, которые должны были занять эти места, Менделеев, как уже отмечалось, назвал соответственно экабором, экасилицием и экаалюминием.

Последующее развитие химии было триумфом периодического закона. В 1875 г. был открыт первый элемент из числа предсказанных Менделеевым. Ш. Вюрц на заседании Парижской академии наук предложил вскрыть конверт, который за месяц до этого был представлен в Академию. В конверте находилась заметка, гласящая, что 27 августа 1875 г. П. Э. Лекок де Буабодран обнаружил в спектре цинковой обманки из Пиренеев яркую фиолетовую линию, не принадлежащую ни одному из известных элементов. Очищая цинковую обманку и наблюдая фиолетовую линию, которая становилась все более интенсивной, Лекок де Буабодран получил новый элемент, названный в честь родины ученого галлием [1].

Менделеев, получив протоколы Парижской академии наук, сообщил, что галлий, по его мнению, есть не что иное, как не открытый еще экаалюминий его периодической таблицы [2]. Он указал при этом, что удельный вес галлия (т. е. экаалюминия) должен быть равен не 4, 7, как это определил Лекок де Буабодран, а 5,9—6,0. Лекок де Буабодран повторил опыты, очистив металл, и нашел удельный вес его равным 5,96. «Я думаю,— писал он,— нет необходимости настаивать на огромном значении подтверждения

[1] *L. de Boisbaudran.* Caractères chimiques et spectroscopiques d'un nouveau métal, le Gallium, découvert dans une blende de la mine de Pierrefette, vallée d'Argelès (Pyrénees).— «Comptes rendus», 1875, v. 81, p. 493—498.

[2] *D. I. Mendelejeff.* Remarques à propos de la découverte du Gallium.— «Comptes rendus», 1875, v. 81, p. 969—972. Перепечатано в кн.: *Д. И. Менделеев.* Периодический закон, с. 198—202.

теоретических выводов г. Менделеева относительно плотности нового элемента» [1]. Открытие галлия было первым толчком к всеобщему признанию периодического закона. За открытием галлия последовало открытие скандия. Шведский химик Л. Ф. Нильсон в 1879 г., найдя новый элемент, сразу же понял, что перед ним экабор Менделеева [2]. Нильсон, охарактеризовав свойства открытого элемента, писал, что этим открытием «подтверждаются самым наглядным образом мысли русского химика, позволившие не только предвидеть существование названного простого вещества, но и наперед вывести его важнейшие свойства» [3].

В 1885 г. немецким химиком К. А. Винклером был открыт германий (экасилиций), названный так же, как и два предыдущих элемента, по названию страны, в которой был открыт [4]. 26 февраля 1886 г. Винклер писал Менделееву: «...мною обнаружен новый элемент «германий». Здесь мы имеем дело с экасилицием... уведомляю Вас о весьма вероятном новом триумфе Вашего гениального исследования» [5]. Менделеев в свое время подробнее, чем для других элементов, предсказал свойства экасилиция и соединений, которые он образует. Поэтому открытие германия было наиболее ярким торжеством периодического закона.

В 1894 г. В. Рамзаем и Д. Рэлеем был открыт первый представитель инертных газов — аргон. После открытия аргона последовало открытие гелия (1895), а затем — криптона, неона и ксенона (1898). Осуществив трудное разделение этих газов, В. Рамзай и М. Траверс детально изучили и описали их физические свойства. Открытие инертных газов — гелия, неона, аргона, криптона и ксенона — явилось, по словам Менделеева, «своего рода испытанием теоретической стороны периодического закона» [6]. Это «испытание» было выдержано с успехом. Рамзай писал, что подтверждение предсказаний «нашего мастера Менделеева представляет собою триумфальную колесницу». Новые элементы по величине их атомных весов заняли место между галогенами и щелочными металлами, образовав особую, нулевую, группу в системе Менделеева (в 1900 г. бельгийский ученый Л. Эррера впервые предложил ввести особую, нулевую, группу и поместить в нее все инертные газы).

В 1898 г. П. Кюри и М. Кюри открыли радий и полоний. Затем были открыты новые элементы группы редких земель, а также первые представители радиоактивных эманаций. Оправдались и остальные предвидения Менделеева: открытие экамарганца — технеция, тримарганца — рения, двицезия — франция.

Периодический закон Менделеева способствовал расцвету не только химии, но и физики, геохимии и других естественных наук.

После установления Менделеевым тесной связи атомных весов с химическими и физическими свойствами элементов и создания А. М. Бутле-

[1] Цит. по. сб.: Периодический закон Д. И. Менделеева и его философское значение. М., Госполитиздат, 1947, с. 43.

[2] *L. F. Nilson.* Sur le scandium, élément nouveau.— «Comptes rendus», 1879, v. 88, p. 645—648.

[3] Цит. по сб.: «Периодический закон Д. И. Менделеева и его философское значение», 1947, с. 43.

[4] *C. Winkler.* Mittheilungen über das Germanium.— «Journ. prakt. Chem.», 1886, Bd. 34, H. 4, S. 177—228; 1887, Bd. 36, H. 4, S. 177—209.

[5] Цит. по ст.: *Т. В. Волкова.* Укрепители периодического закона.— «Успехи химии», 1944, т. 13, вып. 4, с. 322.

[6] *Д. И. Менделеев.* Основы химии, т. 2. Изд. 9-е. М.— Л., Госхимиздат, 1928, с. 277.

ровым теории химического строения органических соединений атомная гипотеза стала подлинно научной теорией.

По словам самого Менделеева, «полемику приоритетов» он «терпеть не мог». Но когда приоритетные притязания некоторых иностранных ученых зашли слишком далеко, Менделеев в 1889 г. заявил: «Ни де Шанкуртуа, которому французы приписывают право на открытие периодического закона, ни Ньюлендс, которого выставляют англичане, ни Л. Мейер, которого цитировали иные как основателя периодического закона,— не рисковали предугадывать свойства неоткрытых элементов, изменять «принятые веса атомов» и вообще считать периодический закон новым, строго постановленным законом природы, могущим охватывать еще доселе не обобщенные факты, как это сделано мною с самого начала (1869)» [1].

В 1864 г. немецкий химик Л. Мейер опубликовал книгу «Новейшие теории химии и их значение для химической статики («Die modernen Theorien der Chemie und ihre Bedeutung für die chemische Statik»), в которой пытался сопоставить в общей системе группы сходных химических элементов. Однако никаких далеко идущих выводов и обобщений из этого сопоставления он не сделал. В начале 1870 г. Мейер опубликовал (уже после выхода в свет основополагающей работы Менделеева о периодическом законе) статью «Природа химических элементов как функция их атомных весов» («Die Natur der chemischen Elemente als Function ihrer Atomgewichte».— Ann. Chem. Pharm., 1870, Suppl. 7, S. 354—364), где привел таблицу элементов, которая была, по его словам, «в существенном идентична с данной Менделеевым». У Мейера, однако, были сомнения в возможности исправлять атомные веса элементов или предсказывать, опираясь на периодический закон, свойства еще не открытых элементов. «Было бы поспешно изменять данные принятые атомные веса,— писал Мейер в 1870 г.,— на основании столь шаткого исходного пункта». А через 10 лет Мейер писал: «Я с готовностью признаю, что мне не хватало смелости на так далеко идущие предположения, которые убежденно высказал Менделеев» [2].

К концу 90-х годов XIX в. периодический закон получил общее признание как закон, позволяющий предвидеть новые открытия и систематизировать накапливающийся экспериментальный материал. Физическая природа периодической функции элементов не была известна Менделееву и его современникам. Но это не мешало Менделееву призывать химиков пользоваться периодическим законом, «как пользуются законом тяготения» Ньютона, не зная его существа. Обращаясь к ученым с призывом искать решение проблемы, связанной с физическим обоснованием периодического закона, Менделеев говорил: «Как одно из недавних, но выдержавших лабораторную проверку, научных обобщений, как инструмент мысли, еще не подвергшийся до сих пор никаким видоизменениям, периодический закон ждет не только новых приложений, но и усовершенствований, подробной разработки и свежих сил. Все это, наверное, придет...» [3]

[1] Цит. по кн.: *Д. И. Менделеев.* Периодический закон. М., 1958, с. 323. Вопрос о приоритете подробно рассмотрен в двух статьях *Д. И. Менделеева*: Zur Frage über das System der Elemente.— «Ber. Deut. Chem. Ges.», 1871, Bd. 4, S. 348—352 и Zur Geschichte des periodischen Gesetzes.— «Ber. Deut. Chem. Ges.», 1880, Bd. 13, S. 1796—1804.

[2] *L. Meyer.* Zur Geschichte der periodischen Atomistik.— «Ber. Deut. Chem. Ges.» 1880, Bd. 13, S. 259.

[3] *Д. И. Менделеев.* Периодический закон, с. 236.

«...Широкая приложимость периодического закона, при отсутствии понимания его причины,— есть один из указателей того, что он очень нов и глубоко проникает в природу химических явлений...»[1] (разрядка моя.— *Авт.*) ,— писал Менделеев в 1898 г.

Результаты исследований физико-химических свойств, выполненных после открытия периодического закона, подтвердили справедливость этого закона. «Классическая» периодичность была доказана, но были найдены и некоторые отступления и особенности немонотонного изменения отдельных свойств. Оставались нерешенные вопросы, и к ним относилась проблема редкоземельных элементов и инертных газов. Трудности были с размещением в системе элементов: Ni, Co, Ar, K, Te, J. В восьмом ряду системы проявлялся своеобразный «квартирный голод», выражавшийся в том, что для семьи из 14 элементов имеется только одна клетка в третьей группе.

Классические физико-химические методы исследования оказались не в состоянии установить причины различных отступлений от периодического закона, но они в значительной мере подготовили основу для раскрытия физического смысла места элемента в системе. Изучение различных химических, физических, механических и кристаллографических свойств элементов показало их общую зависимость от более глубоких, в то время еще скрытых, внутренних свойств атомов.

Сам Менделеев отчетливо сознавал, что «периодическая изменяемость простых и сложных тел подчиняется некоторому высшему закону, природу которого, а тем более причину, ныне еще нет средства охватить. По всей вероятности, она кроется в основных началах внутренней механики атомов и частиц» [2].

ХИМИЧЕСКАЯ ТЕОРИЯ РАСТВОРОВ МЕНДЕЛЕЕВА

В 1887 г. Менделеев опубликовал важный труд «Исследование водных растворов по удельному весу», в котором обобщил свои многолетние исследования в этой области. Изучение растворов, в частности водных, представляло, по мнению Менделеева, «особый интерес уже потому, что в земле и в воде, в растениях и в животных, в химической практике и на заводах постоянно образуются растворы, и они играют важную роль в химических превращениях» [3].

В 1860 г., изучая явления вязкости и капиллярности жидкостей, Менделеев открыл «абсолютную температуру кипения», называемую в настоящее время критической температурой. Наиболее полное определение критической температуры Менделеев дал в 1861 г.: «Абсолютною температурою кипения должно считать ту температуру, при которой: 1) сцепление жидкости = 0, 2) скрытая теплота испарения также = 0 и при которой 3) жидкость превращается в пар независимо от давления и объема» [4].

Дальнейшие работы Менделеева, связанные с изучением химических

[1] *Д. И. Менделеев.* Периодический закон, с. 273.

[2] *Д. И. Менделеев.* Периодический закон. Классики науки. Дополнительные материалы. М., Изд-во АН СССР, 1960, с. 384.

[3] *Д. И. Менделеев.* Основы химии, т. 1, 1927, с. 26—27.

[4] *Д. И. Менделеев.* Соч., т. 5, 1947, с. 63.

элементов и природы растворов, были объединены общей идеей — изучением зависимости свойств веществ и систем от их состава.

Теорию растворов Менделеева называют «химической» потому, что она рассматривает раствор как результат химического взаимодействия между растворителем и растворяемым телом. Напротив, Я. Вант-Гофф в своей физической теории растворов утверждал, что растворенное вещество попросту распыляется в объеме, занятом растворителем. Отстаивая химическую теорию, Менделеев не отвергал физический взгляд на природу растворов. В «Основах химии» он писал: «Две указанные стороны растворения и гипотезы, до сих пор приложенные к рассмотрению растворов, хотя имеют отчасти различные исходные точки, но, без всякого сомнения, со временем, по всей вероятности, приведут к общей теории растворов, потому что одни общие законы управляют как физическими, так и химическими явлениями» [1].

В 1865 г. Менделеев опубликовал свою докторскую диссертацию «О соединении спирта с водою». Эта работа была связана с требованиями спиртоводочного производства. Имея в своем распоряжении только один точный прибор — весы, Менделеев решил изучить зависимость удельных весов спирто-водных растворов от их состава. Он полагал, что химическое взаимодействие между водой и спиртом несомненно, но растворы не являются химическими соединениями в обычном смысле слова. Однако уже в то время он считал, что закон кратных отношений соблюдается и при образовании таких характерных неопределенных соединений, как растворы.

В 1887 г. при изучении системы «серная кислота — вода» Менделеев заметил «особые точки» на диаграммах «состав — свойство», отвечающие существованию определенных соединений в растворе. Затем, определяя производные ds/dp или приращение удельного веса S при возрастании процентного содержания p растворенного вещества, он обнаружил изломанность кривых, выражающих зависимость свойств системы от состава.

Большое внимание Менделеев обращал на изучение ассоциационных и диссоциационных процессов в растворах, на изучение отношения между составом и свойствами раствора — отношения, отвечающего особым точкам кривой. Именно здесь изменение свойств достигает особой резкости, выразительности, характерности. Все это привело Менделеева к выводу, что максимум изменения в свойствах, выраженный особой точкой, отвечает определенному соединению в растворе. Он писал: «Теперь мне ясно и уже несомненно, что растворы управляются обычными законами химического воздействия, что в них скрыты те же определенные соединения, которыми так сильна химия, что здесь, несмотря на кажущуюся последовательность изменения свойств, существуют свои скачки, свои разрывы сплошности» [2].

Таким образом, Менделеев развивал учение, согласно которому химизм растворов, ассоциационные и диссоциационные явления, равновесие между определенными соединениями и продуктами их диссоциации являются основными для понимания природы растворов. В результате молекулярно-кинетического движения молекул в растворе происходит то образование, то разрушение новых соединений. Диссоциацию и обменное разложение Менделеев признавал во всяком растворе.

---

[1] *Д. И. Менделеев.* Основы химии, т. 1, с. 250.
[2] *Д. И. Менделеев.* Избр. соч., т. 3, 1934, с. XIV.

Химическая теория растворов Менделеева считалась сложной и с трудом поддающейся точной количественной формулировке, поэтому она не получила общего признания.

В России и в Англии (С. Пикеринг, Г. Армстронг и др.) теория Менделеева была принята сочувственно и получила дальнейшее развитие, но в Германии к ней отнеслись с плохо скрываемой иронией. Это привело к тому, что начиная с 1887 г. учение о растворах стало развиваться в условиях острой дискуссии между сторонниками химической и физической теорий растворов.

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ

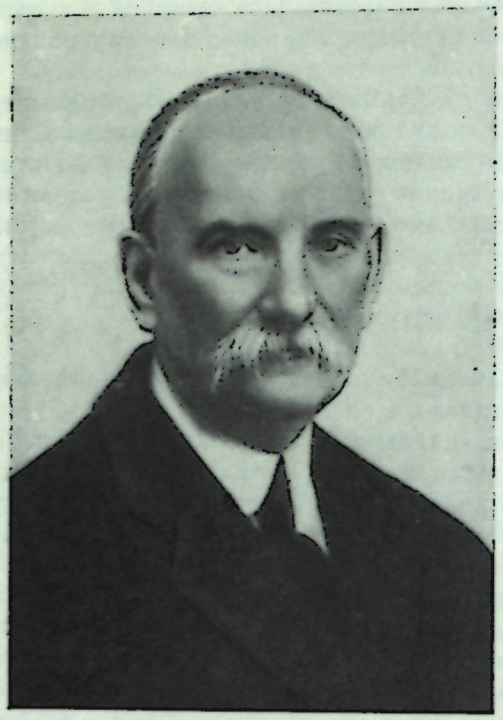
Электротехника, возникающая автомобильная и авиационная промышленность нуждались в новых металлах и сплавах особого назначения. Металлические сплавы, однако, оставались в течение долгого времени совершенно недоступными для обычных приемов препаративной химии. Возник вопрос: где и как подобрать ключи к этому интересному и важному в практическом отношении объекту? На этот вопрос долго никто не мог ответить. Выдающийся русский физико-химик Н. С. Курнаков показал, что решение этой проблемы и многих других невозможно без глубоких научных исследований природы металлических сплавов, без новых экспериментальных методов исследования, позволяющих, не разрушая объекта исследования, изучать превращения в нем при термической и механической обработке. Нужно было, следовательно, отойти от эмпиризма, долгое время господствовавшего в металлургии, и разработать теоретические основы учения о металлических сплавах как гетерогенных системах. Курнаков был одним из первых среди немногих химиков, в полной мере осознавших важность и необходимость систематических исследований в этой области.

Николай Семенович Курнаков родился 24 ноября (6 декабря) 1860 г. в г. Нолинске бывшей Вятской губернии. Среднее образование он получил в Нижегородской военной гимназии, а высшее — в Горном институте в Петербурге, который закончил в 1882 г.

Уже с первых лет своей самостоятельной научной деятельности Курнаков добивается весьма существенных результатов. В 90-е годы он выполнил важное исследование в области химии комплексных соединений. Результаты этой интересной работы были изложены в диссертации «О сложных металлических основаниях», за которую он в 1894 г. получил звание профессора по кафедре химии. В 1913 г. он был избран академиком.

Начиная с 1899 г., когда появилась работа Курнакова «О взаимных соединениях металлов», в Горном институте, а затем в Петербургском политехническом институте он сам и его многочисленные сотрудники (С. Ф. Жемчужный, Н. И. Степанов, Н. Н. Ефремов, Г. Г. Уразов и др.) в течение многих лет проводили систематические исследования различных металлических, солевых и органических систем. Эти работы привели к созданию *физико-химического анализа*, основанного на изучении равновесных систем, образованных двумя или большим числом компонентов, путем измерения свойств в зависимости от изменения состава и построения соответствующих диаграмм «состав — свойство».

Совершенствуя термический анализ, исключительно ценный метод экспериментального исследования, Курнаков создал в 1903 г. новую кон-



Н. С. Курнаков

струкцию регистрирующего пирометра для определения термических превращений в металлических системах [1]. В 1906 г. он ввел измерение электропроводности как метод изучения изменения свойств системы в зависимости от ее состава. Совместно с Жемчужным он показал, что при образовании твердых растворов двух металлов происходит понижение электропроводности. Были установлены основные типы диаграммы «состав — электропроводность» для систем двух металлов, дающих непрерывные твердые растворы. В том же году он установил, что технические сплавы высокого электрического сопротивления, имеющие широкое применение для изготовления реостатов и магазинов сопротивления, состоят из твердых растворов.

В 1908—1912 гг., расширяя работы по исследованию сплавов, Курнаков применил измерение твердости и определение давления истечения как новые методы физико-химического анализа.

В 1912 г., изучая вязкость двойных жидких систем в зависимости от состава, Курнаков нашел, что образованию определенных соединений в данных системах отвечают особые (названные им сингулярными, или дальтоновскими) точки на диаграммах «состав — свойство». Эти результаты позволили ученому сформулировать в 1914 г. общий вывод, что «химический индивид, принадлежащий определенному химическому соединению, представляет фазу, которая обладает сингулярными, или дальтоновскими, точками на линиях ее свойств»[2].

При этом состав, отвечающий этим точкам, остается постоянным при изменении факторов равновесия системы. При исследовании систем: Tl — Bi, Fe — Si, Cu — Sb, Al — Fe, Pb — Na методами физико-химического анализа обнаружены фазы переменного состава, принадлежащие, по Курнакову, к бертоллидному типу. Эти фазы не характеризовались сингулярными точками на диаграммах «состав — свойство». По Курнакову, бертоллиды — нестехиометрические соединения, представляющие собой кристаллические фазы, переменный состав которых не может быть выражен простыми целочисленными отношениями.

Курнаков придавал большое значение генетической связи между определенными и неопределенными химическими соединениями. «В равновесных системах,— говорил он,— дискретность и непрерывность взаимно сочетаются и существуют рядом друг с другом» [1].

Методы физико-химического анализа Курнаков применил к изучению самых разнообразных систем, образованных солями, металлами и органическими соединениями. Не разрушая изучаемую систему, удалось точно определить условия образования различных фаз интерметаллических соединений, гидратных форм двойных солей, найти границы их устойчивого состояния. Все это было совершенно недоступно для обычно применявшихся тогда приемов химического исследования.

Исследование солевого равновесия в системе (при 25 и 0°) $2NaCl + MgSO_4 \rightleftarrows Na_2SO_4 + MgCl_2$ позволило Курнакову в 1918 г. выяснить механизм садки глауберовой соли в заливе Кара-Богаз-Гол, что дало научную основу для промышленного освоения богатого месторождения природных солей. В 1917 г. появилась его работа «Месторождения хлористого калия соликамской соленосной толщи» [2], сыгравшая видную роль в промышленном освоении богатейших Соликамских калийных месторождений.

Курнаков совместно с учениками провел большую работу по изучению соляных озер Крыма и Поволжья, тихвинских бокситов и других ценных источников минерального сырья.

КОМПЛЕКСНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ

Успешное развитие А. М. Бутлеровым теории химического строения органических соединений, создание стереохимии (Я. Вант-Гофф, Ж. Ле Бель) и дальнейшее развитие теории валентности создали необходимые предпосылки для изучения химии комплексных соединений.

В 1870-х годах Менделеев развил представления о строении комплексных соединений, близко примыкающие к современным воззрениям об их центральном атоме. Например, комплексное соединение платины $Pt\,2X \cdot 2NH_3$ он изображал в 1889 г. следующим образом:

NH_3 X
Pt
NH_3 X.

Это была первая в истории химии комплексных соединений структурная формула без валентных штрихов.

Эти представления расчищали путь для утверждения в химии, с одной стороны, идеи центрального атома, а с другой — идеи взаимного влияния всех атомов, входящих в молекулу комплексного соединения. Интересны были и предположения Менделеева о силах комплексообразования. Как бы предвосхищая существование побочной валентности, Менделеев писал: «Те силы, которыми удерживается столь значительное число частиц аммиака при частице кобальтовых соединений, конечно, принадлежит уже к разряду тех малоисследованных еще остаточных сродств, которые существуют даже в высших степенях соединения большинства элементов; это те же самые силы, насчет которых образуются соединения с кристаллизационной водой, двойные соли и, может быть, изоморфные смеси» [3].

---

[1] *Н. С. Курнаков.* Собр. избр. работ, т. 1. Л., Химтеоретиздат, 1938, с. 171—185.
[2] *Н. С. Курнаков.* Введение в физико-химический анализ. Изд. 4-е. М.— Л., Изд-во АН СССР, 1940, с. 16.

[1] *Н. С. Курнаков.* Введение в физико-химический анализ, с. 142.
[2] *Н. С. Курнаков.* Собр. избр. работ, т. 2, 1939, с. 506—513.
[3] *Д. И. Менделеев.* Соч., т. 14, 1949, с. 313.

Большое значение для изучения изомерии комплексных соединений имела реакция *цис-* и *транс*-изомеров соединений двухвалентной платины с тиомочевиной $CS(NH_2)_2$, открытая Курнаковым в 1893 г. [1]

цис-Соединения реагируют с 4 частицами тиомочевины следующим образом:

$$Cl{-}Pt(NH_3){-}NH_3 + 4CS(NH_2)_2 \rightarrow [Pt\cdot 4CS(NH_2)_2]Cl_2 + 2NH_3.$$

транс-Изомеры, реагируя с тиомочевиной, дают комплексное соединение с двумя частицами тиомочевины во внутренней сфере:

$$H_3N{-}Pt(Cl){-}NH_3 + 2CS(NH_2)_2 \rightarrow \left[H_3N{-}Pt(CS(NH_2)_2){-}NH_3\right]Cl_2.$$

Таким образом, Курнаков установил, что *цис*-соединения обменивают все внутрисферные заместители на тиомочевину, а в *транс*-соединениях тиомочевина, не затрагивая аминных групп, замещает лишь кислотные остатки. В настоящее время реакция Курнакова широко используется химиками, исследующими геометрическую изомерию соединений двухвалентной платины, как необходимая контрольная реакция на *цис-* и *транс*-изомеры.

В 1893 г. швейцарский химик А. Вернер выдвинул новые представления, которые легли в основу ныне широкоизвестной координационной теории. Последователем координационной теории в России был Л. А. Чугаев, профессор неорганической химии Петербургского университета, много сделавший для развития этой теории. Работы Чугаева и его учеников проводились в двух направлениях: 1) синтез комплексных соединений меди, никеля, серебра, кобальта и платиновых металлов, выявление общих закономерностей химического поведения комплексов в зависимости от их строения; 2) изучение химии каждого отдельного металла платиновой группы для выявления его индивидуальных свойств и специфических реакций, которые можно использовать для разделения и очистки металлов.

Первоначальными объектами исследования Чугаева в области комплексных соединений были соединения Cu, Ni и Ag с органическими имидами, а также соединения Ni, Cu, Fe, Co, Pt, Pd с α-диоксимами, с которыми эти металлы образуют прочные внутренние комплексы.

В 1906 г. Чугаев установил, что наиболее устойчивые комплексные соединения содержат во внутренней сфере пяти- или шестичленные циклы. При этом он пришел к выводу, что «образование циклически построенных комплексных соединений зависит от стереохимической конфигурации компонентов» (1908) [2]. Он установил также строение изомерных соединений двухвалентной платины с органическими сульфидами и изонитрилами, исследовал изомерию комплексных соединений платины с нитрилами, гидразином, гидроксиламином. В 1915 г. он синтезировал предсказанное

[1] *Н. С. Курнаков.* Собр. избр. работ, т. 1, с. 7.
[2] *Л. А. Чугаев.* Избр. труды, т. I. М., Изд-во АН СССР, 1954, с. 131.

теорией Вернера аммиачное соединение платины (IV) — пентамминхлорид $[Pt(NH_3)_5\cdot Cl]Cl_3$ («соль Чугаева»).

Чугаев положил начало новому направлению в аналитической химии, основанному на применении органических реагентов. В 1905 г. он показал [1], что α-диоксимы, отвечающие общей формуле:

$$R{-}C(NOH){-}C(NOH){-}R,$$

обладают способностью вступать во взаимодействие с металлами восьмой группы периодической системы: Fe, Ni и Co, образуя соединения, отличающиеся необычайной устойчивостью и характерным цветом. Так, диметилглиоксим

$$CH_3{-}C(NOH){-}C(NOH){-}CH_3,$$



Л. А. Чугаев

взаимодействуя с никелем, образует весьма характерное и устойчивое комплексное соединение глиоксимин, содержащее на один атом металла две молекулы диоксима. Открытая Чугаевым реакция на никель по своей чувствительности не имеет себе равных.

В 1916—1920 гг. Чугаев открыл новые чувствительные реакции на иридий (с малахитовой зеленью), платину (с различными диоксимами) и осмий (с тиомочевиной), из которых последняя отличалась большой специфичностью.

Работы Чугаева показали ценные свойства внутрикомплексных соединений, образующихся при взаимодействии органических реактивов и ионов металла. Многие из этих соединений, обладая важными с аналитической точки зрения свойствами — яркой окраской, ничтожной растворимостью в воде, хорошей растворимостью в органических растворителях и т. д., широко используются в современной аналитической химии.

Исследования Чугаева и его учеников в области комплексных соединений позволили решить многие задачи разделения и получения платиновых металлов в чистом состоянии, что имело первостепенное значение для развития платиновой промышленности.

[1] *L. Tschugaeff.* Über ein neues empfindliches Reagens auf Nickel.— «Ber. Deut. Chem. Ges.», 1905, Jg. 38, S. 2520—2522.

ФИЗИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

Вторая половина XIX и начало XX в. были ознаменованы быстрым развитием физической химии. Проникновение в область химии физических методов исследования веществ и их превращений, особенно интенсивно начавшееся в 80-е годы XIX в., оказало глубокое воздействие на химическое мышление. Развитие физической химии потребовало от химиков знания математики и физики. Во второй половине XIX в. синтез нового вещества и его анализ уже не удовлетворяли полностью химиков; Р. Бунзен говорил, например, что химик, который не есть также физик, есть ничто. Менделеев в 1860 г. заявлял, что главный предмет его занятий есть физическая химия.

В 1860 г. Н. Н. Бекетов начал читать в Харьковском университете курс «Отношение физических и химических явлений между собой». В 1865 г. Бекетов приступил к чтению полного курса физической химии. По его инициативе в 1872 г. при Харьковском университете было организовано общество опытных наук с физико-химической секцией, где проводились физико-химические исследования и читались научные доклады.

В развитии физической химии исключительно важную роль сыграли работы, посвященные изучению природы растворов.

Одним из наиболее ярких последователей учения Менделеева о растворах был Д. П. Коновалов — профессор Петербургского университета, впоследствии, с 1923 г., действительный член Академии наук СССР, труды которого сыграли большую роль в изучении физико-химических свойств растворов и давления их паров. До работ Коновалова наука располагала лишь отрывочными сведениями о давлении пара жидкостных систем (В. Реньо, Г. Роско). Коновалов определил условия перегонки смеси жидкостей в зависимости от вида кривых для упругости пара смесей. В 1884 г. он установил [1], что пар по сравнению с раствором содержит избыток того компонента, прибавление которого к раствору вызывает повышение общей упругости пара последнего. В местах, соответствующих максимуму или минимуму кривой упругости пара как функции процентного состава жидкости, пар имеет тот же состав, что и жидкость. Эти законы вошли в химическую литературу как «законы Коновалова». Они нашли подтверждение в последующих работах П. Дюгема, М. Маргулеса, М. Планка и Г. Ван-дер-Ваальса.

Работа Коновалова «Об упругости пара растворов» заложила научные основы теории перегонки растворов, что дало возможность правильно и рационально поставить производственные процессы, связанные с перегонкой растворов.

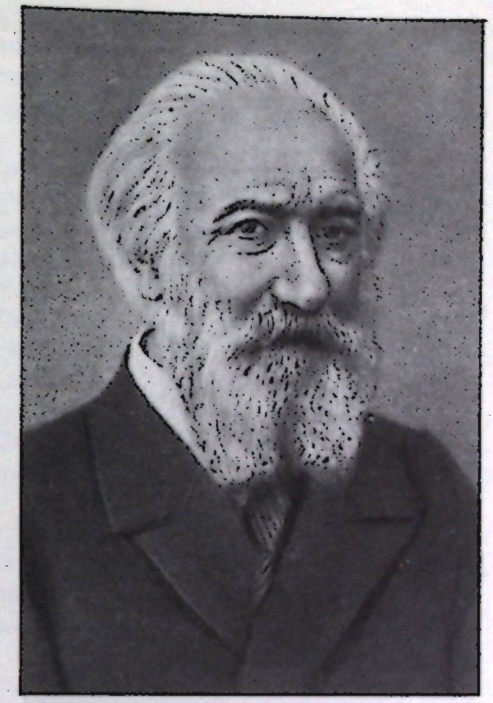
В 1890 г. Коновалов дал общее термодинамическое определение осмотического давления: условием осмотического равновесия является «равенство упругостей пара по обе стороны перепонки». Это определение лежит в основе вычисления величин осмотического давления в современной термодинамике. В 1890—1898 гг. он впервые применил метод электропроводности для изучения взаимодействия компонентов в двойных

[1] *D. P. Konovalov.* Über die Dampfspannungen der Flüssigkeitsgemische. Inauguraldissertation. Leipzig, 1881. См. также: *Д. П. Коновалов.* Об упругости пара растворов. СПб., 1884 (изд. 3-е. Л., 1928).

жидкостных системах. Он открыл особый класс электролитов, так называемых сольвоэлектролитов (например, анилин и уксусная кислота).

Коновалов воспитал большую школу русских физико-химиков, в которую входили М. С. Вревский, Е. В. Бирон и др.

Вревский, профессор Петербургского, а впоследствии Ленинградского университета, применил для изучения растворов разработанные в 80—90-х годах термодинамические методы исследования равновесных химических систем. Он вывел общие законы, управляющие изменением состава пара растворов при изменении температуры, а также разработал удобные и точные методы измерения теплоты испарения, образования и разбавления растворов [1].



Н. Н. Бекетов

Наряду с работами Коновалова исследования Вревского создали основу для разработки теории фракционной перегонки, имеющей большое значение для многих отраслей промышленности.

Сторонниками физико-механических и химико-физических представлений о природе растворов были профессора В. Ф. Алексеев и И. Ф. Шредер (Петербургский горный институт).

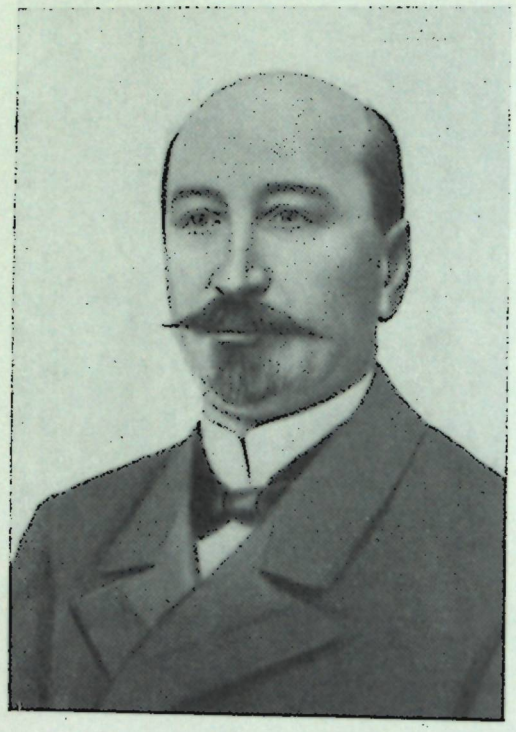
В 1879 г. Алексеев предложил оптический метод определения растворимости, основанный на измерении температуры при появлении или исчезновении мути в жидкой двойной системе. Этот метод получил сейчас широкое распространение. В 1885 г. он открыл правило так называемого прямолинейного диаметра, применяемое для точного определения графическим путем критической температуры взаимной растворимости. Он также ввел понятие критической температуры растворения, которое устанавливало аналогию между процессами перехода жидкости в пар и взаимной растворимости двух жидкостей.

Шредер первым дал термодинамически выведенное уравнение, которое устанавливало зависимость между величинами температур и теплотой плавления твердых тел и их растворимостью в жидкостях (1890).

Важным событием в истории развития учения о растворах в России была докторская диссертация И. А. Каблукова «Современные теории растворов (Вант-Гоффа и Аррениуса) в связи с учениями о химическом равновесии» (1891).

После работ С. Аррениуса, Я. Вант-Гоффа, В. Оствальда наблюдалось сильное увлечение изучением водных (и притом сильноразбавлен-

[1] *М. С. Вревский.* Работы по теории растворов. М.—Л., Изд-во АН СССР, 1953.



Д. П. Коновалов

ных) растворов, что не могло не привести к одностороннему развитию учения о растворах. В 80—90-х годах считалось почти общепризнанным, что растворы электролитов в неводных растворителях не обладают сколько-нибудь значительной электролитической проводимостью, так как они в этих растворителях не диссоциированы. Об этом не раз говорили Аррениус, Оствальд и другие физикохимики.

Для дальнейшего развития учения о растворах важно было знать, можно ли распространить на область неводных растворов те закономерности, которые были найдены при изучении водных растворов. При этом на первый план выступало изучение влияния неводных растворителей на процесс диссоциации электролитов.

Заинтересовавшись тем, как влияет природа растворителя на свойства кислот, Каблуков исследовал электропроводность HCl в различных растворителях (бензол, ксилол, гексан, эфир, изобутиловый и амиловый спирты). Он нашел, что электропроводность раствора HCl в эфире приблизительно в 5 раз больше электропроводности раствора HCl в ксилоле. Электропроводность раствора HCl в бензоле еще меньше. Определяя молекулярную электропроводность растворов HCl в эфире, Каблуков установил, что она очень незначительна и уменьшается с разведением. «Явление неожиданное,— писал Каблуков,—так как для большинства водных растворов наблюдается обратное. Подобное уменьшение молекулярной электропроводности показывают также растворы HCl в изоамиловом спирте»[1].

Полученные экспериментальные данные шли вразрез с положением, установленным Ф. Кольраушем, С. Аррениусом, В. Оствальдом, о том, что молекулярная электропроводность увеличивается с разведением растворов. Каблуков, таким образом, впервые обнаружил явление аномальной электропроводности в неводных растворах.

Открытие аномальной электропроводности показало, что чисто физическая трактовка растворов недостаточна и что своеобразное химическое взаимодействие между растворенным веществом и растворителем, существование которого подчеркивал Менделеев, накладывает яркий отпечаток на физико-химические свойства растворов. По мнению Каблукова, при растворении электролита в воде частицы ее как бы вторгаются внутрь частиц электролита и расшатывают связь между атомами; разлагая молекулы растворенного вещества, вода образует с ионами непрочные соединения, находящиеся в состоянии диссоциации.

[1] *I. Kablukoff.* Über die elektrische Leitfähigkeit von Chlorwasserstoff in verschiedenen Lösungsmitteln.— «Zeit. phys. Chem.», 1889, Bd. 4, S. 429—434.

После работ И. А. Каблукова, В. А. Кистяковского[1], Л. В. Писаржевского идея гидратации и сольватации ионов получила дальнейшее развитие в работах П. И. Вальдена. С 1900 г. появляется серия работ Вальдена[2], изучившего поведение таких растворителей, как $POCl_3$, $AsCl_3$, SO_2, SO_2Cl и др. Он показал, что эти растворители вызывают диссоциацию растворенного вещества и проводят ток. Изучив электропроводность в различных органических растворителях, Вальден показал, что электролитами являются не только соли, кислоты и основания, но и такие вещества, как сера, галоиды, фосфор, мышьяк, пиридин и др.

На основе изучения неводных растворов В. А. Плотников и А. Н. Саханов развили учение о комплексах, проводящих ток. Они указали на большую связь электропроводности неводных растворов с явлением комплексообразования и сольватации.

Исследования неводных растворов дали возможность расширить представления о том, в какой мере физические и химические свойства растворителя влияют на поведение растворенного вещества, что было невозможно при изучении одних только водных растворов. Результаты исследования неводных растворов позволили найти новые закономерности, которые в значительной мере исправляли и дополняли теорию электролитической диссоциации Аррениуса. Была установлена возможность использовать неводные растворы, в том числе и расплавленные системы, для электролитического выделения различных металлов и разработаны электрохимические методы получения органических соединений.

Изучение неводных растворов вновь усилило интерес к концентрированным растворам, к химической стороне процессов растворения, к гидратации, сольватации и ассоциации в растворах, что дало возможность перебросить мост между химической теорией растворов Менделеева и теорией электролитической диссоциации Аррениуса.

ХИМИЧЕСКАЯ КИНЕТИКА

В конце XIX — начале XX в. стало ясно, что дальнейшее развитие некоторых химико-технологических процессов и их усовершенствование невозможно без теоретических расчетов химических реакций, без учения о равновесии и без изучения скорости и механизма химических реакций. В конце XIX в. во многих странах возникает крупная машинизированная химическая промышленность. Этот переход был связан с внедрением в промышленность новых соединений, реакций и т. д. Когда производство того или иного химического продукта стало достигать значительных масштабов, становилось особенно важным изучение таких вопросов, как скорость и направление химических реакций, влияние на эту скорость среды и других факторов и т.д.

[1] *W. A. Kistjäkowskij.* Die wässerigen Lösungen von Doppelsalzen.— «Zeit. phys. Chem.», 1890, Bd. 6, H. 2, S. 97—121.

[2] Эти работы обобщены в монографии: *P. Walden.* Molekulargrössen von Elektrolyten in nichtwässerigen Lösungsmitteln. Dresden und Leipzig, 1923.



Н. А. Меншуткин

Научиться управлять реакцией, получать нужные промежуточные продукты — основная задача, поставленная промышленностью перед химической кинетикой (наукой о скоростях и механизме химических реакций). В связи с этим и русские, и иностранные химики конца XIX—начала XX в. приступили к интенсивному изучению кинетики химических реакций. В первый период развития кинетики основным объектом исследования были реакции, протекающие в жидкой фазе при разных температурах.

В развитии этого направления химической науки важную роль сыграли труды отечественных ученых — Н. А. Меншуткина, А. Н. Баха, Н. А. Шилова и др.

С 1877 по 1900 г. Меншуткин, профессор Петербургского университета, опубликовал серию работ по химической кинетике. Эти работы, посвященные изучению скорости и предела реакции образования сложных эфиров из спиртов и кислот, принесли автору мировую известность. Исследования Меншуткина по химической кинетике преследовали задачу изучить влияние среды на скорость химических реакций, установить зависимость между реакционной способностью и строением и составом органических соединений. Постановка такого вопроса в то время, когда изучение проблемы химического равновесия лишь начиналось, была весьма смелой и оригинальной.

Свои многолетние исследования Меншуткин начал с изучения обратимого процесса образования сложных эфиров из спиртов и органических кислот (1877). Он впервые показал, что кинетическая характеристика спиртов (одно-, двух- и многоатомных) зависит от строения их углеродной цепи. Разработанный Меншуткиным кинетический метод определения изомерии спиртов нашел применение при установлении строения вновь синтезированных спиртов. В одной из своих статей (1881) Меншуткин привел следующий конкретный случай. Е. Е. Вагнер синтезировал спирт — этилвинилкарбинол. Требовалось определить его изомерию по положению гидроксильной группы. Формула $C_5H_{10}O$ указывала на ненасыщенный состав данного спирта. Этерификация этилвинилкарбинола дала такие коэффициенты сочетания по начальной скорости и по пределу, которые ясно показали, что это вторичный ненасыщенный спирт.

Изучая этерификацию органических (одноосновных и многоосновных) кислот, а также оксикислот (1882), Меншуткин выяснил влияние молекулярного веса спиртов и кислот, а также температуры на образование их сложных эфиров [1].



А. Н. Бах

После того как Вант-Гофф ввел понятие о константе скорости реакции и дал примеры применения ее для решения структурных вопросов (1884), Меншуткин перешел к сопоставлению строения спиртов и кислот с константами скоростей соответствующих реакций. Полученные результаты подтвердили ранее сделанные им выводы. В серии работ, предпринятых начиная с 1887 г., Меншуткин исследовал влияние растворителей на скорость реакции. Определяя скорость реакции соединения триэтиламина с йодистым этилом

$$N(C_2H_5)_3 + C_2H_5J \rightarrow [N(C_2H_5)_4]J$$

в 23 различных растворителях, он нашел, что эта реакция в бензиловом спирте протекает в 742 раза быстрее, чем в гексане [2]. Меншуткин таким образом впервые доказал огромное влияние среды на скорость реакции. Это открытие принадлежит к наиболее замечательным достижениям в области химической кинетики.

Изучая количественные зависимости между реакционной способностью органических соединений и их строением, Меншуткин нашел, что любое разветвление цепи влечет за собой понижение величины константы скорости; заместитель в *орто*-положении вызывает понижение скорости, а в *мета*- и *пара*-положении — возрастание скорости; на скорость этерификации алифатических кислот и спиртов отрицательное влияние оказывает накопление метильных групп в α-положении. Меншуткин установил кинетический эффект замыкания цепи: в результате замыкания открытой цепи скорость этерификации почти удваивается.

За работы по химической кинетике Петербургская академия наук присудила Меншуткину в 1904 г. Ломоносовскую премию.

В 90-х годах А. Н. Бах создал перекисную теорию медленного окисления. В 1893 г. он выступил со своим первым сообщением о химическом механизме ассимиляции углекислоты хлорофильными растениями [3]. В то время пользовалась большой популярностью теория А. Байера, по которой первичным продуктом восстановления углекислоты в зеленых растениях

---

[1] *Н. А. Меншуткин.* О скоростях образования уксусных эфиров одноатомных спиртов.—«Журнал Русск. физико-хим. об-ва» (ЖРФХО), 1887, т. 19, вып. 9, с. 623—643.

[2] *Н. А. Меншуткин.* О влиянии химически недеятельной жидкой среды на скорость соединения триэтиламина с иодгидринами.— ЖРФХО, 1890, т. 22, вып. 5, с. 393—409.

[3] *A. Bach.* Sur le mécanisme de la décomposition de l'acide carbonique sous l'influence des rayons solaires.— «Comptes rendus», 1893, v. 116, p. 1145—1148.

является формальдегид, превращающийся затем в сахар. Но эта теория не давала удовлетворительного объяснения механизма выделения кислорода в процессе фотосинтеза. По Баху, фотосинтез — это сложный сопряженный окислительно-восстановительный процесс, в котором особую роль играют перекиси, образующиеся в процессе фотосинтеза [1].

Согласно Баху, питательные вещества (углеводы, белки, жиры и др.) легко и быстро окисляются в организме в процессе диссимиляции кислородом воздуха до углекислоты и воды. Этот процесс сводится к следующему. Молекулярный кислород поступает в организм, и в результате взаимодействия с окисляемым веществом происходит разрыв одной связи в молекуле кислорода

$$O=O \rightarrow -O-O-.$$

Активированный кислород при соприкосновении с окисляемым веществом образует перекись:

$$2R + O_2 \rightarrow R-O-O-R, \text{ или } R'' + O_2 = R\begin{matrix}\diagup O \\ \diagdown O\end{matrix}.$$

Таким образом, процесс медленного окисления сопровождается образованием перекисей в результате присоединения молекулярного кислорода к окисляемому телу. (По современным данным, активирование кислорода при биологическом окислении происходит с участием цитохромов — агентов каталитического переноса электронов.) Свою перекисную теорию Бах обосновал многочисленными экспериментальными исследованиями, которые показали, что при различных процессах окисления почти все вещества образуют перекиси. Руководствуясь перекисной теорией, ученый объяснил природу и механизм действия окислительных ферментов. Перекисная теория Баха нашла свое дальнейшее развитие в современной цепной теории окисления, которая отводит перекисям важную роль в развитии реакции. Значение работ Баха для развития теории химической кинетики заключается также в том, что его перекисная теория впервые поставила вопрос об образовании промежуточных продуктов как об общем принципе протекания химических реакций. Этот принцип, ставший сейчас общепринятым, играет огромную роль в учении о цепных реакциях, где промежуточными соединениями являются свободные атомы и радикалы.

Химическое направление в изучении кинетики и выяснение роли промежуточных соединений получило развитие в работах Н. А. Шилова — профессора кафедры неорганической химии Московского высшего технического училища и одновременно (с 1911 г.) профессора Московского коммерческого института. Еще до его работ были известны так называемые индуктивные реакции, скорость которых вначале незначительна, затем возрастает, достигая при этом определенной величины, а потом падает до нуля. Исследуя в 1898—1914 гг. «сопряженные» реакции окисления с целью изучения механизма протекания химических реакций, Шилов обратил внимание на образование промежуточных продуктов в процессе реакции [2]. В работе «О сопряженных реакциях окисления» (1905) Шилов

[1] *A. Bach.* Recherches sur le mécanisme chemique de l'assimilation de l'acide carbonique par les plantes à chlorophylle.— Mon. Sci., 1893, v. 7(4), p. 669.
[2] *N. Schilow, R. Luther.* Zur Systematik und Theorie gekoppelter Oxydations-Reduktions-Vorgänge.— «Zeit. phys. Chem.», 1903, Bd. 46, S. 777.

подробно изучил механизм сопряженных реакций. Он впервые систематизировал большой экспериментальный материал по сопряженным реакциям окисления, дал ряд теоретических обобщений и разработал терминологию процессов и участвующих в них компонентов (химическая индукция, фактор индукции, актор, индуктор, акцептор). Эти термины стали впоследствии общепринятыми в химической литературе.



Н. А. Шилов

Особое внимание Шилов уделял изучению явления самоиндукции, а также явлений, переходных между индукцией и катализом. Исследования показали центральную роль промежуточных продуктов в кинетике сопряженных реакций окисления.

Согласно Шилову, в сопряженных процессах одна реакция может воздействовать на другую только вследствие образования промежуточного соединения, обладающего повышенной по сравнению с исходными веществами химической активностью. «Сопряжение реакций возможно лишь в том случае,— писал Шилов,— когда существует промежуточное вещество, которое служит связующим звеном первичного и вторичного процессов и обусловливает их общее течение... Этим выводом определяется важная задача при изучении химической индукции: определение природы промежуточного вещества, благодаря которому один процесс зависит в своем течении от другого... При индуктивных процессах возможно ожидать промежуточного образования более сильных окислительных или восстановительных агентов, чем исходные вещества» [1].

На основе изучения природы промежуточных продуктов Шилов разработал классификацию сопряженных реакций (затухающие, стационарные, самоускоренные). Он исследовал случаи перехода индукции к катализу и механизм явления самоиндукции, имеющей цепной характер. Шилов четко разграничивал индуктор и катализатор, отмечая, что индуктор как ускоритель процесса в отличие от катализатора «образуется во время самого процесса» [2]. Он рассматривал явления самоиндукции, протекающие с нарастающей скоростью, как «изотермические взрывы». В протекающие с нарастающей скоростью, как «изотермические взрывы». В процессе такой реакции, по мнению Шилова, происходит «вовлечение в реакцию тех промежуточных продуктов, которые по своей неустойчивости или малой концентрации в большинстве случаев не могут быть выделены в

[1] *Н. А. Шилов.* О сопряженных реакциях окисления. М., 1905, с. 7—11.
[2] Там же, с. 13.

свободном состоянии. Заставляя эти продукты входить во взаимодействие с посторонними веществами, мы получаем представление о их составе и свойствах и об истинном ходе химической реакции. Поэтому исследование сопряженных реакций можно применить как метод изучения природы и состояния веществ в интимный момент химических превращений» [1].

КАТАЛИЗ

В конце XIX в. многие физикохимики посвятили свои работы изучению явлений катализа. Исследовалось влияние среды и поверхности катализаторов, изучались промежуточные продукты химической реакции. Было установлено, что большинство химических реакций, совершающихся в природе и в лабораторных условиях, протекает не моментально, а в течение некоторого промежутка времени. Выяснилось, что скорость химических реакций зависит от многих факторов: от природы реагирующих веществ и их концентрации, от посторонних веществ (катализаторов) и физических условий (температуры, света, давления и т. п.).

Для объяснения каталитических явлений были выдвинуты различные теории, в которых обращалось большое внимание на роль промежуточных продуктов, на роль среды, поверхностного натяжения и т. д. Распространением пользовалась так называемая теория колебаний, сторонниками которой были Либих, Зинин, Менделеев и др.

Ученик Менделеева Коновалов положил начало работам по физико-химической теории катализатора [2]. В 1885 г. он впервые ввел понятие активной поверхности, сыгравшее важную роль в развитии теории гетерогенного катализа. Изучая образование и разложение сложных эфиров в жидкой фазе, Коновалов вывел формулу скорости автокаталитических реакций:

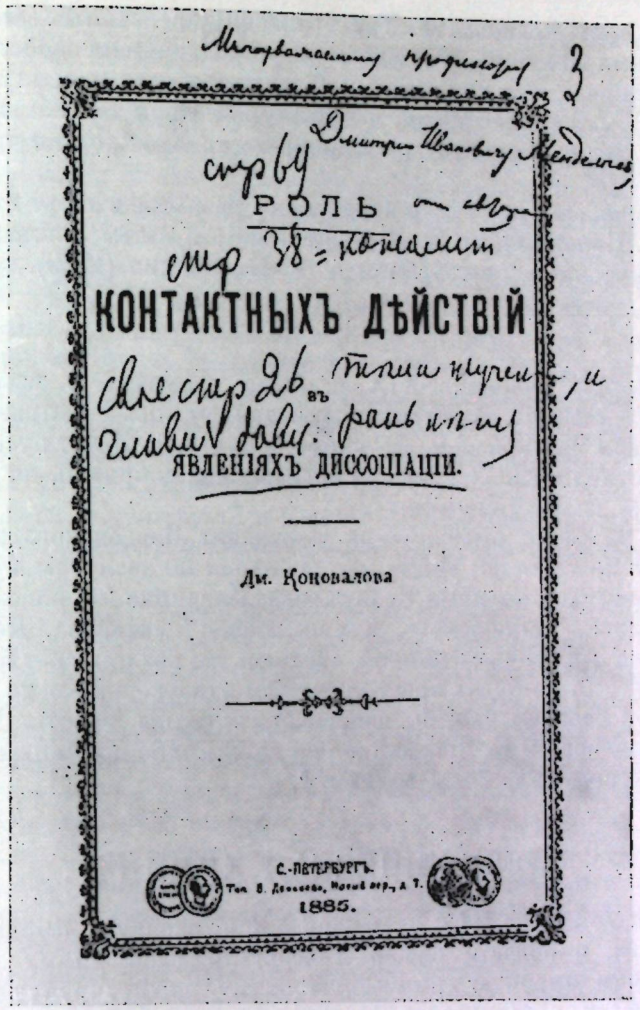
$$dx/dt = K\,(1 - x)\,(x - x_0),$$

где x — относительное количество разложившегося эфира, x_0 — начальная концентрация уксусной кислоты. Аналогичную формулу вывел Оствальд (1888) для реакции омыления уксуснометилового эфира. Формула Оствальда — Коновалова, выражающая основной закон автокатализа, прочно вошла в литературу по химической кинетике.

Гетерогенный катализ, по Коновалову, обусловлен изменением характера движения молекул и атомов при соприкосновении катализируемых веществ с катализатором. В результате взаимодействия молекул реагирующих веществ и поверхности катализатора ослабляются химические связи и происходит химическая реакция. Контактные действия охватывают случаи возбуждения химического превращения при соприкосновении с телами, не принимающими участия в самом химическом процессе. Катализатор — это ускоритель термодинамически возможных процессов, принимающий участие в цикле химических превращений. Эти представления Коновалов изложил в своей докторской диссертации «Роль контактных действий в явлениях диссоциации» (1885). Согласно Коновалову, разлагающее действие твердого вещества определяется как его природой, так и его состоянием. Некоторые вещества могут существовать как в деятельном, так и недеятельном состоянии. Одним из главных факторов, определяющих каталитические способности твердых тел, является, следовательно, физическое состояние вещества — прежде всего пересыщение его поверхности, определяемое избытком свободной энергии.

Эти взгляды Коновалова на роль активной поверхности катализатора, обусловленной ее избыточной энергией, получили высокую оценку Менделеева, который в «Заметке о влиянии прикосновения на ход химических превращений» (1886) развил идею о поверхностной активности вещества. Менделеев писал: «Если на свободной поверхности, ограничивающей тело, движения, как частичные (т.е. молекулярные.— *Авт.*), так и атомные, должны быть иными, чем внутри массы однородного вещества, то должны быть опять иными внутренние движения тел на месте встречи двух тел,

[1] *И. А. Шилов.* О сопряженных реакциях окисления, с. 303—304.
[2] *Д. П. Коновалов.* Роль контактных действий в явлениях диссоциации. СПб., 1885; *Д. П. Коновалов.* О разложении уксусного эфира третичного амилового спирта в жидком состоянии.— ЖРФХО, 1886, т. 18, с. 346—350.


Многоуважаемому профессору
Дмитрию Ивановичу Менделееву
РОЛЬ
КОНТАКТНЫХЪ ДѢЙСТВІЙ
ЯВЛЕНІЯХЪ ДИССОЦІАЦІИ.
Дм. Коновалова
С.-ПЕТЕРБУРГЪ.
1885.

Титульный лист докторской диссертации Д. П. Коновалова с дарственной надписью Д. И. Менделееву. 1885 г.

в точках их соприкосновения. Тут произойдут действительные пертурбации, уклонения в движении и притом иного рода, чем на свободной поверхности. На ней различия движения определяются влиянием частиц и атомов одного рода с поверхностными, а при встрече двух тел изменения на их поверхности будут определяться влиянием как своих, так и чужих атомов и частиц» [1].

Идеи Менделеева получили дальнейшее развитие в теории деформации молекул (М. Боденштейн, Н. Д. Зелинский), а затем воплотились в модели промежуточной хемосорбции А. А. Баландина (1929).

*

Итак, вторая половина XIX в. была отмечена в истории химии в России крупнейшими открытиями и созданием новых направлений в химии. По словам Тимирязева, «за какие-нибудь 10—15 лет русские химики не только догнали своих старших европейских собратий, но порою даже выступали во главе движения» [2].

В одном из своих выступлений президент Лондонского химического общества Уинни говорил: «Если мы, оценивая по заслугам музыкальную школу, связанную с именами Балакирева, Бородина (он же химик), Римского-Корсакова, Чайковского, или писателей Тургенева, Достоевского, Льва Толстого и их современников, считаем, что без них свет был бы неизмеримо беднее, то не будет преувеличением утверждение, что рост химии не в меньшей степени был бы задержан, если бы работы Менделеева, Бутлерова, Вагнера и их преемников по каким-либо причинам были изъяты из общей сокровищницы знаний» [3].

ОРГАНИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

Во второй половине XIX — начале XX в. наряду с фундаментальными открытиями в области общей и неорганической химии русские химики обогатили мировую химическую науку рядом крупнейших достижений в области органической химии, и прежде всего всеобъемлющей теорией строения органических соединений. Заслуга в ее создании и развитии принадлежит, главным образом, А. М. Бутлерову и его школе. Эта теория впервые позволила связать свойства соединений с их структурой, осуществить направленные синтезы — сначала в лаборатории, затем в промышленности. Большой вклад сделали русские химики и в разработку методов органического синтеза.

ОРГАНИЧЕСКАЯ ХИМИЯ
в середине XIX века

В конце 50-х годов XIX в. интенсивное накопление фактического материала настоятельно требовало создания единой теории органических соединений. В это время господствующее положение в органической химии

[1] *Д. И. Менделеев.* Соч., т. 15, 1949, с. 346.
[2] *К. А. Тимирязев.* Соч., т. VIII. М., Сельхозгиз, 1939, с. 154.
[3] *У. П. Уинни.* О значении работ русских химиков для мировой химии. Л., Химтехиздат, 1924, с. 7—8.

занимала теория типов, сформулированная Ш. Жераром. Все органические соединения сопоставлялись по реакционной способности с несколькими прототипами, в качестве которых Жерар предложил неорганические соединения: H_2, HCl, H_2O и NH_3. Многие химики предпочитали в основу систематики органических соединений и для объяснения их реакций брать не минеральные, а углеродистые типы (М. Бертло, Г. Кольбе), другие пользовались смешанными системами. Такой системы придерживался Бутлеров в своем курсе органической химии в 1859—1860 гг., хотя явное предпочтение отдавал в этот период все же углеродистым типам. При помощи таких аналогий химикам удавалось систематизировать большое число органических соединений и даже предсказать существование новых.

Однако теория типов оставляла в стороне внутреннее строение молекул. Недостатком ее было и то, что полизамещенные органические соединения можно было сопоставлять лишь с несколькими одинаковыми или разными типами. Вместе с усложнением типов увеличивался и произвол в их использовании, первоначальная ясность теории была утрачена. Теория типов оказалась беспомощной и в истолковании реакций присоединения, и в объяснении многочисленных случаев изомерии органических соединений.

С другой стороны, теории типов нельзя отказать и в несомненных достоинствах. Так, сопоставление типов между собой привело к количественной оценке химического сродства — к понятию о валентности, или, как тогда говорили, атомности, элементов. Другим достоинством теории типов было то, что ее представители обратили внимание на «химическое значение» (реакционную способность) групп и гетероатомов, входящих в органические соединения, и даже на разное химическое значение водорода. В развитии этой стороны теории активное участие принимали Н. Н. Бекетов, Н. Н. Зинин, А. Н. Энгельгардт, Н. Н. Соколов. Их работы, несомненно, подготовили почву для возникновения теории химического строения в России, а многие термины этой теории были заимствованы из русской химической литературы 40—50-х годов.

Определяющими для развития теории органической химии явились работы А. Кекуле и А. С. Купера (1858). Пытаясь объяснить большую сложность органических соединений по сравнению с неорганическими, Кекуле высказывает плодотворную мысль о четырехатомности углерода и о способности углеродных атомов соединяться цепеобразно посредством двух единиц сродства. Одновременно и независимо от него к этой же идее пришел Купер. Его попытка изобразить распределение связей в органических молекулах была основана лишь на представлении о валентности элементов без учета их химических свойств. Поэтому наряду с удачными формулами, подтвержденными впоследствии, Купер вывел ряд совершенно неверных.

Несмотря на серьезные достижения теоретической химии на Западе, существовал ряд причин, препятствовавших ее дальнейшему развитию. Из них в первую очередь надо назвать присущее некоторым видным химикам позитивистское неверие в возможность науки познать внутреннее строение молекул (Кольбе, Бертло), по крайней мере методами химии (Жерар, Кекуле), или же спекулятивность теоретических построений (Купер). Наконец, чрезмерная приверженность к устаревшим взглядам также мешала созданию новых широких обобщений в области органической химии. Решить такую задачу мог ученый не только выдающегося таланта,

но и свободный от всех этих недостатков. Честь создания новой теории, оказавшей революционизирующее влияние на все дальнейшее развитие органической химии, выпала на долю Бутлерова.

БУТЛЕРОВ И ТЕОРИЯ ХИМИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ

Александр Михайлович Бутлеров родился 28 августа 1828 г. в г. Чистополе Казанской губ., в семье отставного офицера. Детство он провел в деревне, а среднее образование получил в казанской гимназии, откуда поступил на физико-математическое отделение Казанского университета. Вначале интересы Бутлерова были сосредоточены в области энтомологии, но затем под влиянием профессоров К. К. Клауса и Н. Н. Зинина он горячо увлекся химией. После окончания курса в 1849 г. Бутлеров был оставлен при университете и вскоре приступил к преподаванию химии, сначала в качестве помощника Клауса (Зинин еще в 1847 г. перешел в Петербургскую медико-хирургическую академию), а с 1852 г. в связи с переездом Клауса в Дерпт он стал единственным преподавателем и руководителем кафедры химии.

В 1851 г. Бутлеров защитил в Казанском университете магистерскую диссертацию «Об окислении органических соединений», а в 1854 г. в Московском университете — докторскую диссертацию на тему «Об эфирных маслах». Обе они свидетельствуют о том, что молодой преподаватель еще не приобрел самостоятельных научных взглядов и, подобно своему учителю Клаусу, придерживался устаревшей к тому времени теории радикалов.

Однако уже в середине 50-х годов Бутлеров принимается за изучение новых, прогрессивных для того времени взглядов О. Лорана и Ш. Жерара, а во время командировки 1857—1858 гг. за границу он детально ознакомился с теоретическими воззрениями западноевропейских химиков. От теории типов Жерара он переходит к теории углеродистых типов и наконец отказывается от общепринятого мнения, что только развитие теории типов может служить столбовой дорогой развития теории органической химии. Он отвергает также идею о том, что свойства молекул определяются, наряду с их составом, преимущественно «механическим» строением, т.е. относительным расположением атомов в пространстве. С 1860-х годов он сначала в университетских лекциях, а затем и перед специалистами развивает идеи теории химического строения.

В сентябре 1861 г. на съезде немецких естествоиспытателей в Шпейере Бутлеров выступил с докладом «О химическом строении веществ» «Einiges über die chemische Struktur der Körper»), в котором впервые высказал основные положения теории химического строения, а затем в ряде экспериментальных и теоретических работ дал подтверждение и дальнейшее развитие своих взглядов. В середине 60-х годов они стали общепринятыми. Большое значение для утверждения идей теории химического строения имел классический труд Бутлерова «Введение к полному изучению органической химии» (Казань, вып. 1—3, 1864—1866), в котором рассмотрены все классы органических соединений с точки зрения теории химического строения. В 1867—1868 гг. книга Бутлерова с дополнениями автора была переведена на немецкий язык (A. Butlerow. Lehrbuch der organischen Chemie zur Einführung in das specielle Studium derselben. Leipzig, 1867—1868).

Одновременно с научной деятельностью Бутлеров преподавал в Казанском университете, ректором которого он был с небольшим перерывом с 1860 по 1863 г. Бутлеров воспитал ряд выдающихся химиков, «бутлеровская школа» была одной из самых крупных в России и за рубежом. К казанским воспитанникам этой школы принадлежат В. В. Марковников, А. М. Зайцев, А. Н. Попов.

В 1868 г. Бутлеров был избран на кафедру органической химии Петербургского университета и занимал ее до 1885 г. В Петербургском университете из школы Бутлерова вышло много выдающихся ученых, в том числе М. Д. Львов (постоянный помощник Бутлерова по преподаванию в Петербургском университете), А. Е. Фаворский, В. Е. Тищенко и др. Молодые химики Ф. М. Флавицкий, Е. Е. Вагнер, И. А. Каблуков, Д. П. Коновалов и другие работали в лаборатории Бутлерова практикантами.

В 1870 г. Бутлеров был избран в Петербургскую академию наук. Академическая деятельность его отмечена непрерывной и смелой борьбой за процветание науки в России, против ретроградства, против влиятельной реакционной группы, стремившейся закрыть двери Академии перед выдающимися русскими учеными. Особенной остроты эта борьба достигла в 1880 г. во время выборов в Академию наук Д. И. Менделеева. Борьба Бутлерова за кандидатуру Менделеева нашла сочувствие и горячую поддержку у всего русского прогрессивного общества. Скончался А. М. Бутлеров в 1886 г.

Экспериментальные работы Бутлерова в химических лабораториях Петербургского университета и Академии наук сосредоточены были в начале 70-х годов главным образом на получении соединений, предсказанных теорией химического строения, а затем на изучении реакции полимеризации.

А. М. Бутлеров впервые ввел понятие о химическом строении молекулы, определив его как распределение (последовательность, порядок) связей в молекулах. Идея о том, что «химическая натура сложной частицы определяется натурой элементарных составных частей, количеством их и химическим строением» [1], является основополагающей в его теории.

Из этого центрального положения следует несколько других, сформулированных Бутлеровым в докладе «О химическом строении веществ» (1861) и в своей совокупности составивших теорию химического строения в ее первоначальной форме. Во-первых, химическое строение может быть определено при помощи тех реакций, которыми данное вещество получено и к которым оно способно. Бутлеров указывал, что здесь пригодны все химические реакции: синтез, разложение и двойное разложение (замещение), в особенности такие, при которых радикалы, участвующие в реакциях, остаются без изменения. Во-вторых, если химическое строение установлено и если известна зависимость реакционной способности молекул от химического строения, то все остальные химические свойства данного вещества в принципе могут быть предсказаны. Отсюда следует, что формулы химического строения могут выражать все химические свойства молекул.

Рассуждая последовательно, можно прийти также к выводу, что если вещества при одинаковом составе имеют разные свойства, то они должны различаться и по своему химическому строению. Так просто была решена

---

[1] *А. М. Бутлеров.* Соч., т. I. М., Изд-во АН СССР, 1953, с.70.



А. М. Бутлеров

проблема изомерии, которая в течение десятилетий ставила в тупик крупнейших химиков. Свои взгляды на изомерию Бутлеров развил в большой статье «Über die verschiedenen Erklärungsweisen einiger Fälle von Isomerie» («О различных способах объяснения некоторых случаев изомерии»), опубликованной на немецком языке в 1863 г. и на французском в 1864 г., и эта его точка зрения вскоре стала общепризнанной. Формулы химического строения стали прекрасным орудием для предсказания новых случаев изомерии.

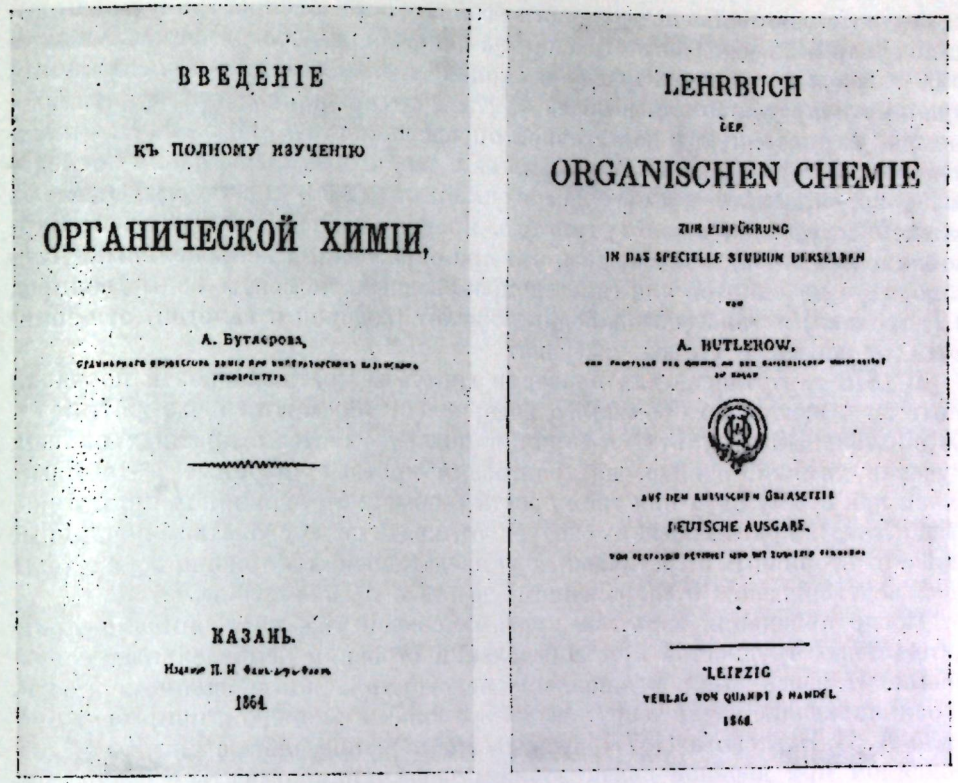
Лучшим подтверждением взглядов Бутлерова был синтез теоретически предсказанных изомеров. После получения в 1864 г. триметилкарбинола Бутлеров истолковал с точки зрения теории химического строения изомерию предельных спиртов и получил ряд ранее не известных, теоретически возможных изомеров. В 1864 г. Бутлеров предсказал возможность существования триметилметана, или изобутана, который и синтезировал в 1866 г.

В 1865 г. он предположил возможность существования изобутилена, а в 1867 г. сообщил о его получении. Такого рода работы были характерны для бутлеровской школы. Особенно важными были исследования Марковникова, впервые доказавшего (1865) предсказанную теорией изомерию масляных кислот.

К середине 60-х годов теория химического строения в своих важнейших выводах была подтверждена экспериментально. Было доказано, что она представляет безграничные возможности для целенаправленного органического синтеза. Во «Введении к полному изучению органической химии» Бутлеров показал также, что весь огромный фактический материал, которым располагали химики-органики, может быть стройно систематизирован и изложен на основе теории строения. С полным основанием Бутлеров писал в 1865 г.: «Принцип химического строения принят уже под тем или другим названием большинством химиков-теоретиков, и прежде всего нужно строгое и полное проведение его» [1].

После того как теория химического строения получила признание большинства химиков-органиков, ее развитие в ближайшие два-три десятилетия происходило в основном по трем направлениям: 1) распространение общих принципов на все классы органических соединений и создание частных положений, относящихся к непредельным, ароматическим и

[1] *А. М. Бутлеров.* Соч., т. I, с. 170.


ВВЕДЕНІЕ

КЪ ПОЛНОМУ ИЗУЧЕНІЮ

ОРГАНИЧЕСКОЙ ХИМІИ,

А. Бутлерова,

КАЗАНЬ.

1864.

LEHRBUCH

DER

ORGANISCHEN CHEMIE

ZUR EINFÜHRUNG

IN DAS SPECIELLE STUDIUM DERSELBEN

von

A. BUTLEROW,

DEUTSCHE AUSGABE.

LEIPZIG

VERLAG VON QUANDT & HANDEL

1864.

Титульные листы русского и немецкого изданий «Введения к полному изучению органической химии» А. М. Бутлерова

циклическим соединениям; 2) выяснение закономерностей, связывающих реакционную способность органических веществ с их строением, что привело к созданию теории взаимного влияния атомов; 3) специальное изучение случаев, противоречащих выводам из теории химического строения, и либо дальнейшее развитие отдельных положений теории, либо создание новых положений в дополнение к существующим.

СТРОЕНИЕ РАЗЛИЧНЫХ КЛАССОВ ОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ

Химическое строение большинства предельных соединений было установлено уже в 60-х годах. Для выяснения строения углеводородов и спиртов имели решающее значение исследования самого Бутлерова. Строение кислот и оксикислот было разъяснено Марковниковым. После этого не встретило принципиальных затруднений установление строения и других классов предельных соединений, хотя химики и столкнулись здесь с невозможностью получить некоторые предсказанные теорией изомеры. Так, еще до создания теории химического строения Бутлеров показал, что получение метиленгликоля невозможно. Последующие попытки синтезировать соединения с двумя гидроксильными группами при одном и том же углеродном атоме также не увенчались успехом.

Значительно большие трудности возникли при распространении принципов теории химического строения на непредельные соединения. Химики 1860-х годов колебались между несколькими гипотезами, объясняющими причину непредельности. Многие факты подтверждали гипотезу кратных связей, высказанную с достаточной определенностью в 1865 г. Э. Эрленмейером, который, однако, проводил ее в своих работах не очень последовательно, прибегая к формулам с двухвалентным углеродом. Один из важнейших доводов в пользу гипотезы кратных связей был приведен Марковниковым (1869), показавшим, что при образовании непредельных углеводородов из спиртов или галогенопроизводных элементы воды (водород и гидроксил) и галогеноводородных кислот (водород и галоген) отщепляются от соседних атомов углерода.

В 1870 г. Бутлеров для проверки гипотезы кратных связей поставил опыт по отщеплению бромистого водорода от «бромистого изокротила»[1]. Отрицательный результат говорил в пользу гипотезы кратных связей. Русские химики, однако, не трактовали кратные (двойные и тройные) связи как сумму двух или трех простых связей. Марковников прямо указывал, что в кратных связях следует отличать по их свойствам первичные связи от вторичных и третичных. Эти представления Марковникова нашли свое подтверждение в современном учении о σ- и π-связях.

После признания гипотезы кратных связей уже не возникало принципиальных трудностей при определении строения непредельных соединений. И здесь были установлены некоторые важные закономерности, ограничивающие число теоретически возможных изомеров, например правило А. П. Эльтекова (1877), гласящее, что непредельные спирты с гидроксилом при двойной связи должны перегруппировываться в соответствующие альдегиды и кетоны.

Теория строения ароматических соединений Кекуле (1865) могла быть создана только на базе теории химического строения. В экспериментальном обосновании постулатов, положенных в ее основу, принимали участие русские химики. Так, равноценность 6 водородных атомов в бензоле была убедительно доказана в лаборатории Петербургского технологического института в начале 70-х годов Э. А. Вроблевским.

Большой вклад внесли русские химики в изучение строения алициклических соединений. Укоренившееся мнение о неспособности нешестичленных циклов к существованию впервые было опровергнуто Марковниковым, который синтезировал в 1879 г. совместно со своим учеником Г. А. Крестовниковым циклобутандикарбоновую кислоту; это был первый в истории химии представитель четырехчленных циклов. Вскоре после этого австрийский химик А. Фрейнд получил циклопропан, а английский химик В. Перкин (младший) — ряд производных циклобутана и циклопентана. А в 1889 г. Марковников (одновременно с Перкином) сообщил о синтезе соединений семичленного цикла. Для объяснения строения алициклических соединений были привлечены новые, стереохимические представления.

Наконец, несомненные заслуги принадлежат русским химикам и в установлении строения отдельных групп органических соединений. Для понимания строения азосоединений важную мысль высказал в 1862 году

[1] Согласно Бутлерову, это соединение могло иметь строение $CH_2 = C(CH_3) - CH_2Br$ или $CH_3 - C(CH_3) = CHBr$.

Бутлеров, предположивший, что составляющие азогруппу 2 атома азота соединены между собой двойной связью. А. Н. Вышнеградский в конце 70-х годов показал, что алкалоиды в большинстве своем являются производными пиридина и хинолина. И. И. Канонников впервые предложил для камфоры формулу с внутренней парасвязью (1883).

В изучение строения терпенов большой вклад внес Ф. М. Флавицкий, в изучение строения свободных радикалов типа триарилметила — А. Е. Чичибабин.

ЗАВИСИМОСТЬ МЕЖДУ СТРОЕНИЕМ И ХИМИЧЕСКИМИ СВОЙСТВАМИ. ВЗАИМНОЕ ВЛИЯНИЕ АТОМОВ

Учение о взаимном влиянии атомов тесно связано с основным положением теории Бутлерова. Значительное развитие это учение получило в трудах его ближайшего последователя В. В. Марковникова.

Владимир Васильевич Марковников (1837—1904) поступил в 1856 г. в Казанский университет, где под влиянием Бутлерова увлекся химией. По окончании курса (1860) Марковников, по предложению Бутлерова, был оставлен при университете в должности лаборанта химической лаборатории. В 1865 г. Марковников защитил магистерскую диссертацию «Об изомерии органических соединений» и затем около двух с половиной лет провел в командировке за границей, где работал в лабораториях А. Байера, Э. Эрленмейера и Г. Кольбе. В 1867 г. совет Казанского университета избрал его доцентом, а после перевода Бутлерова в Петербург — профессором кафедры химии. В 1869 г. Марковников защитил замечательную докторскую диссертацию «Материалы по вопросу о взаимном влиянии атомов в химических соединениях».

Протестуя против произвольных действий правительственной администрации, Марковников отказался в 1871 г. от профессорской кафедры в Казанском университете и после кратковременного пребывания в Новороссийском университете (Одесса) перешел в Московский университет, где оставался до самой смерти. Здесь он полностью реформировал преподавание химии, переоборудовал, перестроил и значительно расширил химическую лабораторию и создал большую школу химиков.

Основным направлением работ Марковникова было изучение изомерии и зависимости химических свойств веществ от их химического строения. С начала 80-х годов он уделял главное внимание исследованиям кавказской нефти, достигнув в этой области выдающихся результатов. От работ над кавказской нефтью — главным образом, изучения выделенных им из нефти алициклических углеводородов, названных, по его предложению, нафтенами,— Марковников перешел к исследованию алициклических соединений; он по праву может считаться одним из основоположников этого направления в органической химии. В последние годы своей деятельности Марковников вернулся к изучению взаимного влияния атомов, главным образом на материале алициклических соединений.

Бутлеров и Марковников представляли себе химическую связь как результат взаимного соединения (насыщения, «потребления») единиц сродства, по одной от каждого атома в случае простой связи, по две или по три — в случае кратных связей. Согласно их взглядам, химическое поведение атомов во время реакций (например, подвижность атомов водорода)



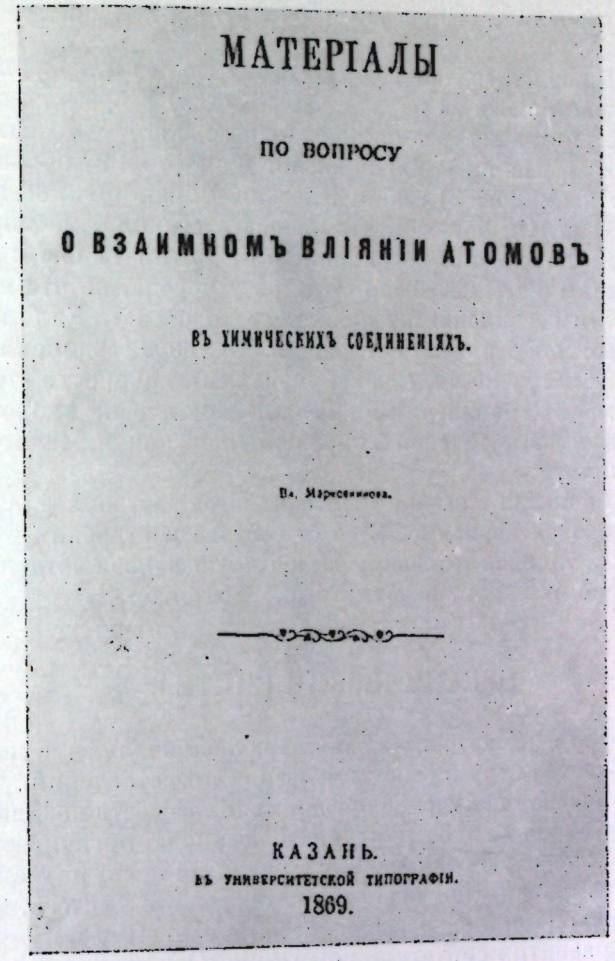
В. В. Марковников

зависит в первую очередь от характера единиц сродства элемента, с которыми данный атом соединен своей единицей сродства. В этом проявляется взаимное влияние атомов, связанных друг с другом непосредственно. Однако характер единиц сродства зависит также, хотя и в меньшей степени, от того, с какими элементами соединены атомы, образующие данную связь, и вообще от состава и химического строения молекулы в целом. В этом проявляется взаимное влияние атомов, непосредственно друг с другом не связанных. Говоря о взаимном влиянии атомов, Марковников в своей магистерской диссертации (1865) высказал мысль, что от этого влияния зависит не только сродство атомов, образующих химические связи, но и сродство «свободное», т.е. способность элемента проявлять ту или иную валентность.

К вопросам взаимного влияния атомов Марковников специально обратился в статье «Об ацетоновой кислоте» (1867), где высказал мнение, что взаимное влияние атомов ослабевает по мере удаления их друг от друга в цепи химического действия. В докторской диссертации Марковникова проблема взаимного влияния атомов была подвергнута историческому анализу и соответствующим образом был обобщен фактический материал органической химии. Здесь Марковников рассматривает взаимное влияние атомов как проявление одного из видов химического сродства, а именно того, которым атомы обладают, войдя в состав химического соединения. Свое внешнее проявление взаимное влияние атомов находит в свойствах отдельных атомов и связей, химическом характере всего соединения, направлениях и скоростях его преобразований.

Химики бутлеровской школы изучали зависимость направления реакций, главным образом окисления (Бутлеров, Попов, Вагнер) и присоединения по двойной связи (В. В. Марковников), от строения молекул. Был подмечен ряд закономерностей, обычно именуемых в химической литературе правилами. Общеизвестно правило Марковникова, согласно которому при взаимодействии галогеноводородных кислот с непредельными соединениями галоген присоединяется к наименее гидрогенизированному углероду. Другое правило Марковникова гласит, что водородные атомы, связанные с третичными атомами углерода, подвергаются замещению легче всего, а связанные с первичными — труднее всего.

А. Н. Попов, ученик Бутлерова по Казанскому университету, с 1869 г. профессор химии Варшавского университета, сформулировал известное правило окисления кетонов хромовой смесью; впоследствии оно было



МАТЕРІАЛЫ

ПО ВОПРОСУ

О ВЗАИМНОМЪ ВЛІЯНІИ АТОМОВЪ

ВЪ ХИМИЧЕСКИХЪ СОЕДИНЕНІЯХЪ.

Вл. Марковникова.

КАЗАНЬ.
ВЪ УНИВЕРСИТЕТСКОЙ ТИПОГРАФІИ.
1869.

Титульный лист докторской диссертации В. В. Марковникова

уточнено Е. Е. Вагнером, представителем казанской школы химиков, а с 1886 г.— профессором химии Варшавского университета.

Работы Попова по окислению кетонов послужили основой для установления закономерностей как при использовании других окислителей (например, марганцевокислого калия в работах Вагнера), так и применительно к другим классам соединений. Сам Попов (в совместной работе с немецким химиком Т. Цинке) установил, что при окислении гомологов бензола расщепление происходит между атомами боковой цепи, находящимися в α- и β-положении к ароматическому кольцу. Опираясь на выводы Попова, Бутлеров сформулировал в 1871 г. правило окисления третичных спиртов.

Взаимное влияние атомов проявляется не только в направлении химических реакций, но и в их скорости. Основополагающие исследования и выводы в этой области принадлежат профессору аналитической, а затем органической химии Петербургского университета Н. А. Меншуткину. Несмотря на то, что вначале Меншуткин выступал как противник теории

химического строения, его работы объективно способствовали ее развитию.

Меншуткин изучал «начальные скорости» (доли превращения исходной эквимолекулярной смеси за первый час реакции) и пределы превращения различных органических реакций: 1) образования сложных эфиров из кислот и спиртов и из ангидридов кислот и спиртов; 2) образования амидов из кислот и аминов; 3) взаимодействия аминов с галогеналкилами и некоторых других. Он показал, что скорость реакции, как правило, увеличивается при переходе от соединений с открытой цепью к алициклическим соединениям с тем же числом атомов углерода, но что при переходе к ароматическим соединениям скорость резко падает. Удлинение цепи и разветвление ее, как это было показано на примере соединений с разными функциональными группами, ведет к уменьшению скорости этерификации. Для ароматических соединений он изучил влияние на скорость реакций местонахождения заместителей в ядре по отношению к реагирующим атомам или группам.

Меншуткин доказал влияние «нейтрального» растворителя на скорость реакции, исследовал зависимость ее от состава и строения органических растворителей и пришел к общему выводу, что нельзя «отделить химическое воздействие от среды, в которой оно протекает» [1].

ОРГАНИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ [2]

В органической химии синтез занял ведущее положение после возникновения и торжества структурно-химических представлений. До середины XIX в. синтетическое получение органических веществ носило эпизодический характер. Работы доструктурного периода органической химии, проводившиеся зачастую без общей руководящей идеи, наугад, тем не менее продемонстрировали могущество органического синтеза, подготовили почву для перехода к прогрессивным материалистическим взглядам на задачи и пути развития синтетической химии. Особенно велики в этом отношении заслуги М. Бертло и А. М. Бутлерова.

Бертло осуществил серию блестящих синтезов, исходя из простейших соединений, иногда даже из свободных элементов (простых веществ). Однако на его деятельности не могло не отразиться его отрицательное отношение к теории химического строения. Кроме того, для синтезов Бертло были характерны очень жесткие условия (высокие температуры), что не давало возможности познать химизм процесса.

Бутлеров в своих экспериментальных работах, напротив, всегда старался выяснить во всех мельчайших подробностях ход изучаемой реакции, не пренебрегая так называемыми побочными продуктами. Он считал, что не следует увлекаться погоней за новыми соединениями; в отличие от Бертло, Бутлеров «всегда стремился к изучению реакций при таких условиях, которые бы оказывали наименьшее влияние на их конечные результаты» [3]. Уже его цикл исследований «метиленовых соединений»

[1] *Н. А. Меншуткин.* О скоростях образования уксусных эфиров одноатомных спиртов.— ЖРФХО, 1887, т. 19, отд. 1, вып. 9, с. 642.
[2] Раздел написан Ю. С. Мусабековым.
[3] *В. В. Марковников.* Московская речь о Бутлерове.— В кн.: Труды Института истории естествознания и техники», т. 12. М., Изд-во АН СССР, 1956, с. 151.

(1858—1861) ознаменовался несколькими открытиями и важными выводами. Бутлеров показал, что метилен CH_2 при обычных условиях к свободному существованию не способен; при попытках выделить его образуется его димер — этилен C_2H_4. Бутлеров получил полимер формальдегида $(CH_2O)_n$, который при взаимодействии с аммиаком образовывал гексаметилен-тетрамин, или уротропин, $C_6H_{12}N_4$. Изучение производных метилена привело Бутлерова к открытию полимера формальдегида и к замечательному каталитическому синтезу «метиленитана»— сахара из группы гексоз. Бутлеров хорошо понимал значение своего открытия; в 1861 г. он писал: «Таким образом, это первый полный синтез сахаристого вещества» [1].

С созданием теории химического строения экспериментальные исследования были сориентированы в основном на получение предсказанных ею соединений и выяснение внутримолекулярного строения веществ. Теоретические изыскания «структуристов» оказывали весьма плодотворное влияние на развитие многих отраслей химической промышленности. С другой стороны, запросы промышленности красителей и лекарственных веществ оказали большое воздействие на тематику синтетических исследований.

Из огромного числа примеров, характеризующих синтетическое направление в работах русских химиков, мы выберем лишь несколько относящихся к двум важнейшим классам органических соединений — углеводородам и их кислородсодержащим производным.

РАЗВИТИЕ ХИМИИ УГЛЕВОДОРОДОВ

Вслед за работами Бутлерова по синтезу изобутана и изобутилена химиками его школы были открыты и разработаны способы получения предельных и непредельных углеводородов разветвленного строения, которые нашли впоследствии применение как высокооктановые компоненты современного моторного топлива. Химия углеводородов постепенно превратилась в излюбленную область исследований русских химиков, что было связано с природными богатствами России и экономической необходимостью их научной разработки (нефть, каменный уголь, лесохимия, эфирные масла и т. п.).

При изучении химических превращений углеводородов различных классов ученик Марковникова профессор Московского сельскохозяйственного института и Киевского политехнического института М. И. Коновалов открыл (1887) важную реакцию нитрования предельных углеводородов в запаянных трубках разбавленной азотной кислотой. Тем самым, по образному выражению Коновалова, были оживлены «химические мертвецы».

Изучая полимеризацию этиленовых углеводородов, Бутлеров в 70-х годах исследовал также процесс гидратации олефинов в спирте. Профессор химии Артиллерийской академии В. Н. Ипатьев открыл реакцию каталитической дегидратации спиртов в олефины и показал ее универсальность. С 1900 до 1914 г. он изучал каталитические реакции под высоким давлением и при высоких температурах, в частности процессы гидрогенизации различных классов органических соединений в присутствии

[1] *А. М. Бутлеров.* Соч., т. 1, с. 66.

окислов металлов, а также полимеризацию олефинов (в том числе этилена), деструктивную гидрогенизацию под повышенным давлением и др.

Большой интерес представляют работы по изучению химии ацетиленовых углеводородов.

Общеизвестна реакция гидратации ацетилена, открытая профессором химии Петербургского лесного института М. Г. Кучеровым, протекающая при каталитическом воздействии ртутных солей (1881). Кучеров вывел правила гидратации ацетиленовых углеводородов, аналогичные правилам Марковникова.

Новый этап в химии ацетиленовых углеводородов, открывший широкие горизонты в установлении связей ацетиленов с другими классами соединений и в развитии практических отраслей применения ацетилена и его гомологов, связан с исследованиями ученика Бутлерова А. Е. Фаворского, профессора Петербургского университета, впоследствии академика, и его школы. Значение открытой им реакции присоединения спиртов по тройной связи в присутствии щелочи (1888) в полной мере выявилось в технических разработках в Германии (винилирование по Реппе) и в советское время, когда эта реакция была усовершенствована и внедрена в промышленность (М. Ф. Шостаковским с сотрудниками).

Исследование углеводородов с сопряженной системой двойных связей и тесно переплетающаяся с этими исследованиями проблема синтетических каучуков — традиционная область творческих изысканий русских химиков.

Синтез изопрена из хлорамилена впервые был осуществлен в 1887 г. учеником Бутлерова, с 1895 г.— профессором Юрьевского университета И. Л. Кондаковым, который также установил способность всех диенов с сопряженной системой связей к полимеризации с образованием каучуков. В 1910 г. О. Г. Филиппов крекингом паров этилового эфира над металлическим алюминием получил бутадиен. Крупный вклад в химию диэтиленовых углеводородов был внесен И. И. Остромысленским, автором оригинальной монографии «Каучук и его аналоги» (1913). Он предложил несколько способов синтеза бутадиена. Но все это явилось лишь своего рода введением к тому, что было сделано в области химии диеновых углеводородов С. В. Лебедевым.

Магистерская диссертация ученика А. Е. Фаворского С. В. Лебедева, с 1902 г. работавшего в Петербургском университете, впоследствии академика, «Исследование в области полимеризации двуэтиленовых углеводородов» (1913) представляет собой фундаментальный труд, в котором вскрыты основные закономерности явлений полимеризации органических молекул. Принципиально отличные от дореволюционных условия творческой работы и государственный интерес к проблеме синтетического каучука в Советском Союзе дали впоследствии возможность Лебедеву и его ученикам довести свои работы до синтеза бутадиенового каучука в промышленном масштабе (1931—1932).

Гордостью русской химии стали исследования алициклических углеводородов, и в частности углеводородов кавказской нефти. Последние связаны с именами Ф. Р. Вредена, воспитанника Петербургского университета, изучавшего гидрирование ароматических углеводородов (1876), а также профессора Петербургского технологического института Ф. Ф. Бейльштейна и его ассистента А. А. Курбатова. Сопоставив свойства углеводородов Вредена со свойствами углеводородов бакинской нефти, Бейльштейн и Курбатов пришли к выводу (1881), что в ее составе содержатся преимущественно гидроароматические углеводороды.

Но самой значительной фигурой в этой области был Марковников. Его работы по химии и технологии нефти велись с огромным размахом с 1881 по 1904 г. В составе фракций кавказской нефти Марковников установил присутствие различных индивидуальных углеводородов с числом атомов углерода от 6 до 15.

В этой же области с большим успехом работал младший современник Марковникова, с 1893 г. профессор Московского университета Н. Д. Зелинский. Совместно с учениками за период 1895—1907 гг. он синтезировал все простые гомологи циклопентана и циклогексана (26 углеводородов).

Изучение эфирных масел и выделяемых из их состава терпенов также относится к традиционной области интересов русских химиков. Плодотворная идея воспитанника Харьковского и профессора Казанского университета Ф. М. Флавицкого о том, что терпены могут образоваться из родоначального соединения структуры C—C=C(—C)—C, получила [экспериментальное подтверждение только в XX в. в трудах финского химика О. Аскана, А. Е. Фаворского и др. Флавицкий был автором первой монографии о терпенах и эфирных маслах, написанной с позиций теории химического строения —«О некоторых свойствах терпенов и их взаимных отношениях» (1880).

Значительный вклад в химию терпенов внесли работы Вагнера (80—90-е годы), который с помощью разработанного им метода окисления исследовал сложную внутреннюю структуру терпенов, предложил для них научную классификацию и номенклатуру на основе теории строения, установил генетическую связь терпенов с циклопарафинами и ароматическими углеводородами.

Изучение строения терпенов затруднялось легкостью их изомеризации. Это серьезное препятствие было устранено открытием и разработкой двух универсальных и оригинальных способов синтеза углеводородов: «ксантогенового метода» профессора химии Высшего технического училища в Москве, а затем Петербургского университета Л. А. Чугаева (1903) и «алкилиденгидразинового метода» ученика Марковникова, профессора Томского технологического института Н. М. Кижнера (1911).

Открытие и изучение каталитического действия галогенидов алюминия на ряд органохимических реакций обогатило органическую химию новым видом реакций каталитического характера — реакциями Густавсона и Фриделя — Крафтса [1] (Густавсон наблюдал также процесс полимеризации под влиянием галогенидов алюминия). Эти реакции являются объектом теоретических и промышленных разработок в течение более чем 70 лет.

---

[1] Под этим названием объединяются каталитические реакции, идущие под влиянием галогенидов алюминия, т. е. реакции галогенирования, алкилирования, ацилирования, конденсации с выделением HCl.

ИССЛЕДОВАНИЕ КИСЛОРОДСОДЕРЖАЩИХ СОЕДИНЕНИЙ

С 1863 г. начинается обширная серия работ Бутлерова, в которой на основе использования фосгена и цинкорганических веществ синтезируется большое число различных спиртов, кислот и других кислородсодержащих соединений.

Получение изобутилена из бутилового спирта, брожение и превращение этого доступного спирта в триметилкарбинол послужило началом новой, очень важной ветви работ Бутлерова — синтезов триметилуксусной кислоты и пентаметилэтанола, выяснения строения пинаколина и открытия пинаколиновой перегруппировки.

В 70-е годы XIX в. были синтетически получены многие другие предсказанные теорией спирты и карбоновые кислоты разветвленного строения. Тогда же был разработан метод синтеза кетонов, подробно изучено действие цинкорганических соединений на хлорангидриды кислот, выяснено химическое строение пинакона и т. д.

Следующим шагом в развитии органической химии явилась разработка новых оригинальных методов синтеза одноатомных, многоатомных, предельных и непредельных спиртов, получение и изучение окисей, лактонов, непредельных кислот, оксикислот и т. д. (работы ученика Бутлерова профессора химии Казанского университета, основателя крупной школы химиков А. М. Зайцева и его учеников Е. Е. Вагнера, С. Н. Реформатского). Эти исследования проводились в тесной связи с изучением химии металлорганических, на первых порах главным образом цинкорганических соединений.

Успешное решение вопроса об использовании реакционной способности карбонильной группы в синтезе спиртов породило новые ответвления в работе. Получение диаллилкарбинола (Зайцев, 1876) стало началом длинной серии синтезов вторичных и третичных непредельных спиртов. Вскоре Зайцев показал возможность использования активности водородных атомов группы CH_2 малонового эфира в цинкорганических синтезах, разработав своего рода «цинкмалоновые синтезы», аналогичные «натриймалоновым».

С 1887 г. возможности цинкорганических синтезов для получения кислородсодержащих веществ расширяются благодаря открытию и разработке нового вида реакции, получившей широкую известность под названием реакции Реформатского. Сущность реакции заключается в синтезе β-оксикислот действием цинка на смесь кетонов или альдегидов с эфирами α-галогенокислот. С открытием магнийорганических соединений и установлением их высокой реакционной способности (Барбье, Гриньяр) работы по синтезу кислородсодержащих соединений получают исключительный размах. Русские химики посвятили десятки трудов дальнейшей разработке нового метода. В 1904 г. В. В. Челинцев (с 1910 г. профессор Московского, а с 1917 г.— Саратовского университета) впервые выделил индивидуальные магнийорганические соединения путем проведения реакции в бензоле с участием третичных аминов. Он доказал, что эфир и третичные амины как комплексообразующие вещества являются катализаторами реакции.

ЗАВИСИМОСТЬ МЕЖДУ ХИМИЧЕСКИМ СТРОЕНИЕМ И ФИЗИЧЕСКИМИ СВОЙСТВАМИ ОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ

До возникновения теории химического строения химики пытались найти зависимость в первую очередь между физическими свойствами и составом органических соединений. Были изучены их механические (удельный вес и удельный объем), тепловые (температура плавления и кипения, теплоемкость, скрытая теплота плавления и испарения, теплота горения), оптические (вращение плоскости поляризации, показатели преломления) свойства. В русской химической литературе наиболее полное рассмотрение этих закономерностей принадлежит Менделееву, который в своей «Органической химии» (СПб., 1861) не только суммировал полученные к тому времени выводы и высказал относительно них ряд критических замечаний, но и дополнил их своими собственными заключениями.

С возникновением теории химического строения изменилась сама постановка вопроса. В первом выпуске «Введения к полному изучению органической химии» (1864) Бутлеров обращает внимание на необходимость изучения химических и физических свойств веществ в их взаимной зависимости. В специальной главе «Отношения между физическими и химическими свойствами веществ» он формулирует некоторые частные обобщения. Так, он обратил внимание на то, что при суждении о тепловом эффекте реакции надо учитывать — в соответствии с теорией химического строения — термические результаты разрыва одних связей и образования других, и таким образом впервые ввел представление об энергии связей. Цветность органических соединений он сопоставил с их ненасыщенностью и т. д. На закономерности в ходе изменения температур кипения изомеров указывал в магистерской диссертации его ученик Марковников.

Ни Бутлеров, ни Марковников не занимались специально изучением физических свойств органических соединений, но другие русские химики выполнили в этой области ряд ценных экспериментальных исследований. Одним из первых было проведенное Флавицким исследование зависимости между химическим строением молекул и такими свойствами, как удельный объем и температура кипения (1871). Отмечая недостаточность фактического материала для создания широких обобщений, Флавицкий, однако, считал, что его исследование доказывает «возможность в будущем... по физическим данным соединения судить о его строении»[1]. В 1887 г. он публикует обстоятельный труд «О соотношении температур кипения одноатомных спиртов с их химическим строением».

Широко изучались термохимические свойства органических соединений для выяснения зависимости теплоты горения и образования от химического строения. Крупнейшему русскому термохимику профессору Московского университета В. Ф. Лугинину принадлежит ряд важных выводов о строении органических соединений. В частности, в своем «Кратком курсе термохимии» (1903) он на основе термохимических данных отверг циклогексатриеновую формулу бензола. К таким же выводам в результате анализа имеющихся термохимических данных пришел и Марковников. К этим

[1] *Ф. М. Флавицкий.* О соотношении температур кипения и удельных объемов с химическим строением в простейших органических соединениях.— ЖРФХО, 1871, т. 3, вып. 4, с. 119.

работам примыкают исследования профессора Харьковского университета И. П. Осипова, обобщенные им в монографии «Теплота горения органических соединений в ее отношениях к явлениям гомологии, изомерии и конституции» (1893).

Важное значение для выяснения химического строения органических соединений имело изучение их оптических свойств. Среди русских работ следует отметить прежде всего исследования Чугаева, указавшего на существование инкремента молекулярной рефракции, обусловленного присутствием циклической группировки (и наибольшего в случае циклопропана), и И. И. Канонникова, профессора Казанского университета, который одним из первых исследовал оптические свойства некоторых жидких органических соединений (непредельных соединений с двумя двойными связями, терпенов), а также растворов твердых органических веществ.

СТЕРЕОХИМИЯ

Как уже говорилось, мнение, что только пространственное положение атомов наряду с составом определяет свойства органических соединений, было отвергнуто Бутлеровым. Однако пространственные модели как дополнения к идеям теории химического строения появлялись время от времени в работах ведущих химиков 60-х годов. Так, модель углеродного тетраэдра встречается в работах самого А. М. Бутлерова (1862), а также А. Кекуле (1867), Э. Патерно (1869), А. Розенштиля (1869). Эти модели не были еще связаны с объяснением явления оптической изомерии, послужившего главной отправной точкой при создании стереохимии.

Несколько более обстоятельно исследовал в теоретическом плане причины оптической изомерии Марковников в своей магистерской диссертации (1865). Там он формулирует гипотезу: «При одинаковости химического строения физическая группировка атомов может быть различная» [1]; эта гипотеза предвосхитила основную идею стереохимии. Впоследствии (1872) Марковников резко подчеркнул «неестественность» игнорирования теорией строения зависимости между химическими свойствами и расположением атомов в молекулах [2]. Тем не менее, бутлеровская школа в целом довольно равнодушно отнеслась к идеям, развитым в 70-х годах Я. Вант-Гоффом и Ле Белем, а к идеям геометрической изомерии долгое время находилась в оппозиции.

Стереохимия в России развивалась главным образом химиками, не принадлежавшими к бутлеровской школе.

В 1887 г. после перевода В. Оствальда в Лейпциг кафедру химии в Рижском политехническом институте занял К. Бишоф, ученик и сотрудник автора теории геометрической изомерии И. Вислиценуса. К. Бишоф, П. Вальден, их сотрудники и ученики проводили в Риге многочисленные и разносторонние исследования в этой области. Гипотеза Бишофа (1890) об отсутствии свободного вращения вокруг простой углерод-углеродной связи вследствие влияния заместителей нашла свое развитие в современном учении о поворотной изомерии. Бишоф также во многом предвосхитил идеи конформационного анализа.

---

[1] *В. В. Марковников.* Избр. труды. М., Изд-во АН СССР, 1955, с. 100.
[2] Там же, с. 284.

Вальден, кроме открытия в 1895 г. «оптического кругового процесса» («вальденовское обращение»), установил, что на величину оптического вращения влияет химическое строение радикалов, связанных с асимметрическим атомом углерода.

Ряд важных правил относительно оптической активности органических веществ был установлен также Чугаевым.

Крупным историко-теоретическим исследованием, в котором был дан анализ современного состояния стереохимической теории и подведены итоги ее развития, явилась монография студента Новороссийского университета А. М. Безредки «Опыт истории развития стереохимических представлений» (1892). Эта работа сыграла, без сомнения, большую роль в распространении идей стереохимии в России.

НЕКОТОРЫЕ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ОРГАНИЧЕСКОЙ ХИМИИ И ПОПЫТКИ ИХ РЕШЕНИЯ В РАМКАХ ЭЛЕКТРОННЫХ ТЕОРИЙ

Классическая структурная теория не сумела удовлетворительно объяснить строение непредельных и ароматических соединений. Экспериментальные данные, в том числе и данные физических методов исследования, не позволяли считать кратную связь эквивалентной удвоенной или утроенной простой связи. Ни одна из предложенных форм бензола не соответствовала подлинному характеру молекулы. Соединения с двумя кратными связями, разделенными одной простой, как выяснилось, отличаются по свойствам от всех других ненасыщенных систем. Накопление обширного фактического материала в этой области показывало, что для успешного решения перечисленных проблем необходимо было дальнейшее углубление или значительное видоизменение основных положений теории химического строения.

В 1900-х годах возникли новые проблемы, которые также не могли быть решены в рамках классической структурной теории. Это прежде всего вопрос о строении окрашенных органических соединений; поразительной аномалией казались также исследованные М. Гомбергом, А. Е. Чичибабиным и другими свободные радикалы типа триарилметила. При попытках преодолеть эти затруднения было высказано немало интересных идей.

Подвергнув обстоятельному анализу существовавшие теории и отвергнув их, В. А. Измаильский (в будущем профессор органической химии Педагогического института в Москве) выдвинул и развил в 1915 и последующих годах новую точку зрения, которая во многом предвосхитила позднейшую теорию мезомерии в ее рациональной части.

Большинство гипотез и теорий, предложенных в конце прошлого и начале нынешнего века, не оказало существенного влияния на развитие теории строения и реакционной способности органических соединений. Это происходило потому, что авторы их, не имея еще возможности опереться на успехи физики или, в более позднее время, игнорируя их, не могли вскрыть ни природы валентности, ни природы химической связи. Тем не менее некоторые представления, подобные взглядам Измаильского, облегчили в дальнейшем переход к новым электронным представлениям.



Н. А. Морозов

Хотя электрон был открыт в 1897 г., электронные теории в органической химии возникли с известным запозданием. Это вполне понятно, потому что открытие электрона прежде всего должно было привести к пересмотру основных понятий о строении вещества, затем в химии — учения о валентности и только после этого — теоретических представлений органической химии.

Понятие об электроне было использовано в начале 1900-х годов Н. А. Морозовым (в то время заключенным в Шлиссельбургской крепости) при разработке теории «карбогидридов» (углеводородов и углеводородных радикалов). Работа Морозова впервые была опубликована лишь в 1907 г., после его освобождения из заключения во время революции 1905 г. Морозов был активным деятелем революционного движения в России в 70-х годах, с 1882 по 1905 г.— узником Петропавловской и Шлиссельбургской крепостей. С 1905 г. он занимался научно-педагогической и литературной деятельностью. В 1932 г. Академия наук СССР избрала его своим почетным членом.

Отрицательные и положительные «атомы» электричества Морозов назвал соответственно катодием и анодием. Он различал два вида химических связей: одна характерна для углерод-углеродных связей в предельных углеводородах, другой тип связи, по терминологии Морозова — электролитический, образуется в результате комбинации разноименных зарядов. Такой тип связи характерен для минеральных соединений, для углерод-водородной связи и для углерод-углеродной связи в бензоле и некоторых других соединениях.

Теория Морозова замечательна прежде всего тремя гипотезами: 1) о двух видах связей, совпадающих, по сути дела, с ковалентными и электровалентными связями современной химии, 2) об образовании химических связей путем «дупликации», т. е., говоря современным языком, спаривания двух одинаковых электронов, 3) об образовании кратных связей двумя или тремя парами электронов.

Хотя монография Морозова была переведена на немецкий язык и получила благоприятный отзыв Оствальда, химики, к сожалению, не обратили должного внимания на его идеи, а между тем те же идеи позднее появились в работах других теоретиков (например, у Льюиса в учении о ковалентных связях).

В 1900—1910 гг. появились электронные теории органической химии, более или менее сходные между собой в том отношении, что они были

основаны на понятиях об электровалентной связи и альтернирующей полярности в углеродных цепях органических соединений. Детально разработанная концепция такого рода принадлежала ученику В. В. Марковникова, после революции — профессору Московского института тонкой химической технологии А. М. Беркенгейму, одному из первых пропагандистов электронных представлений в России, опубликовавшему в 1917 г. посвященную этой концепции монографию.

Беркенгейму удалось дать объяснение довольно широкому кругу органических реакций (обменного разложения, окисления и восстановления, присоединения и разложения, изомеризации, полимеризации и реакции под влиянием электрического тока), в том числе реакций, характерных для ароматических соединений. Механизм реакций у Беркенгейма включает как обязательный элемент образование ионов в результате диссоциации связей.

Теория Беркенгейма была одной из последних электронных теорий строения и реакционной способности органических соединений, еще не основанных на учении о ковалентной связи и понятии об устойчивом октете электронов. Включив многие положения и идеи предшествующих электронных теорий и будучи по сравнению с ними во многом более широкой и разработанной, теория Беркенгейма тем не менее, подобно им, должна была отойти в сторону при появлении теоретических взглядов, в основу которых были положены представления о валентности элементов и химической связи, в большей степени приближавшиеся к действительности. С этой точки зрения наиболее передовые взгляды, как уже говорилось, были высказаны Морозовым.

✽

Теоретические основы современной органической химии создавались в тесном сотрудничестве между русскими и иностранными химиками. Опираясь на достижения теоретической химии того времени, Бутлеров высказал важнейшие положения классической теории химического строения. В ее развитии и обосновании, кроме самого Бутлерова, принимали участие и другие русские химики. Из них первое место должно быть отведено Марковникову, внесшему особенно много оригинальных идей в учение о реакционной способности органических соединений. В период перехода от классических представлений к электронным русские химики не раз выступали с новыми теоретическими построениями, а первая электронная теория органических соединений, включавшая понятие о ковалентной связи, была создана Морозовым.

Глава двадцать шестая

ГЕОЛОГИЯ

Бурное развитие геологической науки позволило ей в середине XIX в. выступить наряду с биологией в роли одной из лидирующих отраслей естествознания, развивающей его исторический аспект. Исключительную роль в геологии играла созданная в 30-е годы XIX в. теоретическая система Ч. Лайеля. Развитие геологии стимулировалось потребностями промышленности в минеральном сырье. Успешность поисков месторождений полезных ископаемых во многом зависела от познания общих и частных закономерностей геологического строения земной коры в целом и отдельных районов.

Усилился процесс дифференциации геологии. К середине века обособляются петрография и геотектоника. Позднее выявляются закономерности осадкообразования (Н. А. Головкинский, И. Вальтер и др.) и рудообразования (Б. Котта, Ф. Пошепный, Л. Де Лоне и др.). Быстро множились геотектонические гипотезы. Создаются естественные систематики минералов и горных пород. Формируется учение о геологических формациях (А. Грессли, М. Бертран и др.) и о геосинклиналях и платформах (Д. Дэна, Д. Холл, Э. Зюсс, Э. Ог, А. П. Карпинский). В конце XIX в. создается теоретическая система Зюсса, сыгравшая роль третьего (после Геттона и Лайеля) синтеза геологических знаний. На рубеже XIX и XX вв. формируются геофизика (А. П. Орлов, Л. Этвеш, Б. Б. Голицын и др.) и вслед за ней — геохимия (Ф. У. Кларк, В. И. Вернадский, В. М. Гольдшмидт и др.) и биогеохимия.

Развитие геологии в России ускорилось после отмены крепостного права (1861), когда интенсивно развивающаяся промышленность потребовала разработки природных богатств во все увеличивающихся масштабах. Успехам геологических наук в России способствовало также то обстоятельство, что на территории страны представлены самые разнообразные геологические условия.

Необходимость решения геологических вопросов общего характера (стратиграфических, геотектонических, геокартировочных, номенклатурных и др.) привела в 1876 г. к основанию Международного геологического конгресса. Его седьмая сессия состоялась в Петербурге в 1897 г. Генеральный секретарь этой сессии Ф. Н. Чернышев мог с полным правом подчеркнуть, что русская геология пришла к ней как равная по значению с западноевропейской и американской. Изданные к этой сессии путеводители экскурсий явились наиболее совершенной для своего времени сводкой по геологии России.

РЕГИОНАЛЬНЫЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Во второй половине XIX в. региональными исследованиями в России занимались главным образом добровольные научные общества, а также Горный департамент. В 60-х годах был разработан проект единого общегосударственного органа геологической службы, который был осуществлен лишь в 1882 г., когда в системе Горного департамента Министерства государственных имуществ в Петербурге был учрежден Геологический комитет. Первой и основной его задачей стала геологическая съемка и составление геологической карты (в первую очередь — Европейской части России). Переиздававшаяся в России в 1865 и 1873 гг. карта Мурчисона (с исправлениями и дополнениями Гельмерсена) к тому времени перестала отвечать достигнутому уровню геологических знаний.

Геологическая съемка, проводившаяся Геологическим комитетом, началась одновременно в ряде районов, причем в этой работе принимали участие как сотрудники Геологического комитета, так и специально приглашенные лица — профессора университетов и сотрудники Академии наук. В результате этих работ уже в 1892 г. была издана сводная геологическая карта европейской части России в масштабе 60 верст в дюйме. За 35 лет деятельности Геологического комитета было покрыто геологической съемкой всех масштабов (преимущественно мелкомасштабной) около 10 процентов территории России.

Геологический комитет вел также детальные исследования со специальными целями — вдоль линий проектируемых и строящихся железных дорог, на нефтеносных площадях, в горнорудных районах. С 1892 г. проводились детальные съемки Донецкого бассейна в масштабе 1 : 42 000 под руководством Ф. Н. Чернышева, а с 1897 г.— Л. И. Лутугина. Составленная Лутугиным геологическая карта Донецкого бассейна (1911) была признана классической, и ее автору на международной выставке в Турине присуждена «Большая золотая медаль».

В первые же годы деятельности Геологического комитета была проведена геологическая съемка Урала; при этом детально изучались также полезные ископаемые. Чернышев изучал девонские и каменноугольные отложения Урала, а Карпинский составил в 1884 г. геологическую карту его восточного склона.

В исследованиях Сибири и Дальнего Востока выдающаяся роль принадлежала Русскому Географическому обществу, особенно его отделам в Иркутске и Омске. По поручению Общества в Сибири работали П. А. Кропоткин, И. Д. Черский, А. Л. Чекановский и др. В результате этих исследований Кропоткин пришел к выводам о древнем оледенении Сибири, Черский (позднее работавший по поручению Академии наук) установил существование древнего архейского массива в Восточном Забайкалье, предложил гипотезу о происхождении впадины оз. Байкал в результате складкообразовательных движений, разработал представления о геологическом и орографическом строении Верхнеколымского края. В. А. Обручев, который с 1889 г. работал при Иркутском горном управлении, начал геологические съемки золотоносных районов.

Систематические исследования проводились Геологическим комитетом с 1892 г. в связи с началом сооружения Сибирской железной дороги.

В 1913 г. началось составление геологической карты Центральной, Восточной и Южной Сибири и Дальнего Востока.

В результате исследований П. П. Семенова-Тян-Шанского, Н. А. Северцова, И. В. Мушкетова, В. Н. Вебера и др. совершенно изменились представления об орографии и геологическом строении Средней Азии. Не подтвердились предположения А. Гумбольдта о существовании в этой области вулканов и меридионального хребта Болор. Мушкетов, который с 1874 по 1880 г. работал на Тянь-Шане, обобщил свои исследования в монографии «Туркестан» (1886, т. I; 1906, т. II).

В результате геологических съемок и систематических исследований, проводимых геологами Кавказского горного управления, были составлены многотомные сводные труды «Материалы для геологии Кавказа» (1868—1915). С 1901 г. систематические исследования на Кавказе проводились Геологическим комитетом. С 1908 г. в этом районе начал работать геолог-нефтяник И. М. Губкин. К. И. Богданович исследовал в 1901—1904 гг. Главный Кавказский хребет.

В связи с началом первой мировой войны основной целью региональных геологических исследований стали поиски месторождений минерального сырья. Этим занимались Геологический комитет и организованная по инициативе В. И. Вернадского и других видных ученых в 1915 г. при Академии наук Комиссия по изучению естественных производительных сил (КЕПС).

СТРАТИГРАФИЯ

В XIX в. основой общегеологических представлений, а также ряда геологических дисциплин стала биостратиграфия. К середине века мировая стратиграфическая шкала была в целом установлена, и в дальнейшем проводились ее детализация, ревизии и углубленное обоснование, а также разработка верхней и нижней ее частей.

Для периода, охватывающего первые три четверти XIX в., типичны палеонтографические работы, посвященные преимущественно описанию ископаемых организмов. В 50—60-х годах Э. И. Эйхвальдом, Н. Г. Меглицким, А. И. Антиповым, Г. Д. Романовским и др. на основании полевых исследований были составлены палеонтолого-стратиграфические сводки. Подобные исследования, продолжавшиеся и позднее, дали возможность сопоставить геологические отложения России и Западной Европы, а также охарактеризовать геологические системы. Однако применение палеонтографического метода без учета эволюции фауны и геологической истории данного района иногда приводило к тому, что отложения разного возраста относили к одному и тому же стратиграфическому подразделению (и наоборот).

Первую палеогеографическую карту европейской части России для юрского периода составил Г. А. Траутшольд (1862); в 1877 г. он издал подобные карты для каменноугольного, пермского, юрского, мелового и третичного периодов.

Профессор Казанского университета Н. А. Головкинский в 1868 г. сформулировал основные принципы осадкообразования. Он пришел к выводу, что возраст отложений осадочных пород может изменяться не только в вертикальном, но и в горизонтальном направлении в связи с перемещениями береговой линии, вызванными колебательными движениями земной поверхности. Отсюда вытекало положение о том, что изменение фауны нужно прослеживать также в горизонтальном направлении. Впоследствии подобное представление было сформулировано немецким геологом И. Вальтером (1893) и получило название закона Вальтера.



И. И. Андрусов

Исследованиями Головкинского, а также А. А. Иностранцева в конце 60-х — начале 70-х годов была установлена взаимосвязь осадконакопления, слоеобразования и тектонических движений, что способствовало становлению учения о фациях и палеогеографии. Иностранцев применил фациальный анализ при составлении палеогеографических карт (1884).

Следующий этап развития стратиграфии в России — построение стратиграфических схем на основе изучения закономерностей развития ископаемой фауны — относится к 80-м годам. Это направление было связано с победой дарвинизма. Основоположник эволюционной палеонтологии, В. О. Ковалевский, убедительно доказывал, что стратиграфия должна строиться на палеонтологической основе. Его геологические работы были посвящены биостратиграфии юрской и меловой систем, в частности спорному вопросу об их границе. Ковалевский составил палеогеографические схемы для юры и мела Европы и выделил на них палеогеографические области (1874).

А. П. Карпинский выделил на основании изучения аммонитов переходный между каменноугольной и пермской системами артинский ярус в отложениях Урала (1874). Палеогеографические схемы Карпинского по территории Европейской России во многом сохранили свое значение до настоящего времени.

Вопросами биостратиграфии и палеогеографии юрских и меловых отложений Европейской России и Западной Европы занимались А. П. Павлов и С. Н. Никитин. В 80—90-х годах они вели полемику в печати о границе юры и мела и по другим вопросам стратиграфии и палеогеографии мезозоя. Основной метод Павлова — выяснение вертикального распределения форм в разрезе и установление преемственности их развития. На VIII сессии Международного геологического конгресса (1900, Париж) Павлов сообщил о сделанном им сопоставлении юрских и меловых отложений России и Франции. Возможность сопоставления отложений территории России и Европы имела большое значение для изучения стратиграфии мезозоя и выяснения физико-географических условий этого периода. Никитин на основании изучения аммонитов описал юрские отложения

центральных районов Европейской России (1881). Исходя из представлений об эволюции животных и растений, он выделил новые виды аммонитов, установил генетические соотношения между ними и проследил изменения их от одной стратиграфической зоны к другой. Изучая юрские отложения Средней Азии, Никитин выделил самостоятельное стратиграфическое подразделение — волжский ярус.

Автор широко распространившихся стратиграфических схем Ф. Н. Чернышев обобщил данные по исторической геологии среднего палеозоя, а также составил капитальную монографию «Верхнекаменноугольные брахиоподы Урала и Тимана» (1902).

Следующий этап в развитии стратиграфии в России начинается с 90-х годов XIX в. работами Н. И. Андрусова. При стратиграфических построениях наряду с эволюцией фауны стала приниматься во внимание также связь ее с изменением внешней среды, с историей морского бассейна. Андрусов составил стратиграфическую схему неогена Крымско-Кавказской области. Его последователями и учениками были А. Д. Архангельский, М. Э. Ноинский, А. В. Нечаев и др.

В области биостратиграфии нужно отметить также работы К. И. Богдановича по мезокайнозою юга России, А. А. Борисяка по юрским моллюскам и третичным млекопитающим европейской части России, М. Э. Ноинского по палеозою Поволжья, А. А. Штукенберга по карбону и перми Урала и Поволжья. В начале XX в. в русской геологии сложились две основные школы стратиграфов-палеонтологов — в Петербурге при Геологическом комитете и «московская» школа во главе с Павловым. Существенную роль в развитии стратиграфии играли также исследователи ряда провинциальных университетов — Казанского, Киевского и Одесского (Новороссийского).

Особое место в исторической геологии заняли идеи древнего материкового оледенения равнин, высказанные в свое время Рулье (1852) и Щуровским (1856) и особенно полно развитые Кропоткиным, который изложил результаты своих наблюдений на севере азиатской и европейской частей России и в Скандинавии в книге «Исследования о ледниковом периоде» (1876). В 1885 г. С. Н. Никитин опубликовал карту распространения четвертичного оледенения в европейской части России; им же выделены генетические типы ледниковых отложений и показано их распространение по областям.

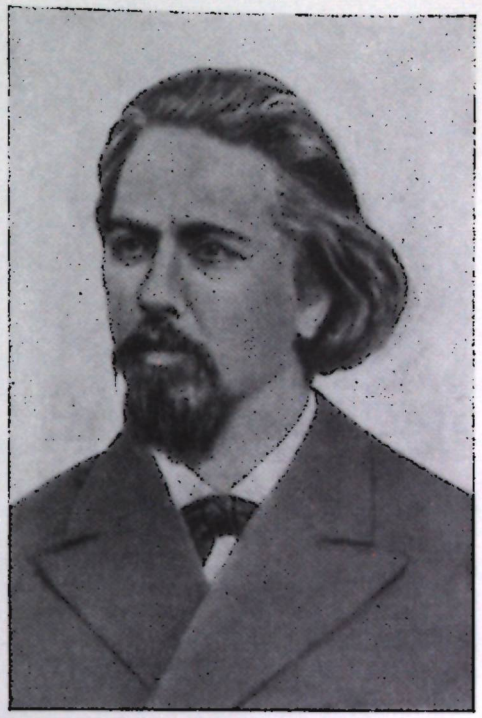
А. П. Павлов, изучая ледниковые отложения Русской равнины и Западной Европы, установил трехкратное оледенение этих территорий. Он также выделил новые типы континентальных четвертичных отложений: делювий и пролювий. Работы Павлова по изучению четвертичных отложений были развиты впоследствии советскими геологами.

ГЕОТЕКТОНИКА

В течение XIX в. господствовала гипотеза о происхождении Земли Канта — Лапласа, из которой вытекало представление о раскаленной огненно-жидкой массе земного шара, прикрытой сверху тонкой земной корой. Эта схема, казалось, хорошо объясняла причины вулканизма, землетрясений, горообразования. На подобных представлениях была основана гипотеза поднятия, развитая в первой половине XIX в., которую затем

сменила контракционная гипотеза. Попутно заметим, что существовали и другие представления о внутреннем строении Земли. Так, например, Ф. А. Бредихин в 1871 г. говорил о полностью твердой Земле, в 1876 г. Д. И. Менделеев высказывал идею о металлическом ядре Земли.

Дальнейшие исследования показали, однако, что складчатость в горных массивах и сами складчатые области, протягивающиеся в линейном направлении, не могли возникнуть лишь в результате вертикального, направленного снизу вверх давления и внедрения изверженных пород. Необходимо было предположить существование бокового, тангенциального давления. Так возникла контракционная гипотеза, высказанная французским ученым Л. Эли де Бомоном в 1829 г. и наиболее полно сформулированная им в 1852 г. Она быстро завоевала популярность и стала ведущей гипотезой в геологии во второй половине XIX в. Ссгласно этой гипотезе, тонкая земная кора, покрывшая огненно-жидкий земной шар, вследствие охлаждения все больше утолщалась. По мере охлаждения температура оболочки уменьшалась и оказалась равной температуре внешней среды. Охлаждение прекратилось, следовательно, прекратилось и сжимание. Однако расплавленное ядро Земли продолжало сжиматься. Опускаясь вслед за сокращающимся ядром, кора коробилась и под действием бокового давления ооразовывались складки — складчатые пояса и горные цепи. Так, по мнению контракционистов, образовался современный рельеф Земли.



А. П. Карпинский

Расцвет контракционной гипотезы относится к концу XIX в., чему способствовали труды австрийского геолога Зюсса. В монографии «Лик Земли» он использовал огромный материал, накопленный исследователями других стран. Анализируя геологическое строение территории России, он опирался на работы Карпинского о геологическом строении Русской платформы, Мушкетова — по Средней Азии, Черского и Обручева — по Сибири и т. д.

Русские геологи выявили многочисленные факты, свидетельствующие о том, что горные хребты образовались при участии бокового давления. Однако детальные исследования показали, что горообразование происходило при воздействии как горизонтальных, так и вертикальных сил. К этому выводу пришли работавшие на Урале в 1854—1855 гг. Н. Г. Меглицкий и А. И. Антипов. Позднее Мушкетов заключил, что Тянь-Шаньская горная система образовалась как поднятие, или «вздутие», но вместе с тем па-



А. П. Павлов

раллельно главному хребту располагаются складки, образовавшиеся в результате бокового давления. Представления о колебательных движениях земной коры развивали Щуровский (1856), Меглицкий и Антипов (1858), Головкинский (1869), Иностранцев (1899), Карпинский и др.

Карпинский явился основателем тектонического направления в палеогеографии. В ряде работ, в том числе в очерке «Общий характер колебаний земной коры в пределах Европейской России» (1894), он развивал учение о существовании двух типов структур земной коры: первый свойствен складчатым, преимущественно горным районам, второй — равнинным областям со спокойным залеганием слоев, которые стали называть платформами. Колебательные движения земной коры, по мнению Карпинского, бывают двух родов: одни, более крупного масштаба, образуют океанические впадины и материковые поднятия, другие, меньшего масштаба, образуют впадины и выпуклости местного характера в пределах материка. Колебательные движения на Русской равнине происходили в двух направлениях: меридиональном, параллельном Уральскому хребту, и широтном, параллельном простиранию Кавказа. В 1894 г. на основании данных палеогеографии и фациального анализа Карпинский составил первую тектоническую карту европейской части России. Его представления о структуре платформ и о распределении суши и моря в зависимости от колебательных движений земной коры были развиты советскими геологами. С 1917 по 1936 г. А. П. Карпинский был президентом Академии наук СССР.

А. П. Павлов, сторонник контракционной гипотезы, изучая строение Русской платформы, ввел новые понятия о платформенных структурных элементах — дислокациях и синеклизах. По его мнению, дислокации, т. е. нарушения залегания слоев, возникают вследствие сокращения земной коры. Синеклизы, т. е. крупные прогибы в области платформы, он связывал с колебательными движениями. Крупнейшей на Русской платформе Павлов считал Жигулевскую дислокацию (1887), к которой, по его мнению, приурочены месторождения нефти, что впоследствии подтвердилось. Существенны работы по тектонике Русской платформы П. И. Кротова (1894) и Н. М. Сибирцева (1896).

Одно из важнейших научных обобщений в геологии — учение о геосинклиналях и платформах. Значительное влияние на развитие этого учения оказали выводы Карпинского о существовании платформенных складчатых структур и о колебательных движениях на платформах, а также о

геометрических закономерностях структуры земной коры. Подобные закономерности искали также А. А. Тилло (1888), А. И. Воейков (1892) и др.

Представление о геосинклиналях развивал К. И. Богданович, который предполагал, что на месте Кавказского хребта ранее существовала геосинклиналь, а затем вследствие складкообразования и излияния изверженных пород эта область консолидировалась.

Свой вклад в тектонику внес и Черский, который по поручению Восточно-Сибирского отдела Русского географического общества работал на побережье Байкала и в Прибайкалье. Он описал строение обнаруженного им древнейшего архейского массива в пределах Восточной Сибири, к которому тангенциальным давлением прижимались складки более молодых пород.

В начале XX в. контракционная гипотеза стала подвергаться пересмотру. К этому времени относится создание многочисленных геотектонических гипотез, подчеркивавших обычно какую-нибудь одну сторону развития Земли. Так, Л. А. Ячевский в работе «О термическом режиме поверхности Земли в связи с происходящими на ней геологическими процессами» (1905) предположил, что все геологические процессы вызываются действием солнечной энергии на земную поверхность. И. Д. Лукашевич писал в 1907 г. в своем труде «Механика земной коры», что земная кора плавает на магме, подчиняясь законам гидростатики. В монографии «Неорганическая жизнь Земли» (1908—1911) Лукашевич развивает контракционно-изостазическую гипотезу, на основе которой объясняет аномалии силы тяжести под материками и океанами. В работах Павлова синтезируются контракционная и изостазическая гипотезы о причинах движения земной коры.



И. В. Мушкетов

В связи с развитием геотектоники и накоплением сведений об общем развитии и строении Земли в конце XIX в. начала формироваться сейсмология. Начало систематического изучения сейсмических явлений в России связано с именем А. П. Орлова. В результате многолетних трудов он составил обширный сводный «Каталог землетрясений в России», дополненный и изданный Мушкетовым в 1893 г. В 1888 г. по инициативе Мушкетова при Русском Географическом обществе была организована Сейсмическая комиссия. В 1900 г. по предложению Академии наук в России была создана Постоянная центральная сейсмическая комиссия. Огромный вклад в изучение сейсмических явлений внес Б. Б. Голицын.

УЧЕНИЕ О МЕСТОРОЖДЕНИЯХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Многие отрасли геологической науки начинали развиваться на базе исследований горнорудных районов и месторождений полезных ископаемых. Во второй половине XIX в. большое внимание уделялось вопросам генезиса месторождений. Большую роль в их изучении сыграли петрографические и минералогические исследования, связанные с именами Е. С. Федорова, Ф. Ю. Левинсона-Лессинга, Н. И. Кокшарова, П. В. Еремеева и др.

Учение о рудных месторождениях оформилось как самостоятельная отрасль геологии. При изучении рудоносных районов особое внимание уделялось вопросам закономерностей размещения полезных ископаемых и приуроченности месторождений к тем или иным вмещающим породам и геологическим структурам. На обширной территории страны необходимо было выбирать области, требующие первоочередных исследований и эксплуатации. Таким прогнозам способствовали и региональные исследования.

Изучение рудных месторождений Урала давало материал для выводов о происхождении собственно магматических месторождений (Ф. Ю. Левинсон-Лессинг, Н. К. Высоцкий), скарновых (Карпинский, Федоров, В. В. Никитин и др.) и других типов руд. В этих исследованиях были развиты представления о рудных поясах, вытянутых вдоль геологических структур. Изучались также месторождения Забайкалья, Алтая, Кавказа и вновь открытых рудных районов Средней Азии.

В последней четверти XIX в. получила распространение гипотеза латераль-секреционного происхождения рудных месторождений, выдвинутая немецкими учеными К. Бишофом и Ф. Зандбергером. Согласно этой гипотезе, атмосферные воды, проникшие на большие глубины, выщелачивают металлы из вмещающих пород и затем отлагают металлические руды. Противоборствующая ей так называемая гидротермальная гипотеза, выдвинутая Эли де Бомоном и развиваемая Л. Де Лоне, Ф. Пошепным (1893) и другими, устанавливала непосредственную связь между рудными месторождениями и магматическими породами и отводила магматогенным растворам ведущую роль в рудообразовании.

Среди русских геологов преобладало представление о связи оруденения с магматическими породами, как, например, в отмеченных выше работах по месторождениям Урала. При этом определенное значение придавалось также влиянию на рудообразование вмещающих пород. Еще ранее идеи, близкие к гидротермальной гипотезе, развивал в отношении кавказских месторождений Г. Е. Щуровский (1862). Эту гипотезу разрабатывали в конце XIX в. Л.А. Соколовский, А. П. Карпинский, а позднее также В. А. Обручев, А. П. Герасимов, И. В. Мушкетов, К. И. Богданович. Последнему принадлежит обстоятельный курс рудных месторождений, изданный в Петербурге в 1912—1913 гг.

На Русской равнине изучались месторождения глин, соли, фосфоритов, угля, железных руд осадочного происхождения и т. д. В процессе этих исследований П. А. Земятченский предложил в 1896 г. классификацию глин. Известны ранние работы И. И. Гинзбурга по глинистым образованиям. Я. В. Самойлов изучал фосфориты. Он возглавил комиссию по изучению фосфоритов в сельскохозяйственном институте, организовал музей

агрономических руд, читал лекции по этим рудам. С 1919 г. он стал директором первого в мире Института удобрений, организованного в Москве при его участии (ныне этот институт носит его имя).



И. М. Губкин

Месторождения нефти в пределах страны были известны давно. На территории Азербайджана нефть добывалась уже в XVI в. Признаки нефтеносности были известны в Сибири в XVII в., в Поволжье — в XVIII в. В середине XIX в. началось бурение скважин на нефть, а в конце XIX — начале XX в. стала развиваться и нефтяная промышленность. Первые нефтяные скважины были пробурены ручным способом в 1848 г. на Кавказе, на Апшеронском полуострове, техником Ф.А. Семеновым, а в 1855 г. также и в бассейне р. Печоры, на Ухте. В 1865 г. на Северном Кавказе была пробурена первая скважина машинным ударным способом. К концу XIX в. для Бакинского района был составлен ряд геологических карт, а с 1901 г. Геологический комитет начал проводить в нефтеносных районах Кавказа детальную геологическую съемку.

Помимо Кавказа разработка нефтяных месторождений проводилась в конце XIX — начале XX в. в Туркмении, Фергане, в Закаспийской области (на Эмбе). Следы и выходы нефти были известны и в области Урало-Поволжья. Однако добыча нефти в этой нефтеносной области, названной впоследствии «Вторым Баку», была начата лишь в советское время.

В 1877 г. Менделеев выдвинул так называемую карбидную гипотезу неорганического происхождения нефти, основанную на предположении, что ядро Земли состоит из карбидов металлов, которые, проникая по трещинам в земной коре, могут достигнуть выхода на поверхность. В самом начале XX в. профессор Юрьевского (ныне Тартуского) университета геолог Г. П. Михайловский развивал теорию происхождения нефти за счет рассеянного в глинистых осадках органического вещества сапропелевой природы. Эту же гипотезу развивал Н. И. Андрусов. Абих первым в России обосновал идею о связи скоплений нефти и газа со сводами антиклинальных складок. В 1903—1905 гг. Д. В. Голубятников на основании антиклинальной теории образования нефтяных месторождений дал оценку нефтеносности района Баку. К. П. Калицкий открыл ряд месторождений в Средней Азии. В 1908 г. Губкин установил, что залежи нефти могут быть приурочены к древним руслам рек. Открытие залежей подобного типа, который он назвал рукавообразным, значительно расширило возможности поисков нефти. Губкин составлял также структурные карты, т. е. карты подземного рельефа нефтеносных пластов, на основании которых оп-

ределяется место заложения скважин. В работах, относящихся к 1912—1913 гг., И. М. Губкин развивал представления об образовании нефти из остатков морских организмов в областях отложений древней прибрежной полосы и мелководья. Талант Губкина как исследователя и организатора особенно развернулся в годы Советской власти. В 1929 г. он был избран академиком и сыграл большую роль в развитии советской геологии, особенно геологии нефти.

Месторождения угля в пределах Донецкого и Подмосковного бассейнов были известны еще с XVIII в., однако систематически они не разрабатывались, поскольку запасы древесного топлива вполне удовлетворяли промышленные потребности. Со второй половины XIX в. разработка угля стала настоятельной необходимостью. С 60-х годов начались исследования Донецкого бассейна, первые геологические карты которого были составлены в 1864—1869 гг. Детальные литологические исследования угленосных площадей проводили Чернышев и затем Лутугин, который занимался также химией углей. Результаты исследований в Донецком бассейне были изложены Лутугиным совместно с П. И. Степановым (в то время сотрудником Геологического комитета) в обобщающей статье «Очерк месторождений ископаемых углей в России» (1913).

Изучение геологического строения Подмосковного буроугольного бассейна особенно интенсивно проводилось во время первой мировой войны. В конце XIX — начале XX в. были составлены геологические карты Кузнецкого угольного бассейна. В остальных угленосных районах нашей страны велись лишь отдельные несистематические исследования. Впервые в стране микроскопические исследования угля были проведены в 1883 г. горным инженером Ф. А. Женжуриотом. Генезис вещества углей на основании микроскопических исследований изучал палеоботаник М. Д. Залесский (1914).

Становление гидрогеологии в России было связано с изучением кавказских минеральных вод и засушливых областей юга и юго-востока России (С. Н. Никитин, И. В. Мушкетов, Н. Н. Славянов, Ф. П. Саваренский и др.). В области инженерной геологии и грунтоведения работали русские геологи Н. П. Барбот-де-Марни, И. В. Мушкетов, А. В. Львов, А. П. Павлов и др.

ПЕТРОГРАФИЯ

Становлению петрографии способствовало изучение тонких срезов (шлифов) горных пород с помощью поляризационного микроскопа (этот метод впервые был применен английским ученым Г. К. Сорби в 1858 г.).

Русские геологи начали применять микроскопические исследования с 60-х годов (работы В. Блюмеля — 1867 г., Ипостранцева — 1868 г., Карпинского — 1869 г.). В ходе региональных исследований были накоплены материалы по описательной петрографии для различных районов, в первую очередь для Урала (Карпинский, Федоров, Заварицкий и др.), где были описаны и изучены пояса пород основного и ультраосновного состава. Изучались также древние докембрийские породы Южно-Русского и Балтийского кристаллических массивов (Иностранцев, Левинсон-Лессинг и др.), изверженные породы Кавказа (Д. С. Белянкин и др.), а также Сибири (В. А. Обручев, М. А. Усов и др.). Первые описания сибирских траппов были сделаны в конце 80—90-х годов Я. А. Макеровым, К. Д. Хрущовым, Б. К. Поленовым и др.

Большую роль в развитии описательной петрографии сыграло введение в практику исследований универсального теодолитного столика Е. С. Федорова. Применение этого прибора поставило русские петрографические исследования в число ведущих в мировой науке. На микроскопическом изучении минералогического состава была основана классификация горных пород, предложенная Карпинским в 1891 г.

Успешное применение микроскопического метода, сыгравшего огромную роль в развитии петрографии, требовало новых теоретических исследований и обобщения большого накопленного материала. Классическими стали работы Левинсона-Лессинга «Олонецкая диабазовая формация» (1888) и «Исследования по теоретической петрографии в связи с изучением изверженных пород Центрального Кавказа» (1898). Левинсон-Лессинг разработал теорию дифференциации магмы и принципы классификации изверженных пород по их химическому составу, изложенные им впервые в 1890 г. Классификация горных пород по химическому составу и характеру магматической дифференциации с применением рациональной номенклатуры была доложена Левинсоном-Лессингом на VII сессии Международного геологического конгресса в Петербурге (1897).

Один из наиболее важных вопросов теоретической петрографии — вопрос о природе и происхождении магмы. Чем является магма по своим физико-химическим свойствам — расплавом или раствором? Жидкая ли она, твердая или стекловатая? Чем объясняется наблюдаемое разнообразие изверженных горных пород? Эти проблемы обсуждались теоретической петрографией в конце XIX — начале XX в.

Левинсон-Лессинг, Карпинский, А. Е. Лагорио и другие исследователи считали, что магму по ее физико-химическим свойствам можно рассматривать как раствор. Федоров поддерживал представления о гравитационной дифференциации магмы в результате выделения кристаллов минералов из расплава по порядку их удельных весов. Левинсон-Лессинг разработал идею о том, что магма разделяется сначала в жидком состоянии, а затем идет процесс кристаллизационной дифференциации. По вопросу о причинах разнообразия горных пород Левинсон-Лессинг предложил гипотезу о двух магмах — основного и кислого составов, выделение которых произошло на ранней стадии формирования земной коры. Из этих двух родоначальных магм при их смешении, кристаллизации и дифференциации и образуются всевозможные горные породы. Левинсон-Лессинг одним из первых высказал мысль о петрографических формациях как ассоциациях горных пород, близких по возрасту и условиям образования. Выводы теоретической петрографии непосредственно способствовали развитию учения о рудных месторождениях.

Учение о метаморфизме горных пород развивалось в труде И. Д. Лукашевича «Неорганическая жизнь Земли» (1909), где изложены представления о «вечном круговороте» вещества литосферы, т. е. изменении осадочных пород при их опускании в глубины земной коры и изменении изверженных пород при их поднятии на поверхность.

Для развития теоретической петрографии имели значение экспериментальные работы. Профессор Дерптского университета И. И. Лемберг поставил опыты по гидротермальному синтезу минералов (1872—1888). Экспериментальный синтез минералов в изверженных горных породах — ан-

дезитах и базальтах осуществил в 1887 г. К. Козеровский. На кафедре петрографии и минералогии петербургской Военно-Медицинской академии К. Д. Хрущов в 1887—1892 гг. впервые в мире ввел в эксперимент легколетучие компоненты и синтезировал гидроксильные минералы, что позволило понять генезис амфиболов и слюд.

В Варшавском университете экспериментальные исследования проводились профессором членом-корреспондентом Петербургской академии наук А. Е. Лагорио и И. А. Морозевичем. Лагорио изучал влияние растворимости на выделение минералов из расплава, что дало ему возможность предложить физико-химическую схему последовательности выделения породообразующих минералов из магмы (1887). Морозевич изучал кристаллизацию силикатных расплавов (1892—1897) и синтезировал породообразующие минералы и горные породы, в частности впервые — пересыщенную кремнекислотой горную породу липарит.

В начале XX в. в Петербургском политехническом институте Левинсон-Лессинг организовал лабораторию экспериментальной петрографии, где были поставлены опыты по изучению физико-химического равновесия в силикатных системах. В том же направлении велась работа его учеников — Д. С. Белянкина, А. С. Гинзберга, П. И. Лебедева и М. А. Усова.

В дореволюционной России закладывались также основы самостоятельной науки об осадочных породах — литологии (П. А. Земятченский, Я. В. Самойлов, И. И. Гинзбург и др.). Становлению ее способствовало развитие почвоведения (В. В. Докучаев, К. Д. Глинка) и геохимические работы Вернадского и его школы. Образцовые описания осадочных пород принадлежат А. Д. Архангельскому, П. Я. Армашевскому, В. Н. Чирвинскому, В. И. Лучицкому и др.

МИНЕРАЛОГИЯ

Во второй половине XIX — начале XX в. в русской минералогии наметились два направления: описательное — кристаллографическое и генетическое. В первом направлении работали Н. И. Кокшаров, П. В. Еремеев, А. В. Гадолин, Е. С. Федоров и др.

Профессор Горного института академик Кокшаров описал кристаллографические формы более чем 400 минералов. Результаты его работы, изложенные в 11-томном труде «Материалы для минералогии России» (1853—1892), не потеряли своего значения до настоящего времени. Профессор Горного института Еремеев изучал законы срастания минералов и процессы их замещения (псевдоморфозы). Гадолин математически вывел закон существования 32 видов симметрии в кристаллах, за что в 1868 г. был удостоен Ломоносовской премии Академии наук.

Один из основоположников современной структурной кристаллографии и минералогии, Федоров теоретически вывел закон существования 230 пространственных групп симметрии (так называемых федоровских групп) кристаллических структур (1890). Повторивший год спустя это открытие немецкий математик А. Шёнфлис отметил приоритет русского ученого. Федоров изобрел приборы для исследования минералов — двукружный гониометр (1889) и уже упоминавшийся универсальный столик для микроскопа (1891), который впоследствии получил название федоровского.

Закономерным развитием описательно-кристаллографического направления были кристаллохимические исследования, также связанные с именами Федорова и его учеников. Посвященный этому вопросу капитальный труд Федорова «Царство кристаллов» был издан в 1920 г., уже после смерти этого выдающегося ученого. Армянскому ученому А. Е. Арцруни принадлежала обобщающая работа «Физическая химия кристаллов» (1893), сохранившая свое значение до настоящего времени. В области кристаллохимии специализировался также и Вернадский, занимавшийся, в частности, вопросами полиморфизма и изоморфизма. С именем Вернадского связано развитие генетического направления в минералогии. Рассматривая минералогию как историю минералов земной коры, он считал, что необходимо изучать процессы образования минералов в природе, а не только конечные продукты этих процессов, т. е. сами минералы. Результаты исследований Вернадского в области генетической минералогии были опубликованы в виде капитального труда «Опыт описательной минералогии» (1908—1914).



Н. И. Кокшаров

ГЕОХИМИЯ

Определяя задачи геохимии, В. И. Вернадский, сыгравший основополагающую роль в развитии этой науки, писал: «...Геохимия научно изучает химические элементы, т. е. атомы земной коры и, насколько возможно, всей планеты. Она изучает их историю, их распределение и движение в пространстве — времени, их генетические на нашей планете соотношения»[1].

Геохимия как наука оформилась и начала развиваться в начале XX в., но предпосылки ее начали складываться еще в XVIII в. в связи с попытками физического и химического объяснения сущности геологических процессов. Еще Ломоносов считал, что при изучении геологических явлений нужно прибегать к помощи физики и химии. Накопление геохимических данных было связано с развитием минералогии, петрографии и учения о рудных месторождениях, в частности с упомянутыми выше работами Севергина по минералогии, Абиха о химизме горных пород, Кокшарова по минералогии России, Куторги о химическом составе минералов и т. п.,

[1] *В. И. Вернадский.* Избр. соч., т. 1. М., Изд-во АН СССР, 1954, с. 14.



В. И. Вернадский

а за рубежом — с работами Х. Ф. Шенбейна, который впервые в 1838 г. ввел термин «геохимия», Эли де Бомона (1846) и др.

Основой геохимии послужил периодический закон, открытый в 1869 г. Менделеевым. Некоторые вопросы геохимии были подняты и разрабатывались самим Менделеевым, например в его работах: «Изоморфизм в связи с другими отношениями кристаллической формы к составу» (1856), «Химическое исследование образцов Оханского метеорита» (1888) и др. Большую роль в развитии геохимических представлений сыграли работы почвоведов — Докучаева, Глинки, Земятченского и др.

Всемирное признание получили исследования главы русской геохимической школы В. И. Вернадского. Вернадский сформулировал по существу геохимическую и биогеохимическую проблематику на стыке наук о Земле, химии, физики и биологии. Объектом геохимии стало поведение химических элементов (их генезис, рассеяние, концентрация, миграция, история) в земных природных процессах. Истоки идей Вернадского в области геохимии связаны с его исследованиями по генетической минералогии, а также кристаллографии и химии. Уже в ранних работах (с 1886 г.), изучая изоморфизм и парагенезис химического и минерального вещества, он осуществил переход к исследованию атомарного уровня и эмпирически установил изоморфные ряды химических элементов. В работе «Парагенезис химических элементов в земной коре» (1910) в каждый изоморфный ряд (всего их намечено около 20) объединяются элементы, которые в определенных земных условиях замещают друг друга при образовании минералов. Вернадский показал, что состав изоморфных рядов изменяется в зависимости от термодинамических условий. Таким образом выявлялись руководящие принципы для предсказания распределения химических элементов в минералах и горных породах, поиски месторождений полезных ископаемых получали геохимическую основу.

Установлением взаимообмена химическими элементами между Землей и космосом была намечена связь геохимии с космохимией. Вернадский первый в России применил спектральный анализ для геохимических исследований. Разработанная им геохимическая классификация химических элементов исходила из роли этих элементов в земных процессах. Вернадский подчеркивал значение рассеянного (фонового) состояния химических элементов как особой формы их нахождения в природе (1909). Характер как рассеяния, так и концентрации элементов определяется

нахождением их в различных геооболочках и геосферах. Учение о геосферах стало одним из главных направлений научной деятельности Вернадского. Придавая весьма существенное значение в земных процессах радиоактивным элементам, Вернадский стремился установить их геохимическую историю. Начиная с 1910 г., он вел первые в России поиски месторождений радия и урана, а также выдвинул проблему определения возраста горных пород и минералов радиоактивным методом. Он предсказывал использование человечеством атомной энергии уже в ближайшие десятилетия. В последующем им была выделена новая отрасль — радиогеология.

Изучая историю химических элементов в земных процессах, Вернадский обратил внимание на огромную роль живого вещества в процессах геохимической миграции, концентрации и рассеянии элементов в земной коре и в особой геооболочке — биосфере. Это направление в научной деятельности Вернадского привело к становлению уже в советское время новой отрасли науки — биогеохимии и к учению о биосфере, ставшему в наше время стержнем исследований в области экологии и взаимодействия природы и общества. Хотя изложенные выше идеи разрабатывались Вернадским еще в дореволюционное время, наиболее крупные его обобщения в области геохимии, биогеохимии, геологии и наук о Земле в целом, так же как сама биохимия и биогеохимия, получили широкое развитие лишь после Октябрьской революции, в 20—40-е годы XX в.

Школа Вернадского складывалась с начала XX в. Ближайшим его учеником А. Е. Ферсманом в 1912 г. был прочитан первый в мире курс геохимии. Основная научная деятельность Ферсмана протекала уже в советское время. Важные результаты дали исследования на стыке геохимии осадочных пород и биологии Я. В. Самойлова, другого ученика Вернадского. Геохимические исследования и прогнозы быстро приобретали практическое значение.

✽

Основным содержанием геологии в России (как и мировой геологии) во второй половине XIX и начале XX в. явилось развитие исторических идей и признание специфичности геологических и геохимических процессов (Головкинский, Карпинский, Чернышев, Иностранцев, Андрусов, Вернадский и др.). Происходила дальнейшая дифференциация геологических наук и интенсивное развитие ее основных отраслей, таких, как стратиграфия (Ковалевский, Павлов, Никитин и др.), геотектоника (Карпинский, Мушкетов, Лукашевич), петрография и минералогия (Кокшаров, Федоров, Левинсон-Лессинг и др.). Начиналось становление геофизики и геохимии (Орлов, Голицын, Вернадский и др.). Одновременно, вследствие развития геологической теории, с одной стороны, и расширения потребностей в минеральных ресурсах — с другой, возникали и развивались прикладные отрасли геологии: учение о рудных месторождениях (Щуровский, Богданович, Обручев и др.), геология нефти (Андрусов, Губкин и др.), угольная геология и др. Все более активизировалось взаимодействие геологии со смежными науками — физикой, химией и биологией; вместе с тем стала осознаваться необходимость объединения усилий всех отраслей геологической науки и интеграции наук о Земле в целом. Первые опыты такого рода интеграции наметились в обобщениях В. И. Вернадского.

Глава двадцать седьмая

ГЕОГРАФИЯ

РАЗВИТИЕ ГЕОГРАФИЧЕСКОЙ МЫСЛИ В РОССИИ в конце XIX — начале XX века

Экспедиционные исследования внутренних территорий страны и русские кругосветные плавания середины XIX в. дали богатый фактический материал и обеспечили благоприятные условия для становления и развития географической мысли в России.

Обобщающий труд Гумбольдта «Космос. Опыт физического мироописания» («Kosmos. Entwurf einer physischen Weltbeschreiben»), первый том которого вышел в 1845 г., был сразу же переведен на русский язык. В 1837 г. в Петербурге вышла книга «Путешествие барона Гумбольдта, Эренберга и Розе в 1829 году по Сибири и Каспийскому морю». Русские географы хорошо знали такие произведения Гумбольдта, как «Des lignes isotermes et de la distribution de la chaleur sur le globe» (Paris, 1817) («Изотермические линии и распределение тепла на земном шаре»); «Asie centrale» (t. 1—3, Paris, 1843) («Центральная Азия»), и многие другие географические труды великого ученого. Известны были и сочинения Риттера: 19-томное издание «Die Erdkunde im Verhaltniss zur Natur und zur Geschichte des Menschen» (2 Ausg. Berlin, 1859) («География в отношении к природе и истории людей») и «Einleitung zur allgemeinen vergleichenden Geographie» (Berlin, 1852) («Введение к всеобщей сравнительной географии»). Последнее из них (в русском переводе — «Землеведение Азии») вышло в Петербурге в 1856—1879 гг. с дополнениями русских ученых.

Особый интерес для русских географов представляли мысли Гумбольдта о связи всех явлений и тел природы, о комплексности географии, объединяющей различные отрасли естествознания, а также разработанный им сравнительный метод изучения географических объектов. Гумбольдтовские традиции в русской науке были продолжены, в частности, Э. А. Эверсманом в его монографии «Естественная история Оренбургского края» (1840). Книга, в соответствии с тогдашним уровнем знаний, дает описание особенностей климата, рельефа, геологического строения, вод, растительности, почв и животного мира в их взаимосвязи и взаимообусловленности.

Одним из основоположников возникшего в начале XIX в. сравнительного землеведения был профессор Берлинского университета Риттер. Предметом географии он считал земной шар в целом, и особенно земную поверхность; географические науки, по Риттеру, должны описывать местность и раскрывать взаимоотношения соседних местностей. Наряду с этим он был сторонником и теоретиком географического детерминизма — учения, согласно которому определяющим фактором исторического, социального и культурного развития народов являются природные условия. Односторонний и прямолинейно-категоричный по своему духу географический детерминизм Риттера не мог дать научного объяснения общественным ис-

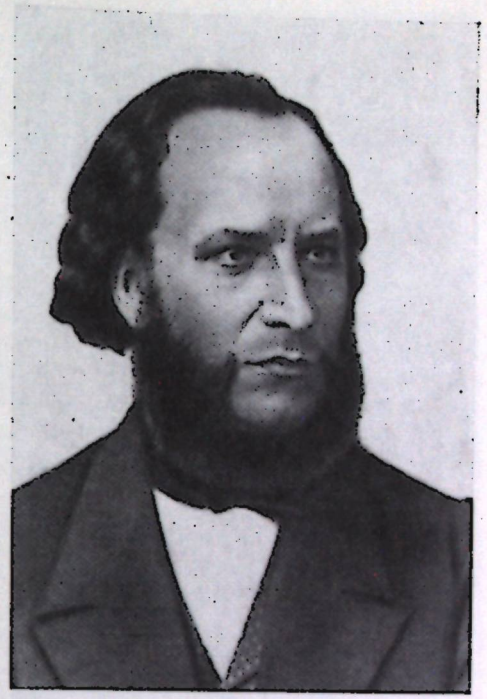
[1] Глава написана при участии И. М. Забелина.

торическим процессам, но тем не менее оказал заметное влияние на географов разных стран.

Ярким представителем географического детерминизма был русский географ и социолог Л. И.Мечников. В своем произведении «Цивилизация и великие исторические реки» («La civilisation et les grands fleuves historiques». Paris, 1889) он пытался доказать, что определяющей силой развития общества являются «исторические реки», как бы сконцентрировавшие в себе все физико-географические особенности каждой данной страны.

Эта концепция Мечникова подверглась обстоятельной критике со стороны Г. В. Плеханова.

Новые идеи в географии, как уже говорилось выше, широко применил Ленц в своем учебнике «Физическая география» (1851). Это труд, замечательный для своего времени как по ясности изложения, так и по стремлению автора выдвинуть на первый план законы природы. К другим выдающимся географическим сочинениям середины XIX в. относится «Учебный курс географии Российской империи» Я. П. Кузнецова с атласом из 4 общих и 18 частных карт. Две трети курса отведены описанию губерний и городов, последняя треть — комплексным характеристикам Кавказского края и Киргизских степей, а также справочному материалу по русским владениям в Северной Америке. Если «Физическая география» Ленца подводила итоги развития географической мысли в России, то курс Кузнецова явился итогом географических исследований огромной страны и основой для дальнейшей работы по созданию более совершенных учебников географии.



П. П. Семенов-Тян-Шанский

Большое внимание определению предмета географии, выяснению ее сущности уделял П. П. Семенов (с 1906 г. — Семенов-Тян-Шанский), выдающийся организатор русской географической науки, фактический руководитель (вице-председатель) Русского географического общества (с 1873 г.) и почетный член Петербургской академии наук. В предисловии к русскому изданию первой части «Землеведения Азии» Риттера (СПб., 1856) Семенов, развивая и дополняя идеи автора, выделил «географию в обширном смысле» и «географию в тесном смысле». Задачей географии в обширном смысле он считал изучение законов строения земного шара «с его твердою, жидкою и воздушною оболочками, законов отношения его к другим планетам и к обитающим на нем организмам» [1]. Следовательно,

[1] *К. Риттер.* Землеведение Азии. т. 1. СПб., 1856, с. 7.



Д. Н. Анучин

по Семенову, «география» в обширном смысле не является единой наукой, а состоит из ряда естественных наук, «связанных между собою тождеством предмета исследования» [1]. В эту группу наук Семенов включал: 1) астрономическую географию, изучающую земной шар «в отношении к планетной системе и действительному ее строению» [2]; 2) физическую географию, изучающую земной шар «со всеми явлениями, примечаемыми в ее твердой, жидкой и воздушной оболочке» [3]; 3) этнографию; 4) статистику (в современном понимании — экономическую географию).

К самостоятельным наукам Семенов относил «географию в тесном смысле», состоящую из трех отделов: 1) географии математической; 2) географии «пластической» (в нашем понимании — орографии и геоморфологии); 3) «политической географии», исследующей воздействие человеческого общества на изменение лика Земли.

Определение, данное Семеновым предмету и задачам географии, находилось на уровне знаний его времени, но некоторые его положения не устарели до сих пор, например: признание основной задачей географии раскрытие географических закономерностей; понимание географии в широком смысле как комплекса взаимосвязанных самостоятельных наук; отнесение к географии двух категорий наук, изучающих природные и общественные явления.

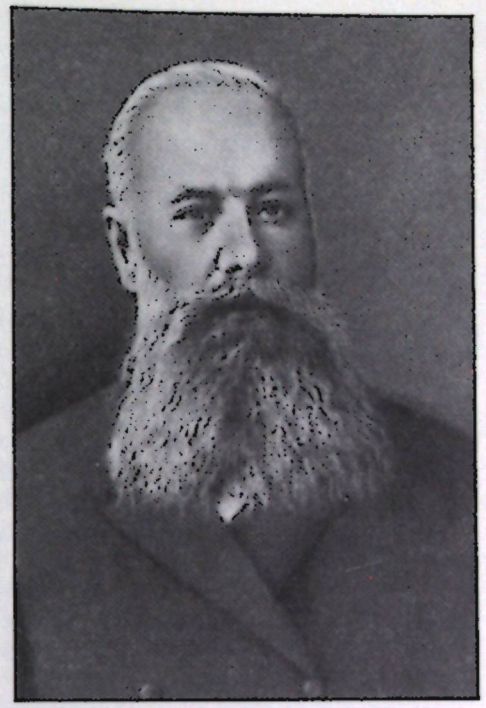
Споры о предмете и сущности географии продолжались в России и в других странах на протяжении всей второй половины XIX в. Дискутировались вопросы, является ли предметом географии только «земная поверхность» (т. е. литосфера, атмосфера, гидросфера и биосфера) и можно ли относить к географии геофизику и «астрономическую географию».

Из наиболее авторитетных русских географов со специальными работами по теоретическим вопросам науки выступали Э. Ю. Петри, А. Н. Краснов, Д. Н. Анучин, П. П. Семенов-Тян-Шанский.

Профессор Петербургского университета Петри в работе «Методы и принципы географии» (1892), писал, что наука география должна рассматривать всю Землю. Ее задача — понять жизнь нашей планеты. Поэтому он включал в общую географию не только учение о неорганических

[1] *К. Риттер.* Землеведение Азии, т. 1, с. 7.
[2] Там же, с. 9.
[3] Там же.

и органических явлениях на Земле и их соотношениях между собой, но и изучение астрономических, а также общефизических (т. е. геофизических) свойств нашей планеты. Вместе с тем за «специальной» (региональной) географией он оставлял исследования лишь «земной поверхности».



В. В. Докучаев

Глубокий след в развитии географической мысли в России оставил профессор Московского университета Д. А. Анучин. Основные взгляды на географию он изложил в 1912 г. «География подразделяется естественно,— писал он,— на два больших отдела: общую —землеведение и частную, или страноведение. Первая имеет объектом изучения всю землю, всю ее поверхность, вторая — отдельные части этой поверхности, страны и области. Развитие обоих этих отделов находится в тесной связи между собой... Задача страноведения — в составлении полной, верной и ясной картины описываемой страны в географическом отношении: ее суши и вод, рельефа ее поверхности, ее климата, растительного и животного мира, человеческого населения...» [1].

Профессор Харьковского университета Краснов, указав в 1895 г. на происшедшее обособление геофизики в совершенно самостоятельную дисциплину физико-математического цикла наук, высказал мнение, что предметом географии (землеведения) является земная поверхность в том смысле, в каком этот термин понимал Анучин.

Интересно, что еще в 1890 г. Краснов высказал ряд критических замечаний о состоянии географии того времени и в особенности страноведения. Он подчеркнул, что в таких трудах, как «Земля и люди» и «Всеобщая география» Э. Реклю, господствует описание отдельных, почти не связанных друг с другом фактов. Считая, что такого рода традиции неприемлемы для новой, современной географии, он так характеризовал ее задачу: «Вместо голого суммирования отдельных сведений современная возникающая наука стремится сгруппировать и расклассифицировать разнородные типы явлений органической и неорганической жизни земного шара, рассматривать их такими, какими они представляются живущему на нем человечеству, и, охарактеризовав их, ищет между ними генетической связи и законности, управляющей их возникновением и взаимодействием» [2].

[1] *Д. Н. Анучин.* Избр. географ. работы. М., Географгиз, 1949, с. 35—36.
[2] *А. Н. Краснов.* География как новая университетская наука.— В кн.: Профессор Андрей Николаевич Краснов (1862—1914). Харьков, 1916, с. 147—148.

В соответствии с этим положением Краснов пропагандировал мысль, что основной задачей общего землеведения является установление географических закономерностей на основе исторического метода. Местные географические явления он советовал рассматривать в связи с соответствующими общими географическими явлениями и на их фоне.

90-е годы XIX в. ознаменовались развитием новых оригинальных физико-географических идей, высказанных основателем современного научного почвоведения В. В. Докучаевым. Свои мысли о физической географии он изложил в ряде основополагающих работ, в том числе в книгах «Русский чернозем» (1883), «Наши степи прежде и теперь» (1892) и др. Изучение почв привело Докучаева к созданию учения о зонах природы. Докучаев писал: «...почвы и грунты есть зеркало, яркое и вполне правдивое отражение, так сказать непосредственный результат совокупного, весьма тесного, векового взаимодействия между водой, воздухом, землей... с одной стороны, растительными и животными организмами и возрастом страны — с другой... А так как все названные стихии, вода, земля, огонь (тепло и свет), воздух, а равно растительный и животный мир... несут на своем общем характере явные, резкие и неизгладимые черты закона мировой зональности, то не только вполне понятно, но и совершенно неизбежно, что и в географическом распространении этих вековечных почвообразователей как по широте, так и долготе должны наблюдаться постоянные и в сущности всем и каждому известные, строго закономерные изменения, особенно резко выраженные с севера на юг, в природе стран полярных, умеренных, экваториальных и пр. А раз это так, раз все важнейшие почвообразователи располагаются на земной поверхности в виде поясов или зон, вытянутых более или менее параллельно широтам, то неизбежно, что и почвы — наши черноземы, подзолы и пр.— должны располагаться по земной поверхности зонально, в строжайшей зависимости от климата, растительности и пр.» [1]

Зональность климатических явлений, растительного покрова и животного мира была известна и ранее. О зональности биотических компонентов ландшафта еще в начале XIX в. писал Гумбольдт. Докучаев же впервые установил зональность почвенного покрова и ее совпадение с зональностью климата, растительности и животного мира. Это и привело его к установлению зональности географической среды в целом.

Разделив умеренный пояс на 6 зон: бореальную (тундровую), таежную, лесостепную, степную, пустынно-степную и пустынную, Докучаев указывал (1900), что характер природы каждой из них видоизменяется не только с севера на юг; вместе с изменением количества тепла и влаги и их соотношения каждая зона делится на природные области с запада на восток. Дальше он наметил основные принципы внутризонального районирования. Закон целостности и закон зональности географической среды, открытые Докучаевым,— крупнейшее достижение физико-географической мысли второй половины XIX в.

Формулировка закона зональности положила в общих чертах конец разногласиям в толковании причин географических различий в почвах, растительности и животном мире разных районов земного шара. Учение Докучаева о географической зональности имело для географии такое же значение, как периодическая таблица Менделеева для химии.

[1] *В. В. Докучаев.* Соч., т. VI. М.— Л., Изд-во АН СССР, 1951, с. 399.

В дальнейшем учение о зональности успешно разрабатывалось учениками Докучаева А. Н. Красновым, Г. И. Танфильевым и др.

В статье «Место и роль современного почвоведения в науке и жизни» (1899) Докучаев сформулировал задачи физической географии в том виде, в каком они в основном формулируются и сейчас. «Как известно,— писал он,— в самое последнее время все более и более формируется и обособляется одна из интереснейших дисциплин в области современного естествознания, именно — учение о тех многосложных и многообразных соотношениях и взаимодействиях, а равно и о законах, управляющих вековыми изменениями их, которые существуют между так называемой живой и мертвой природой, между a) поверхностными горными породами, b) пластикой Земли, c) почвами, d) наземными и грунтовыми водами, e) климатом страны, f) растительными и g) животными организмами (в том числе и даже, главным образом, низшими) и человеком, гордым венцом творения» [1].

На основе взглядов Докучаева в России широко развернулось изучение географических зон в целом, а также подзон и более мелких территориальных единиц — ландшафтов.

Определение ландшафта как таксономической единицы в физико-географической систематике наиболее полно сформулировал к 1913 г. русский лесовод и географ, основатель учения о лесе Г. Ф. Морозов. Он писал, что эти естественные единицы, на которые распадается природа любого места на земном шаре, представляют собой «как бы фокусы или узлы, в которых скрещиваются взаимные влияния общего и местного климата, с одной стороны, рельефа, геологических условий — с другой, растительности и животного мира — с третьей...» [2]

Один из виднейших представителей докучаевского направления в географии геоботаник и лесовод Г. Н. Высоцкий самостоятельно и одновременно с Докучаевым развивал учение о зональности. Он впервые в истории географии и климатологии нашел объективный показатель степени климатического увлажнения — соотношение между годовым количеством атмосферных осадков и испаряемостью. Высоцкий показал, что лесная зона характеризуется превышением осадков над испаряемостью, тогда как в лесостепи это отношение близко к 1, в степи оно составляет около $^2/_3$, а в полупустыне — лишь около $^1/_3$.

Высоцкий установил понятие о местности, которое полностью отвечает современному представлению о географическом ландшафте как природном районе. Согласно Высоцкому, местность является исходной единицей природного районирования, что также отвечает современным взглядам.

Для практики сельского хозяйства и лесоводства большое значение имели предложения Высоцкого точно и полно учитывать условия местопроизрастания путем составления специальных фитотопологических карт, или карт типов местопроизрастания. В качестве «индикаторов» для изображения на картах он предложил брать почвы и растительные группировки [3].

[1] *В. В. Докучаев.* Соч., т. VI, с. 416.

[2] *Г. Ф. Морозов.* Исследование лесов Воронежской губернии.— «Лесной журнал», 1913, вып. 3—4, с. 463.

[3] *Г. Н. Высоцкий.* Почвенные зоны Европейской России в связи с соленостью грунтов и характером лесной растительности.—«Лесной журнал», 1899, № 1; его же: О карте типов местопроизрастаний.— В кн.: Современные вопросы русского сельского хозяйства. СПб., 1904.

В соответствии с этим положением Краснов пропагандировал мысль, что основной задачей общего землеведения является установление географических закономерностей на основе исторического метода. Местные географические явления он советовал рассматривать в связи с соответствующими общими географическими явлениями и на их фоне.

90-е годы XIX в. ознаменовались развитием новых оригинальных физико-географических идей, высказанных основателем современного научного почвоведения В. В. Докучаевым. Свои мысли о физической географии он изложил в ряде основополагающих работ, в том числе в книгах «Русский чернозем» (1883), «Наши степи прежде и теперь» (1892) и др. Изучение почв привело Докучаева к созданию учения о зонах природы. Докучаев писал: «...почвы и грунты есть зеркало, яркое и вполне правдивое отражение, так сказать непосредственный результат совокупного, весьма тесного, векового взаимодействия между водой, воздухом, землей... с одной стороны, растительными и животными организмами и возрастом страны — с другой... А так как все названные стихии, вода, земля, огонь (тепло и свет), воздух, а равно растительный и животный мир... несут на своем общем характере явные, резкие и неизгладимые черты закона мировой зональности, то не только вполне понятно, но и совершенно неизбежно, что и в географическом распространении этих вековечных почвообразователей как по широте, так и долготе должны наблюдаться постоянные и в сущности всем и каждому известные, строго закономерные изменения, особенно резко выраженные с севера на юг, в природе стран полярных, умеренных, экваториальных и пр. А раз это так, раз все важнейшие почвообразователи располагаются на земной поверхности в виде поясов или зон, вытянутых более или менее параллельно широтам, то неизбежно, что и почвы — наши черноземы, подзолы и пр.— должны располагаться по земной поверхности зонально, в строжайшей зависимости от климата, растительности и пр.» [1]

Зональность климатических явлений, растительного покрова и животного мира была известна и ранее. О зональности биотических компонентов ландшафта еще в начале XIX в. писал Гумбольдт. Докучаев же впервые установил зональность почвенного покрова и ее совпадение с зональностью климата, растительности и животного мира. Это и привело его к установлению зональности географической среды в целом.

Разделив умеренный пояс на 6 зон: бореальную (тундровую), таежную, лесостепную, степную, пустынно-степную и пустынную, Докучаев указывал (1900), что характер природы каждой из них видоизменяется не только с севера на юг; вместе с изменением количества тепла и влаги и их соотношения каждая зона делится на природные области с запада на восток. Дальше он наметил основные принципы внутризонального районирования. Закон целостности и закон зональности географической среды, открытые Докучаевым,— крупнейшее достижение физико-географической мысли второй половины XIX в.

Формулировка закона зональности положила в общих чертах конец разногласиям в толковании причин географических различий в почвах, растительности и животном мире разных районов земного шара. Учение Докучаева о географической зональности имело для географии такое же значение, как периодическая таблица Менделеева для химии.

[1] *В. В. Докучаев.* Соч., т. VI. М.— Л., Изд-во АН СССР, 1951, с. 399.

В дальнейшем учение о зональности успешно разрабатывалось учениками Докучаева А. Н. Красновым, Г. И. Танфильевым и др.

В статье «Место и роль современного почвоведения в науке и жизни» (1899) Докучаев сформулировал задачи физической географии в том виде, в каком они в основном формулируются и сейчас. «Как известно,— писал он,— в самое последнее время все более и более формируется и обособляется одна из интереснейших дисциплин в области современного естествознания, именно — учение о тех многосложных и многообразных соотношениях и взаимодействиях, а равно и о законах, управляющих вековыми изменениями их, которые существуют между так называемой живой и мертвой природой, между a) поверхностными горными породами, b) пластикой Земли, c) почвами, d) наземными и грунтовыми водами, e) климатом страны, f) растительными и g) животными организмами (в том числе и даже, главным образом, низшими) и человеком, гордым венцом творения» [1].

На основе взглядов Докучаева в России широко развернулось изучение географических зон в целом, а также подзон и более мелких территориальных единиц — ландшафтов.

Определение ландшафта как таксономической единицы в физико-географической систематике наиболее полно сформулировал к 1913 г. русский лесовод и географ, основатель учения о лесе Г. Ф. Морозов. Он писал, что эти естественные единицы, на которые распадается природа любого места на земном шаре, представляют собой «как бы фокусы или узлы, в которых скрещиваются взаимные влияния общего и местного климата, с одной стороны, рельефа, геологических условий — с другой, растительности и животного мира — с третьей...» [2]

Один из виднейших представителей докучаевского направления в географии геоботаник и лесовод Г. Н. Высоцкий самостоятельно и одновременно с Докучаевым развивал учение о зональности. Он впервые в истории географии и климатологии нашел объективный показатель степени климатического увлажнения — соотношение между годовым количеством атмосферных осадков и испаряемостью. Высоцкий показал, что лесная зона характеризуется превышением осадков над испаряемостью, тогда как в лесостепи это отношение близко к 1, в степи оно составляет около $^2/_3$, а в полупустыне — лишь около $^1/_3$.

Высоцкий установил понятие о местности, которое полностью отвечает современному представлению о географическом ландшафте как природном районе. Согласно Высоцкому, местность является исходной единицей природного районирования, что также отвечает современным взглядам.

Для практики сельского хозяйства и лесоводства большое значение имели предложения Высоцкого точно и полно учитывать условия местопроизрастания путем составления специальных фитотопологических карт, или карт типов местопроизрастания. В качестве «индикаторов» для изображения на картах он предложил брать почвы и растительные группировки [3].

[1] *В. В. Докучаев.* Соч., т. VI, с. 416.

[2] *Г. Ф. Морозов.* Исследование лесов Воронежской губернии.— «Лесной журнал», 1913, вып. 3—4, с. 463.

[3] *Г. Н. Высоцкий.* Почвенные зоны Европейской России в связи с соленостью грунтов и характером лесной растительности.— «Лесной журнал», 1899, № 1; его же: О карте типов местопроизрастаний.— В кн.: Современные вопросы русского сельского хозяйства. СПб., 1904.

В соответствии с этим положением Краснов пропагандировал мысль, что основной задачей общего землеведения является установление географических закономерностей на основе исторического метода. Местные географические явления он советовал рассматривать в связи с соответствующими общими географическими явлениями и на их фоне.

90-е годы XIX в. ознаменовались развитием новых оригинальных физико-географических идей, высказанных основателем современного научного почвоведения В. В. Докучаевым. Свои мысли о физической географии он изложил в ряде основополагающих работ, в том числе в книгах «Русский чернозем» (1883), «Наши степи прежде и теперь» (1892) и др. Изучение почв привело Докучаева к созданию учения о зонах природы. Докучаев писал: «...почвы и грунты есть зеркало, яркое и вполне правдивое отражение, так сказать непосредственный результат совокупного, весьма тесного, векового взаимодействия между водой, воздухом, землей... с одной стороны, растительными и животными организмами и возрастом страны — с другой... А так как все названные стихии, вода, земля, огонь (тепло и свет), воздух, а равно растительный и животный мир... несут на своем общем характере явные, резкие и неизгладимые черты закона мировой зональности, то не только вполне понятно, но и совершенно неизбежно, что и в географическом распространении этих вековечных почвообразователей как по широте, так и долготе должны наблюдаться постоянные и в сущности всем и каждому известные, строго закономерные изменения, особенно резко выраженные с севера на юг, в природе стран полярных, умеренных, экваториальных и пр. А раз это так, раз все важнейшие почвообразователи располагаются на земной поверхности в виде поясов или зон, вытянутых более или менее параллельно широтам, то неизбежно, что и почвы — наши черноземы, подзолы и пр.— должны располагаться по земной поверхности зонально, в строжайшей зависимости от климата, растительности и пр.» [1]

Зональность климатических явлений, растительного покрова и животного мира была известна и ранее. О зональности биотических компонентов ландшафта еще в начале XIX в. писал Гумбольдт. Докучаев же впервые установил зональность почвенного покрова и ее совпадение с зональностью климата, растительности и животного мира. Это и привело его к установлению зональности географической среды в целом.

Разделив умеренный пояс на 6 зон: бореальную (тундровую), таежную, лесостепную, степную, пустынно-степную и пустынную, Докучаев указывал (1900), что характер природы каждой из них видоизменяется не только с севера на юг; вместе с изменением количества тепла и влаги и их соотношения каждая зона делится на природные области с запада на восток. Дальше он наметил основные принципы внутризонального районирования. Закон целостности и закон зональности географической среды, открытые Докучаевым,— крупнейшее достижение физико-географической мысли второй половины XIX в.

Формулировка закона зональности положила в общих чертах конец разногласиям в толковании причин географических различий в почвах, растительности и животном мире разных районов земного шара. Учение Докучаева о географической зональности имело для географии такое же значение, как периодическая таблица Менделеева для химии.

[1] *В. В. Докучаев.* Соч., т. VI. М.— Л., Изд-во АН СССР, 1951, с. 399.

В дальнейшем учение о зональности успешно разрабатывалось учениками Докучаева А. Н. Красновым, Г. И. Танфильевым и др.

В статье «Место и роль современного почвоведения в науке и жизни» (1899) Докучаев сформулировал задачи физической географии в том виде, в каком они в основном формулируются и сейчас. «Как известно,— писал он,— в самое последнее время все более и более формируется и обособляется одна из интереснейших дисциплин в области современного естествознания, именно — учение о тех многосложных и многообразных соотношениях и взаимодействиях, а равно и о законах, управляющих вековыми изменениями их, которые существуют между так называемой живой и мертвой природой, между a) поверхностными горными породами, b) пластикой Земли, c) почвами, d) наземными и грунтовыми водами, e) климатом страны, f) растительными и g) животными организмами (в том числе и даже, главным образом, низшими) и человеком, гордым венцом творения» [1].

На основе взглядов Докучаева в России широко развернулось изучение географических зон в целом, а также подзон и более мелких территориальных единиц — ландшафтов.

Определение ландшафта как таксономической единицы в физико-географической систематике наиболее полно сформулировал к 1913 г. русский лесовод и географ, основатель учения о лесе Г. Ф. Морозов. Он писал, что эти естественные единицы, на которые распадается природа любого места на земном шаре, представляют собой «как бы фокусы или узлы, в которых скрещиваются взаимные влияния общего и местного климата, с одной стороны, рельефа, геологических условий — с другой, растительности и животного мира — с третьей...» [2]

Один из виднейших представителей докучаевского направления в географии геоботаник и лесовод Г. Н. Высоцкий самостоятельно и одновременно с Докучаевым развивал учение о зональности. Он впервые в истории географии и климатологии нашел объективный показатель степени климатического увлажнения — соотношение между годовым количеством атмосферных осадков и испаряемостью. Высоцкий показал, что лесная зона характеризуется превышением осадков над испаряемостью, тогда как в лесостепи это отношение близко к 1, в степи оно составляет около $^2/_3$, а в полупустыне — лишь около $^1/_3$.

Высоцкий установил понятие о местности, которое полностью отвечает современному представлению о географическом ландшафте как природном районе. Согласно Высоцкому, местность является исходной единицей природного районирования, что также отвечает современным взглядам.

Для практики сельского хозяйства и лесоводства большое значение имели предложения Высоцкого точно и полно учитывать условия местопроизрастания путем составления специальных фитотопологических карт, или карт типов местопроизрастания. В качестве «индикаторов» для изображения на картах он предложил брать почвы и растительные группировки [3].

[1] *В. В. Докучаев.* Соч., т. VI, с. 416.

[2] *Г. Ф. Морозов.* Исследование лесов Воронежской губернии.— «Лесной журнал», 1913, вып. 3—4, с. 463.

[3] *Г. Н. Высоцкий.* Почвенные зоны Европейской России в связи с соленостью грунтов и характером лесной растительности.— «Лесной журнал», 1899, № 1; его же: О карте типов местопроизрастаний.— В кн.: Современные вопросы русского сельского хозяйства. СПб., 1904.

Развивая мысли Докучаева о целостности географической среды, Л. С. Берг разработал основы своего учения о ландшафтах как закономерных группировках взаимосвязанных предметов и явлений на поверхности Земли, имеющих естественные границы.

Учение о зональности получило дальнейшее развитие в работах как самого Берга, так и других географов.

Важную роль в развитии географической мысли в России сыграли учебные пособия (курсы) по физической географии. В 1895—1899 гг. были изданы «Основы землеведения» Краснова, а в 1908 г. его же «Курс землеведения». В 1910 г. был издан «Курс физической географии» П. И. Броунова. В этом труде впервые были сформулированы новые представления о предмете исследования физической географии. Броунов писал: «Физическая география изучает современный облик Земли, иначе сказать, современное физическое устройство наружной земной оболочки, являющейся ареной органической жизни, и те явления, которые в ней происходят... Наружная оболочка Земли состоит из нескольких концентрических сферических оболочек, а именно: твердой, или литосферы, жидкой, или гидросферы, и газообразной, или атмосферы, к которым присоединяется еще и четвертая — биосфера. Все эти оболочки в значительной степени проникают одна в другую и своим взаимодействием обусловливают как наружный облик Земли, так и все явления на Земле. Изучение этого взаимодействия... составляет одну из главнейших задач физической географии, делающую этот предмет вполне самостоятельным и отличающую его от родственных ему предметов — геологии, гидрологии и метеорологии». Далее Броунов писал, что физическая география изучает «окружающую человека природу» и что физическая география — «это один из основных предметов естествознания, тем более что он трактует о среде, в которой вращается жизнь человека и других организмов» [1].

К началу XX в. русская географическая наука имела глубоко разработанные теоретические основы для своего развития и богатейший фактический материал, собранный многочисленными экспедициями и отдельными исследователями. Это позволило перейти к созданию капитальных обобщающих работ как по отдельным компонентам природы, так и по крупным физико-географическим районам.

В 1900 г. вышел из печати «Климатологический атлас Российской империи», составленный под редакцией М. А. Рыкачева работниками Главной физической обсерватории.

Синтезом результатов продолжительных полевых исследований и изучения литературы явился трехтомный труд энтомолога и востоковеда Г. Е. Грум-Гржимайло «Западная Монголия и Урянхайский край» (1914).

Оригинален и интересен труд Анучина «Япония и японцы» (1906). Автор его не был в Японии, но обладал редким умением отбирать и анализировать литературные материалы.

Значительным вкладом в развитие географии стали трехтомное «Общее землеведение» А. А. Крубера (1917—1922) и четырехтомная «География России» Г. И. Танфильева (1917—1922).

Перечисленные монографии имели задачей характеристику описываемых территорий в целом. Наряду с этим в начале XX в. появляются страноведческие работы, в которых, кроме общей характеристики территории,

[1] *П. И. Броунов.* Курс физической географии. СПб., 1910, с. 1—2.

детально районировались и описывались выделенные зоны, природные области и районы, например, книга С. С. Неуструева, Л. И. Прасолова и А. И. Бессонова «Естественные районы Самарской губернии» (1910), написанная на основании детальных полевых исследований. Почвенной и геоботанической характеристике полупустынь Средней Азии была посвящена большая часть книги почвоведа Н. А. Димо и ботаника Б. А. Келлера «В области полупустыни» (1907).



Л. С. Берг

Как известно, со второй половины XIX в. внутри географии стали быстро развиваться климатология, зоогеография и некоторые другие частные дисциплины. Советский ученый академик А. А. Григорьев писал, что «из перечисленных частных физико-географических наук геоботаника и геоморфология к середине XIX в. еще не оформились в самостоятельные географические дисциплины, зоогеография вплотную подошла к стадии такого оформления, науки о географии почв как особого природного тела еще не существовало: зародилась она во второй половине XIX в. Среди частных физико-географических дисциплин наибольшее развитие получили в России климатология и география почв, повышенный интерес к которым вызывался нуждами сельского хозяйства — основной отрасли хозяйства страны» [1].

Климатология во второй половине XIX в. в России, как и за рубежом, развивалась сначала под знаком критики теории Г. В. Дове, имевшей слабые стороны из-за недостаточного количества метеорологических наблюдений. «В связи с этим,— писал Григорьев,— в мировой климатологии появилась традиция ограничиваться описанием интересных климатических фактов, не входя в подробное рассмотрение лежащих в их основе природных процессов. Традиция эта была нарушена Воейковым...» [2]

Выдающийся русский климатолог А. И. Воейков поставил своей задачей раскрыть сущность изучаемых явлений. Широкую известность получила его монография «Климаты земного шара, в особенности России» (1884, второе, переработанное издание — на немецком языке: «Die Klimate der Erde». Jena, 1887). Воейков пришел к убеждению, что в основе климатов земного шара лежат мировая циркуляция атмосферы со всеми ее местными особенностями, характер радиационного баланса и влияние внешнего деятельного слоя земной поверхности. Он первым показал важ-

[1] *А. А. Григорьев.* Развитие физико-географической мысли в России (XIX — начало XX в.). М., Изд-во АН СССР, 1961, с. 36.

[2] Там же, с. 38.

ное значение сочетания всех этих факторов. Идеи Воейкова легли в основу современной климатологии.

В это же время широко разрабатывались вопросы географии растений и животных. Крупные работы в области географии животных принадлежат А. Ф. Миддендорфу (1867, 1869), Н. А. Северцову (1873), М. А. Мензбиру (1881), С. А. Зернову (1913). На основе эволюционного учения Дарвина начали складываться биоценотические взгляды многих русских ученых. В своих работах по географии растений их высказывали Краснов, Танфильев, Морозов. Свое дальнейшее развитие биоценология, а затем биогеоценология получила в советское время в работах В. Н. Сукачева и его учеников.

ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ ЭКСПЕДИЦИИ И ИССЛЕДОВАНИЯ

Как уже отмечалось выше, большую роль в организации географических экспедиций, в изучении территории России и сопредельных стран во второй половине XIX — начале XX в. сыграло Русское географическое общество (РГО), созданное в 1845 г. в Петербурге. Его отделы (в дальнейшем — филиалы) были организованы в Восточной и Западной Сибири, Средней Азии, на Кавказе и в других местах. В рядах РГО выросла замечательная плеяда исследователей, получивших мировое признание. Среди них были Ф. П. Литке, П. П. Семенов, Н. М. Пржевальский, Г. Н. Потанин, П. А. Кропоткин, Р. К. Маак, Н. А. Северцов и многие другие. Наряду с географическим обществом изучением природы занимались общества естествоиспытателей, существовавшие в ряде культурных центров России. Значительный вклад в познание территории огромной страны внесли такие правительственные учреждения, как Геологический и Почвенный комитеты, министерство земледелия, комитет Сибирской железной дороги и др.

Основное внимание исследователей было направлено на изучение Сибири, Кавказа, Дальнего Востока, Центральной и Средней Азии.

ИССЛЕДОВАНИЯ СРЕДНЕЙ АЗИИ

В 1851 г. П. П. Семенов по поручению совета Русского географического общества приступил к переводу на русский язык первого тома «Землеведения Азии» Риттера. Большие пробелы и неточности, имевшиеся у Риттера, вызвали необходимость специальных экспедиционных исследований. Эту задачу взял на себя сам Семенов, лично познакомившийся с Риттером и слушавший его лекции во время своего пребывания в Берлине (1852—1855). Семенов обсуждал с Риттером детали перевода «Землеведения Азии», а вернувшись в Россию, в 1855 г. подготовил первый том к печати.

В 1856—1857 гг. состоялось весьма плодотворное путешествие Семенова на Тянь-Шань. В 1856 г. он посетил котловину Иссык-Куля и прошел к этому озеру через Боомское ущелье, что позволило установить бессточность Иссык-Куля. Перезимовав в Барнауле, Семенов в 1857 г. пересек хребет Терскей-Алатау, вышел на тянь-шаньские сырты, открыл

верховья р. Нарына — главного истока Сырдарьи. Затем он пересек Тянь-Шань по другому маршруту, вышел в бассейн р. Тарима к р. Сарыджаз, увидел ледники Хан-Тенгри. На обратном пути Семенов исследовал хребты Заилийский Алатау, Джунгарский Алатау, Тарбагатай и озеро Алакуль.

Главными результатами своей экспедиции Семенов считал: а) установление высоты снеговой линии в Тянь-Шане; б) открытие в нем альпийских ледников; в) опровержение предположений Гумбольдта о вулканическом происхождении Тянь-Шаня и существовании меридионального хребта Болор. Результаты экспедиции дали богатый материал для исправлений и примечаний к переводу второго тома «Землеведения Азии» Риттера.



Н. А. Северцов

В 1857—1879 гг. изучением Средней Азии занимался Н. А. Северцов, совершивший 7 крупных путешествий в разные районы Средней Азии, от пустынных до высокогорных. Научные интересы Северцова были чрезвычайно широки: он занимался геологией, географией, изучал флору и особенно фауну.

Северцов проник в глубинные районы центрального Тянь-Шаня, в которых до него не был ни один европеец. Комплексной характеристике высотной зональности Тянь-Шаня он посвятил свою классическую работу «Вертикальное и горизонтальное распределение туркестанских животных». В 1874 г. Северцов, возглавляя естественноисторический отряд Амударьинской экспедиции, пересек пустыню Кызылкум и достиг дельты Амударьи. В 1877 г. он первым из европейцев достиг центральной части Памира, дал точные сведения о его орографии, геологии и растительном мире, показал обособленность Памира от Тянь-Шаня. Работы Северцова по делению Палеарктики на зоогеографические области на основе учета физико-географической зональности и его «Орнитология и орнитологическая география Европейской и Азиатской России» (1867) позволяют считать Северцова основоположником зоогеографии в России.

В 1868—1871 гг. высокогорные районы Средней Азии изучали А. П. Федченко и его жена О. А. Федченко. Они открыли грандиозный Заалайский хребет, сделали первое географическое описание Зеравшанской долины и других горных районов Средней Азии. Изучая фауну и флору Зеравшанской долины, А. П. Федченко впервые показал фаунистическую и флористическую общность Туркестана со странами Средиземноморья. За 3 года путешествия супруги Федченко собрали большую коллекцию животных и растений, среди которых оказалось много новых видов и да-



А. П. Федченко

же родов. По материалам экспедиции была составлена карта Ферганской долины и окружающих ее гор. В 1873 г. А. П. Федченко трагически погиб при спуске с одного из ледников Монблана.

Друг А. П. Федченко В. Ф. Ошанин в 1876 г. совершил экспедицию в Алайскую долину и в 1878 г.— в долины рек Сурхоба и Муксу (бассейн Вахша). Ошанин открыл один из крупнейших ледников Азии, названный им в память друга ледником Федченко, а также хребты Дарвазский и Петра Первого. Ошанину принадлежит первая полная физико-географическая характеристика Алайской долины и Бадахшана. Он также подготовил к изданию систематический каталог полужесткокрылых Палеарктики, изданный в 1906—1910 гг.

В 1886 г. Краснов по поручению Русского географического общества исследовал хребет Хан-Тенгри с целью выявить и обосновать эколого-генетические связи горной флоры Центрального Тянь-Шаня с сопредельными флорами Прибалхашских степей и песчаных пустынь Турана, а также проследить процесс взаимодействия между сравнительно молодой флорой четвертичных аллювиальных равнин Прибалхашья и значительно более древней (с примесью третичных элементов) флорой высокогорий Центрального Тянь-Шаня. Эта эволюционная по своей сущности проблема была разработана и выводы из нее блестяще изложены в магистерской диссертации Краснова «Опыт истории развития флоры южной части Восточного Тянь-Шаня» (Записки Русского географического общества по общей географии, XIX, СПб., 1888).

Весьма плодотворной была экспедиция под руководством Берга, изучавшая в 1899—1902 гг. и в 1906 г. Аральское море. Монография Берга «Аральское море. Опыт физико-географической монографии» (СПб., 1908) явилась классическим образцом комплексной региональной физико-географической характеристики. На основании сравнительного изучения ряда среднеазиатских озер Берг выступил против бытовавшего тогда мнения, что в современную эпоху водоемы Средней Азии усыхают.

Начиная с 80-х годов XIX в. большое внимание уделялось изучению среднеазиатских песков. Эта проблема возникла в связи с проведением в Среднюю Азию железной дороги. В 1912 г. на железнодорожной станции Репетек была основана первая постоянная комплексная научно-исследовательская географическая станция по изучению пустынь.

В 1911 и 1913 гг. в Средней Азии и Сибири работали экспедиции Переселенческого управления. Наиболее интересные географические сведения

получил отряд Неуструева, совершивший переход из Ферганы через Памир в Кашгарию. На Памире были обнаружены явные следы древней ледниковой деятельности. Сводные результаты исследований Средней Азии в XIX — начале XX в. с большой полнотой изложены в упомянутом уже издании Переселенческого управления «Азиатская Россия».



Н. М. Пржевальский

ИССЛЕДОВАНИЯ ЦЕНТРАЛЬНОЙ АЗИИ

До русских путешествий в Центральную Азию европейские географы имели о ней самые туманные представления. Начало ее исследованию было положено Н. М. Пржевальским, который с 1870 по 1885 г. совершил 4 путешествия в пустыни и горы Центральной Азии. В начале своего пятого путешествия Пржевальский заболел брюшным тифом и скончался около оз. Иссык-Куль. Начатая им экспедиция была закончена под руководством М. В. Певцова, В. И. Роборовского и П. К. Козлова.

Благодаря экспедициям Пржевальского впервые были получены и нанесены на карты достоверные данные об орографии Центральной Азии. Во время экспедиций регулярно проводились метеорологические наблюдения, давшие ценные материалы о климате этого района. Сочинения Пржевальского изобилуют блестящими описаниями ландшафтов, растительного и животного мира. Они содержат также сведения об азиатских народах и их быте. Пржевальский доставил в Петербург 702 экземпляра млекопитающих, 5010 экземпляров птиц, 1200 — пресмыкающихся и земноводных, 643 — рыб. Среди экспонатов были неизвестные ранее дикая лошадь (названная в его честь лошадью Пржевальского) и дикий верблюд. Гербарий экспедиций насчитывал до 15 тыс. экземпляров, принадлежащих к 1700 видам; в их числе оказалось 218 новых видов и 7 новых родов.

С 1870 по 1885 г. были опубликованы следующие описания путешествий Пржевальского, составленные им самим: «Путешествие в Уссурийском крае 1867—1869 гг.» (1870); «Монголия и страна тангутов. Трехлетнее путешествие в Восточной нагорной Азии», т. 1—2 (1875—1876); «От Кульджи за Тянь-Шань и на Лоб-Нор» (Изв. Русск. Геогр. об-ва, 1877, т. 13); «Из Зайсана через Хами в Тибет и на верховья Желтой реки» (1883); «Исследования северной окраины Тибета и путь через Лоб-Нор по бассейну Тарима» (1888).

Труды Пржевальского были переведены на ряд европейских языков и сразу получили всеобщее признание. Они могут быть поставлены в один



Маршруты экспедиций Н. М. Пржевальского

ряд с блестящими сочинениями Александра Гумбольдта и до сих пор читаются с исключительным интересом. Лондонское Географическое общество в 1879 г. присудило Пржевальскому свою медаль; в его решении отмечалось, что описание тибетского путешествия Пржевальского превосходит все, что было обнародовано в этой области со времен Марко Поло. Ф. Рихтгофен назвал достижения Пржевальского «поразительнейшими географическими открытиями». Пржевальскому были присуждены награды географических обществ: Русского, Парижского, Лондонского, Стокгольмского и Римского; он был почетным доктором ряда зарубежных университетов и почетным членом Петербургской академии наук, а также многих зарубежных и русских ученых обществ и учреждений. Город Каракол, где умер Пржевальский, получил впоследствии название Пржевальска.

Современниками Пржевальского и продолжателями исследований Центральной Азии были Г. Н. Потанин (много занимавшийся этнографией), М. В. Певцов, В. А. Обручев, М. Е. Грум-Гржимайло и др.

ИССЛЕДОВАНИЯ СИБИРИ И ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА

Развитие капитализма в России настоятельно требовало изучения всех азиатских окраин, особенно Сибири, быстрое ознакомление с природными богатствами и населением которой могло осуществляться только с помощью больших геолого-географических экспедиций. Сибирские купцы и промышленники, заинтересованные в изучении природных ресурсов края, материально поддерживали такие экспедиции.

Сибирский отдел Русского географического общества, созданный в 1851 г. в Иркутске, используя средства торгово-промышленных компаний, снаряжал экспедиции в бассейн р. Амура, на о. Сахалин и в золотоносные районы Сибири. В них участвовали по большей части энтузиасты из разных слоев интеллигенции: горные инженеры и геологи, учителя гимназий и профессора университетов, офицеры армии и морского флота, врачи и политические ссыльные. Научное руководство осуществлялось Русским географическим обществом.

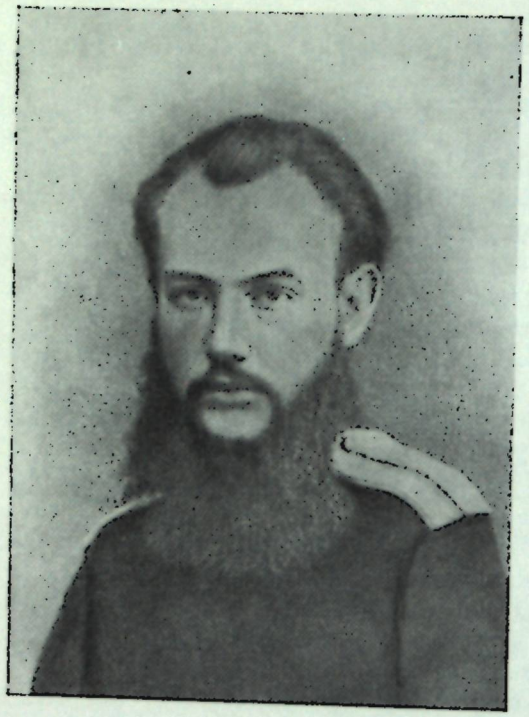
В 1849—1852 гг. Забайкальский край изучала экспедиция в составе астронома Л. Е. Шварца, горных инженеров Н. Г. Меглицкого и М. И. Кованько. Уже тогда Меглицкий и Кованько указали на существование месторождений золота и каменного угля в бассейне р. Алдана. Наибольший интерес представляет статья Меглицкого об исследовании юго-западной части оз. Байкал, опубликованная в «Горном журнале» (1855, ч. 2, кн. IV).

Настоящим географическим открытием явились результаты экспедиции в бассейн р. Вилюя, организованной Русским географическим обществом в 1853—1854 гг. Возглавил экспедицию учитель естествознания Иркутской гимназии Р. Маак. В составе экспедиции были также топограф А. К. Зондгаген и орнитолог А. П. Павловский. В труднейших условиях тайги, при полном бездорожье экспедиция Маака обследовала огромную территорию бассейна Вилюя и часть бассейна р. Оленека. В результате исследований появилось трехтомное сочинение Р. Маака «Вилюйский округ Якутской области» (ч. 1—3. СПб., 1883—1887), в котором с исключительной полнотой описаны природа, население и хозяйство большого и интересного района Якутской области.

Вслед за окончанием этой экспедиции Русское географическое общество организовало Сибирскую экспедицию (1855—1858) в составе двух партий. Математическая партия во главе со Шварцем должна была определять астрономические пункты и составить основу географической карты Восточной Сибири. Эта задача была успешно выполнена. В состав физической партии вошли ботаник К. И. Максимович, зоологи Л. И. Шренк и Г. И. Радде. Отчеты Радде, исследовавшего животный мир окрестностей Байкала, степной Даурии и горной группы Чокондо, были опубликованы на немецком языке в двух томах в 1862 и 1863 гг.

Другую комплексную экспедицию — Амурскую — возглавил Маак, опубликовавший две работы: «Путешествие на Амур, совершенное по распоряжению Сибирского отдела РГО в 1855 г.» (СПб., 1859) и «Путешествие по долине реки Уссури», т. 1—2 (СПб., 1861). Работы Маака содержали много ценных сведений о бассейнах этих дальневосточных рек.

Наиболее яркие страницы в изучение географии Сибири вписал замечательный русский путешественник и географ П. А. Кропоткин.



П. А. Кропоткин

Выдающимся было путешествие Кропоткина и учителя естествознания И. С. Полякова в Лено-Витимскую золотоносную область (1866). Основная их задача состояла в отыскании путей для перегона скота от г. Читы к приискам, расположенным по рекам Витиму и Олекме. Путешествие, начатое на берегах р. Лены, закончилось в Чите. Экспедиция преодолела хребты Олекмо-Чарского нагорья: Северо-Чуйский, Южно-Чуйский, Окраинный и ряд возвышенностей Витимского плоскогорья, в том числе Яблоновый хребет. Научный отчет об этой экспедиции, напечатанный в 1873 г. в «Записках Русского географического общества» (т. 3), явился новым словом в географии Сибири. Яркие описания природы сопровождались в нем теоретическими обобщениями. В этом отношении весьма интересен «Общий очерк орографии Восточной Сибири» (1875) Кропоткина, подводивший итоги тогдашней изученности Восточной Сибири. Составленная им схема орографии Восточной Азии значительно отличалась от схемы Гумбольдта. Топографической основой для нее служила карта Шварца. Кропоткин первым из географов обратил серьезное внимание на следы древнего оледенения Сибири. Известный геолог и географ В. А. Обручев считал Кропоткина одним из основоположников геоморфологии в России. Спутник Кропоткина зоолог Поляков составил эколого-зоогеографическое описание пройденного пути.

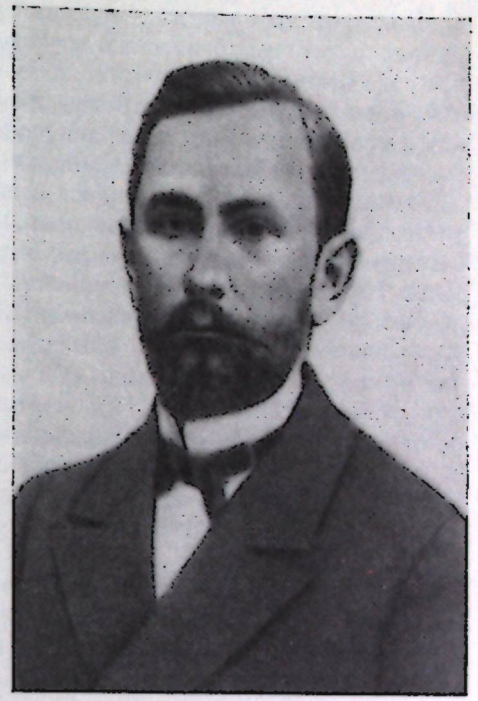
Член Петербургской Академии наук Шренк в 1854—1856 гг. возглавил экспедицию Академии наук на Амур и Сахалин. Круг научных проблем, охваченных Шренком, чрезвычайно широк. Результаты его исследований опубликованы в четырехтомном труде «Путешествия и исследования в Амурском крае» («Reisen und Forschungen im Amur-Lande in den Jahren 1845—1856». St. - P., 1859—1877).

В 1867—1869 гг. изучал Уссурийский край Пржевальский. Он первым отметил интересное и единственное в своем роде сочетание северных и южных форм флоры и фауны в уссурийской тайге, показал своеобразие природы края с его суровой зимой и влажным летом.

Крупнейший географ и ботаник (в 1936—1945 гг. президент Академии наук) В. Л. Комаров начал исследования природы Дальнего Востока в 1895 г. и сохранил интерес к этому району до конца жизни. В своем трехтомном труде «Flora Manschuriae» (St. - P., 1901—1907) он обосновал выделение особой «маньчжурской» флористической области. Ему принадлежат также классические работы «Флора полуострова Камчатка», т. 1—3 (1927—1930) и «Введение к флорам Китая и Монголии», вып. 1, 2 (СПб., 1908).

Живые картины природы и населения Дальнего Востока нарисовал в своих книгах известный путешественник В. К. Арсеньев. С 1902 по 1910 г. он изучал гидрографическую сеть хребта Сихотэ-Алинь, дал обстоятельную характеристику рельефа Приморья и Уссурийского края и блестяще описал их население. Книги Арсеньева «По Уссурийской тайге», «Дерсу Узала» и другие до сих пор читаются с неослабевающим интересом. (Сочинения Арсеньева в 6 томах изданы во Владивостоке в 1947—1949 гг.)

Значительный вклад в изучение Сибири внесли А. Л. Чекановский, И. Д. Черский и Б. И. Дыбовский, сосланные в Сибирь после польского восстания 1863 г. Чекановский изучал геологию Иркутской губернии. Его отчет об этих исследованиях был отмечен малой золотой медалью Русского географического общества. Но главные заслуги Чекановского состоят в изучении неизвестных до того территорий между реками Нижней Тунгуской и Леной. Он открыл там траповое плато, описал р. Оленек и составил карту северо-западной части Якутской области.



Г. И. Танфильев

Геологу и географу Черскому принадлежит первая сводка теоретических взглядов на происхождение впадины оз. Байкал (он высказал и собственную гипотезу о ее происхождении). Черский пришел к выводу, что здесь расположена древнейшая часть Сибири, не затоплявшаяся морем с начала палеозоя. Этот вывод использовал Э. Зюсс для гипотезы о «древнем темени Азии», и до сих пор он не потерял своего значения. Глубокие мысли высказал Черский об эрозионном преобразовании рельефа, о выравнивании его, сглаживании резких форм.

В 1891 г., уже будучи неизлечимо больным, Черский начал свое последнее большое путешествие в бассейн р. Колымы. По пути из Якутска в Верхнеколымск он открыл огромный горный хребет, состоящий из ряда цепей, с высотами до 1 тыс. м (впоследствии этот хребет был назван его именем). Летом 1892 г. во время путешествия Черский скончался, оставив законченный «Предварительный отчет об исследованиях в области рек Колымы, Индигирки и Яны» (Приложение к т. XXIII «Записок Академии наук», № 5. СПб., 1893).

Б. И. Дыбовский со своим товарищем В. Годлевским исследовал и описал своеобразную фауну Байкала. Они же измерили глубину этого уникального водоема.

Большой интерес для географии представляют научные отчеты В. А. Обручева о его геологических исследованиях и его специальные статьи о природе Сибири. Наряду с геологическим изучением золотоносных россыпей Олекмо-Витимской страны Обручев занимался такими географическими проблемами, как происхождение вечной мерзлоты, оледенение Сибири, орография Восточной Сибири и Алтая.

Западная Сибирь с ее плоским рельефом мало привлекала внимание ученых. Бóльшая часть исследований проводилась там силами любителей-ботаников и этнографов, среди которых можно назвать Н. М. Ядринцева, Д. А. Клеменца, И. Я. Словцова. Принципиальное значение имели проведенные в 1898 г. Л. С. Бергом и П. Г. Игнатовым исследования соляных озер, изложенные в книге «Соляные озера Селеты-денгиз, Теке и Кызылкак Омского уезда. Физико-географический очерк» (Записки Западно-Сибирского отдела РГО. М., 1901, кн. 28). Книга содержит подробную характеристику лесостепи и отношений леса и степи, очерки флоры и рельефа и т. д. Эта работа знаменовала собой переход к новому этапу исследований Сибири — от маршрутных исследований к полустационарным, комплексным, охватывающим широкий круг физико-географических особенностей территории.

На рубеже XIX и XX вв. и в первом десятилетии XX в. географические исследования Сибири были подчинены двум проблемам большой государственной важности: строительству Сибирской железной дороги и сельскохозяйственному освоению Сибири. Комитет Сибирской дороги, образованный в конце 1892 г., привлек к исследованиям широкой полосы вдоль трассы Сибирской железной дороги большое количество ученых. Изучались геология и полезные ископаемые, наземные и грунтовые воды, климат, растительность. Выдающееся значение имели исследования Танфильева в Барабинской и Кулундинской степях (1899—1901). В книге «Бараба и Кулундинская степь» (СПб., 1902) Танфильев, рассмотрев взгляды прежних исследователей, высказал убедительные соображения о происхождении грядового рельефа Барабинской степи, о режиме многочисленных озер Западно-Сибирской низменности, о характере почв, в том числе черноземов. Танфильев объяснил, почему леса в степях Европейской России размещаются ближе к речным долинам, а в Барабе, наоборот, леса избегают речных долин и размещаются на водораздельных гривах. До Танфильева Барабинскую низменность изучал Миддендорф. Его небольшая работа «Бараба», опубликованная в 1871 г. в «Приложении» к «Запискам имп. Академии наук» (т. 12, № 2, СПб.), до сих пор представляет большой интерес.

С 1908 по 1914 г. в азиатской части России работали почвенно-ботанические экспедиции Переселенческого управления министерства земледелия. Ими руководил выдающийся почвовед, ученик Докучаева, К. Д. Глинка. Экспедиции охватили почти все районы Сибири, Дальнего Востока и Средней Азии. Научные итоги экспедиции изложены в 4-томном труде «Азиатская Россия» (1914). Во втором томе и атласе этого коллективного труда подведены итоги географического изучения азиатской части России в революционный период [1].

[1] Азиатская Россия. СПб., 1914, т. I — Люди и порядки за Уралом; т. II — Земля и хозяйство»; т. III — Указатели имен, списки литературы и географических названий; т. IV — Атлас Азиатской России.

ИССЛЕДОВАНИЯ ЕВРОПЕЙСКОЙ РОССИИ, УРАЛА И КАВКАЗА

В то же время внимание ученых и министерства земледелия привлекали поиски причин оскудения почв, высыхания рек, уменьшения уловов рыбы и часто повторявшихся неурожаев хлебов в густонаселенной Европейской России. Географические исследования с этой целью проводились в европейской части страны естествоиспытателями разных специальностей: почвоведами, геологами, ботаниками, гидрологами, изучавшими отдельные компоненты природы. Но каждый раз при попытке объяснить названные явления исследователи неизбежно приходили к необходимости рассматривать и изучать их на широкой географической основе, с учетом всех природных факторов.

В 1874 г. по инициативе Русского географического общества была образована гипсометрическая комиссия, целью которой было составление топографических карт с изображением высот и понижений местности при посредстве горизонтальных линий — изогипс. В результате работы этой комиссии в 1884 г. вышла «Карта высот», разработанная Тилло, а в 1883 г. — его же карта длины и падения рек Европейской России. В 1889 г. была издана «Гипсометрическая карта Европейской России» (без северной части), явившаяся итогом 15-летней работы Тилло. Эта карта буквально перевернула все прежние представления о рельефе Европейской России. На ней были выделены возвышенности: Прикавказская (Ставропольская), Среднерусская, Приволжская и Приуральская и разделяющие их низменности: Прибалтийская, Приднепровская, Окско-Донская и низменность Поволжья.

Особое место в становлении и развитии географии в России занимают почвенные и ботанические исследования. Вызванные необходимостью установить причины повторяющихся неурожаев, они вылились в систему комплексного географического изучения территории.

Изучая русские черноземы, академик Ф. И. Рупрехт доказал, что распространение черноземов тесно связано с географией растений. Он установил, что южная граница распространения ели совпадает с северной границей русских черноземов.

Новым этапом в области почвенно-ботанических исследований явились работы Докучаева, руководившего в 1882—1888 гг. Нижегородской почвенной экспедицией, в результате которой был составлен научный отчет («Материалы к оценке земель Нижегородской губернии. Естественно-историческая часть...», вып. 1—14. СПб., 1884—1886) с двумя картами — почвенной и геологической. В этом сочинении рассмотрены климат, рельеф, гидрография, почвы, растительный и животный мир губернии. Это было первым такого рода комплексным исследованием большого сельскохозяйственного района. Он позволило Докучаеву сформулировать новые естественноисторические идеи и обосновать генетическое направление в почвоведении.

Танфильев подвел итоги 25-летнего изучения болот России, организованного министерством государственных имуществ. В своих статьях «О болотах Петербургской губернии» (Труды Вольного экономического об-ва, № 5) и «Болота и торфяники Полесья» (СПб., 1895) он раскрыл механизм образования болот и дал их детальную классификацию, заложив, таким образом, основы научного болотоведения.

В исследованиях, проводившихся во второй половине XIX в. на Урале, главное внимание было направлено на изучение его геологического строения и размещение полезных ископаемых. К 1914 г. весь Средний и Южный Урал был нанесен на геологическую карту в масштабе 1 : 420 000, что дало географам прочную основу для дальнейших исследований физико-географических компонентов природы Урала.

В 1898—1900 гг. Оренбургское отделение Русского географического общества организовало барометрическое нивелирование южной части Уральского хребта. Результаты нивелирования были опубликованы в «Известиях Оренбургского отделения Русского географического общества» за 1900—1901 гг. Это способствовало возникновению специальных геоморфологических исследований. Первую такую работу на Урале произвел П. И. Кротов. Он критически рассмотрел историю орографических исследований на Среднем Урале, дал общую картину строения его рельефа, описал множество характерных форм поверхности и объяснил геологические условия их возникновения.

Основательное изучение климата Урала началось с 80-х годов XIX в., когда там была создана 81 метеорологическая станция. К 1911 г. число их увеличилось до 318. Обработка данных метеонаблюдений дала возможность выявить картину распределения климатических элементов и определить общие черты климата Урала.

С середины XIX в. начали появляться работы по специальному исследованию вод Урала. Управление внутренних водных путей и шоссейных дорог министерства путей сообщения с 1902 по 1915 г. издало 65 выпусков «Материалов для описания русских рек», в которых содержались и обширные сведения о реках Урала.

К началу XX в. флора Урала (кроме Северного и Полярного) была уже довольно хорошо изучена. В 1894 г. главный ботаник Петербургского ботанического сада С. И. Коржинский впервые обратил внимание на следы древней растительности на Урале. Сотрудник Петроградского ботанического сада И. М. Крашенинников первым высказал соображения о взаимоотношениях леса и степи в Южном Зауралье, поставив тем самым важные ботанико-географические проблемы.

Значительно запоздали на Урале почвенные исследования. Только в 1913 г. сотрудники Докучаева Неуструев, Крашенинников и другие начали комплексные исследования почв Урала. Основные их труды были опубликованы уже в советское время.

Свод всех дореволюционных географических исследований Урала был напечатан в пятом томе многотомного иллюстрированного издания «Россия. Полное географическое описание нашего отечества», вышедшем в 1904 г. Интересна попытка его авторов дать характеристику природы Урала по основным компонентам и показать взаимоотношения между ними. Особенно наглядно показана связь крупных форм поверхности с геологическим строением и процессами разрушения и сноса горных пород.

Во второй половине XIX в. начались систематические работы по триангуляции и топографическим съемкам Кавказа. Военные топографы в своих отчетах и статьях сообщали много общегеографических сведений. Используя данные геодезических работ и геологических исследований Г. В. Абиха, Н. Салицкий в 1886 г. издал «Очерк орографии и геологии Кавказа», в котором изложил свои представления о географии этой горной страны.

Много внимания уделялось исследованиям ледников Кавказа. Большую научную ценность представляет работа К. И. Подозерского, давшего качественную и количественную характеристику ледников Кавказского хребта («Ледники Кавказского хребта».— Записки Кавказского отд. РГО, 1911, кн. 29, вып. I). Каталог ледников Большого Кавказа, составленный Подозерским, и ныне является одним из справочников по гляциологии.

Воейков, изучая климат Кавказа, первым обратил внимание на взаимосвязь климата и растительности Кавказа и сделал в 1871 г. первую попытку природного районирования этой горной страны.

Заметный вклад в исследование Кавказа сделал Докучаев. Именно при изучении природы Кавказа оформилось окончательно его учение о широтной зональности и высотной поясности.

Все дореволюционные сведения о рельефе Кавказа были использованы Танфильевым во втором томе его «Географии России», изданном в 1922 г.

Наряду с этими известными учеными, Кавказ изучали многие десятки почвоведов, геологов, ботаников, зоологов и т. д. Большое количество материалов о Кавказе напечатано в «Известиях Кавказского отдела Русского географического общества» и специальных отраслевых журналах. Но полное комплексное изучение и районирование Кавказа были осуществлены только уже в годы Советской власти.

ИССЛЕДОВАНИЯ В АРКТИКЕ

В 70-х годах XIX в. перед промышленниками Сибири особенно остро стал вопрос об использовании Северного морского пути для вывоза таких громоздких товаров, как лес, кожи, графит, руда и т. д. Сибирский общественный деятель и промышленник М. К. Сидоров обещал крупную денежную премию капитану, который первым проведет корабль из Карского моря по р. Енисею и заберет добытый на притоке Енисея Курейке графит.

В 1874 г. английский капитан И. Виггинс на пароходе «Диана» за одну навигацию дошел из Англии через Карское море до Обской губы. В 1875 г. шведский полярный исследователь Н. Норденшельд на пароходе «Превен» и капитан Виггинс на пароходе «Темза» вошли в Енисейский залив. Виггинс поднялся вверх по Енисею до р. Курейки и забрал графит. В 1876 г. Норденшельд на пароходе «Омер» вторично достиг Енисея. В 1877 г. Сидоров снарядил шхуну «Утренняя заря», которая за 3 недели прошла из устья Енисея в Барде (Норвегия). В 1878—1879 гг. Норденшельд на судне «Вега» с одной зимовкой прошел из Карского моря в Берингов пролив.

В 1882—1883 гг. русские ученые Н. Г. Юргенс и А. А. Бунге участвовали в исследованиях по программе Первого международного полярного года. Россия организовала тогда полярные станции на островах Новой Земли (остров Южный, пос. Малые Кармакулы) и в с. Сагастыр в устье р. Лены. Созданием этих станций было положено начало русским стационарным исследованиям в Арктике.

В 1886 г. Бунге и молодой геолог Толль исследовали Новосибирские острова. Толль охарактеризовал геологию островов и доказал, что север Сибири подвергался мощному оледенению. В 1900—1902 гг. Толль руководил Полярной экспедицией Академии наук, пытавшейся на яхте «Заря» отыскать «Землю Санникова», слухи о существовании которой держались с 1811 г. За два летних сезона «Заря» прошла из Карского моря в район

Новосибирских островов. Первая зимовка у Таймырского п-ова была использована для сбора географических материалов. После второй зимовки у о. Котельного Толль с тремя спутниками на собачьих упряжках вышел в сторону о. Беннета. На обратном пути путешественники погибли. Существование «Земли Санникова» не подтвердилось и последующими исследователями.

В 1910—1915 гг. на ледокольных транспортах «Таймыр» и «Вайгач» проводились гидрографические исследования от Берингова пролива до устья р. Колымы, обеспечившие создание лоций морей, омывающих Россию на севере. В 1913 г. «Таймыр» и «Вайгач» открыли архипелаг, называемый теперь Северной Землей.

В 1912 г. лейтенант флота Г. Л. Брусилов решил пройти из Петербурга во Владивосток по Северному морскому пути. На частные средства была снаряжена шхуна «Святая Анна». У берегов п-ова Ямал шхуна была затерта льдами и унесена течениями и ветрами на северо-запад (севернее Земли Франца-Иосифа). Экипаж шхуны погиб, в живых остались только штурман В. И. Альбанов и матрос А. Э. Конрад, отправленные Брусиловым на Большую землю за помощью. Судовой журнал, сохраненный Альбановым, дал богатые материалы. Проанализировав их, известный полярный путешественник и ученый В. Ю. Визе в 1924 г. предсказал местонахождение неизвестного острова. В 1930 г. этот остров был найден и назван именем Визе.

Много сделал для изучения Арктики Г. Я. Седов. Он изучал подходы к устью р. Колымы и губу Крестовую на островах Новой Земли. В 1912 г. Седов на судне «Святой Фока» достиг Земли Франца-Иосифа, затем зимовал на Новой Земле. В 1913 г. экспедиция Седова вторично пришла на Землю Франца-Иосифа и зимовала на о. Гукера в бухте Тихой. Отсюда в феврале 1914 г. Седов с двумя матросами на нартах отправился в сторону Северного полюса, но не достиг его и на пути к полюсу скончался. Научные материалы, полученные спутниками Седова В. Ю. Визе и М. А. Павловым, представляют большую ценность.

Богатые гидробиологические материалы получила Мурманская научно-промысловая экспедиция под руководством Н. М. Книповича и Л. Л. Брейтфуса. За время своей работы (1898—1908) экспедиция на корабле «Андрей Первозванный» провела гидрологические наблюдения в 1500 точках и биологические — в 2 тыс. точек. В результате экспедиции были составлены батиметрическая карта Баренцева моря и карта течений. В 1906 г. вышла книга Книповича «Основы гидрологии Европейского Ледовитого океана». Много новых данных о Баренцевом море получили ученые Мурманской биологической станции, основанной в 1881 г.

⁂

С 1857 г. начались дальние плавания русских паровых судов, продолжившие гидрометеорологические наблюдения, проводимые прежде во время кругосветных плаваний парусников.

В 1883 г. Россия приняла участие в первой Международной морской конференции в Брюсселе. Решения конференции по установлению единых методов гидрометеорологических наблюдений строго выполнялись русскими морскими исследователями.

Адмиралу С. О. Макарову принадлежат оригинальные работы о проли-

вах; им же проводились разнообразные гидрологические исследования. Классический труд Макарова ««Витязь» и Тихий океан» был издан в 1894 г. одновременно на русском и французском языках. Это произведение появилось в результате кругосветного путешествия парусно-парового корвета «Витязь» в 1886—1889 гг. Новизна и оригинальность труда заключались в том, что Макаров разделил весь океан и прилегающие к нему моря на участки шириной и длиной в 1°. Тысячи таких участков были заполнены показаниями максимальных, минимальных и средних температур воды. Эти показания температур вместе с данными о распределении удельного веса воды дают представление о поле плотностных течений в океанах. Знание распределения температур воды позволяет обнаружить и изучить места подъема к поверхности глубинных холодных вод, влияющих на формирование погоды.

Макаров развил предположение Ленца о вертикальной циркуляции вод океанов, построил общую схему течений в северной части Тихого океана в виде антициклонического круговорота (что также позднее получило подтверждение), первым доказал главную роль отклоняющего действия вращения Земли на динамику океанических и морских течений.

Океанографические работы Макарова получили широкое признание, а название корабля «Витязь» было высечено на фронтоне океанографического музея в Монако наряду с названиями 9 других судов, внесших наибольший вклад в исследование Мирового океана.

В конце XIX и начале XX в. вышел еще ряд выдающихся сочинений по океанографии и гидрологии океанов, и среди них книга Шренка «Физическая география. Гидрология. Лекции, читанные в академическом курсе морских наук» (СПб., 1875). В этой обширной монографии Шренк использовал последние достижения науки, в том числе результаты английской экспедиции на «Челленджере» (1872—1876).

В 1903 г. вышли в свет «Лекции по физической географии» профессора И. Б. Шпиндлера, значительная часть которых посвящена океанографии. В них, так же как в курсах Ленца и Шренка, содержалось систематическое изложение основных положений океанографии в соответствии с последними достижениями науки. Например, Шпиндлер писал, что изменения цвета морской воды можно объяснить разным рассеянием, отражением и поглощением отдельных простых световых лучей, входящих в состав белого солнечного света, а также количеством и степенью растворения в воде микроскопических твердых веществ, находящихся во взвешенном состоянии. Основы современной морской оптики были заложены лишь в 20-х годах XX в. советским ученым В. В. Шулейкиным и одновременно с ним и независимо от него — индийским физиком Ч. В. Раманом.

Достижения океанографии в досоветское время были обобщены и развиты Ю. М. Шокальским в его фундаментальном труде «Океанография» (Пг., 1917), имевшем мировое значение. В нем не только тщательно освещен, проанализирован и обобщен мировой опыт исследований морей, но и содержится много оригинальных идей самого Шокальского. Шокальский впервые обосновал здесь понятие «Мировой океан», принятое ныне всеми океанографами. Спустя 40 лет в предисловии ко второму (посмертному) изданию «Океанографии» (1959) было отмечено, что «несмотря на необычайно быстрый прогресс естествознания вообще и мореведческих наук в частности, труд Ю. М. Шокальского продолжает сохранять многие выдающиеся достоинства фундаментального географического произведения».

Макаров, Книпович и другие русские ученые принимали самое активное участие в работе Международного совета по изучению морей, созданного в 1902 г. (с центром в Копенгагене).

Вопросами территориального разделения труда и порайонного развития экономики страны наука конца XIX —начала XX в. занималась мало. Появление в конце XIX в. труда В. И. Ленина «Развитие капитализма в России» (1899) стало событием огромной исторической важности. В этом труде Ленин разработал и применил на практике теоретические основы районного метода исследования, новые марксистские теоретические основы экономического районирования. Книга «Развитие капитализма в России» стала методологической основой для создания самостоятельной науки — экономической географии, получившей широкое развитие уже в советское время в трудах многих советских географов. Особенно большой вклад в создание этой науки внес профессор Н. Н. Баранский, организовавший первую кафедру экономической географии в Московском университете.

К числу важнейших достижений русской географической науки второй половины XIX — начала XX в. в области экспедиционных исследований относится изучение горных районов Средней Азии, которое привело к полному пересмотру представлений западноевропейских ученых об орографии Тянь-Шаня и выделению Памира в качестве самостоятельной горной страны (П. П. Семенов, Н. А. Северцов). Продолжением среднеазиатских экспедиций явились исследования Центральной Азии, в буквальном смысле открывшие для науки этот район (Н. М. Пржевальский, Г. Н. Потанин и др.).

Выдающееся значение имели работы, проведенные на корвете «Витязь» в Тихом океане под руководством С. О. Макарова, во время которых было получено в четыре раза больше данных о температуре и удельном весе морской воды, чем всеми предшествующими экспедициями.

В Арктике русскими моряками было осуществлено первое в истории сквозное плавание по Северному морскому пути с востока на запад, приведшее, в частности, к открытию архипелага Северная Земля — последнего неизвестного крупного участка суши на планете (Б. А. Вилькицкий).

Важное значение для мировой науки имели также теоретические исследования русских ученых. В. В. Докучаев и А. Н. Краснов разработали теоретические основы физической географии как комплексной науки. Несколько позже в структуре планеты был выделен физико-географический объект — комплексная оболочка, образованная литосферой, атмосферой, гидросферой и биосферой; эту оболочку П. И. Броунов впервые в мировой науке определил как предмет исследования физической географии.

Примерно в те же годы трудами В. В. Докучаева было завершено создание учения о географической зональности и высотной поясности, а Л. С. Берг и Г. Ф. Морозов на основе этого учения приступили к разработке ландшафтоведения.

Комплексный подход к изучению природы позволил в последней четверти прошлого века В. В. Докучаеву, его ученикам и последователям создать научное почвоведение.

Глава двадцать восьмая

БИОЛОГИЯ[1]

ВВЕДЕНИЕ

Начало второй половины XIX в. ознаменовалось решительной победой материалистических представлений в биологии; на смену креационизму и недостаточно последовательным и малообоснованным эволюционным взглядам Ламарка, Жоффруа Сент-Илера и других ранних эволюционистов пришло эволюционное учение Ч. Дарвина. Дарвин не только привел убедительные доказательства исторического развития органического мира, но и дал материалистическое объяснение возникновению целесообразной организации живых существ, их поразительной приспособленности к условиям существования. Это объяснение, не нуждающееся в ссылках на мудрость творца, в допущении изначальной целесообразности живых существ или присущей им будто бы способности всегда целесообразно реагировать на изменения условий среды, содержится в учении Дарвина о естественном отборе. К. Маркс отметил, что Дарвином «впервые не только нанесен смертельный удар «телеологии» в естествознании, но и эмпирически объяснен ее рациональный смысл...» [2]

Дарвинизм нашел в России благоприятную почву благодаря пробуждению в русском обществе широкого интереса к естественным наукам как основе экономического прогресса. Своим расцветом в 60-е годы русская наука обязана верности материалистическим традициям, ведущим начало от Ломоносова и поддержанным в середине XIX в. революционными демократами и философами-материалистами Герценом, Белинским, Добролюбовым, Писаревым и Чернышевским.

Для пропаганды дарвинизма в России большое значение имел выход в 1864 г. перевода «Происхождения видов» и появление в том же году статей Писарева в журнале «Русское слово», Антоновича в «Современнике» и Тимирязева в «Отечественных записках». Писарев предвидел, что учение Дарвина станет ареной борьбы научного мировоззрения с реакционным. Действительно, в 1885 г., в эпоху политической реакции, вышел в свет двухтомный памфлет зоолога Н. Я. Данилевского «Дарвинизм», целью которого было опровержение учения Дарвина. Критические соображения Данилевского не были оригинальны, они в значительной части повторяли высказывания немецкого антидарвиниста Виганда.

Выступление Данилевского встретило решительный отпор со стороны Тимирязева, который отстаивал учение Дарвина от безнадежных попыток «остановить одно из могучих течений современной мысли» [3]. Так же решительно полемизировал Тимирязев и с защитником Данилевского литератором и философом Н. Н. Страховым. Тимирязев неустанно пропагандировал и развивал дарвинизм. Его книги «Ч. Дарвин и его учение» и «Исторический метод в биологии» получили в России широкую известность.

---

[1] При подготовке главы использован текст раздела «Биология» из книги «История естествознания в России», т. 3. М., Изд-во АН СССР, 1962.

[2] *К. Маркс и Ф. Энгельс.* Соч., т. 30, с. 475.

[3] *К. А. Тимирязев.* Соч., т. 7. М., Сельхозгиз, 1939, с. 267.



К. А. Тимирязев

В защиту учения Дарвина активно выступали также И. И. Мечников, М. А. Мензбир и др.

Не меньшее значение, чем защита учения Дарвина от нападок его противников, имела исследовательская работа русских биологов, которая способствовала перестройке различных разделов биологической науки на основе дарвинизма. Доказательства эволюции теория Дарвина черпала из палеонтологии, сравнительной анатомии, эмбриологии, учения о географическом распределении организмов и других областей биологии. Во всех этих областях успешно работали русские исследователи второй половины XIX и начала XX в.

В. О. Ковалевский по праву считается одним из основателей эволюционной палеонтологии. А. О. Ковалевский, И. И. Мечников и их последователи — В. В. Заленский, Н. В. Бобрецкий и др.— заложили основы сравнительной эволюционной эмбриологии; эмбриологический критерий использовали при сравнительно-анатомическом изучении путей и факторов эволюции А. Н. Северцов, И. И. Шмальгаузен, Н. К. Кольцов, Д. П. Филатов, Б. С. Матвеев и др. И. И. Мечников применил эволюционную идею в патологии, в частности при изучении воспаления, И. М. Сеченов высказывал соображения, которые в дальнейшем легли в основу исследований по эволюционной физиологии.

В области ботаники учение Дарвина защищали А. Н. Бекетов, Н. И. Кузнецов, В. Л. Комаров и др.

В конце XIX и начале XX в. передовым русским биологам пришлось вести борьбу не только с антиэволюционизмом и идеалистическим пониманием явлений эволюции, но и с идеалистическими взглядами на основу жизненных явлений, т. е. витализмом. На рубеже XIX и XX вв. немецкий зоолог Г. Дриш пытался доказать, что жизненными явлениями управляет некий нематериальный и даже внепространственный целедеятельный фактор, которому Дриш дал название «энтелехия». Под именем энтелехии неовитализм возродил понятие «жизненной силы» старого витализма; другие неовиталисты вместо жизненной силы говорили о «жизненном порыве» (Бергсон), «доминанте» (Рейнеке) и т. п. В России в годы реакции, последовавшей за подавлением революции 1905 г., некоторые видные биологи также склонялись к витализму, в том числе ботаники И. П. Бородин, А. С. Фаминцын, С. И. Коржинский, зоологи С. И. Метальников, Е. А. Шульц и некоторые другие. С критикой витализма решительно выступали физиологи И. М. Сеченов и И. П. Павлов, зоолог М. А. Мензбир, физиолог растений К. А. Тимирязев.

Выступая против витализма, Тимирязев связывал свои суждения на эту тему с защитой дарвинизма, поскольку виталисты конца XIX — начала XX вв., как правило, были антидарвинистами.

Наряду с постановкой и разрешением общебиологических проблем русские биологи рассматриваемого периода много сделали в области ботаники, зоологии, физиологии и биохимии животных и растительных организмов, а также в области применения биологических знаний в практике.



В. О. Ковалевский

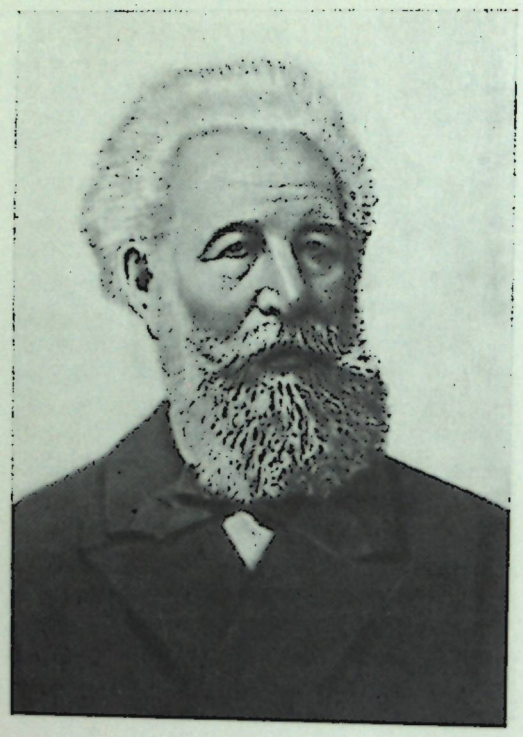
БОТАНИКА

Исследования в различных областях ботаники во второй половине XIX в. проводились в Академии наук, на кафедрах университетов и сельскохозяйственных учебных заведений, а также на базе ботанических садов, организованных в Москве и Петербурге (в начале XVIII в.), в Крыму (в начале XIX в.).

Флористические исследования в России были впервые обобщены в сочинении «Flora rossica» («Русская флора»), изданном на латинском языке в Штутгарте в 1842—1853 гг. Позднее выходили сводные труды по флоре России А. Н. Бекетова (1884, 1896) и Г. И. Танфильева (1918). Начатое в первой половине XIX в. планомерное флористическое обследование различных областей России широко развернулось во второй половине XIX и начале XX вв.

Региональное изучение флоры России служило углублению и уточнению классификации растений, давало материал для выводов, относящихся к географическому распределению и экологии растений, а также для суждения о развитии растительного покрова отдельных районов. Распространенная во второй половине XIX в. система растений А. Брауна и А. Эйхлера была усовершенствована И. Н. Горожанкиным (1897) и Н. И. Кузнецовым (1914). С вопросами систематики связывали проблему видообразования в растительном мире, а видообразование у растений — с географическими и, в частности, с климатическими условиями существования.

Ботанико-географические исследования в России начал И. Г. Борщов своими «Материалами для ботанической географии Арало-Каспийского края» (1865). Эти исследования углубил А. Н. Бекетов, который применил в географии растений исторический метод и опубликовал первое



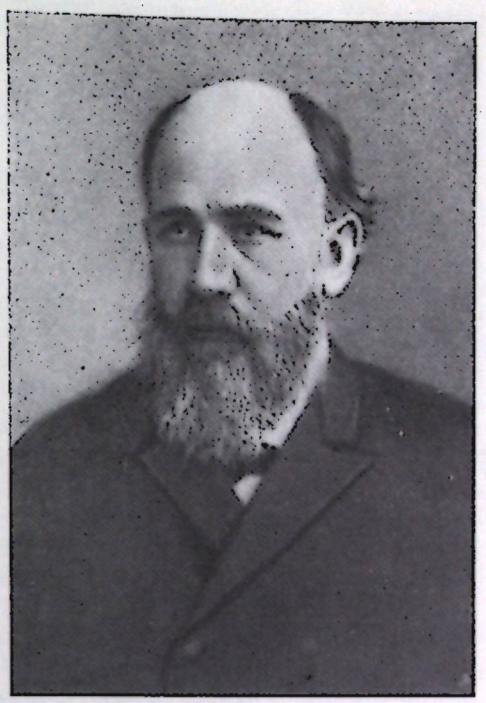
А. Н. Бекетов

учебное руководство «География растений» (1896). А. Н. Краснов, изучавший флору Тянь-Шаня, Дальнего Востока и Кавказа, как и Бекетов, рассматривал современную растительность с точки зрения истории ее развития. Русские ботаники успешно изучали растительность не только России, но и соседних стран, в частности Маньчжурии, а также западного полушария. В дальнейшем в самостоятельную дисциплину выделилась часть географии растений — фитоценология (геоботаника), или учение о растительных сообществах. Одним из ее основателей был И. К. Пачоский. Г. Ф. Морозов изучал лесную растительность и изложил свои взгляды на динамику лесных сообществ в книге «Учение о лесе» (1912). Фитоценологические исследования В. Н. Сукачева обобщены в трудах «Введение в учение о растительных сообществах» (1915) и «Болота, их образование, развитие и свойства» (1914). Наряду с флористическими, систематическими, фитогеографическими и фитоценологическими исследованиями в России второй половины XIX и начала XX вв. широко развернулось изучение растения с точки зрения его формы, функции и онтогенетического развития.

Морфология растений в последарвиновское время в значительной мере сделалась эволюционной морфологией. Эволюционно-морфологические обобщения А. Н. Бекетова основывались на представлении, что изменения организмов происходят под влиянием факторов внешней среды и приобретают характер приспособлений к условиям существования. Исследования Бекетова (1865—1868), показавшие влияние климатических условий, а также отдельных факторов среды, в частности света, на строение растений, позднее получили развитие благодаря применению экспериментального метода. По путям, намеченным Бекетовым, пошли его ученики А. Ф. Баталин и И. П. Бородин, изучавшие влияние света на строение высших растений, а также водорослей. Н. Ф. Леваковский (1868) исследовал экспериментальным путем зависимость строения корней от структуры и состава почвы.

В области эмбриологии растений первые русские исследования связаны с именем Н. И. Железнова (40—50-е годы XIX в.). В начале второй половины XIX в. развитие спор и пыльцы изучал И. Д. Чистяков (1869—1871).

Наиболее важные работы, раскрывшие основные закономерности полового процесса у голосеменных растений, принадлежат И. Н. Горожанкину (1880). Им же выполнены работы, касающиеся полового процесса у вольвоксов (1875—1891). Исследования ученика Горожанкина В. И. Беляева (1885—1897), посвященные развитию антеридиев у разноспоровых плауновых, водных и разноспоровых папоротников, а также пыльцы голосеменных, завершили работы В. Гофмейстера в этой области и окончательно установили родство споровых и цветковых растений.



И. Н. Горожанкин

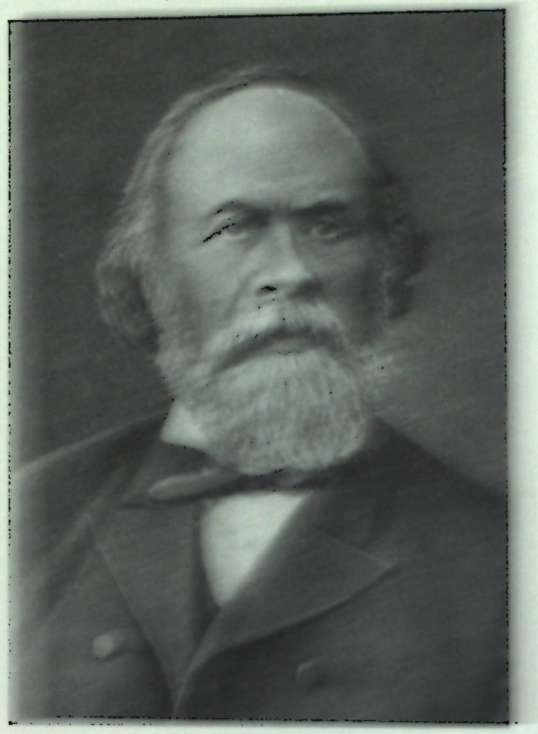
Для воссоздания путей эволюции растительного мира большое значение имели работы по сравнительно-морфологическому изучению органов размножения растений.

Филогенетическая история растительного мира, в частности происхождение и дивергентная эволюция высших растений, может быть понята только при сопоставлении их с низшими.

Изучение низших растений было начато в России Л. С. Ценковским. Его диссертация «О низших водорослях и инфузориях» (1856) по существу положила начало протистологии в широком смысле слова. В ней шла речь о простейших животных и растениях, близость которых друг к другу отмечал автор. Ценковский изучал в частности историю развития слизистых грибов (1862) и студенистых водорослей (1869). Изучением водорослей занимались Х. Я. Гоби, Я. Я. Вальц, И. Н. Горожанкин, В. М. Арнольди и Л. И. Курсанов, а изучением низших грибов в связи с общими проблемами фитопатологии — М. С. Воронин, А. А. Ячевский и Л. И. Курсанов.

Физиология растений как самостоятельная наука формировалась в тесной связи с химией, физикой и практикой земледелия. Именно этим объясняется наиболее интенсивное изучение в XIX в. таких проблем, как почвенное (минеральное) и воздушное (фотосинтез) питание растений, дыхание и превращение веществ в растениях, потребность растений в воде, передвижение воды и растворенных в ней веществ в растении, движение и рост растений.

До середины XIX в. не было правильного общепринятого представления о сравнительной роли минерального, азотного и гумусового питания растений, о значении при этом различных удобрений, о химическом составе почв. Даже крупнейший агрохимик Либих был уверен, что растения воспринимают из воздуха не только углерод, но и азот, а из почвы только минеральные вещества; в противовес этому Ж. Буссенго настаивал на необходимости применять в качестве удобрений навоз как источник азотного питания через корни. В экспериментальном изучении питания растений много сделал К. А. Тимирязев. Особенно плодотворно эти исследования



Л. С. Ценковский

развивал в дальнейшем Д. Н. Прянишников, который изучил полный цикл превращения азотистых веществ в растении и роль аммиака как исходного и конечного продукта этих процессов. По его данным, из аммиака, образующегося в растении в виде конечного продукта распада белков, а также аммиака, поступающего из почвы, синтезируется аспарагин, который является также звеном азотистого обмена животных.

Изучение минерального питания растений потребовало разработки специального метода, посредством которого можно было создавать любые комбинации и изменять дозировку солевого состава растворов, поступающих в растение через корневую систему, т. е. метода водных культур. Идея этого метода была высказана в середине XIX в. А. К. Чугуновым (1854) и в 60-х годах осуществлена Ю. Саксом и особенно И. Кнопом. А. С. Фаминцын, Л. Н. Прянишников, П. С. Коссович и др., пользуясь методом водных культур, детально исследовали физиологическое значение для роста и развития растений многих неорганических солей, особенно солей фосфора и различных соединений азота.

Факт воздушного питания растений был установлен в конце XVIII в. Обсуждая вопрос об энергетике фотосинтеза, Д. Дрепер (1844), Ю. Сакс (1864) и В. Пфеффер (1872) считали, что максимум ассимиляции углекислоты падает на желтую часть спектра. Тимирязев, использовавший более совершенный метод исследования, показал, что наиболее эффективна при фотосинтезе красная часть спектра. Открытие второго максимума фотосинтеза в сине-фиолетовой части спектра не изменило этого вывода. Тимирязев показал применимость к фотосинтезу закона сохранения энергии — закона, подтвержденного опытами Ф. Ф. Брауна-Шарпантье (1864). В лекции «Космическая роль растения» (1903) Тимирязев высказал мысль об участии растений в круговороте энергии и материи. Е. Храповицкий (1882) и В. В. Сапожников (1886) обнаружили в числе продуктов фотосинтеза углеводы и белки. А. Н. Бах в 90-х годах одним из первых [illegible] кислород, освобождающийся [illegible] воды. Химическую [illegible] Тимирязева изучали И. П. Бородин, [illegible] и др. Особое значение имели исследования Баха. В 1903 г. он [illegible] известность хроматографический [illegible] установил наличие в зеленых растениях [illegible] красящих веществ — каротина и

М. В. Ненцкий, работавший в Институте экспериментальной медицины, в 1897 г. высказал мысль о химическом родстве зеленого пигмента растений с гемином, составной частью гемоглобина крови животных. Вместе с Н. О. Зибер-Шумовой Ненцкий получил из гемоглобина гематопорфирин, близкий по химической природе к филлопорфирину, который можно выделить из хлорофилла.

Изучение зависимости фотосинтеза от внешних условий, проводившееся русскими ботаниками-физиологами, показало, что на интенсивность фотосинтеза влияют интенсивность света и концентрация углекислого газа в воздухе.

Диссимиляционные процессы в растительных организмах — брожение и дыхание — были предметом многочисленных исследований русских физиологов. Доказательство ферментативной природы брожения принадлежит М. М. Манассеиной, а дыхания — Баху и В. И. Палладину. В частности, Бах высказал мысль, что в процессе дыхания растений участвует наряду с оксигеназой еще и пероксидаза, а Палладин установил многоступенчатость ферментативных превращений веществ, участвующих в дыхании. С. П. Костычев (1907) показал единство процессов дыхания и брожения, продемонстрировав, таким образом, переход от диссимиляционных процессов у грибов и анаэробных бактерий к соответствующим жизненным явлениям у высших растений.

Соотношение дыхания растения с ростом установил Бородин (так называемая большая кривая дыхания), а Палладин и Костычев изучали участие белков в процессах дыхания. Белковый обмен изучали Прянишников, развивший идею Буссенго о единстве азотистого обмена у растений и животных, а также Л. А. Иванов (1905), Н. Н. Васильев (1910), К. А. Пуриевич (1911) и др.

Зависимости обмена веществ и химического состава растений от условий внешней среды и экологических (географических) факторов были посвящены исследования Фаминцына (1859), Бородина (1870—1890) и Е. А. Шацкого (1890—1892). Наряду с Тимирязевым, Шацкий может считаться одним из основателей эволюционной физиологии растений (его работа носит название «Физиологические признаки растений, их изменчивость и отношение к эволюционной теории», 1913).

Закономерности передвижения в растениях воды и растворенных в ней органических и неорганических веществ изучали О. В. Баранецкий (1872) и П. Я. Крутицкий (1875). Обобщающей работой по вопросам, касающимся движения воды в растениях, явилась диссертация Е. Ф. Вотчала (1897).

Успехи экспериментальной физиологии растений получили приложение к практическим задачам земледелия, в частности к вопросам засухоустойчивости и морозоустойчивости культурных растений. Приспособления растений к климатам с различной влажностью изучал П. А. Ильенков (1865). К. А. Тимирязев и Н. А. Максимов (1916) установили, что засухоустойчивые растения обладают способностью переносить временное глубокое обезвоживание тканей. Биохимические процессы в период осеннезимнего покоя были предметом исследований Бородина (1867) и его учеников. Физиологическую обусловленность морозоустойчивости изучал Максимов (1908, 1913), показавший, что гибель растений при понижении температуры вызывается постепенным накоплением в их тканях ледяных кристаллов, вызывающих механические повреждения. Создание выносли-

вых к холодам сортов плодовых деревьев и других культурных растений является заслугой И. В. Мичурина.

С проблемами физиологии растений тесно связано изучение их роста, движения и раздражимости. Зависимость роста от внешних условий, в частности света, установили А. Ф. Баталин (1869—1872), Фаминцын (1872) и Вальц (1876); закономерность суточной периодичности роста выяснил Баранецкий. Русским фитофизиологам (А. И. Набоких, Ф. В. Чирикову и др.) принадлежат одни из ранних работ по химическим стимуляторам роста. Направленный рост в зависимости от силы тяжести, света и химических раздражений (т. е. тропизмы) служил предметом исследований Баранецкого, В. А. Ротерта, Д. Н. Нелюбова и др.

Проблемы полового и бесполого (вегетативного) размножения растений неразрывно связаны с экспериментальным изучением явлений их индивидуального развития и наследственности. Эти проблемы, преимущественно на плодовых растениях, изучал Мичурин, сочетавший в своих работах методы акклиматизации, отдаленной гибридизации, прививок, планомерного воздействия факторов окружающей среды и повторного (в разные возрасты растения) отбора. В результате многолетних исследований Мичурину удалось вывести около 300 новых и улучшенных сортов плодово-ягодных растений, пригодных для разведения в климатических условиях средней полосы.

В 80-х годах от ботаники начала постепенно обособляться микробиология, изучающая строение и жизнедеятельность бактерий и низших грибов. Решающую роль в создании микробиологии как самостоятельной науки сыграли исследования Л. Пастера и Р. Коха. Теоретические основы изучения иммунитета были заложены Мечниковым, который в речи «О защитных силах организма» (1883) изложил принципы разработанной им позднее фагоцитарной теории. По инициативе Мечникова в 1886 г. была организована первая в России бактериологическая станция в Одессе; затем последовало создание Бактериологического института Харьковского медицинского общества (1887), Института экспериментальной медицины в Петербурге (1890) и Бактериологического института в Москве (1896).

М. С. Воронин одним из первых открыл наличие клубеньковых бактерий в особых корневых разрастаниях у бобовых растений; эти бактерии, как было выяснено впоследствии, обладают способностью фиксировать атмосферный азот, обогащая почву азотистыми соединениями, которые могут усваиваться растениями.

К концу 80-х годов относятся первые исследования С. Н. Виноградского, приведшие его к фундаментальному открытию — обнаружению новой формы автотрофной ассимиляции (хемосинтеза), т. е. способности некоторых почвенных бактерий ассимилировать углекислоту воздуха за счет энергии окисления сероводорода или закисных солей железа или окисления аммиака в нитриты, а нитритов в нитраты. Другая серия работ Виноградского была посвящена анаэробным бактериям, способным фиксировать свободный атмосферный азот; с этим явлением связана проблема кругооборота азота в природе. Способность некоторых почвенных бактерий связывать азот изучал также Коссович (1892), эту же способность грибов исследовали Пуриевич (1895) и Крашенинников (1916). Изучение почвенных плесневых грибков привело к открытию явлений антагонизма между ними и бактериями. Так, Манассеин (1871) впервые показал, что плесень Penicillium угнетает рост бактерий. Это наблюдение положило начало новой области исследования и открыло в дальнейшем широкие перспективы для использования антибиотиков в медицине как средства борьбы с патогенными микроорганизмами.

Русскими микробиологами были выполнены также работы, установившие роль микроорганизмов в круговороте углерода в природе. Помимо цикла углерода: зеленые растения, ассимилирующие углерод из углекислоты воздуха — незеленые растения и животные, диссимилирующие углеродсодержащие органические вещества и возвращающие углекислый газ в атмосферу, существует еще ветвь цикла: гниение в почве растений и животных, обусловленное деятельностью почвенных бактерий и также обогащающее воздух углекислым газом. Ученик Виноградского В. Л. Омелянский (1895—1902) получил чистую культуру анаэробных бактерий, сбраживающих клетчатку с образованием водорода и углекислоты. Образование плодородного слоя почвы благодаря действию аэробных и анаэробных бактерий, а также грибов изучал Костычев (1889).

Теоретические проблемы, связанные с решением практических задач, ставились русскими исследователями и в области, получившей название технической микробиологии. Так, С. Н. Виноградский и В. Л. Фрибес (1895) установили разложение пектина, соединяющего волокна лубяных культур, т. е. выяснили природу процессов, происходящих при технической обработке (мочке) стеблей этих культур.

Важны также исследования русских микробиологов, посвященные брожениям. Начиная с работы Я. И. Иванова (1909), впервые установившего образование фосфорных эфиров углеводов как начальную стадию спиртового брожения, появились исследования (в частности, работа А. Н. Лебедева 1915), в которых было детально изучено появление фосфорных соединений в процессе спиртового брожения.

Д. И. Ивановский, изучавший природу возбудителя мозаичной болезни табака в 1892 г., установил, что этот возбудитель проходит через поры фильтров, через которые не проходят бактерии, и не растет на обычных питательных средах; оказалось также, что антисептики убивают возбудителя мозаичной болезни так же, как известных до того микробов. Эти исследования были вскоре подтверждены голландским микробиологом М. Бейеринком. Таким образом, была обнаружена неизвестная до того форма жизни — вирусы и тем самым положено начало новой области науки — вирусологии. Открытие вирусов сыграло огромную роль в решении фундаментальных проблем биологии, в частности в области молекулярной генетики, а также проблем медицинской и ветеринарной микробиологии. В дальнейшем было установлено, что целый ряд болезней — оспа, бешенство, грипп и другие имеют вирусную природу; был открыт также метод борьбы с патогенными бактериями с помощью поражающих их вирусов, так называемых фагов.

ЗООЛОГИЯ

В 60-е годы XIX в. в русской зоологии наметилась отчетливая дифференциация направлений исследования; в частности, все более широко развертывалось сравнительное изучение строения животных и их эмбрионального развития.

Активную роль в развитии русской зоологии играли, помимо Академии наук и университетов, научные общества при университетах и съезды



М. А. Мензбир

русских естествоиспытателей и врачей.

Научные общества принимали деятельное участие в организации экспедиций для изучения фауны.

Этими экспедициями была детально изучена фауна юго-востока Европейской части России и Средней Азии, описаны новые виды животных и сделаны важные зоогеографические обобщения. Работой Н. А. Северцова «Вертикальное и горизонтальное распределение туркестанских животных» (1873) были заложены основы экологической зоогеографии. Новым большим вкладом в эту науку явился его труд «О зоологических (преимущественно орнитологических) областях внетропических частей нашего материка» (1876), где было предложено деление всей Палеарктики на зоогеографические зоны и провинции.

Начало изучению эндемической фауны Байкала положили сосланные в Сибирь за участие в польском восстании Б. Дыбовский и В. Годлевский. Из русских зоологов, посещавших с научной целью тропические страны, следует упомянуть Н. Н. Миклухо-Маклая (Новая Гвинея, 70-е годы XIX в.) и И. Д. Стрельникова (Бразилия, перед первой мировой войной).

Активно изучалась фауна внутренних, а также омывающих Россию морей. В 1871 г. по инициативе Новороссийского (Одесского) общества естествоиспытателей была создана первая в России морская Севастопольская биологическая станция. С 1891 г. ее возглавлял А. О. Ковалевский. Результаты изучения черноморской фауны суммированы в монографии С. А. Зернова «К вопросу об изучении жизни Черного моря» (1913).

Много внимания уделялось фауне северных морей, в особенности Белого и Баренцева. В 1881 г. профессор Петербургского университета Н. П. Вагнер основал Соловецкую биологическую станцию. Из многих работ, посвященных животному населению Белого моря, следует упомянуть монографию В. М. Шимкевича «Наблюдения над фауной Белого моря» (1889). С 1905 г. на берегу Кольского залива начала функционировать Мурманская биологическая станция. В 1915 г. вышел фундаментальный труд К. М. Дерюгина «Фауна Кольского залива и условия ее существования».

П. Ю. Шмидт опубликовал большую монографию «Рыбы восточных морей Российской империи» (1904). Организовывались озерные и речные гидробиологические станции: под Москвой — на оз. Глубоком (1890), в районе Косино и под Звенигородом (1910), вблизи Бологого (1896), на Волге — в Саратове (1900) и Астрахани (1904), на Днепре (1909).



Н. А. Холодковский

Фауне млекопитающих Кавказа посвящены монографии К. А. Сатунина («Млекопитающие Кавказского края», т. 1, 1915; т. 2, 1920) и Н. Я. Динника («Звери Кавказа», т. 1, 1910; т. 2, 1914), а фауне птиц и млекопитающих южнорусских степей — исследования А. А. Браунера. По орнитофауне России опубликованы труды М. А. Мензбира «Птицы России» (1893), «Орнитологическая география Европейской России» (1891) и др.

Низшим позвоночным посвящена книга А. М. Никольского «Гады и рыбы» (1903). Ихтиологические монографии выпустили Л. П. Сабанеев («Рыбы России», 1892) и Л. С. Берг («Рыбы пресных вод России», 1916).

Из числа энтомологических монографий следует упомянуть книги Г. Г. Якобсона и В. Л. Бианки «Прямокрылые и ложносетчатокрылые Российской империи и сопредельных стран» (1905) и Г. Г. Якобсона «Жуки России и Западной Европы» (1905—1915) и «Курс энтомологии, теоретической и прикладной» Н. А. Холодковского (1912). Проблемы прикладной энтомологии освещены также в книгах Ф. П. Кеппена «Вредные насекомые» (т. 1—3, 1881—1883), А. А. Тихомирова («Основы практического шелководства», 1891, Н. М. Кулагина («Вредные насекомые и меры борьбы с ними», 1906).

В области паразитологии представляют интерес ранние гельминтологические работы А. П. Федченко, выяснившего цикл развития среднеазиатского круглого червя «ришты» (Dracunculus medinensis). Выяснение цикла развития ришты позволило уже в советское время ликвидировать дракункулез в очагах его распространения. Систематические работы по гельминтологии проводили Э. К. Брандт и особенно Холодковский, а в дальнейшем — ученик Холодковского Е. Н. Павловский, а также К. И. Скрябин. Изучением организации и жизненных циклов простейших, в том числе паразитических, занимались в Петербурге В. Т. Шевяков и его преемник В. А. Догель. Биологию малярийного плазмодия изучал Д. Л. Романовский, а жгутиконосцев (в частности, лейшманий) — М. Н. Никифоров, Е. И. Марциновский, П. Ф. Боровский, В. Л. Якимов и др.

Проблемами акклиматизации и охраны диких животных много занимался А. П. Богданов. Следует отметить также исследования по вопросам пчеловодства, шелководства и искусственного рыборазведения. После



А. Н. Северцов

работ В. П. Врасского, предложившего в 50—60-х годах прошлого века так называемый сухой метод искусственного осеменения, русскими рыбоводами достигнуты большие успехи в этой области. После Октябрьской революции в низовьях Волги, Дона и Кубани были организованы учреждения, осуществлявшие гормональную стимуляцию, осеменение и выращивание мальков ценных пород рыб.

После Дарвина систематика животных все более делалась филогенетической дисциплиной, опирающейся на данные сравнительной (эволюционной) морфологии — сравнительной анатомии и эмбриологии. В результате сравнительно-анатомических и эмбриологических работ А. О. Ковалевского, И. И. Мечникова и других был выделен тип хордовых, в который наряду с позвоночными были включены бесчерепные, оболочники и кишечнодышащие. Принципы систематики, основанной на учении Дарвина, разрабатывал А. П. Семенов-Тян-Шанский, который в работе «Таксономические границы вида и его подразделений» предложил критерии понятия «вид» и разделил его на подчиненные понятия.

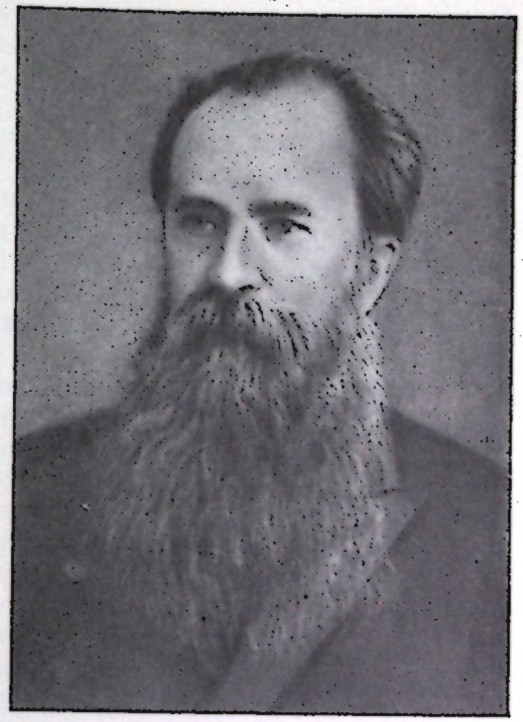
СРАВНИТЕЛЬНАЯ АНАТОМИЯ

С 60-х годов XIX в. в России начала успешно развиваться сравнительная анатомия.

Школу сравнительных анатомов-эволюционистов Московского университета основал ученик Рулье Я. А. Борзенков, непосредственным учеником которого был Мензбир; под руководством Мензбира начинал свою научную деятельность А. Н. Северцов. Сравнительно-анатомические исследования школы Северцова начались с изучения метамерии головы позвоночных. Изучив сегментацию производных осевой и висцеральной мезодермы головы, а также головного отдела нервной системы у зародышей амфибий, хрящевых ганоидов, акуловых и двоякодышащих рыб, а также у круглоротых, Северцов выяснил пути эволюции головы позвоночных. В последующей серии работ сотрудники Северцова И. И. Шмальгаузен и С. Г. Крыжановский установили, что пятипалые конечности наземных позвоночных произошли из плавников рыб и изучили пути эволюции конечностей.

Расцвет деятельности школы А. Н. Северцова в области сравнительной анатомии позвоночных относится уже к советскому времени, когда были

опубликованы работы самого Северцова, посвященные морфологии висцерального аппарата, черепа и плавников рыб, и работы его учеников, также изучавших преимущественно сравнительную анатомию низших позвоночных. Эти исследования завершились изданной посмертно в 1964 г. монографией И. И. Шмальгаузена «Происхождение наземных позвоночных». Морфологические исследования Северцова и его школы легли в основу представлений о путях эволюции позвоночных; он реконструировал строение гипотетических предков позвоночных и предков отдельных групп этого подтипа.



А. О. Ковалевский

ЭМБРИОЛОГИЯ

Русские зоологи второй половины XIX в. широко интересовались проблемами индивидуального развития начиная с оплодотворения и ранних эмбриональных стадий. А. А. Тихомиров обнаружил возможность искусственного партеногенеза у тутового шелкопряда, показав, что неоплодотворенные яйца могут быть побуждены к развитию сильными раздражителями без участия сперматозоидов; кратковременное погружение грены шелкопряда в серную кислоту, механическое и электрическое раздражение приводили к партеногенетическому развитию яиц.

В дальнейшем изучение искусственного партеногенеза было продолжено в опытах Ж. Леба и Э. Батайона на яйцах иглокожих и амфибий.

Значение науки о развитии индивидуума как одной из основ эволюционной теории отмечал уже Дарвин. В его время учение Пандера и Бэра о гомологии зародышевых листков считалось применимым только к позвоночным. Таким образом, отсутствовало доказательство кровного родства между разными типами животных. Ковалевский, Мечников и их последователи в России и за ее пределами, изучившие эмбриологию большого количества беспозвоночных, относящихся к разным типам, превратили теорию зародышевых листков из чисто топографического в генеалогическое обобщение. Они установили гомологию процессов дробления, обособления зародышевых листков (гаструляции) и закладки важнейших систем органов у представителей разных типов. На смену теории типов Кювье—Бэра, признававшей обособленность крупных подразделений животного царства, пришло учение о родстве всех многоклеточных животных и о путях их возникновения из одноклеточных предков.

Особенно большое значение для обоснования принципов эволюционной эмбриологии имели исследования Ковалевского. В работах о развитии

бесчерепных (ланцетника) и оболочников (асцидий) он с полной ясностью показал, что на ранних стадиях развития эти низшие хордовые развиваются весьма сходно с многими беспозвоночными, а затем (в явлениях закладки и дифференцирования центральной нервной системы, хорды, осевых мезодермальных органов, вторичной полости тела и т. д.) обнаруживаются несомненные признаки родства с позвоночными. В дальнейшем Ковалевский раскрыл закономерности развития многих беспозвоночных животных, систематическое положение которых оставалось до того неясным,— плеченогих, сагитты и форониса, детально описал эмбриональное развитие гребневиков, малощетинковых кольчатых червей, боконервных и лопатоногих моллюсков и насекомых.

Заслугой Мечникова, который по справедливости делит с Ковалевским славу обоснования эволюционной эмбриологии, является детальное выяснение закономерностей эмбрионального развития губок, низших кишечнополостных (медуз и сифонофор), плоских червей, ракообразных, паукообразных (скорпиона), многоножек, насекомых и иглокожих. В исследовании по развитию насекомых Мечников отчетливо показал наличие у них зародышевых листков, неосновательно оспаривавшееся авторитетными зоологами того времени (например, А. Вейсманом). Работы Мечникова по развитию медуз дали ему материал для суждения об эволюции форм гаструляции и позволили противопоставить популярной в свое время геккелевской теории гастреи (гипотетического двуслойного предка всех многоклеточных) более обоснованную теорию паренхимеллы, или фагоцителлы.

Успехи эволюционной эмбриологии, в значительной мере опиравшиеся на работы русских исследователей, особенно Ковалевского и Мечникова привели к важным теоретическим обобщениям, одним из которых был сформулированный Э. Геккелем биогенетический закон. Он являлся логическим следствием установленного Бэром сходства зародышей животных, принадлежащих к разным классам одного типа, а также следствием наблюдений К. Кильмейера, Л. Окена и И. Меккеля, отметивших, что зародыши высших животных на разных стадиях своего развития сходны со взрослыми животными, относящимися к более низко организованным группам того же типа и даже к различным типам.

Эти наблюдения впервые истолковал в эволюционном смысле Ч. Дарвин. Он сформулировал закон, согласно которому сходство между зародышами разных организмов есть свидетельство общности происхождения этих организмов. Развивая мысль Дарвина, Ф. Мюллер разрабатывал проблему воспроизведения в индивидуальном развитии признаков, присущих предкам.

Следуя за Дарвином, Геккель высказал мысль, что сходство последовательных стадий эмбрионального развития высших животных с членами филогенетического ряда, ведущего от дальних предков к современным организмам, обозначает, что онтогенез является кратким повторением филогенеза. Примеры повторения в онтогенезе признаков предков Геккель назвал рекапитуляциями, а уклонения в онтогенезе потомков от признаков, которые были свойственны предкам,— ценогенезами, или эмбриональными приспособлениями.

Основываясь на обширном сравнительно-анатомическом и эмбриологическом материале, А. Н. Северцов пришел к заключению, что биогенетический закон Геккеля представляет собой лишь одно из возможных

проявлений соотношения между онтогенезом и филогенезом. Он показал, что признаки организации взрослых животных могут обнаруживаться на разных стадиях индивидуального развития. В отличие от Геккеля и его последователей, которые в биогенетическом законе видели главным образом источник филогенетических построений, Северцов придавал соотношению онтогенеза и филогенеза значение самостоятельной общебиологической проблемы, требующей детального изучения. Результатом исследований в этой области была продуманная классификация тех изменений в онтогенезе, которые могут приводить к изменениям органов взрослых животных. А. Н. Северцов показал, что эти изменения могут происходить или в начале онтогенетического развития, или путем прибавления новых стадий в его конце. Эволюция посредством ранних эмбриональных изменений не укладывается в схему Геккеля, так как в этом случае рекапитуляция признаков предков не имеет места. Вместе с тем такие изменения могут не связываться с приспособлением к определенным условиям существования, т. е. не являются ценогенезами в геккелевском смысле; в отличие от ценогенезов эти эмбриональные изменения Северцов назвал филоэмбриогенезами. В случаях прибавлений (надставок) новых стадий в конце онтогенеза они могут повторяться в филогенезе, хотя и не с той обязательностью, которую предполагал Геккель, так как при возникновении эмбриональных приспособлений (ценогенезов) рекапитуляции могут ими маскироваться. Вместе с тем, Северцов в отличие от Геккеля отказался от абсолютного противопоставления повторяющихся в онтогенезе признаков предков (палингенезов) приспособительным новообразованиям (ценогенезам), а равно и от представления, что последовательность появления признаков в филогенетическом развитии обязательно должна соответствовать последовательности их при рекапитуляции в онтогенезе.



И. И. Мечников

Другими словами, Северцов не просто внес уточнения и поправки в чрезвычайно широко распространенные в конце XIX и начале XX в. представления Геккеля, а создал законченное учение о соотношении онтогенеза и филогенеза, проиллюстрировав его огромным, в большей своей части оригинальным, фактическим материалом. Теория Северцова была изложена в книге «Этюды по теории эволюции. Индивидуальное развитие и эволюция» (М., 1912). Продолжая до последних лет своей жизни изучать морфологические закономерности эволюционного процесса с привле-

чением данных сравнительной анатомии, палеонтологии и эмбриологии, Северцов значительно расширил круг разрабатывающихся им вопросов. Плодом этих исследований была монография «Morphologische Gesetzmässigkeiten der Evolution» (Jena, 1931), вышедшая на русском языке в 1939 г. под названием «Морфологические закономерности эволюции». В этой книге, получившей самую высокую оценку в СССР и за границей (Г. де Бер назвал ее «творением, будящим мысль»), подведены итоги многолетних работ самого Северцова и его учеников. В монографии идет речь обо всех основных филогенетических проблемах, решаемых на морфологическом материале: освещены теории и методы филогенетического исследования, приведены фактические данные, касающиеся путей эволюции низших позвоночных, охарактеризованы закономерности или модусы филогенеза и, наконец, освещена более детально и аргументированно, чем в предыдущем сочинении, проблема соотношения между онтогенезом и филогенезом, т. е. теория филэмбриогенеза. Северцов создал новое направление в морфологии животных, получившее название эволюционной морфологии.

ГИСТОЛОГИЯ

Я. Пуркине и его ученик Г. Валентин в Чехии, И. Мюллер и его ученики Р. Ремак и А. Келликер в Германии могут считаться основателями гистологии — науки о микроскопическом строении органов и тканей. Ф. Лейдигу (1857) и Келликеру (1889—1902) принадлежит заслуга создания морфофизиологической классификации тканей, сохранившей значение и до настоящего времени.

Самостоятельная кафедра гистологии впервые была организована в Московском университете в 1864 г. А. И. Бабухиным. В 1869 г. была основана кафедра гистологии в петербургской Военно-медицинской академии. Вскоре такие кафедры возникли в большинстве тогдашних русских университетов.

Интерес к функциям нервной системы со стороны клиницистов (С. П. Боткин) и физиологов (И. М. Сеченов, И. П. Павлов) был причиной того, что одним из ведущих направлений русской гистологии второй половины XIX в. стала нейрогистология. Ее успехам особенно способствовала разработка А. С. Догелем и А. Е. Смирновым метода окраски нервной ткани метиленовым синим.

Среди многочисленных открытий русских нейрогистологов следует упомянуть наблюдения Ф. В. Овсянникова, который в 1854 г. установил строение осевого цилиндра нервного волокна из тончайших волокон — нейрофибрилл и показал, что кора полушарий головного мозга состоит у всех позвоночных из пяти слоев.

Догель является автором большого количества работ по строению сетчатки, выполненных в сравнительно-гистологическом плане; он открыл неизвестные до того клеточные элементы сетчатки и установил структурные связи между нервными элементами разных ее слоев. Использование новых методов исследования нервной ткани путем импрегнации солями серебра и золота, введенных Бильшовским, К. Гольджи и С. Рамон-и-Кахалем, позволило изучить тонкую структуру нервных волокон и нервных окончаний, а также образований (синапсов), соединяющих единицы строения нервной системы (нейроны) в единое целое. Эти исследования

успешно проводились гистологами казанской школы во главе с Н. А. Мисловским, в особенности его наиболее выдающимся учеником Б. И. Лаврентьевым, расцвет деятельности которого падает на послереволюционный период, когда он создал школу советских нейрогистологов. Результатом работ других учеников Мисловского — Г. И. Забусова, Н. Г. Колосова и И. Ф. Иванова, а также работ Лаврентьева и его учеников было окончательное признание нейронной теории строения нервной системы, в том числе и автономной; они изучили иннервацию внутренних органов и мышц, установили значение перицеллюлярных аппаратов на ганглиозных клетках автономной нервной системы, решили проблему морфологического субстрата так называемой антагонистической (симпатической и парасимпатической) иннервации и т. д.

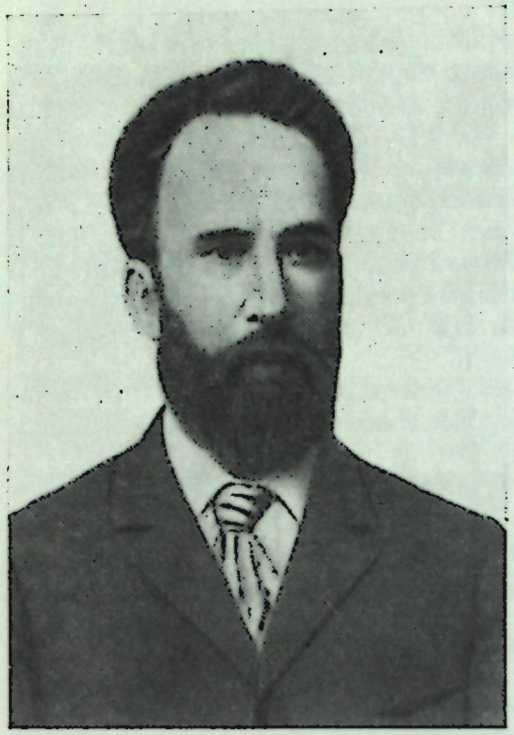
Сравнительно-гистологические исследования нервной системы, начатые Догелем, в советское время были продолжены его учеником академиком А. А. Заварзиным.

Русским гистологам принадлежит также существенный вклад в изучение соединительной ткани и крови. Фагоцитарную функцию кровяных (лейкоцитов) и тканевых (гистиоцитов) клеточных элементов открыл Мечников, основавший на ней свое учение о воспалении и иммунитете.

Наблюдениями над реакцией кровяных и соединительнотканых клеток на введение в организм частиц туши, убитых и живых бактерий Мечников заложил основы изучения защитной функции и ее эволюции в филогенезе от низших беспозвоночных до млекопитающих и человека. Фагоцитарную теорию Мечникова А. О. Ковалевский применил для изучения органогенеза при метаморфозе мух; он показал, что гистолиз личиночных органов сопровождается внутриклеточным перевариванием погибших клеток, одновременно с чем идет размножение клеток в имагинальных дисках, являющихся зачатками органов будущего взрослого насекомого. Введение туши и различных красителей — кислых и основных — послужили в работах Ковалевского средством для сравнительного изучения гистологии выделительной системы у целого ряда беспозвоночных (червей, членистоногих, моллюсков и др.). Одним из важнейших методов экспериментальной гистологии явилось культивирование тканей вне организма.

Выращивание кровяных элементов в культуре впервые осуществил петербургский профессор А. Е. Голубев. В курсе «Общая гистология» (1871), который он читал в Медико-хирургической академии, Голубев сообщал о своих до этого не опубликованных опытах по культивированию тканей вне организма. В 1886 г. профессор Харьковского университета И. П. Скворцов культивировал на искусственной питательной среде кровяные клетки птиц. Американскому биологу Р. Гаррисону в 1906 г. удалось получить не только переживание, но и рост нервной ткани вне организма.

Превращения различных элементов крови и соединительной ткани в очагах экспериментально вызванного асептического воспаления детально изучил профессор Военно-медицинской академии А. А. Максимов, сформулировавший унитарную теорию кроветворения, согласно которой все форменные элементы крови — эритроциты, зернистые лейкоциты и лимфоциты — происходят от одной первичной кровяной клетки — гемоцитобласта. Унитарная теория включает в общую систему также недифферен-



В. И. Беляев

цированные клетки соединительной ткани, тем самым рассматривая кровь и соединительную ткань как единую ткань внутренней среды организма. Дальнейшее развитие представлений о строении и эволюции крови и соединительной ткани связано с именем ученика Догеля — Заварзина.

ЦИТОЛОГИЯ

Во второй половине XIX в. цитология (учение о клетке) еще не выделилась из гистологии в качестве самостоятельной дисциплины. Однако для понимания структуры тканей, состоящих из клеток и их производных, было необходимо детальное изучение строения и жизнедеятельности самих клеток, входящих в их состав органоидов, в первую очередь оболочки, ядра и цитоплазменных структур, которые обнаруживаются при осуществлении специфических функций железистых клеток, а также тех структур, которые возникают в клетке в процессе ее деления.

Митоз, или непрямое деление животных клеток, впервые описал в 1873 г. немецкий зоолог А. Шнейдер на примере дробления яиц одного ресничного червя. Только 5 лет спустя фазы, через которые проходит процесс митотического деления, установили В. Шлейхер и В. Флемминг в Германии, В. Майзель в Варшаве и П. И. Перемежко в Киеве. В последовательном порядке эти фазы деления (оформление хромосом и ахроматической фигуры митоза, удвоение хромосом и расхождение дочерних хромосом к полюсам материнской клетки, где формируются ядра дочерних клеток) впервые сумел расположить Флемминг. Изучением размножения растительных клеток (спор) занимались Э. Руссов в Дерптском университете (1872) и профессор Московского университета И. Д. Чистяков (1874). Митотическое деление вскоре (1875) было детально исследовано на различных растениях Э. Страсбургером.

Ботаникам принадлежит также заслуга открытия и изучения редукционного деления, приводящего в созревающих половых клетках к превращению диплоидного набора хромосом в гаплоидный. При гаметогенезе многих высших растений это явление расхождения парных хромосом и сохранения в половых клетках половинного количества хромосом наблюдал В. И. Беляев (1892). При изучении процессов оплодотворения у покрытосеменных растений С. Г. Навашин (1898) обнаружил так называемое двойное оплодотворение, сводящееся к тому, что одно генеративное ядро пыльцевой трубки сливается с ядром яйцеклетки, образуя ядро

зиготы — будущего зародыша, а другое — с вторичным ядром зародышевого мешка, давая начало ядрам будущего эндосперма. Это открытие Навашина вскоре было подтверждено Ж. Гиньяром и получило всеобщее признание.

И. И. Герасимов впервые экспериментально получил полиплоидные клетки у зеленой водоросли спирогиры в результате воздействия холодом и наркотиками (хлороформом и эфиром).

О. В. Баранецкий (1879) открыл спиральную структуру хромосом в клетках традесканции, Навашин описал особые участки хромосом в растительных клетках, названные им «спутниками».

Детальное описание строения хромосом, процессов митотического деления соматических клеток и редукционного деления созревающих половых клеток, а также цитологической картины оплодотворения знаменует важный этап в истории цитологии. Эти исследования открыли путь к синтезу цитологии и генетики, к созданию новой отрасли биологической науки, цитогенетики, расцвет которой начался в 20-е годы XX в.



С. Г. Навашин

Исследованием пластид в растительных клетках занимались В. Ф. Хмелевский (1891), К. С. Мережковский (1903), В. Н. Любименко (1905), Г. А. Левитский (1911) и А. А. Сапегин (1913). Активное начало хлоропластов — хлорофилл начал исследовать Бородин (1882), получивший его в кристаллическом виде из спиртового раствора. В дальнейшем изучение хлорофилла и его физиологической роли продолжал Тимирязев. Строение и изменение стенки растительных клеток исследовали А. Н. Петунников (1866), Палладин (1883) и Баранецкий (1886).

Только в начале XX в. морфологическое и функциональное изучение клеток сложилось в самостоятельную науку. Одним из первых в этой области начал работать А. Г. Гурвич. Уже в 1904 г. он суммировал накопленные в литературе и собственные данные в опубликованной на немецком языке монографии «Morphologie und Biologie der Zelle» («Морфология и биология клетки»), в которой отстаивал плодотворную идею, что исследование микроскопических структур должно сочетаться с изучением их функционального значения.

Специальное внимание Гурвич уделял природе протоплазмы. Установив способность цитоплазмы яиц восстанавливать разрушенные центрифугированием структуры, Гурвич позднее, уже в 30—40-х годах XX в., построил физиологическую теорию протоплазмы, рассматривая протоплазму как совокупность неравновесных молеку-

лярных констелляций, удерживаемых в определенном пространственном отношении друг к другу.

Многочисленные работы Гурвича и его учеников посвящены проблеме клеточного деления — закономерностям распределения митозов в развивающемся зародыше. Гурвич выдвинул представление о реактивном характере клеточного деления, т. е. о зависимости его от готовности клетки к делению и от наличия пускового механизма — коротковолнового ультрафиолетового (митогенетического) излучения.

ФИЗИОЛОГИЯ ЖИВОТНЫХ И ЧЕЛОВЕКА[1]

В 50-е годы XIX в. физиология в русских университетах выделяется в самостоятельную дисциплину, и в Петербургском, Московском, Казанском и Харьковском университетах создаются специальные физиологические лаборатории. Выдающуюся роль в развитии физиологии в России сыграл И. М. Сеченов. Уже в тезисах диссертации «Материалы для будущей физиологии алкогольного опьянения» (СПб., 1860) Сеченов наметил направление своих будущих исследований. В 1862 г. он открыл явление центрального торможения («Исследование центров, задерживающих отраженные движения, в мозгу лягушки».— Медицинский вестник, 1863, № 1—3).

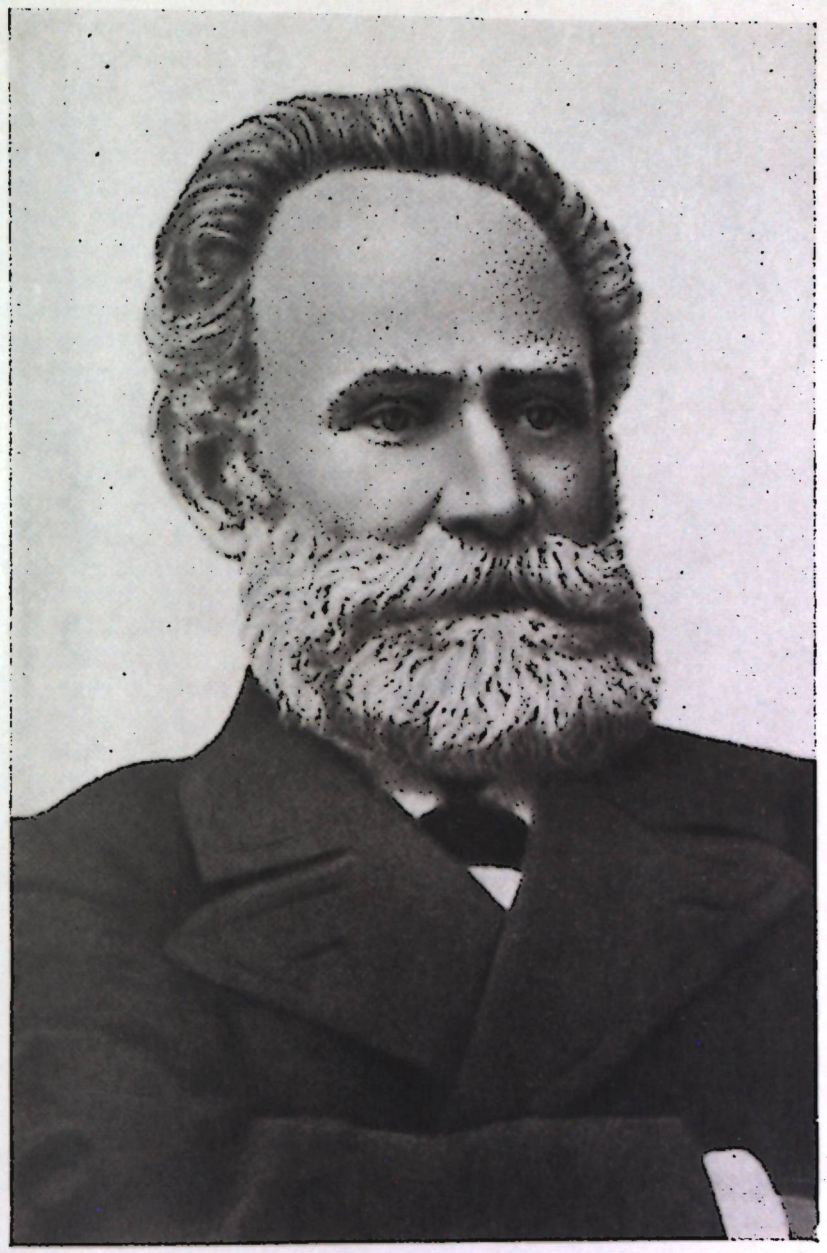
В опытах Сеченова, посвященных явлениям центрального торможения, была одновременно открыта функция ретикулярной формации и установлено существование иерархии нервных уровней (доминирование верхних отделов над нижними). Эти открытия послужили основой материалистического учения Сеченова о деятельности головного мозга.

В 1868 г. Сеченов открыл свойство нервных центров суммировать отдельные возбуждающие толчки в координированные движения (закон суммации), а в 1882 г. установил наличие в продолговатом и спинном мозге ритмических электрических явлений.

В «Физиологии нервной системы» (1886), как и в «Рефлексах головного мозга» (1863), опираясь на наблюдение клиники С. П. Боткина над больными с атаксией, Сеченов дал описание так называемого «темного мышечного чувства», которое, по его словам, вместе с кожными и зрительными ощущениями служит главнейшим руководителем сознания в координации движения.

Один из последних параграфов «Физиологии нервной системы» («Личная мимика») Сеченов посвятил анализу выразительных (т. е. мимических) движений. В большинстве случаев, писал Сеченов, легко доказать рефлекторное происхождение мимических движений и что «всякое мимическое движение лица следует рассматривать как конец рефлекса, осложненного психическими элементами». Проблему выразительных движений Сеченов представил в духе эволюционного учения, развитого Дарвином в труде «The expression of the emotions in man and animals» («Выражение эмоций у человека и животных», 1872).

В 80—90-х годах Сеченов выполнил ряд исследований, посвященных дыханию и газам крови, а также поглощению газов соляными растворами.



И. П. Павлов

В своих психофизиологических работах, выходивших с 1863 по 1903 г., Сеченов развивал материалистическую трактовку всех явлений природы, материалистическую рефлекторную теорию понимания психических процессов; он внес важный вклад в создание научных основ психологии и изучение функций нервной системы в духе эволюционной теории Дарвина. Его «Психологические этюды» (1873; переведены на французский язык в 1884 г.), содержащие три статьи: «Рефлексы головного мозга», «Замечания на книгу г. Кавелина «Задачи психологии»» и «Кому и как разрабатывать психологию», привлекли внимание В. И. Ленина. Сеченова имел в виду Ленин, когда в 1894 г. писал: «Он, этот научный психолог, отбросил философские теории о душе и прямо взялся за изучение материального субстрата психических явлений — нервных процессов...»[1]



И. М. Сеченов

Ученики Сеченова активно вели экспериментальную разработку важнейших проблем физиологической науки: в области сравнительной физиологии и радиобиологии работали А. Ф. Брандт (1867) и И. Р. Тарханов (1879, 1896), в области электрофизиологии — Н. Е. Введенский, Б. Ф. Верниго и А. Ф. Самойлов, в области фармакологии и обмена веществ — Н. П. Кравков и М. Н. Шатерников.

Не только физиология, но по существу все области теоретической и практической медицины в России развивались под влиянием идей Сеченова.

Особенно сильное влияние рефлекторная теория Сеченова оказала на развитие клинической медицины, крупнейшими представителями которой были С. П. Боткин и Г. А. Захарьин. Л. Н. Симонов под руководством профессора физиологии Казанского университета Н. О. Ковалевского в 1866 г. выполнил исследование, задуманное под влиянием учения Сеченова о торможении и доказывающее существование центров торможения у млекопитающих.

Исследования в области нервно-рефлекторной регуляции кровообращения были выполнены в лаборатории К. Людвига. В 1866 г. К. Людвиг и И. Ф. Цион открыли «сердечночувствующий» нерв, раздражение центрального конца которого вызывало рефлекторную реакцию — резкое падение кровяного давления.

---

[1] *В. И. Ленин.* Полн. собр. соч., т. 1, с. 142.

Эта работа одновременно была опубликована на немецком языке и получила высокую оценку физиологов.

В лаборатории Ковалевского начиная с 1868 г. изучалась рефлекторная регуляция кровообращения и дыхания. В той же лаборатории в 1867 г. было выполнено исследование Э. В. Адамюка «К учению о внутриглазном кровообращении и давлении», положившее начало офтальмологии. В 1866 г. И. М. Догель показал, что у кролика можно вызвать рефлекторную остановку сердечной деятельности при раздражении чувствующих окончаний слизистой носа. Занимаясь и в дальнейшем физиологией и фармакологией сердечной деятельности, Догель в 1894 г. опубликовал сравнительно-физиологическое исследование, показавшее, что рефлекторные влияния на сердце существуют и у беспозвоночных животных, в частности у ракообразных.

В лаборатории И. Р. Тарханова Л. Г. Беллярминов разработал прием для фоторегистрации диаметра зрачка (фотокореограф Беллярминова). Этот же метод был использован им для наблюдения за колебаниями внутричерепного давления.

В 1874 г. И. П. Павлов в своей студенческой работе совместно с В. Н. Великим доказал существование наряду с депрессорным и прессорного нерва, рефлекторно ускоряющего сердечную деятельность.

В 70-х годах проводился цикл исследований по нахождению центров, регулирующих деятельность сердца и сосудов; в 1871 г. Ф. В. Овсянников открыл в продолговатом мозге кролика вазомоторный центр; в коре головного мозга центры, регулирующие деятельность сердца и сосудов, были найдены В. Я. Данилевским и В. М. Бехтеревым (1875).

Наряду с изучением центростремительных нервов начинается исследование центробежных нервов (Р. Гейденгайн, В. Гаскелл и И. П. Павлов). В 1884 г. вышла докторская диссертация Павлова «Центробежные нервы сердца». В ней было доказано, что работой сердца управляют четыре центробежных нерва: замедляющий, ускоряющий, ослабляющий и усиливающий. До работ Гаскелла и Павлова считалось, что нервное влияние на сердце ограничивается лишь изменением его ритма. Исследования Павлова в этом направлении завершились опубликованием в 1888 г. классической работы «Усиливающий нерв сердца». В этой работе Павлов (одновременно с Гаскеллом) высказал мысль о том, что влияние усиливающего нерва сердца есть трофическое влияние. Такое понимание характера влияния центробежных нервов в дальнейшем легло в основу разделения всех центробежных нервов на три группы: сосудодвигательные, трофические и фундаментальные.

Мысль о существовании специальной трофической иннервации была высказана еще в начале XIX в. Ф. Мажанди и поддержана в дальнейшем К. Бернаром, однако в середине XIX в. она была оставлена. Павлов вновь выступил с утверждением о наличии трофической иннервации, обнаружив этим самостоятельность научного мышления. В 20-е годы XX в. на основе учения Павлова о трофической иннервации Л. А. Орбели развил теорию об адаптационно-трофической роли симпатической нервной системы.

Еще К. Людвиг (1866) выработал методику физиологической изоляции сердца лягушки. В 1888 г. Павлову удалось изолировать сердечно-легочный препарат млекопитающего; методика его получения была усовершенствована в дальнейшем Э. Стерлингом (1912). В 1902 г. А. А. Кулябко оживил человеческое сердце.

Исследования по нервно-рефлекторной регуляции кровообращения позволили установить факт саморегуляции кровообращения.



Н. Е. Введенский

Разработке важнейших проблем физиологии нервной системы были посвящены классические исследования Н. Е. Введенского. В его магистерской диссертации «Телефонические исследования над электрическими явлениями в мышечном и нервном аппаратах» (1884) были намечены новые пути исследования сущности нервных процессов, их ритмического характера, было обосновано положение о неутомляемости нерва. Физиологическое учение об оптимуме и пессимуме раздражения было сформулировано в 1886 г. в работе «О соотношениях между раздражением и возбуждением при тетанусе». Установленный Введенским закон относительной лабильности послужил исходным моментом для развития учения о хронаксии французского физиолога Л. Лапика. В статье Введенского «О взаимных отношениях между психомоторными центрами» (1897) были изложены основы учения о реципрокной иннервации, развитого в дальнейшем исследованиями Ч. Шеррингтона. В 1901 г. вышла монография Введенского «Возбуждение, торможение, наркоз»; в этой работе он изложил принципиально новую точку зрения на торможение как на видоизмененное возбуждение. По Введенскому, возбуждение и торможение представляют собой две стороны одного и того же процесса.

Введенский считал, что выявление закономерностей функционирования живых систем возможно лишь на основе изучения целостной физиологической системы в естественных условиях; такой системой представлялся ему нервно-мышечный аппарат. Живая система, согласно воззрениям Введенского, изменяется не только под воздействием различных раздражителей, но и в процессе деятельности; тем самым Введенский впервые вводит в физиологию понятие фактора времени, анализирует его значение в физиологических реакциях. Телефонические исследования помогли Введенскому рассматривать нервно-мышечный аппарат как гетерогенную систему, разные части которой связаны между собой законом относительной функциональной лабильности тканей. Основываясь на этом законе, Введенский пришел к формулировке своего учения о парабиозе — этой наиболее общей реакции живой материи на самые разнообразные раздражения, исходящие из внешней среды.

С 1888 по 1901 г. публиковались исследования Вериго «К вопросу о действии на нерв гальванического тока прерывистого и непрерывистого

(попытка объяснения физиологических явлений электрона)» и «Катодическая депрессия, ее объяснение и значение для электрофизиологии». Верриго открыл новое явление — катодическую депрессию, сводящуюся к тому, что в определенных условиях раздражения нерва раздражаемый участок становится невозбудимым для дальнейших раздражений. В 1903 г. увидела свет монография В. Ю. Чаговца «Очерк электрических явлений на живых тканях с точки зрения новейших физико-химических теорий», знаменующая новый этап в понимании сущности процессов возбуждения.

Новейшая техника электрофизиологических исследований получила высокое развитие благодаря трудам А. Ф. Самойлова, ученика Сеченова и Павлова. В 1904 г. вышла его статья «Некоторые электрофизиологические опыты». После В. Эйнтховена Самойлов был первым, кто применил в своих исследованиях струнный гальванометр (1907). При помощи этого инструмента Самойлов проводил исследование мышц и нервов, начал также электрофизиологическое изучение сердца. В 1910 г. вышла первая обобщающая статья Самойлова по электрокардиографии. Одновременно с О. Лёви он исследовал влияние гормонального вагусного раздражения на токи действия сердца.

Благодаря применению электрофизиологического метода Самойлов установил, что в основе передачи возбуждения с двигательного нерва на мышцу лежит химический процесс (1924). Изучая природу передачи центральных процессов возбуждения и торможения, Самойлов пришел к выводу, что классическая физиология не в состоянии объяснить ее. Представление о роли химических медиаторов в передаче нервных процессов Самойлов распространил и на область синапсов (1927).

Самойлов подверг тщательному электрофизиологическому анализу явление кольцевого ритма. В 1930 г. была опубликована его статья «Кольцевой ритм возбуждения», в которой было дано новое понимание рефлекса и сформулированы современные представления о нем как о «замкнутом рефлексе», «замкнутой рефлекторной дуге».

Физиология пищеварения представлена классическими исследованиями Павлова, обобщенными в трудах: «Лекции о работе главных пищеварительных желез» (1897), «Внешняя работа пищеварительных желез и ее механизм» (1906). К исследованиям в области физиологии пищеварения Павлов приступил после работ по физиологии кровообращения. Павловская методика изучения деятельности пищеварительных желез состояла в применении хронического опыта с помощью хирургических операций на разных участках пищеварительного канала. Этот метод, противопоставленный Павловым острому опыту — вивисекциям, позволял в любой момент совершенно точно наблюдать нормальную деятельность той или иной железы на здоровом животном. Благодаря применению хирургической методики Павлову удалось в течение 10 лет установить ряд фундаментальных фактов, по-новому освещающих механизм пищеварения. Павлов и его сотрудники осуществили следующие операции: наложение фистул на слюнные железы, желудок и поджелудочную железу, операцию эзофаготомии, операцию малого желудочка, перерезку двух вагусов и наложение экковского свища.

На этой основе были созданы современные представления о нервной и гуморальной регуляции пищеварительного процесса, о его последовательности в различных отделах пищеварительного канала. Павлов показал, что существует тесная связь между характером сокоотделения и родом

принятой пищи. Была выяснена роль пищеварительных ферментов в переваривании пищи. Вместе с Н. П. Шеповальниковым Павлов в 1894 г. открыл в кишечном соке энтерокиназу, названную им «ферментом ферментов». Оказалось, что энтерокиназа совершенно необходима для активирования фермента поджелудочной железы. В 1902 г. У. Бейлисс и Э. Старлинг, основываясь на данных школы Павлова, выделили из слизистой оболочки кишечника «секретин» и этим доказали несомненность гормональной активации сока поджелудочной железы. Изучение физиологии пищеварения позволило Павлову сделать ряд теоретических выводов, важнейшим из которых явилось учение о специфической раздражимости пищеварительного тракта. В 1904 г. за работы в области физиологии пищеварения Павлов был удостоен Нобелевской премии.



А. Ф. Самойлов

Исследования в области физиологии пищеварения послужили фундаментом для создания физиологии высшей нервной деятельности.

Спустя 40 лет после того как Сеченовым была сделана попытка истолковать деятельность больших полушарий как рефлекторную, состоялось первое выступление Павлова (1903) о необходимости объективного изучения психической деятельности. Павлов вместе с Толочиновым приступили к экспериментальному изучению механизма «психической секреции». В докторской диссертации И. Ф. Толочинова и был впервые употреблен термин «условный рефлекс» (1903).

В течение 10—15 лет Павлову удалось собрать большой фактический материал, доказавший возможность объективного изучения психической деятельности. Павлов вскрыл основные механизмы динамики высшей нервной деятельности: были изучены условия выработки условных рефлексов, закономерности динамики процессов возбуждения и торможения в в коре, их иррадиация и концентрация. Узловым моментом в развитии учения Павлова о высшей нервной деятельности явилась его речь «Естествознание и мозг» (1909), направленная против идеализма. Она совпала во времени с выходом в свет книги В. И. Ленина «Материализм и эмпириокритицизм», в которой была сформулирована диалектико-материалистическая концепция ощущения и теория отражения. Павлов пересмотрел существовавшее в физиологии представление о рефлексах и создал учение об условных рефлексах, вырабатывающихся в течение индивидуальной жизни. Условные рефлексы, по Павлову, являются выражением способности организма реагировать на новые условия и отвечать на ранее индиф-

ферентные агенты определенной деятельностью; большие полушария головного мозга являются, по Павлову, органом анализа раздражений и образования новых рефлексов.

Наиболее выдающиеся успехи в изучении высшей нервной деятельности были достигнуты уже в советское время. Исследования велись в следующих направлениях: 1) изучение синтетической деятельности больших полушарий привело к созданию учения о системности (П. С. Купалов, Э. А. Асратян); 2) были изучены физиологические основы сна и сноподобных состояний, включая гипноз. Сон трактовался как разлитое внутреннее торможение и как охранительное торможение; тем самым получила теоретическое обоснование терапия сном; 3) на основе понятий о силе возбудительных и тормозных процессов, о взаимной уравновешенности их и понятий о подвижности нервных процессов было создано учение о типах нервной системы. Были сформулированы понятия о типе и складе нервной системы; склад — это врожденное свойство нервной системы, тип нервной системы вырабатывается в течение жизни; 4) наряду с физиологией высшей нервной деятельности создается патофизиология высшей нервной деятельности — учение об экспериментальных неврозах (М. К. Петрова).

К последним годам жизни Павлова относятся его идеи о генетическом изучении высшей нервной деятельности и учение о второй сигнальной системе.

В послереволюционный период от основного учения Павлова ответвилась сравнительная физиология высшей нервной деятельности. Сам Павлов экспериментировал в основном на собаках, частично на обезьянах и грызунах (мыши). Его ученики распространили изучение высшей нервной деятельности на других представителей животного царства — рыб, птиц, асцидий, амфибий и рептилий с целью выявить пути эволюции высшей нервной деятельности. Л. А. Орбели и его школой были заложены основы эволюционной физиологии.

БИОХИМИЯ

Для решения центральных проблем общей физиологии, прежде всего физиологии обмена веществ, мышечного сокращения, проведения возбуждения в нервной системе и регуляции физиологических функций, со второй половины XIX в. начали применяться химические методы исследования. Это привело к обособлению биологической химии как самостоятельной науки и предмета преподавания, прежде всего на медицинских факультетах. Кафедры биохимии в Московском, Казанском, Харьковском и Киевском университетах были организованы в начале 60-х годов прошлого века. Одним из основоположников биохимии в России был А. Я. Данилевский.

Его диссертация «О специфически действующих телах натурального и искусственного соков поджелудочной железы» (1863) открыла новый путь к изучению ферментов, хотя сам этот термин в ней не фигурировал. Данилевский отделил активное начало сока поджелудочной железы, действующее на белки (фибрин), от начала, действующего на углеводы (крахмал). В этой работе он доказал коллоидную природу активных начал сока поджелудочной железы, что явилось первым этапом

в изучении химической природы ферментов. Кроме того, Данилевский установил факт обратимости действия ферментов желудочно-кишечного тракта на белки: фермент не только расщепляет белки, но и осуществляет обратное превращение продуктов расщепления в вещество, подобное белку.



А. Я. Данилевский

В связи с вопросом о расщеплении белков пищеварительными ферментами встала проблема химического строения белков. Применяя азокраски, Данилевский установил наличие в белках кислых и основных свойств: действуя слабыми растворами кислот, оснований и ферментов на белки, он получил из разных белков одни и те же продукты превращения, чем доказал общность их химической природы.

В 1888—1891 гг. Данилевский сформулировал оригинальную теорию строения белка (так называемую теорию элементарных рядов), согласно которой белковая частица есть комплекс большого числа однотипно построенных группировок. Несмотря на ошибочность этой теории, идея Данилевского, касавшаяся принципа строения молекулы белка, позволила выдвинуть возможное объяснение сходства и различия природных белков и перехода одних белков в другие. Он также высказал представление о существовании в природе двоякого рода белков (истинно белковые тела и белковинные тела), что соответствует современному понятию о полноценных и неполноценных белках.

Важное открытие о распадении белка (казеина) под влиянием желудочного сока на аминокислоты сделал в 1871 г. Н. Н. Любавин.

70-е и 80-е годы ознаменовались рядом открытий в разных областях биохимии. Так, в период с 1861 по 1895 г. А. Шмидт (Дерпт) создал теорию свертывания крови: в дальнейшем она была дополнена новыми фактами и сохранила в основных своих положениях значение и до настоящего времени.

Занимаясь изучением различных тканевых белков (белки мышц, белковый состав мозговой ткани), Данилевский положил начало изучению физиолого-химических основ питания.

Дальнейшие успехи физиологии и биохимии питания связаны с открытием так называемых добавочных факторов питания, позднее получивших название витаминов. В 1880 г. Н. И. Лунин в докторской диссертации «О значении неорганических солей для питания животных», выполненной под руководством Г. Бунге (Дерпт), сообщая о результатах своих опытов, писал, что в полноценную пищу, кроме белка, жира, сахара, солей и воды,

должны входить еще и другие необходимые для жизни животных вещества. В диссертации Лунина изложены факты, создавшие основу современного учения о витаминах.

В 1885 г. В. В. Пашутин, изучая этиологию цинги, отверг роль инфекционного фактора в ее возникновении и писал, что цинга (скорбут) развивается не из-за присутствия в пище каких-нибудь ядовитых веществ, а вследствие недостатка в ней чего-то жизненно необходимого, т. е., по существу, рассматривал цингу как авитаминоз.

Проблемы обмена веществ у животных, растений и микроорганизмов деятельно изучались в биохимической лаборатории Института экспериментальной медицины в Петербурге. По инициативе Павлова на должность заведующего химическим отделением был приглашен из Бернского университета М. В. Ненцкий. В центре внимания совместных работ Ненцкого и Павлова стоял вопрос о происхождении и месте образования мочевины в организме животных; было установлено, что в образовании мочевины главную роль играет печень. Ненцкий поставил и разрешил некоторые вопросы химии красящих веществ крови, желчных пигментов и зеленых пигментов растений. Он первый стал изучать обмен веществ у микробов. Ненцкий внес много существенно нового в изучение продуктов распада белка, среди которых он нашел новые тела: индол, скатол, метилмеркаптан, многие кислоты ароматического ряда.

Выдающееся значение в развитии современных представлений о химической природе ферментов, белков и протоплазмы в целом имели представления Ненцкого, изложенные им в 1900—1901 гг. в работах «Материалы к изучению желудочного сока и химического состава энзим» (совместно с Н. О. Зибер) и «О задачах биологической химии». Если Данилевский в 1863 г. мог сказать только о коллоидной природе активных тел (ферментов пищеварительного сока), а протоплазму представлял себе как сложный комплекс белка и ряда небелковых тел (1891), то Ненцкий уже точно установил, что ферменты — это белковые вещества с лабильной молекулой.

В явлениях обмена веществ в организме важную роль играют процессы окисления. В создании современного учения о биологическом окислении выдающаяся роль принадлежит Баху и Палладину.

Бах создал «перекисную теорию» процессов медленного окисления (1897), в основе которой лежит представление о ведущей роли активации кислорода. По мысли Баха, в клетках и тканях растений присутствуют особые органические вещества — оксигеназы, легко присоединяющие молекулярный кислород воздуха; в результате этого взаимодействия образуется нестойкое соединение — перекись; под влиянием пероксидазы ускоряется окисление перекисью таких трудноокисляемых тканевых веществ, как белки, сахара и т. д.

Глубокому и всестороннему познанию процесса биологического окисления способствовали работы Палладина. В живых тканях, по данным Палладина, одновременно протекают два процесса: окисление субстрата путем отщепления водорода и восстановление какого-либо акцептора (кислорода или какого-нибудь другого вещества); первый процесс — не что иное, как процесс дыхания, второй — анаэробное окисление. Так была экспериментально подтверждена новая теория биологического окисления, которая легла в основу современных представлений о механизме тканевого дыхания. В настоящее время установлено, что большинство биологических окислений, совершающихся в животном и растительном организмах, осуществляется путем дегидрирования.



В. И. Палладин

Исследования Палладина вскрыли тот общий для растительного и животного организма химический процесс, который в первом случае приводит к образованию воды и углекислоты (дыхание), а во втором — к образованию спирта и углекислоты (брожение).

Начало изучения биохимии мышц, завершившегося в недавнее время фундаментальными открытиями В. А. Энгельгардта, было положено В. С. Гулевичем. Гулевич занимался изучением азотсодержащих веществ мышечной ткани. Он открыл в ней ряд неизвестных до этого азотсодержащих экстрактивных веществ: в 1900 г. он обнаружил в мышечном экстракте органическое основание — карнозин, а в 1905 г.— еще карнитин, оказавшийся, судя по новейшим данным, витамином B_T, и не обнаруживавшееся ранее среди веществ животного организма ядовитое основание — метилгуанидин. Только после работ Гулевича оказалось возможным изучение роли азотсодержащих экстрактивных веществ в животном организме.

Гулевичу принадлежит также разработка оригинальных методов синтеза аминокислот. Его труды, посвященные изучению продуктов гидролитического расщепления белков на аминокислоты, исследованию отношения трипсина к простейшим соединениям замещенных амидов и сложных эфиров, работы по изучению соединений аргинина по сей день остаются классическими. Работами Гулевича были заложены основы сравнительной биохимии. Развивая идеи Данилевского и Ненцкого в области сравнительно-биохимических исследований, Гулевич показал их важную роль в решении общебиологических проблем.

*

В рассматриваемый период в России интенсивно развивались те области биологической науки, которые способствовали окончательной победе материализма в биологии. Основной ареной борьбы материалистического мировоззрения с идеалистическим являлась проблема эволюции органического мира и проблема научного понимания психической, или высшей, нервной деятельности. В защиту материалистического истолкования жизненных явлений выступали как философы-публицисты Чернышевский, Добролюбов и Писарев, так и специалисты-биологи. Братья Ковалев-

ские, Мечников, Тимирязев, Мензбир, Северцов, Комаров и другие биологи-эволюционисты защищали и развивали дарвинизм — материалистическое учение об историческом развитии живых существ. Сеченов и Павлов экспериментальным исследованием рефлекторной деятельности раскрыли функции центральной нервной системы, и создали учение о высшей нервной деятельности.

Их труды, а также работы их учеников и последователей способствовали успехам разных областей физиологии и применению физиологических закономерностей к проблемам клинической медицины. Во второй половине XIX в. благодаря трудам В. О. Ковалевского была создана эволюционная палеонтология; исследования А. О. Ковалевского и И. И. Мечникова привели к созданию сравнительной эволюционной эмбриологии. В этот же период трудами В. В. Докучаева и его последователей было создано почвоведение. Важные общебиологические проблемы решались также в работах сравнительных анатомов, гистологов, цитологов, фитофизиологов, биохимиков и микробиологов. Многие достижения биологов этих специальностей получили выход в практику медицины и сельского хозяйства. Широко изучался растительный и животный мир России и зарубежных стран; в частности, интенсивно изучались насекомые — вредители и паразиты животных и человека.

Глава двадцать девятая

ОСОБЕННОСТИ ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ конца XIX—начала XX века

Подведем общие итоги развития естественных наук в России с конца XIX в. до 1917 г., т. е. в начавшуюся эпоху империализма и пролетарских революций, в связи с состоянием мирового естествознания. Это позволит нам показать, с чем подошло естествознание в России к Великой Октябрьской социалистической революции 1917 г., которая открыла новую эру в развитии нашей страны и всего человечества, в том числе и новую страницу в истории науки и культуры.

В истории России с 90-х годов XIX в. до 1917 г. четко выделяются два этапа: до первой русской революции 1905—1907 гг. включительно и следующий за ним, продолжавшийся до Октября 1917 г.

ИСТОРИЧЕСКАЯ ОБСТАНОВКА В РОССИИ в конце XIX — начале XX века

В 90-е годы в России происходил бурный промышленный подъем, начавшийся сразу же после мирового экономического кризиса, который захватил также и Россию. Россия шла впереди других развитых стран мира по темпам экономического роста. Так, ежегодный прирост промышленного производства за 1885—1913 г. составлял: для Англии — 2,1%, для Германии — 4,5%, для США — 5,2%, для России — 5,7%. Россия шла впереди других стран мира также по концентрации промышленного производства: в 1910 г. на предприятиях с числом рабочих более 500 работало в России 54% всех занятых, в США — только 33%. По энерговооруженности рабочего Россия отставала лишь от США и Англии.

В течение 90-х годов продолжала быстро увеличиваться общая протяженность железных дорог в стране: за это десятилетие она увеличилась почти вдвое, что втягивало в орбиту активной экономической жизни России ее окраины — Среднюю Азию, Закавказье, Сибирь, Дальний Восток. Исключительно важную роль сыграло строительство Сибирской железной дороги длиной в 7 тыс. верст. Громадные масштабы железнодорожного строительства заставляли расширять объем промышленности, прежде всего тяжелой. Добыча угля и нефти, выплавка металла росли такими темпами, каких не знала Россия раньше. За те же 10 лет общий объем продукции тяжелой промышленности в стране (без Финляндии) возрос вдвое, а легкой — почти в 1,5 раза. За это же время число рабочих, занятых в тяжелой промышленности, возросло в 1,5 раза, а в легкой — немногим меньше чем в 1,5 раза. С 1887 по 1901 г. промышленный пролетариат в России вырос почти на 1 млн. человек (немногим меньше чем вдвое). При этом увеличивалось прежде всего количество крупных фабрик и заводов, где на каждом предприятии работало более 1 тыс. рабочих. В начале XX в. на таких предприятиях была объединена уже половина всех рабочих. В 90-е годы выросла на юге России новая угольно-метал-

лургическая база — Донбасс, важную роль которого еще в 1888 г. предсказал Менделеев, ездивший на Украину с целью найти пути скорейшего развития донецкой каменноугольной промышленности.

Увеличение численности промышленного пролетариата, и прежде всего объединенного в крупных предприятиях, сопровождалось ростом его сознательности и организованности. Усиливалась экономическая борьба пролетариата против буржуазии и царизма, ширился размах забастовочного движения. Экономическая борьба перерастала в политическую, а с ней была связана и идеологическая борьба за революционное марксистское учение, требовавшая дальнейшего его развития применительно к условиям российской действительности и шире, применительно к новой исторической эпохе империализма и пролетарских революций.

В конце XIX в. российский пролетариат выступил на историческую арену как уже вполне самостоятельный революционный класс, отстаивавший во всех областях общественной жизни свои кровные классовые интересы. В 90-е годы произошло 900 забастовок, в которых участвовало более 250 тысяч рабочих, причем за вторую половину этого десятилетия число забастовок возросло почти в 5 раз по сравнению с первой его половиной, а вместе с тем увеличивалось количество забастовок политического характера. Эти стачки Ленин охарактеризовал как начало полосы подготовки народной революции[1].

Рост сознательности и организованности русского пролетариата находит свое выражение в создании его политической организации: в 1895 г. в Петербурге под руководством В. И. Ленина создается «Союз борьбы за освобождение рабочего класса».

В результате активной теоретической и революционно-практической деятельности Ленина теория научного социализма сливается с пролетарским движением. Возникает идея создания Российской социал-демократической рабочей партии (РСДРП), учредительный съезд которой состоялся в Минске в 1898 г.

С середины 90-х годов XIX в. основной силой революционного движения становится пролетариат, вооруженный марксистской теорией, руководимый своей политической организацией.

То обстоятельство, что в России были сильны остатки крепостничества, усиливало и углубляло и без того обострившиеся социально-экономические противоречия, которые нес с собой империализм.

Как уже говорилось, для новой исторической эпохи был характерен не только общий рост числа промышленных предприятий и индустриальных рабочих, но и процесс чрезвычайно быстрой концентрации производства в крупных предприятиях и возрастания производительности труда. Так, за первые 13 лет XX в. в России (без Финляндии) общее число рабочих возросло до 3 млн., или в 1,5 раза, а выработка продукции на одного рабочего в среднем увеличилась тоже почти в 1,5 раза.

Если сравнить темпы концентрации индустриальных рабочих на крупнейших предприятиях (с цензом свыше 1 тыс. человек) Европейской России, Германии и США, то получается следующая картина. В России доля таких предприятий по отношению к численности всех предприятий страны увеличилась с 1895 по 1904 г. с 31 до 38,8%, тогда как в Германии — лишь с 13 до 15%; за 1907—1914 гг. в России она возросла с 39,2

[1] *В. И. Ленин.* Полн. собр. соч., т. 30, с. 311.

до 43,8%, тогда как в США — с 17,9 до 20,5%[1]. По другим данным (Н. В. Погожева, на которого ссылается С. Г. Струмилин), эти показатели должны быть увеличены для России еще в 1,5 раза, так как в официальных сведениях не учитывались наиболее крупные предприятия и все металлургические заводы. В сочетании бурного развития промышленности с раздробленностью крестьянского хозяйства на мелкие участки и его примитивной техникой, с дикостью пережитков крепостничества и заключалось то глубочайшее противоречие, которое отметил Ленин в 1908 г., объясняя причины первой русской революции 1905—1907 гг.: «самое отсталое землевладение, самая дикая деревня — самый передовой промышленный и финансовый капитализм!»[2]

Все противоречия старого общественного строя в России резко обострились в результате двух неудачных войн — русско-японской и первой мировой, в которые втянул Россию царизм в союзе с крупной буржуазией. Обе эти войны носили резко выраженный империалистический, захватнический характер. Целями всех «великих держав» — участниц обеих войн было завоевание новых рынков и новый дележ мира между империалистическими государствами. За поражением царизма в русско-японской войне последовала первая русская революция 1905—1907 гг. Реакция, наступившая после ее подавления, сменилась новым подъемом рабочего движения в 1912—1914 гг. Первая мировая война, начавшаяся в августе 1914 г., еще больше обострила социально-политические и экономические противоречия в России. Царизм вел эту войну бездарно, проигрывая ее, и вместе с тем приводил в полное расстройство хозяйство страны.

В феврале 1917 г. вспыхнула вторая русская революция, свергнувшая царизм и открывшая путь к пролетарской революции, которая и свершилась в октябре того же года.

Динамика стачечного движения, его подъемы и спады соответствовали общему развитию страны в первые 17 лет XX в. Небывало резкий подъем забастовочного движения приходится на 1905 г.: 14 тыс. забастовок, в том числе почти 10 тыс. носивших политический характер. Всего бастовало около 3 млн. рабочих; $^2/_3$ их участвовало в политических забастовках. В следующие два революционных года (1906—1907) произошло почти 10 тыс. забастовок, в том числе более 6 тыс. политических; бастовало около 2 млн. рабочих, причем примерно $^2/_3$ принимали участие в политических забастовках. В годы реакции наблюдается спад забастовочного движения и резко сокращается число политических забастовок. В последующие годы подъема рабочего движения число забастовок снова резко увеличивается, и прежде всего политических забастовок. В 1914 г., в канун мировой войны, их общее число достигает 3,5 тыс., из них более 2,5 тыс. политические. Всего бастовало в этом году около 1,3 млн. рабочих, из них $^4/_5$ участвовало в политических забастовках. Наивысшего напряжения накал борьбы рабочего класса против царизма и крупной буржуазии, а после февраля 1917 г.— против крупной буржуазии и ее Временного правительства достиг в 1917 г.

На своем II съезде (1903 г.) РСДРП раскололась на две партии — революционную, марксистскую—большевиков и оппортунистическую—мень-

[1] См. *С. Г. Струмилин.* Очерки экономической истории России и СССР. М., «Наука», 1966, с. 473.

[2] *В. И. Ленин.* Полн. собр. соч., т. 16, с. 417.

шевиков. Подлинным идейным и организационным руководителем рабочего класса в России становится большевистская партия во главе с Лениным. Она готовит российский пролетариат к борьбе, а в канун революции 1905 г.— к вооруженному восстанию, она помогает ему в годы реакции сохранить свою боевую силу и революционную идеологию, она ведет его к победе в октябрьские дни 1917 г.

Ленин дал классовый анализ главных сил и тенденций развития русского общества в начале XX в.: «В России,— говорил он,— есть три *основные* политические силы и, следовательно, политические линии: черносотенцы (классовые интересы крепостников-помещиков) и «бюрократия» рядом с ними и над ними; затем либерально-монархическая буржуазия, «центр» — левый (к.-д.) и правый (октябристы); наконец, демократия буржуазная (трудовики, народники, беспартийные левые) и пролетарская. Правильность именно такого и только такого делении подтверждена всем опытом первого десятилетия XX века, а это десятилетие было необыкновенно важным и богатым событиями» [1].

На духовное развитие России в конце XIX — начале XX в. наложили свой отпечаток острые идеологические битвы между разлагающейся культурой уходящих классов и культурой демократической, крепнущей и развивающейся.

Прогрессивная русская литература была представлена творчеством Л. Н. Толстого (он написал в эти годы свои последние произведения), А. П. Чехова, В. Г. Короленко и др. Появляются новые таланты: поэты А. А. Блок, В. Я. Брюсов, писатели-прозаики И. А. Бунин, В. В. Вересаев, А. И. Куприн, Д. Н. Мамин-Сибиряк и др. Путь Блока шел от эстетизма символистов к признанию Октябрьской революции 1917 г. Этим же путем шел выдающийся русский поэт В. Я. Брюсов, который полностью перешел на сторону революции, активно включился в строительство новой культуры и вступил в ряды коммунистической партии. Пролетариат выдвинул своего великого писателя А. М. Горького, в творениях которого, пронизанных глубокой верой в силу и грядущее торжество рабочего класса, прозвучал гордый призыв к свободе, к свету, к правде, получил отражение процесс распада буржуазного общества. Среди писателей и поэтов, ставших еще в дооктябрьские годы на путь пролетариата, были А. С. Серафимович, Демьян Бедный, молодой тогда еще В. В. Маяковский и др. Прогресс литературы совершался и у других народов тогдашней России.

В противоположном лагере — лагере идейной реакции, упадка и разложения — в предреволюционное десятилетие распространялись в различных вариантах и проявлениях декадентство, религиозно-мистические настроения, резко расходившиеся с основным, прогрессивным направлением русской литературы.

Аналогичные процессы раздвоения на противоположные течения происходили и в других областях искусства. В эту эпоху были созданы великолепные полотна И. Е. Репина и В. А. Серова, В. М. Васнецова и М. А. Врубеля, И. И. Левитана и М. В. Нестерова; вместе с тем существовали школы живописи, чуждые реализму, например кубизм, созвучный футуризму в области литературы.

В музыке творили Н. А. Римский-Корсаков, А. К. Глазунов, А. Н. Скрябин, С. В. Рахманинов и др. В развитии театра видное место заняли великие

[1] *В. И. Ленин.* Полн. собр. соч., т. 21, с. 38.

певцы: выходец из народа Ф. И. Шаляпин, А. В. Неждановa, Л. В. Собинов, прославленные балерины Анна Павлова и Е. В. Гельцер, целая плеяда драматических артистов. Огромную роль в духовной культуре народа сыграл созданный в Москве в 1898 г. К. С. Станиславским и В. И. Немировичем-Данченко новый передовой театр — Художественный, с которым связали свою творческую деятельность Чехов и Горький и в котором расцвели такие таланты, как В. И. Качалов, М. М. Тарханов, И. М. Москвин и многие другие.

В такой исторической обстановке и в неразрывной связи с нею развивалось естествознание в России в конце XIX — начале XX в. Особенности его развития в это время определялись также состоянием мирового естествознания и острой философской борьбой вокруг новейших естественнонаучных, особенно физических открытий, связанной с методологическим кризисом, к которому идеализм привел естествознание.

РЕВОЛЮЦИЯ В ЕСТЕСТВОЗНАНИИ НА РУБЕЖЕ XIX И XX ВЕКОВ

Замечательные открытия в области физики, сделанные начиная с 1895 г., вызвали «новейшую революцию в естествознании». В Германии К. Рентген открыл глубоко проникающие лучи, названные его именем; во Франции А. Беккерель обнаружил радиоактивное излучение; в Англии Дж. Томсон открыл электрон; во Франции уроженка Польши М. Склодовская вместе со своим супругом П. Кюри обнаружили полоний и радий. Ленин назвал радий «великим революционером» [1]; так называли его и некоторые физики. Этими открытиями были доказаны разрушимость атомов, их сложность и делимость, превращаемость элементов. Об этом прямо свидетельствовала теория спонтанного распада атомов при радиоактивных процессах, созданная английскими физиками Э. Резерфордом и Ф. Содди и опиравшаяся на опытные наблюдения, в частности В. Рамзая. Далее оказалось, что атом не является, как считалось прежде, последней, неделимой частицей материи, так как состоит из более мелких частиц — электронов, несущих отрицательные электрические заряды. Лучи Рентгена позволяли проникнуть в глубь атома и свидетельствовали о его сложной внутренней структуре. Следовательно, рушились основы прежнего взгляда на природу и строение материи.

В 1900 г. в Германии М. Планк положил начало теории квантов, а в 1905 г. А. Эйнштейн открыл частный принцип теории относительности, из которого он вывел фундаментальный физический закон, связывающий воедино закон сохранения массы и закон сохранения энергии. Тогда же Эйнштейн ввел понятие фотона — «частицы» света.

Однако все эти физические открытия пока не связывались с периодическим законом Менделеева, еще сохранявшим свой первоначальный чисто химический характер. В 1911 г. Резерфорд открыл атомное ядро, а в 1913 г. был установлен ряд законов и правил и введен ряд новых понятий, связывающих новые физические открытия с периодическим законом: закон Г. Мозли, связывающий характеристический рентгеновский спектр элемента с местом этого элемента в периодической системе, откуда роди-

[1] *В. И. Ленин.* Полн. собр. соч., т. 18, с. 266.

лось понятие порядкового номера (числа) элемента; правило сдвига, открытое в Англии и Польше и связывающее процессы радиоактивного распада с «перемещением» («сдвигом») распадающегося элемента на одно место вправо или на два места влево по периодической системе; понятие изотопов — разновидностей элемента, занимающих одинаковое место в периодической системе.

На основании всех этих открытий в 1913 г. датский физик Н. Бор создал модель атома, положившую начало теоретическому синтезу, охватившему физику (оптику с понятием кванта, электродинамику с понятием электрона, учение о радиоактивности и всю ядерную физику) и химию (периодический закон и периодическую систему элементов). В самом конце рассматриваемого периода Эйнштейн опубликовал свою первую работу по общей теории относительности (1916).

Теоретический синтез в естествознании шел и в другом направлении. Так, на рубеже XIX и XX вв. получила развитие биохимия, особенно благодаря трудам немецкого химика Э. Фишера, а в начале XX в. возникла геохимия благодаря трудам В. И. Вернадского и др. Появление этих «переходных» наук, соединявших ранее разобщенные основные отрасли естествознания, в дополнение к возникшим в XIX в. астрофизике и физической химии, стало придавать естествознанию все более и более целостный характер.

Химия в это же время развивается в сторону изучения высокомолекулярных, в частности высокополимерных, соединений, что диктуется запросами промышленного производства.

В биологию переносятся из физики и химии идеи дискретности материального носителя наследственности. В связи с этим происходит новое «открытие» Г. Менделя и новый смысл приобретают установленные им законы наследственности. Тогда же голландский ботаник Г. де Фриз открыл явление мутации — внезапного появления новых наследственных признаков, обусловленных изменениями клеточных структур. Разрабатывается хромосомная теория Т. Моргана с ее основным понятием гена. Таким образом, и в биологии началась своя «новейшая революция». Однако подобно тому, как в физике и химии до 1913 г. новейшие открытия, касавшиеся строения вещества, не были приведены в связь с классическим учением о веществе, резюмированным в периодическом законе, и даже, казалось бы, шли вразрез с ним, так и в биологии сначала представлялось, что новейшие концепции наследственности не согласуются с классическим учением Дарвина об эволюции и даже, казалось бы, идут вразрез с ним. Но если в физике и химии, изучавших более простые объекты природы, согласование новейших открытий и представлений с классическими было достигнуто сравнительно быстро (на это потребовалось примерно 17 лет, с 1895 г. до 1913 г.), то в биологии, изучавшей несравненно более сложные объекты природы, достижение такого согласования затянулось на десятилетия.

В. И. ЛЕНИН О СВЯЗИ ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ С ФИЛОСОФИЕЙ И ТЕХНИКОЙ И О СОЦИАЛЬНЫХ ПОСЛЕДСТВИЯХ НАУЧНЫХ ОТКРЫТИЙ

В своих теоретических трудах Ленин глубоко освещал философские вопросы естественных наук. Он показал, что империализм принес с собой реакцию по всей линии, в результате чего идейное воздействие на естествознание со стороны официального, господствующего мировоззрения пришло в явное противоречие с революционной тенденцией в развитии самого естествознания. Это противоречие вылилось в кризис естествознания, который начался на рубеже XIX и XX вв. С событиями в мировом естествознании переплелись процессы, происходившие в идейной жизни тогдашней России. В начале XX в. группа русских махистов, среди которых были и большевики, и меньшевики, выступила с ревизией марксистской философии; эта ревизия проводилась ими с позиций путаного берклеанства, т. е. субъективного идеализма. Восприняв модное на Западе реакционное философское течение, возглавляемое Э. Махом, Р. Авенариусом и некоторыми другими, русские махисты предприняли попытку соединить марксизм с махизмом. Эта философская ревизия марксизма стала особенно опасной в годы реакции, наступившие после поражения революции 1905—1907 гг., так как она могла привести к идейно-теоретическому разоружению рабочего класса и его передового отряда — его партии. Необходимо было дать отпор философскому ревизионизму, а вместе с ним и всей философской реакции, активизировавшейся в условиях империализма.

Эту задачу выполнил Ленин в своей книге «Материализм и эмпириокритицизм», которая была написана в 1908 г., а вышла в свет в 1909 г. В ней, в частности, сказано: «Несчастье русских махистов, вздумавших «примирять» махизм с марксизмом, в том и состоит, что они доверились раз реакционным профессорам философии и, доверившись, покатились по наклонной плоскости. Приемы сочинения разных попыток развить и дополнить Маркса были очень нехитры. Прочтут Оствальда, поверят Оствальду, перескажут Оствальда, назовут это марксизмом. Прочтут Маха, поверят Маху, перескажут Маха, назовут это марксизмом. Прочтут Пуанкаре, поверят Пуанкаре, перескажут Пуанкаре, назовут это марксизмом! *Ни единому* из этих профессоров, способных давать самые ценные работы в специальных областях химии, истории, физики, *нельзя верить ни в едином слове*, раз речь заходит о философии» [1],— нельзя верить потому, что *гносеология* в современном обществе *партийна*. Ленин вскрывает прямую связь между реакцией «внизу» (в области общефилософских, гносеологических воззрений) и реакцией «наверху» (в области общественно-философских воззрений). Поэтому, пишет Ленин, «борьба с махизмом «внизу» не случайна, а неизбежна» [2] в такой исторический период, как 1908—1910 гг., т. е. годы реакции, наступившей после революции 1905 г.

Но Ленин не ограничился сокрушительной критикой русских махистов-ревизионистов. В своей книге он обобщил с позиций диалектического

[1] *В. И. Ленин.* Полн. собр. соч., т. 18, с. 363.
[2] Там же, т. 20, с. 129.

материализма важнейшие достижения современного ему естествознания, прежде всего физики (с 1895 по 1908 г.). Вкратце ленинский анализ этих достижений и их философское обобщение можно охарактеризовать следующим образом. Ленин раскрыл истинное содержание «новейшей революции в естествознании». Эта революция заключалась в том, что физика перешагнула границу, отделявшую макромир от микромира, и вступила в область собственно микромира, начав познавать его своеобразие. Вместе с тем попытка «физических» идеалистов сделать гносеологические выводы в пользу идеализма из новейших открытий физики породила болезненное явление, названное «кризисом современной физики», «кризисом естествознания». Ленин вскрыл его суть, его причины и тенденции и указал конкретно, что для его преодоления естествоиспытатели сознательно должны овладеть диалектическим материализмом. Книга «Материализм и эмпириокритицизм» составила новый этап в развитии марксистской философии.

Заметим, что среди естествоиспытателей в России, особенно среди выдающихся ученых, почти безраздельно господствующим мировоззрением был материализм. Только единичные представители естествознания, и притом некрупные его представители, подпали под влияние махизма (среди них химики М. Ю. Гольдштейн и В. В. Шарвин), или оствальдовской «энергетики» (физикохимик Л. В. Писаржевский), или обоих течений сразу (химик Я. И. Михайленко).

К философским вопросам современной физики и отношению к ним со стороны диалектического материализма Ленин возвращается позднее, в 1911—1914 гг., в статьях «Наши упразднители», «Три источника и три составные части марксизма», «Карл Маркс» и др. Но особенно важны ленинские «Философские тетради», написанные в 1914—1915 гг., но опубликованные уже после 1917 г. В них Ленин показал, как нужно с позиций марксистской диалектической логики обобщать историю естествознания. «Продолжение дела Гегеля и Маркса должно состоять в *диалектической* обработке истории человеческой мысли, науки и техники» [1],— подчеркивал Ленин. Далее он ставил задачу извлечь квинтэссенцию из истории естествознания, истории философии и истории техники, чтобы раскрыть общий ход познания материи [2], и задачу проследить на истории отдельных наук то, что диалектика Гегеля есть обобщение истории мысли [3]. В те же годы Ленин штудирует много книг по современным ему естественным наукам и их истории.

Наряду с интересом к связи естествознания с философией Ленин проявлял живейший интерес к связи естествознания с техникой, с производством. И так же, как в первом случае, он не ограничивался специальными вопросами, но вскрывал социальную роль и социальные последствия научных и технических открытий. Так, например, когда английский химик В. Рамзай высказал идею подземной газификации угля [4], Ленин в статье «Одна из великих побед техники» (1913) писал, что переворот в промышленности, вызванный этим открытием, будет огромен. «Но последствия этого

[1] *В. И. Ленин.* Полн. собр. соч., т. 29, с. 131.
[2] См. там же, с. 142—143.
[3] См. там же, с. 298.
[4] Следует заметить, что эту идею примерно за четверть века до В. Рамзая высказал Д. И. Менделеев (см. *Д. И. Менделеев.* Будущая сила, покоящаяся на берегах Донца (1888).— *Д. И. Менделеев.* Соч., т. XI. М., 1949). Говоря о возможности подземной фабрикации газа из каменного угля, Менделеев указывал на необходимость удешевления производства труб. «А когда это произойдет,— писал он,— настанет, вероятно, со временем даже такая эпоха, что угля из земли вынимать не будут, а там, в земле, его сумеют превращать в горючие газы и их по трубам будут распределять на далекие расстояния» (*Д. И. Менделеев.* Соч., т. XI, с. 66).

переворота для всей общественной жизни в современном капиталистическом строе будут совсем не те, какие вызвало бы это открытие при социализме» [1].

При капитализме «освобождение» миллионов горнорабочих неизбежно породит массовую безработицу, громадный рост нищеты, ухудшение положения рабочих. А прибыль от великого изобретения положат себе в карман Морганы, Рокфеллеры, Рябушинские, Морозовы с их свитой — лакеями капитализма. «При социализме применение способа Рамсея, «освобождая» труд миллионов горнорабочих и т. д., позволит, — писал Ленин,— сразу сократить *для всех* рабочий день с 8 часов, к примеру, до 7, а то и меньше. «Электрификация» всех фабрик и железных дорог сделает условия труда более гигиеничными, избавит миллионы рабочих от дыма, пыли и грязи, ускорит превращение грязных отвратительных мастерских в чистые, светлые, достойные человека лаборатории. Электрическое освещение и электрическое отопление каждого дома избавят миллионы «домашних рабынь» от необходимости убивать три четверти жизни в смрадной кухне.

Техника капитализма с каждым днем все более и более *перерастает* те общественные условия, которые осуждают трудящихся на наемное рабство» [2].

Так Ленин связывал прогресс естествознания и техники с коренными задачами борьбы за социализм.

ОБЩЕСТВЕННАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ РУССКИХ ЕСТЕСТВОИСПЫТАТЕЛЕЙ

Развитие промышленного капитализма вызвало эволюцию передовой, до тех пор народнически настроенной русской интеллигенции, в том числе и ученых, либо в сторону марксизма, либо в сторону буржуазного мировоззрения. Некоторые ученые, в молодости отдавшие дань увлечению народничеством и народовольчеством, отходили от непосредственной общеполитической деятельности, хотя и оставались прогрессивно мыслящими людьми.

К числу последних принадлежал, например, физиолог Н. Е. Введенский, заложивший основы учения об общих закономерностях реагирования возбудимых систем организма. В 1874 г. он был арестован за пропаганду революционных мыслей среди крестьянства, вместе с народовольцами Желябовым и Перовской осужден по политическому «процессу 193-х» и пробыл в тюремном заключении более трех лет. Во второй половине 80-х годов он выдвинулся как ученый и педагог. Введенский был естественно-научным материалистом; он развивал передовые эволюционистские взгляды на биологические явления и отстаивал физиологическое учение Сеченова. Первоначальные революционные устремления молодого Введенского со временем преобразовались в передовые естественнонаучные и философ-

[1] *В. И. Ленин.* Полн. собр. соч., т. 23, с. 94.
[2] Там же, с. 94—95.

ские взгляды. Его учение о возбуждении и торможении и о парабиозе явилось крупным вкладом в мировую физиологию.

А. Н. Бах в 1878 г. был исключен из Киевского университета за участие в политическом студенческом движении. После трехлетней ссылки он вступил в организацию «Народная воля», а в 1883 г. перешел на нелегальное положение и написал антиправительственную брошюру «Царь Голод». В 1885 г. он эмигрировал из России и за границей начал свою научную деятельность в области биохимии; в 1897 г. он завершил создание своей перекисной теории медленного окисления. В 1917 г. Бах возвратился на родину, где вскоре создал большую школу биохимиков, и стал крупным организатором советской науки и общественным деятелем. В 1929 г. он был избран академиком, в 1936 г. — депутатом Верховного Совета СССР. Ботаник К. А. Тимирязев к концу своей жизни и научной деятельности очень близко подошел к марксизму и восторженно приветствовал Октябрьскую социалистическую революцию. И. М. Губкин, в молодости принимавший участие в «Союзе борьбы за освобождение рабочего класса», в 1921 г. вступил в коммунистическую партию, стал выдающимся геологом-нефтяником, вице-президентом Академии наук и депутатом Верховного Совета СССР.

Среди марксистов-революционеров (большевиков), которые в предоктябрьский период занимались вопросами теоретического и прикладного естествознания, выделяются ученый-энергетик Г. М. Кржижановский (в 1915 г. была опубликована его первая работа о районных электростанциях, работающих на местном топливе, что послужило подготовкой к будущим его работам по электрификации России); астроном и геофизик П. К. Штернберг, специалист в области фотографической астрономии и гравиметрии, один из главных работников военно-технического бюро Московского комитета партии большевиков в 1905—1917 гг.; химик Л. Я. Карпов, большевик, секретарь Московского комитета большевистской партии в годы первой русской революции, в 1911—1915 гг. участник организации скипидарно-канифольного производства в России и первых заводов жидкого хлора и хлороформа; продолжал свою организационную деятельность в области развертывания химической промышленности и разработки научных методов производства после Октябрьской революции; Н. М. Федоровский — минералог, большевик, начавший в канун Октября исследовать полезные ископаемые России.

В годы реакции, наступившие после поражения первой русской революции, царский министр просвещения Л. Кассо, грубо нарушая университетскую автономию, начал наступление на остатки демократических порядков в высшей школе России. В знак протеста против реакционной политики Кассо многие передовые ученые оставили в 1911 г. высшую школу. Так, из Московского университета ушли химик Н. Д. Зелинский, ботаник К. А. Тимирязев, геохимики В. И. Вернадский и А. Е. Ферсман, механик Л. С. Лейбензон, физик Н. А. Умов и другие профессора и преподаватели, всего 125 человек; в знак солидарности с московскими коллегами из Киевского политехнического института ушел физикохимик Л. В. Писаржевский. Протест передовой профессуры против произвола царских властей получил широкий размах и приобрел политический оттенок.

Еще раньше академик математик А. А. Марков выступил с решительным протестом против произвола царского правительства, которое отказалось признать избрание А. М. Горького почетным членом Академии наук.

Русские естествоиспытатели в конце XIX и начале XX в. продолжают традицию своих предшественников крепить связь науки с производством, технологией и техникой. В новых исторических условиях эта связь науки с производственной практикой принимала разнообразные формы. В годы первой мировой войны были созданы различные организации, ставившие себе задачей привлечение науки к практической деятельности. Сюда относились, например, Комиссия сырья (при Комитете военно-технической помощи), Комиссия по изучению естественных производительных сил России при Академии наук (КЕПС). В этой работе активно участвовали геохимики Ферсман и Вернадский, физикохимик Курнаков, физиолог Павлов, геолог Карпинский и др. Тогда же Ферсман организовал ряд экспедиций с целью изучения месторождений полезных ископаемых (на Урал, Алтай, в Забайкалье и др.). Эту свою деятельность он продолжил и после 1917 г. Химик Зелинский изобрел в 1915 г. универсальный противогаз, и этим спас много солдатских жизней. Тогда же физикохимик Н. А. Шилов активно включился в разработку противохимической защиты русских солдат. В 1915—1917 гг. физикохимик Писаржевский организовал производство противогазов и ряда медикаментов.

Разработкой проблем аэромеханики и авиации активно занимался Н. Е. Жуковский. В своей речи «О воздухоплавании» (1898) Жуковский сказал, что хотя человек не имеет крыльев и по отношению веса своего тела к весу мускулов он в 72 раза слабее птицы, он все-таки полетит, и полетит, опираясь не на силу своих мускулов, а на силу своего разума. По инициативе Жуковского в 1900—1904 гг. в Московском университете была создана аэродинамическая труба, одна из первых в мире, и при его участии под Москвой был организован аэродинамический институт. Жуковский подготовил многочисленные авиационные кадры (конструкторов самолетов и летчиков). Проблему межпланетных сообщений разрабатывал «отец космонавтики» К. Э. Циолковский, сделавший ряд крупных открытий в области ракетной техники. Он разработал теорию полета ракеты, принимая во внимание изменение ее массы в процессе ее перемещения, и идею жидкостного реактивного двигателя, важную, в частности, для практического решения задачи межпланетных сообщений.

Физик А. С. Попов, предварив Г. Маркони, изобрел радио (1895). Во время опытов Попова по радиосвязи с кораблями флота было замечено явление отражения радиоволн от кораблей, оказавшихся на пути распространения этих волн; это явление привело позднее к открытию радиолокации. В области техники нефтяного дела, теплотехники и строительного дела выделялись труды и изобретения В. Г. Шухова.

В химии велась огромная работа, имевшая прямую практическую направленность. В неорганической химии это были исследования Курнакова и его школы по созданию физико-химического анализа и по его применению к изучению металлических сплавов и соляных (водных) растворов. В 1917 г. Курнаков с сотрудниками обнаружил с помощью этих методов залежи калийных солей в районе Соликамска. Связи органической химии с промышленностью осуществлялись благодаря исследованиям школ Зелинского в Москве и Фаворского в Петрограде. Так, ученик Фаворского С. В. Лебедев упорно и целенаправленно искал пути к синтезу искусственного каучука. В 1909—1910 гг. он провел полимеризацию изопрена и диизопротилена, а затем получил впервые каучукоподобное вещество из

дивинила. Его исследования в области полимеризации двухэтиленовых углеводородов (1913) послужили научной базой для промышленного получения синтетического каучука в советское время.

Огромную помощь сельскому хозяйству оказывал ученик К. А. Тимирязева Д. Н. Прянишников, работавший в области агрохимии, физиологии растений и растениеводства. Вся его научная деятельность была примером союза науки с практикой. И. В. Мичурин много сделал для создания новых сортов плодовых растений методом отдаленной гибридизации.

Всемирную известность получили основополагающие открытия физиолога И. П. Павлова, творца учения об условных рефлексах и высшей нервной деятельности животных и человека. Свои исследования Павлов рассматривал как отвечающие прежде всего интересам родины и русской науки. Он говорил: «Что ни делаю, постоянно думаю, что служу этим, сколько позволяют мне мои силы, прежде всего моему отечеству, нашей русской науке. И это есть и сильнейшее побуждение и глубокое удовлетворение» [1]. Учение физиолога А. А. Ухтомского о доминантах получило практическое применение в разделах медицины, психологии и педагогики. Вернадский заложил основы геохимии, а в советское время — биогеохимии.

Географ-путешественник П. К. Козлов продолжал важное дело Семенова-Тян-Шанского и Пржевальского по исследованию Центральной Азии. Геолог В. А. Обручев изучал геологию Центральной Азии и Сибири. Ботаник и фитогеограф В. Л. Комаров исследовал флору Центральной Азии и Камчатки. Смелый исследователь Арктики Г. Я. Седов организовал и возглавил экспедицию к Северному полюсу в 1912—1914 гг. и погиб во время нее. Эта экспедиция стала символом бесстрашия и свершения подвига во имя науки и родины.

Не будучи в своем большинстве революционерами в области политики, русские естествоиспытатели тем не менее со всей остротой чувствовали бесправие народа, неспособность царизма обеспечить условия для роста благосостояния народа, для развития науки и культуры. Они считали, что положение науки в царской России совершенно нетерпимо и что дальше так продолжаться не может. Биолог Н. К. Кольцов прямо предлагал приступить к созданию в государственном масштабе научно-исследовательских институтов. Такая идея буквально носилась в воздухе в канун революции 1917 г., но на пути к ее осуществлению аппарат царского правительства воздвигал многочисленные преграды и бюрократические барьеры. Передовым ученым становилось все яснее, что дальнейшее успешное развитие естествознания в России невозможно в рамках царизма.

Научные кадры к этому времени уже достаточно выросли качественно и количественно для того, чтобы положить в России начало сети насущно необходимых исследовательских институтов. Об этом свидетельствовали многочисленные первоклассные научные школы, сложившиеся в течение первых двух десятилетий XX в. во всех отраслях естествознания и математики. Перечислить их все здесь просто невозможно, а потому назовем хотя бы некоторые из них. Петербургская математическая школа, основанная Чебышевым, была представлена прежде всего А. А. Марковым, открывшим новые важные направления теории вероятностей, А. М. Ляпуновым, получившим первоклассные результаты в качественной теории дифференциальных уравнений и в математической физике, и В. А. Стек-

[1] *И. П. Павлов.* Полн. собр. соч. Изд. 2-е, т. 1, 1951, с. 12.

ловым, также крупнейшим специалистом в области математической физики. Московскую математическую школу теории функций представляли Д. Ф. Егоров, Н. Н. Лузин и их ученики. В механике (прежде всего гидро- и аэродинамике) сложилась мощная школа Н. Е. Жуковского с его учениками и последователями — С. А. Чаплыгиным, Л. С. Лейбензоном и многими другими, имевшая прямой выход в практику. В физике возникла школа А. Г. Столетова с его учениками — В. А. Михельсоном, А. А. Зиловым и другими сотрудниками, среди которых самым выдающимся был П. Н. Лебедев, измеривший давление света. К концу рассматриваемого периода в Петроградском политехническом институте стала зарождаться школа физики А. Ф. Иоффе.

В химии сложились школа В. В. Марковникова (Московский университет), из которой вышли Н. Я. Демьянов, Н. М. Кижнер, М. И. Коновалов и другие; школа А. Е. Фаворского (Петроградский университет), к которой принадлежали С. В. Лебедев, А. Е. Порай-Кошиц, В. Н. Ипатьев и другие; школа ученика и продолжателя А. М. Бутлерова — М. М. Зайцева (Казанский университет), к которой принадлежали А. Е. Арбузов и другие; школа физико-химического анализа Н.С. Курнакова (Петроградский горный институт), к которой принадлежали Г. Г. Уразов, Н. И. Степанов и другие; школа Л. А. Чугаева по комплексным соединениям (Петроградский университет), в которую входил ученик Чугаева И. И. Черняев.

В геологии и петрографии работали школы А. П. Карпинского и Ф. Ю. Левинсона-Лессинга, а в области геохимии и минералогии — школа В. И. Вернадского с его учениками — А. Е. Ферсманом и др. В кристаллографии развивалась школа Е. С. Федорова, учениками которого были А. К. Болдырев, А. Н. Заварицкий и др.

Наконец, в области биологии существовали школа эволюционной морфологии и палеозоологии А. Н. Северцова, к которой принадлежал сравнительный анатом и эволюционист И. И. Шмальгаузен, в области физиологии — школа И. П. Павлова, к которой принадлежали Л. А. Орбели и многие другие, и школа Н. Е. Введенского, к которой принадлежал А. А. Ухтомский.

*

Анализ развития естествознания в дореволюционной России убедительно свидетельствует о большом вкладе отечественных ученых в мировую сокровищницу знаний о природе. В трудной борьбе против религии и идеализма, реакционной политики и идеологии царизма передовые русские ученые заложили прочные прогрессивные традиции передовой науки — беспредельную преданность народу и научной истине, стремление связать глубокий научный поиск с удовлетворением практических потребностей общества. Это позволяет понять путь, который после революции привел большинство русских ученых на сторону нового строя.

Великая Октябрьская социалистическая революция освободила творческие силы народа, впервые создала условия для подлинного расцвета науки и культуры в нашей стране. Молодая советская наука восприняла и преумножила все лучшее, что было накоплено человеческой мыслью за всю ее историю.

ЛИТЕРАТУРА

КЛАССИКИ МАРКСИЗМА-ЛЕНИНИЗМА

Маркс К. Капитал, т. 1.— К. Маркс и Ф. Энгельс. Соч., т. 23. 907 с.

Маркс К. Капитал, т. 2.— К. Маркс и Ф. Энгельс. Соч., т. 24. 648 с.

Маркс К. Капитал, т. 3.— К. Маркс и Ф. Энгельс. Соч., т. 25, ч. 1. 545 с., ч. 2. 551 с.

Маркс К. К критике политической экономии.— К. Маркс и Ф. Энгельс. Соч., т. 13, с. 1—167.

Маркс К. и *Энгельс Ф.* Избранные письма. М., Госполитиздат, 1953. 536 с.

Маркс К. и *Энгельс Ф.* Переписка К. Маркса и Ф. Энгельса с русскими политическими деятелями. Изд. 2-е. М., Госполитиздат, 1951. 376 с.

Энгельс Ф. Анти-Дюринг. Переворот в науке, произведенный господином Евгением Дюрингом.— К. Маркс и Ф. Энгельс. Соч., т. 20, с. 1—338.

Энгельс Ф. Диалектика природы.— К. Маркс и Ф. Энгельс. Соч., т. 20, с. 339—626.

Энгельс Ф. Людвиг Фейербах и конец классической немецкой философии.— К. Маркс и Ф. Энгельс. Соч., т. 21, с. 269—317.

Ленин В. И. Карл Маркс. (Краткий биографический очерк с изложением марксизма).— Полн. собр. соч., т. 26, с. 43—93.

Ленин В. И. Материализм и эмпириокритицизм. Критические заметки об одной реакционной философии.— Полн. собр. соч., т. 18. 525 с.

Ленин В. И. О значении воинствующего материализма.— Полн. собр. соч., т. 45, с. 23—33.

Ленин В. И. Памяти Герцена.— Полн. собр. соч., т. 21, с. 255—262.

Ленин В. И. Переписка Маркса с Энгельсом.— Полн. собр. соч., т. 24, с. 262—269.

Ленин В. И. Развитие капитализма в России. Процесс образования внутреннего рынка для крупной промышленности.— Полн. собр. соч., т. 3. 791 с.

Ленин В. И. Три источника и три составных части марксизма.— Полн. собр. соч., т. 23, с. 40—48.

Ленин В. И. Философские тетради.— Полн. собр. соч., т. 29. 782 с.

РАБОТЫ ОБЩЕГО ХАРАКТЕРА

Герцен А. И. Дилетантизм в науке.— Собр. соч., т. 3. М., Изд-во АН СССР, 1954, с. 5—88.

Герцен А. И. Дневник 1842—1845.— Собр. соч., т. 2. М., Изд-во АН СССР, 1954, с. 199—413.

Герцен А. И. Письма об изучении природы.— Собр. соч., т. 3. М., Изд-во АН СССР, 1954, с. 89—315.

История СССР. С древнейших времен до наших дней. В 2-х сериях, 12-ти т. Первая серия. Т. 1—6. М., «Наука», 1967—68.

История естествознания в России. Т. 1—3. М., Изд-во АН СССР, 1957—1962.

Варсанофьева В. А. Московское общество испытателей природы и его значение в развитии отечественной науки. М., Изд-во МГУ, 1955. 104 с.

Зубов В. П. Историография естественных наук в России. (XVIII в.— первая половина XIX в.). М., Изд-во АН СССР, 1956. 576 с.

Избранные произведения русских естествоиспытателей первой половины XIX века. Ред. и вступ. статья Г. С. Васецкого и С. Р. Микулинского. М., Соцэкгиз, 1959. 660 с.

Избранные произведения русских мыслителей второй половины XVIII в. Ч. 1—2. М., Госполитиздат, 1952.

Избранные социально-политические и философские произведения декабристов. Т. 1—3. Л., Госполитиздат, 1951.

История Московского университета. Т. 1. 1755—1917. М., Изд-во МГУ, 1955. 562 с.

Краткий очерк истории русской культуры с древнейших времен до 1917 года. Л., «Наука», 1967. 652 с.

Люди русской науки. Очерки о выдающихся деятелях естествознания и техники. Т. 1—4. М., 1948—1963.

Райнов Т. И. Наука в России XI—XVII веков. Очерки по истории донаучных и естественнонаучных воззрений на природу. Ч. 1—3. М.— Л., Изд-во АН СССР, 1940. 505 с.

Русские просветители. (От Радищева до декабристов). Собрание произведений. Т. 1—2. М., «Мысль», 1966.

История естествознания. Библиографический указатель. Литература, опубликованная в СССР. Т. 1—4. (1917—1961). М., «Наука», 1949—1974.

ИСТОРИЯ АКАДЕМИИ НАУК

Брежнев Л. И. Гордость отечественной науки. Речь на торжественном заседании в Кремлевском Дворце съездов, посвященном 250-летнему юбилею Академии наук СССР 7 октября 1975 г. М., Госполитиздат, 1975. 15 с.

В Центральном Комитете КПСС. ЦК КПСС принял постановление «О 250-летием юбилее Академии наук СССР».— «Правда», 1973, 17 октября, с. 1.

В Центральном Комитете КПСС. ЦК КПСС принял постановление «О проведении юбилейной сессии Академии наук СССР, посвященной 250-летию ее основания».— «Правда», 1975, 21 марта, с. 1.

История Академии наук СССР. Т. 1—2. 1724—1917. М.— Л., Изд-во АН СССР, 1958—1964.

Андреев А. И. Основание Академии наук в Петербурге.— В кн.: Петр Великий. Сб. 1. М.— Л., Изд-во АН СССР, 1947, с. 284—333.

Вавилов С. И. Физический кабинет. Физическая лаборатория. Физический институт Академии наук СССР за 220 лет.— Собр. соч., т. 3. М., Изд-во АН СССР, 1956, с. 468—529.

Гнучева В. Ф. Географический департамент Академии наук XVIII века. М.— Л., Изд-во АН СССР, 1946. 446 с.

Князев Г. А., Кольцов А. В. Краткий очерк истории Академии наук СССР. Изд. 3-е. М.— Л., «Наука», 1964. 226 с.

Комков Г. Д., Левшин В. В., Семенов Л. К. Академия наук СССР. Краткий исторический очерк. М., «Наука», 1974. 522 с.

Копелевич Ю. Х. Возникновение научных академий. Середина XVII — середина XVIII в. Л., «Наука», 1974. 265 с.

Котельников В. А. Передовые позиции отечественной науки.— «Коммунист», 1975, № 13, с. 15—26.

Материалы для истории имп. Академии наук (1716—1750). Т. 1—10. СПб., 1885—1900.

Пекарский П. История имп. Академии наук в Петербурге. Т. 1—2. Жизнеописание президентов и членов Академии наук, вступивших в нее в 1725—1742 годах. СПб., 1870—1873.

Протоколы заседаний Конференции имп. Академии наук с 1725 по 1803 год. Т. 1—4. СПб., 1897—1911.

Станюкович Т. В. Кунсткамера Петербургской академии наук. М.— Л., Изд-во АН СССР, 1953. 240 с.

Ученая корреспонденция Академии наук XVIII века, 1766—1782. Научное описание. Сост. И. И. Любименко. М.— Л., Изд-во АН СССР, 1937. 606 с.

М. В. ЛОМОНОСОВ

Ломоносов М. В. Полное собрание сочинений. Т. 1—10. М. —Л., Изд-во АН СССР, 1950—1967. Т. 1—2. 1950—1951. Труды по физике и химии. 1738—1752 гг.; Т. 3. 1952. Труды по физике. 1753—1765 гг.; Т. 4. 1955. Труды по физике, астрономии и приборостроению. 1744—1765 гг.; Т. 5. 1954. Труды по минералогии, металлургии и горному делу. 1741—1763 гг.; Т. 6. 1952. Труды по русской истории, общественно-экономическим вопросам и географии. 1747—1765 гг.; Т. 9. 1955. Служебные документы. 1742—1765 гг.; Т. 10. 1967. Служебные документы. Письма. 1734—1765.

Вавилов С. И. Ломоносов и русская наука.— Собр. соч., т. 3. М., Изд-во АН СССР, 1956, с. 559—577.

Кузнецов Б. Г. Творческий путь Ломоносова. Изд. 2-е. М., Изд-во АН СССР, 1961. 375 с.

Кулябко Е. С. Научные связи М. В. Ломоносова с зарубежными учеными.— В кн.: XVIII век. Сб. 4. М.— Л., 1959, с. 327—333.

Ломоносов. Сборник статей и материалов. Сб. 1—6. М. —Л., Изд-во АН СССР, 1940—1965.

Летопись жизни и творчества М. В. Ломоносова. Под ред. А. В. Топчиева и др. М.— Л., Изд-во АН СССР, 1961. 436 с.

Меншуткин Б. Н. Жизнеописание М. В. Ломоносова. Изд. 3-е. М. —Л., Изд-во АН СССР, 1947. 294 с.

Морозов А. А. Ломоносов. Изд. 5-е. М., «Молодая гвардия», 1965. 576 с.

РАБОТЫ ПО ИСТОРИИ ОТДЕЛЬНЫХ ОТРАСЛЕЙ ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ

МАТЕМАТИКА

История математики с древнейших времен до начала XIX столетия. В 3-х т. Под ред. А. П. Юшкевича. Т. 1—3. М., «Наука», 1970—1972.

История отечественной математики. Отв. ред. И. З. Штокало. Т. 1—2. С древнейших времен до 1917 г. Киев, «Наукова думка», 1966—1967.

Делоне Б. Н. Петербургская школа теории чисел. М.—Л., Изд-во АН СССР, 1947. 422 с.

Каган В. Ф. Очерки по геометрии. М., Изд-во МГУ, 1963. 571 с.

Майстров Л. Е. Теория вероятностей. Исторический очерк. М., «Наука», 1967. 320 с.

Ожигова Е. П. Развитие теории чисел в России. Л., «Наука», 1972. 360 с.

Юшкевич А. П. История математики в России до 1917 г. М., «Наука», 1968. 591 с.

ПЕРСОНАЛИИ

XVIII в.

Бернулли Д. Гидродинамика или записки о силах и движениях жидкостей. Л., Изд-во АН СССР, 1959. 551 с.

Гурьев С. Е. Опыт о усовершении элементов геометрии, составляющий первую книгу математических трудов акад. Гурьева. СПб., 1798. 265 с.

Euler L. Opera omnia. Series prima: Opera mathematica. Vol. 1—29, 1911—1956.

Эйлер Л. Введение в анализ бесконечных. Т. 1—2. Изд. 2-е. М., Физматгиз, 1961.

Эйлер Л. Дифференциальное исчисление. М. —Л., Гостехиздат, 1956—1958.

Эйлер Л. Интегральное исчисление. Т. 1—3. М.— Л., Гостехиздат, 1949. 580 с.

Эйлер Л. Метод нахождения кривых линий, обладающих свойствами максимума, либо минимума или решение изопериметрической задачи, взятой в самом широком смысле. М.— Л., Гостехиздат, 1934, 600 с.

Рукописные материалы *Л. Эйлера* в Архиве Академии наук СССР. Т. I. Научное описание. Сост. Ю. Х. Копелевич и др. М.— Л., Изд-во АН СССР, 1962. 427 с.

Леонард Эйлер (1707—1783). Сб. статей и материалов к 150-летию со дня смерти. М. —Л., Изд-во АН СССР, 1935. 239 с.

Памяти *Л. Эйлера.*— «Ист.-матем. исслед.», 1954, вып. 7, с. 453—640; 1957, вып. 10, с. 7—424.

Леонард Эйлер. Сборник статей в честь 250-летия со дня рождения. Под ред. М. А. Лаврентьева, А. П. Юшкевича, А. Т. Григорьяна. М., Изд-во АН СССР, 1958. 610 с.

Лысенко В. И. *Николай Иванович Фусс.* 1755—1826. М., «Наука», 1975. 119 с.

1-я половина XIX в.

Лихолетов И. И., Майстров Л. Е. *Николай Дмитриевич Брашман* (1796—1866). М., Изд-во МГУ, 1971. 82 с.

Прудников В. Е. *В. Я. Буняковский* — ученый и педагог. М., Учпедгиз, 1954. 88 с.

Лобачевский Н. И. Полное собрание сочинений. Т. 1—5. Гл. ред. В. Ф. Каган. М.—Л., Гостехиздат, 1946—1951.

Лобачевский Н. И. Научно-педагогическое наследие. Руководство Казанским университетом. Фрагменты. Письма. М., «Наука», 1976. 663 с.

Каган В. Ф. *Лобачевский.* Изд. 2-е. М.—Л., Изд-во АН СССР, 1948. 506 с.

Фердинанд Миндинг. 1806—1885. Л., «Наука», 1970. 223 с. Перед загл. авт.: Р. И. Галченкова, Ю. Г. Лумисте, Е. П. Ожигова, И. Б. Погребысский.

Тимофей Федорович Осиповский (1765—1832).— «Ист.-матем. исслед.», 1952, вып. 5, с. 9—83.

Остроградский М. В. Полное собрание трудов. Т. 1—3. Киев, Изд-во АН УССР, 1959—1961.

Гнеденко Б. В., Погребысский И. Б. *Михаил Васильевич Остроградский.* 1801—1862. М., Изд-во АН СССР, 1963. 271 с.

2-я половина XIX — начало XX в.

Боль П. Г. Собрание трудов. Рига, «Зинатне», 1974. 517 с.

Мышкис А. Д., Рабинович И. М. Математик *Пирс Боль* из Риги. Рига, «Зинатне», 1965. 99 с.

Материалы заседания Московского математического общества, посвященного памяти *И. В. Бугаева.* 16 марта 1904 г.— Матем. сборник, 1904, т. 25, вып. 1. 249 с.; 1905, т. 25, вып. 2. 373 с.

Вороной Г. Ф. Собрание сочинений. Т. 1—3. Киев, Изд-во АН УССР, 1952—1953.

Сборник, посвященный памяти академика *Д. А. Граве.* Под ред. О. Ю. Шмидта и др. М. —Л., Гостехиздат, 1940. 328 с.

Добровольский В. А. *Дмитрий Александрович Граве.* 1863—1939. М., «Наука», 1968. 112 с.

Кузнецов П. И. *Дмитрий Федорович Егоров.* (К 100-летию со дня рождения).— «Успехи матем. наук», 1971, т. 26, № 5 (161), с. 169—206.

Грацианская Л. Н. *Василий Петрович Ермаков* (1845—1922).— «Науч. зап. Киевского ун-та», 1957, т. 6, вып. 2. Матем. сб. № 9, с. 11—34.

Золотарев Е. И. Полное собрание сочинений. Вып. 1—2. Л., Изд-во АН СССР, 1931.

Башмакова И. Г. Обоснование теории делимости в трудах *Е. И. Золотарева.*— «Ист.-матем. исслед.», 1949, вып. 2, с. 231—354.

Ожигова Е. П. *Егор Иванович Золотарев.* 1847—1878. М.— Л., «Наука», 1966. 143 с.

Андреев К. А. Жизнь и научная деятельность *Василия Григорьевича Имшенецкого.* М., 1896. 111 с.

Ковалевская С. В. Научные работы. М., Изд-во АН СССР, 1948. 368 с.

Памяти *С. В. Ковалевской.* Сб. статей. М., Изд-во АН СССР, 1951. 156 с.

Ожигова Е. П. *Александр Николаевич Коркин.* 1837—1908. Л., «Наука», 1968. 148 с.

Котельников А. П. Винтовое счисление и некоторые приложения его к геометрии и механике. Казань, 1895. 216 с.

Котельников А. П. Проективная теория векторов. Казань, 1899. 317 с.

Путята Т. В., Лаптев Б. Л., Розенфельд Б. А., Фрадлин Б. Н. *Александр Петрович Котельников.* 1865—1944. М., «Наука», 1968. 122 с.

Лузин Н. Н. Собрание сочинений. Т. 1—3. М., Изд-во АН СССР, 1953—1959.

Лузин Н. Н. Интеграл и тригонометрический ряд. М.— Л., Гостехтеоретиздат, 1951. 551 с.

Ляпунов А. М. Собрание сочинений. Т. 1—5. М., Изд-во АН СССР, 1954—1965.

Ляпунов А. М. Избранные труды. М., Изд-во АН СССР, 1948. 540 с.

Марков А. А. Избранные труды по теории непрерывных дробей и теории функций наименее уклоняющихся от нуля. Биогр. очерк Н. И. Ахиезера. М.— Л., Гостехиздат, 1948. 412 с.

Марков А. А. Избранные труды. Теория чисел. Теория вероятностей. М., Изд-во АН СССР, 1951. 720 с.

Марков А. А. Исчисление вероятностей. Изд. 4-е. М., Гос. изд-во, 1924. 588 с.

Россинский С. Д. *Болеслав Корнелиевич Млодзеевский.* 1858—1923. Биогр. очерк. М., Изд-во МГУ, 1950. 52 с.

Депман И. Я. *Карл Михайлович Петерсон* и его диссертация.— «Ист.-матем. исслед.», 1952, вып. 5, с. 134—164.

Россинский С. Д. *Карл Михайлович Петерсон.*— «Успехи матем. наук», 1949, т. 4, вып. 5 (33), с. 3—13.

Наумов И. А. *Д. М. Синцов.* Очерк жизни и научно-педагогической деятельности. Харьков, Изд-во Харьк. ун-та, 1955. 72 с.

Сонин Н. Я. Исследования о цилиндрических функциях и специальных полиномах. М., Гостехиздат, 1954. 244 с.

Кропотов А. И. *Николай Яковлевич Сонин.* 1849—1915. Л., «Наука», 1967. 135 с.

Сохоцкий Ю. В. Теория интегральных вычетов с некоторыми приложениями. СПб., 1868. 136 с.

Маркушевич А. И. Вклад *Ю. В. Сохоцкого* в общую теорию аналитических функций.— «Ист.-матем. исслед.», 1950, вып. 3, с. 399—406.

Владимиров В. С., Маркуш И. И. Академик *В. А. Стеклов.* М., «Знание», 1973. 64 с.

Игнациус Г. И. *Владимир Андреевич Стеклов.* 1864—1926. М., «Наука», 1967. 212 с.

Памяти *В. А. Стеклова.* Сб. статей. Л., Изд-во АН СССР, 1928. 92 с.

Чебышев П. Л. Полное собрание сочинений. Т. 1—5. М.—Л., Изд-во АН СССР, 1944—1951.

Научное наследие *П. Л. Чебышева.* Вып. 1—2. М.— Л., Изд-во АН СССР, 1945.

Прудников В. Е. *Пафнутий Львович Чебышев.* Л., «Наука», 1976. 282 с.

Чеботарев Н. Г. *Самуил Осипович Шатуновский.*—«Успехи матем. наук», 1940, вып. 7, с. 316—321.

Отто Юльевич Шмидт. Жизнь и деятельность. М., Изд-во АН СССР, 1959. 470 с.

МЕХАНИКА

История механики. С древнейших времен до конца XVIII в. Под ред. А. Т. Григорьяна и И. Б. Погребысского. М., «Наука», 1971. 298 с.

История механики. С конца XVIII века до середины XX века. Под ред. А. Т. Григорьяна и И. Б. Погребысского. М., «Наука», 1972. 414 с.

История механики гироскопических систем. Сб. статей. М., «Наука», 1975. 124 с.

Аржаников Н. С. Очерк истории аэродинамики.— В кн.: История авиации. Т. I. М., 1934, с. 135—157.

Боголюбов А. Н. Теория механизмов и машин в историческом развитии ее идей. М., «Наука», 1976. 466 с.
Вариационные принципы механики. Под ред. Л. С. Полака. М., Физматгиз, 1959. 932 с.
Герасимов А. В. Краткий очерк развития учения о непотопляемости корабля в России. Л., 1949. 30 с.
Голубев В. В. Механика в Московском университете перед Великой Октябрьской социалистической революцией и в советский период.— «Ист.-матем. исслед.», 1955, вып. 8, с. 77—126.
Григорьян А. Т. Механика от античности до наших дней. Изд. 2-е. М., «Наука», 1974. 479 с.
Григорьян А. Т. Очерки истории механики в России. М., Изд-во АН СССР, 1961. 291 с.
Космодемьянский А. А. Очерки по истории механики. Изд. 2-е. М., «Просвещение», 1964. 456 с.
Космодемьянский А. А. Очерки по истории теоретической механики в России.— «Учен. зап. Моск. гос. ун-та», 1948, вып. 122. Механика, т. 2, с. 193—296.
Мандрыка А. П. История баллистики (до середины XIX в.). М. —Л., «Наука», 1964. 374 с.
Мандрыка А. П. Эволюция механики в ее взаимной связи с техникой (до середины XVIII в.). М., «Наука», 1972. 251 с.
Моисеев Н. Д. Очерки развития механики. М., Изд-во МГУ, 1961. 478 с.
Моисеев Н. Д. Очерки развития теории устойчивости. М., Гостехиздат, 1949. 663 с.
Полак Л. С. Вариационные принципы механики, их развитие и применение в физике. М., Физматгиз, 1960. 599 с.

ПЕРСОНАЛИИ

XVIII в.

Euler L. Opera omnia. Series secunda. Opera mechanica et astronomica. Vol. 1—30, 1912—1964.
Эйлер Л. Основы динамики точки. М. —Л., Гостехиздат, 1938. 500 с.

I-я половина XIX в. — начало XX в.

Геронимус Я. Л. Очерки о работах корифеев русской механики. М., Гостехиздат, 1952. 519 с.
Гидродинамическая теория смазки. М. — Л., 1934. 547 с.— *И. П. Петров, О. Рейнольдс, А. Зоммерфельд, А. Мигель, Н. Е. Жуковский, С. А. Чаплыгин.*
Жуковский Н. Е. Полное собрание сочинений. Т. 1—9. М. —Л., ОНТИ, 1935—1937.
Крылов А. Н. Собрание трудов академика А. Н. Крылова. Т. 1—12. М. —Л., Изд-во АН СССР, 1936—1956.
(Памяти *А. Н. Крылова*).— Труды Ин-та истории естествознания и техники АН СССР. Т. 15. История физико-матем. наук. М., Изд-во АН СССР, 1956, с. 4—168.
Мещерский И. В. Работы по механике тел переменной массы. Изд. 2-е. М., Гостехиздат, 1952. 280 с.
Крамар Ф. Д., Молюков И. Д. *Иосиф Иванович Сомов* (1815—1876) — математик, механик, педагог. Алма-Ата, 1965. 123 с.
Циолковский К. Э. Собрание сочинений. Т. 1—4. М., Изд-во АН СССР, 1951—1964.
Космодемьянский А. А. *Константин Эдуардович Циолковский* (1857—1935). М., «Наука», 1976. 295 с.
Чаплыгин С. А. Избранные труды. М., «Наука», 1976. 495 с.

АСТРОНОМИЯ

Астрономическому институту Академии наук Узбекской ССР 100 лет. Ташкент, «Фан», 1974. 144 с.
Вентцель М. К. Краткий очерк истории практической астрономии в России и в СССР (Развитие методов определения времени и широты).— «Ист.-астрон. исслед.», 1956, вып. 2, с. 7—98.
Воронцов-Вельяминов Б. А. Очерки истории астрономии в России. М., Гостехтеоретиздат, 1956. 371 с.
Всехсвятский С. К. 100 лет Киевской астрономической обсерватории.— «Публикация Киевской астрон. обсерватории», 1946, № 1, с. 19—28.
Горшков П. М. Астрономы Петербургского (Ленинградского) университета за 125 лет его существования (1819—1944).— В кн.: Астрономический календарь. Ежегодник. Переменная часть. 1946. Горький, Обл. изд-во, 1946, с. 144—159.
Дадаев А. Н. Пулковская обсерватория. Очерк истории и научной деятельности. Л., «Наука», 1972. 148 с.
Ерпылев Н. П. Развитие звездной астрономии в России в XIX в.— «Ист.-астрон. исслед.», 1958, вып. 4, с. 13—249.
Желнин Г. А. Астрономическая обсерватория Тартуского (Дерптского, Юрьевского) университета (1805—1948). Исторический очерк.— «Публикации Тартуской астрофиз. обсерватории им. В. Струве». Тарту, 1969, т. 37, с. 8—63.
Корытников С. И. Начало астрономии в Казани.— «Ист.-астрон. исслед.», 1955, вып. 1, с. 189—206.
Корытников С. И. О начальном периоде истории астрономии в Московском университете.— «Ист.-астрон. исслед.», 1956, вып. 2, с. 171—188.
Лаврова И. Б. Библиография русской астрономической литературы. 1800—1900 гг. М., Изд-во МГУ, 1968. 386 с.
Левицкий Г. В. Астрономы и астрономические обсерватории Харьковского университета от 1808 по 1842 г.— «Зап. Харьк. ун-та», 1893, кн. 3; от 1843 по 1879 г.— Там же, 1894, кн. 3.
Мартынов Д. Я. Астрономическая обсерватория им. В. П. Энгельгардта (1901—1951).— «Учен. зап. Казан. ун-та», 1951, т. 111, кн. 9, Изв. Астрон. обсерватории им. В. П. Энгельгардта, № 27, с. 5—26.
Невская Н. И. Первые работы по астрофизике в Петербургской Академии наук.— «Ист.-астрон. исслед.»,» 1969, вып. 10, с. 121—157.
Новокшанова З. К. Механическая мастерская Главного штаба.— «Ист.-астрон. исслед.», 1962, вып. 8, с. 331—360.
Пясковский Д. В. Развитие астрономии в Киевском университете.— «Ист.-астрон. исслед.», 1955, вып. 1, с. 149—188.
Райков Б. Е. Очерки по истории гелиоцентрического мировоззрения в России. Из прошлого русского естествознания. Изд. 2-е. М. —Л., Изд-во АН СССР, 1947. 392 с.
Славенас П. В. Астрономия в высшей школе Литвы XVI—XIX вв.— «Ист.-астрон. исслед.», 1955, вып. 1, с. 49—84.
Ченакал В. Л. Малые обсерватории Петербургской Академии наук в XVIII в.— «Ист.-астрон. исслед.», 1957, вып. 3, с. 261—428.
Ченакал В. Л. Русские приборостроители первой половины XVIII века. Л., Лениздат, 1953. 256 с.
Ярнефельт Г. Астрономия в Финляндии.— «Ист.-астрон. исслед.», 1962, вып. 8, с. 241—267.

ПЕРСОНАЛИИ

XVIII в.

Ченакал В. Л. *Яков Вилимович Брюс*, русский астроном начала XVIII века.— «Астрон. журн.», 1951, т. 28, вып. 1, с. 3—14.

Невская Н. И. Первый русский астроном *А. Д. Красильников.*— «Ист.-астрон. исслед.», 1957, вып. 3, с. 453—484.
Денисов А. П. *Н. Г. Курганов* — выдающийся русский астроном XVIII в.— «Ист.-астрон. исслед.», 1960, вып. 6, с. 121—193.
Куликовский П. Г. *М. В. Ломоносов* — астроном и астрофизик. Изд. 2-е. М., Физматгиз, 1961, 103 с.
Невская Н. И., Копелевич Ю. Х. Конкурс Петербургской Академии наук 1755—1760 годов (К истории открытия *М. В. Ломоносовым* атмосферы Венеры).— «История и методология естественных наук», 1966, вып. 4. Астрономия, механика, физика, с. 37—47.
Шаронов В. В. *Ломоносов* как организатор наблюдений прохождения Венеры по диску Солнца в 1761 г. в России и открытие им атмосферы Венеры.— В кн.: Ломоносов. Сб. статей и материалов, т. 4, 1960, с. 7—40.
Эйлер Л. Новая теория движения Луны. Л., Изд-во АН СССР, 1934. 208 с.
Л. Эйлер и *Ж. Н. Делиль* в их переписке, 1735—1765 (публ. и прим. А. П. Юшкевича, Т. Н. Кладо, Ю. Х. Копелевич). — В кн.: Русско-французские научные связи. Л., «Наука», 1968, с. 119—279.
Субботин М. Ф. Астрономические работы *Леонарда Эйлера.*— В кн.: Леонард Эйлер. Сб. статей в честь 250-летия со дня рождения. М., Изд-во АН СССР, 1958, с. 368—375.

I-я половина XIX в.

Идельсон Н. И. *Лобачевский* — астроном.— В кн.: Идельсон Н. И. Этюды по истории небесной механики. М., «Наука», 1975, с. 412—432.
Логинова Г. П., Селиханович В. Г. *Алексей Николаевич Савич.* 1810—1883. М., «Наука», 1967. 151 с.
Василий Яковлевич Струве (1793—1864). Сб. статей и материалов к 100-летию со дня смерти. Под ред. А. А. Михайлова. М., «Наука», 1964. 254 с.
Новокшанова З. К. *Василий Яковлевич Струве.* М., «Наука», 1964. 295 с.

2-я половина XIX — начало XX в.

Перель Ю. Г. Выдающиеся русские астрономы. М. —Л., Гостехиздат, 1951. 216 с.— *Ф. А. Бредихин, В. К. Церасский, А. А. Белопольский, М. А. Ковальский, С. П. Глазенап, П. К. Штерн-*

берг, С. К. Костинский, А. П. Ганский.
Костинский С. К. *Оскар Андреевич Баклунд* (1846—1916).— «Природа», 1917, № 1, с. 51—62.
Белопольский А. А. Астрономические труды. Научн.-биогр. очерк и коммент. О. А. Мельникова. М., Гостехиздат, 1954. 320 с.
Бредихин Ф. А. О хвостах комет. Под ред. и с науч.-биогр. очерком К. Д. Покровского. М. —Л., Гостехтеоретиздат, 1934. 280 с.
Невская Н. И. *Федор Александрович Бредихин* (1831—1904). М. —Л., «Наука», 1964. 253 с.
Известия Русского астрономического общества, 1928, вып. 31, № 3. 46 с.— Посвящается *С. П. Глазенапу* в день его 80-летия.
Ковальский М. А. Избранные работы по астрономии. Биогр. очерк, ред. и коммент. Д. Я. Мартынова. М. —Л., Гостехиздат, 1951. 208 с.
Дейч А. Н. *С. К. Костинский.*— «Астрон. журн.», 1936, т. 13, вып. 6, с. 503—507.
Цераский В. К. Избранные работы по астрономии. М., Гостехиздат, 1953. 195 с.

ФИЗИКА

Верхунов В. М. История физики в Казанском университете. Казань, Изд-во Казан. ун-та, 1963. 359 с.
Дорфман Я. Г. Всемирная история физики. С древнейших времен до конца XVIII в. М., «Наука», 1974. 351 с.
Избранные труды по электричеству. Под ред. Л. Д. Белькинда. М., Гостехиздат, 1956. 300 с.
Кононков А. Ф. История физики в Московском университете со дня его основания и до 60-х годов XIX в. М., Изд-во Моск. ун-та, 1955. 300 с.
Кравец Т. П. От Ньютона до Вавилова. Очерки и воспоминания. М., «Наука», 1967. 447 с.
Кудрявцев П. С. История физики. Изд. 2-е. Т. 1—3. М., Учпедгиз, 1956—1972.
Развитие физики в России. Под ред. А. С. Предводителева и Б. И. Спасского. Т. I. От начала XVIII в. до Великой Октябрьской социалистической революции. М., «Просвещение», 1970. 415 с.
Соболь С. Л. История микроскопа и микроскопических исследований в России в XVIII в. М. —Л., Изд-во АН СССР, 1949. 607 с.

ПЕРСОНАЛИИ

XVIII в.

Ломоносов М. В. Избранные труды по химии и физике (К 250-летию со дня рождения). М., Изд-во АН СССР, 1961. 560 с.
Билык В. Я. Исследования *Ломоносовым* и Брауном явлений при затвердевании ртути.— В кн.: Ломоносов. Сб. статей и материалов, т. 3. М. —Л., 1951, с. 55—65.
Дорфман Я. Г. Закон сохранения массы при химических реакциях и физические воззрения *Ломоносова.*— В кн.: Ломоносов. Сб. статей и материалов, т. 5, 1961, с. 182—193.
Дорфман Я. Г. Роль *М. В. Ломоносова* в истории развития молекулярно-кинетической теории теплоты.— В кн.: Ломоносов. Сб. статей и материалов, т. 3. М.— Л., 1951, с. 33—52.
Кононков А. Ф., Спасский Б. И. *М. В. Ломоносов* как физик. М., Изд-во Моск. ун-та, 1961. 157 с.
Литинецкий И. Б. *М. В. Ломоносов* — основоположник отечественного приборостроения. М.— Л., Гостехиздат, 1952. 158 с.
Рихман Г. В. Труды по физике. М., Изд-во АН СССР, 1956. 711 с.
Дорфман Я. Г. Выдающийся русский физик *Г. В. Рихман* и его роль в истории науки об электричестве. К 200-летию со дня смерти.— «Электричество», 1953, № 8, с. 61—67.
Елисеев А. А. *Г. В. Рихман.* М., «Просвещение», 1975. 111 с.
Зубов В. П. Калориметрическая формула *Рихмана* и ее предыстория.— «Труды Ин-та истории естествознания и техники АН СССР», 1955, т. 5, с. 69—93.
Дорфман Я. Г. Физические воззрения *Леонарда Эйлера.*— В кн.: Леонард Эйлер. Сб. статей в честь 250-летия со дня рождения. М., Изд-во АН СССР, 1958, с. 377—413.
Минченко Л. С. Физика *Эйлера.*— «Труды Ин-та истории естествознания и техники АН СССР», 1957, т. 19, с. 221—270.
Слюсарев Г. Г. «Диоптрика» *Эйлера.*— В кн.: Леонард Эйлер. Сб. статей в честь 250-летия со дня рождения. М., 1958, с. 414—422.
Эпинус Ф. У. Теория электричества и магнетизма. Ред. Я. Г. Дорфман. М., Изд-во АН СССР, 1951. 564 с.

1-я полозина XIX в.

Ленц Э. Х. Избранные труды. Л., Изд-во АН СССР, 1950. 521 с.

Лежнева О. А., Ржонсницкий Б. Н. *Эмилий Христианович Ленц.* М.— Л., Госэнергоиздат, 1952. 190 с.
Материалы научной конференции, посвященной 200-летию со дня рождения *Г. Ф. Паррота.* (Тарту, 1—2 июля 1967 г.) Тарту, ТартГУ, 1967. 269 с. Текст на эстон. и русс. яз. Резюме на англ. и нем. яз.
Академик *В. В. Петров*, 1761—1834. К истории физики и химии в России в начале XIX в. Сб. статей и материалов. Под ред. С. И. Вавилова. М.— Л., Изд-во АН СССР, 1940, 252 с.
Елисеев А. А. *Василий Владимирович Петров.* М. —Л., Госэнергоиздат, 1940. 180 с.
Бочарова М. Д. Электротехнические работы *Б. С. Якоби.* М. —Л., Госэнергоиздат, 1959. 232 с.
Новлянская М. Г. *Борис Семенович Якоби.* Библиогр. указатель. М.— Л., Изд-во АН СССР, 1953. 318 с.
Радовский М. И. *Борис Семенович Якоби.* М.— Л., Госэнергоиздат, 1949. 136 с.

2-я половина XIX — начало XX в.

Русаков В. П. Киевский физик *М. П. Авенариус.*— «Труды Ин-та истории естествознания и техники АН СССР», 1955, т. 5, с. 181—215.
Аркадьев В. К. Избранные труды. М., Изд-во АН СССР, 1961. 331 с.
Вульф Ю. В. Избранные работы по кристаллофизике и кристаллографии. М.— Л., Гостехтеоретиздат, 1952. 344 с.
Голицын Б. Б. Избранные труды. Т. I. Физика. М., Изд-во АН СССР, 1960. 242 с.
Крылов А. Н. Памяти *Б. Б. Голицына.*— «Природа», 1918, № 2—3, с. 171—180.
Тимирязев А. К. *Д. А. Гольдгаммер.*— В кн.: Очерки по истории физики в России. М., Учпедгиз, 1949, с. 185—195.
Иоффе А. Ф. Избранные труды. Т. 1—2. Л., «Наука», 1974—1975.
Иоффе А. Ф. Физика кристаллов. М.— Л., Гос. изд-во, 1929. 192 с.
Воспоминания об *А. Ф. Иоффе.* Л., «Наука», 1973. 252 с.
Курчатов И. В., Кобеко П. П. Академик *Абрам Федорович Иоффе.*— «Электричество», 1940, № 10, с. 34—36.
Лазарев П. П. Сочинения. Т. 1—3. М.— Л., Изд-во АН СССР, 1950—1957.
Вавилов С. И. Памяти акад. *П. П. Лазарева.*— «Вести. АН СССР», 1942, № 7—8, с. 97—102.
Кравец Т. П. Творческий путь академика *П. П. Лазарева.*— «Усп. физ. наук», 1945, т. 27, вып. 1, с. 13—21.
Лебедев П. Н. Собрание сочинений. М., Изд-во АН СССР, 1963. 435 с.
Лебедев П. Н. Избранные сочинения. М. —Л., Гостехиздат, 1949. 244 с.
Дуков В. М. *П. Н. Лебедев.* Изд. 2-е. М., Учпедгиз, 1956. 120 с.
Менделеев Д. И. Сочинения. Т. 5—7, 22. М. —Л., Изд-во АН СССР, 1940—1950. Т. 5. Жидкости. 1947; т. 6. Газы. 1939; т. 7. Геофизика и гидродинамика. 1940; т. 22. Метрологические работы. 1950.
Михельсон В. А. Собрание сочинений. Т. 1. М., 1930. 399 с.
Надеждин А. И. Физические исследования. Киев, 1887. 172 с.
Изобретение радио. *А. С. Попов.* Документы и материалы. М., «Наука», 1966. 284 с.
Рождественский Д. С. Избранные труды. М.— Л., «Наука», 1964. 349 с.
Рождественский Д. С. Работы по аномальной дисперсии в парах металлов. М., Изд-во АН СССР, 1951. 395 с.
Столетов А. Г. Собрание сочинений. Т. 1—3. М.— Л., Гостехиздат, 1939—1947.
Тимирязев А. К. *Александр Григорьевич Столетов* (1839—1896). Биогр. очерк. М., Изд-во МГУ, 1948. 50 с.
Умов Н. А. Избранные сочинения. М.— Л., Гостехтеоретиздат, 1950. 555 с.
Гуло Д. Д. *Умов Николай Алексеевич.* 1846—1914. М., «Наука», 1971. 320 с.
Федоров Е. С. Симметрия и структура кристаллов. Основные работы. М., Изд-во АН СССР, 1949. 631 с.
Идеи *Е. С. Федорова* в современной кристаллографии и минералогии. Сб. статей. Л., «Наука», 1970. 244 с.
Шафрановский И. И. *Евграф Степанович Федоров.* М.— Л., Изд-во АН СССР, 1963. 284 с.
Косоногов И. *Николай Николаевич Шиллер.*— «Журн. Русск. физ.-хим. о-ва», часть физ., 1911, т. 43, № 9, с. 445—483.
Эйхенвальд А. А. Избранные работы. М., Гостехиздат, 1956. 267 с.
Белькинд Л. Д. *Павел Николаевич Яблочков* (1847—1894). М., Изд-во АН СССР, 1962. 269 с.

ХИМИЯ

Быков Г. В. История классической теории химического строения. М., Изд-во АН СССР, 1960. 311 с.
Быков Г. В. История стереохимии органических соединений. М., «Наука», 1966. 372 с.

Вальден П. И. Очерк истории химии в России.— В кн.: Ладенбург А. Лекции по истории развития химии от Лавуазье до нашего времени. Одесса, 1917, с. 415—654.
Зайцева Л. Л., Фигуровский Н. А. Исследования явлений радиоактивности в дореволюционной России. М., Изд-во АН СССР, 1961. 223 с.
Капустинский А. Ф. Очерки по истории неорганической и физической химии в России. От Ломоносова до Великой Октябрьской социалистической революции. М.— Л., Изд-во АН СССР, 1949. 166 с.
Кедров Б. М. День одного великого открытия. М., Соцэкгиз, 1958. 560 с.
Кедров Б. М., Трифонов Д. И. Закон периодичности и химические элементы. Открытия и хронология. М., «Наука», 1969. 190 с.
Кедров Б. М. Микроанатомия великого открытия. К 100-летию закона Менделеева. М., «Наука», 1970. 247 с.
Киппис А. Я. Развитие химической термодинамики в России. М.— Л., «Наука», 1964. 347 с.
Козлов В. В. Всесоюзное химическое общество имени Д. И. Менделеева. 1868—1968. М., «Наука», 1971. 563 с.
Кузнецов В. И. Развитие каталитического органического синтеза. М., «Наука», 1964. 434 с.
Кузнецов В. И. Развитие учения о катализе. М., «Наука», 1964. 423 с.
Кузнецов В. И. Развитие химии металлоорганических соединений в СССР. М., Изд-во АН СССР, 1957. 222 с.
Кузнецов В. И. Эволюция представлений об основных законах химии. М., «Наука», 1967. 310 с.
Курнаков В. И. Очерк развития химической атомистики в XIX веке. М., Изд-во АН СССР, 1960. 158 с.
Лукьянов П. М. История химических промыслов и химической промышленности России до конца XIX в. Т. 1—6. М.— Л., Изд-во АН СССР, 1948—1965.
Мусабеков Ю. С. История органического синтеза в России. М., Изд-во АН СССР, 1958. 286 с.
Соловьев Ю. И. История учения о растворах. М., Изд-во АН СССР, 1959. 582 с.
Соловьев Ю. И. Очерки истории физико-химического анализа. М., Изд-во АН СССР, 1955. 223 с.
Соловьев Ю. И. Очерки по истории физической химии. М., «Наука», 1964. 342 с.
Сто лет периодического закона химических элементов. Сб. статей. 1869—1969. М., «Наука», 1969. 378 с.
Трифонов Д. И. Границы и эволюция периодической системы. М., Госполитиздат, 1963. 167 с.
Фаерштейн М. Г. История учения о молекуле в химии (до 1860 г.). М., Изд-во АН СССР, 1961. 368 с.
Фигуровский Н. А. Открытие химических элементов и происхождение их названий. М., «Наука», 1970. 207 с.
Фигуровский Н. А. Очерк общей истории химии. От древнейших времен до начала XIX в. М., «Наука», 1969. 455 с.

ПЕРСОНАЛИИ

XVIII в.

Раскин Н. М. *Василий Иванович Клементьев* — ученик и лаборант М. В. Ломоносова. М.— Л., Изд-во АН СССР, 1952. 60 с.
Раскин Н. М., Шафрановский И. И. *Эрик Густавович Лаксман*, выдающийся путешественник и натуралист XVIII в. Л., «Наука», 1971. 274 с.
Ловиц Т. Е. Избранные труды по химии и химической технологии. М., Изд-во АН СССР, 1955. 619 с.
Меншуткин Б. Н. Труды *М. В. Ломоносова* по физике и химии. М.— Л., Изд-во АН СССР, 1936. 537 с.
Погодин С. А. Зарубежные ученые XX в. о работах *М. В. Ломоносова* по химии и физике.— «Вопр. истории естествознания и техники», 1965, вып. 19, с. 46—65.
Раскин Н. М. Химическая лаборатория *М. В. Ломоносова*. Химия в Петербургской Академии наук во 2-й половине XVIII в. М.— Л., Изд-во АН СССР, 1962. 340 с.

1-я половина XIX в.

Погодин С. А. Об исследованиях *И. В. Авдеева* в области химии бериллия.— «Труды Ин-та истории естествознания и техники АН СССР», 1955, т. 6, с. 125—151.
Соловьев Ю. И. *Герман Иванович Гесс*. М., Изд-во АН СССР, 1962. 104 с.
Страдынь Я. П. *Теодор Гротгус*. 1785—1822. М., «Наука», 1966. 184 с.
Фигуровский Н. А., Соловьев Ю. И. *Николай Николаевич Зинин*. Биогр. очерк. М., Изд-во АН СССР, 1957. 216 с.
Ушакова Н. Н. *Карл Карлович Клаус*. 1796—1864. М., «Наука», 1972. 151 с.

2-я половина XIX — начало XX в.

Бах Л. А., Опарин А. И. *Алексей Николаевич Бах*. Биогр. очерк. 1857—1957. М., Изд-во АН СССР, 1957. 175 с.

Шмулович Л. А., Мусабеков Ю. С. *Федор Федорович Бейльштейн*. 1838—1906. М., «Наука», 1971. 130 с.
Быков Г. В. *Александр Михайлович Бутлеров*. Очерк жизни и деятельности. М., Изд-во АН СССР, 1961. 218 с.
Лавров В. *Егор Егорович Вагнер*, его жизнь и деятельность. СПб., 1904. 151 с.
Зелинский Н. Д. Собрание трудов. Т. 1—4. М., Изд-во АН СССР, 1954—1960.
Соловьев Ю. И., Каблукова М. И., Колесников Е. В. *Иван Алексеевич Каблуков*. 100 лет со дня рождения. 1857—1957. М., Изд-во АН СССР, 1957. 211 с.
Фигуровский Н. А., Романьков Ю. И. *Владимир Александрович Кистяковский*, 1865—1952. М., «Наука», 1967. 136 с.
Соловьев Ю. И., Киппис А. Я. *Дмитрий Петрович Коновалов*. 1856—1929. М., «Наука», 1964. 192 с.
Соловьев Ю. И., Звягинцев О. Е. *Николай Семенович Курнаков*. Жизнь и деятельность. М., Изд-во АН СССР, 1960. 207 с.
Есафов В. И. *Михаил Григорьевич Кучеров*. 1850—1911. М., «Наука», 1972. 104 с.
Сергей Васильевич Лебедев. Жизнь и труды. Л., Химтеоретиздат, 1938. 777 с.
Соловьев Ю. И., Старосельский П. И. *Владимир Федорович Лугинин*. 1834—1911. М., Изд-во АН СССР, 1963. 144 с.
Платэ А. Ф., Быков Г. В., Эвентова М. С. *Владимир Васильевич Марковников*, 1837—1904. Очерк жизни и деятельности. М., Изд-во АН СССР, 1962. 152 с.
Менделеев Д. И. Сочинения. Т. 1—25. М., Изд-во АН СССР, 1934—1954.
Младенцев М. Н., Тищенко В. Е. *Д. И. Менделеев*, его жизнь и деятельность. Т. 1, ч. 1—2. М.— Л., Изд-во АН СССР, 1938. 268 с.
Фигуровский Н. А. *Дмитрий Иванович Менделеев*. 1834—1907. М., Изд-во АН СССР, 1961. 315 с.
Старосельский П. И., Соловьев Ю. И. *Николай Александрович Меншуткин*. 1842—1907. М., «Наука», 1969. 295 с.
Быков Г. В. Очерк жизни и деятельности *Александра Никифоровича Попова*.— «Труды Ин-та истории естествознания и техники АН СССР», 1956, т. 12, с. 200—245.
Семенцов П. П. *Сергей Николаевич Реформатский*.— «Журн. общ. химии», 1935, т. 5, с. 584—601.
Шостаковский М. Ф. Академик Алексей Евграфович *Фаворский*. М.— Л., Госхимиздат, 1953. 158 с.
Евтеева П. М. *А. Е. Чичибабин*.— «Труды Ин-та истории естествознания и техники АН СССР», 1958, т. 18, с. 296—356.
Звягинцев О. Е., Соловьев Ю. И., Старосельский П. И. *Лев Александрович Чугаев*. М., «Наука», 1965. 199 с.
Ушакова Н. Н. *Николай Александрович Шилов*. М., «Наука», 1966. 134 с.

ГЕОЛОГИЯ

Батюшкова И. В. Представления о причинах землетрясений в работах отечественных ученых. М., Изд-во АН СССР, 1959. 79 с.
Гордеев Д. И. История геологических наук. Ч. 1—2. М., Изд-во МГУ, 1967—1972.
Гордеев Д. И. Основные этапы истории отечественной гидрогеологии. М., Изд-во АН СССР, 1954. 382 с.
История геологии. М., «Наука», 1973. 388 с.
Новик Е. В., Пермяков В. В., Коваленко Е. Е. История геологических исследований Донецкого каменноугольного бассейна. (1700—1917). Киев, Изд-во АН УССР, 1960. 531 с.
Равикович А. И. Развитие основных теоретических направлений в геологии XIX века. М., «Наука», 1969. 247 с.
Соловьев С. П. Всесоюзное минералогическое общество и его роль в развитии геологических наук (1817—1967). Л., «Наука», 1967. 232 с.
Соловьев Ю. Я. Возникновение и развитие палеогеографии в России. М., «Наука», 1966. 234 с.
Страхов Н. М. Развитие литогенетических идей в России и СССР. Критический обзор. М., «Наука», 1971. 622 с.
Тихомиров В. В. Геология в России первой половины XIX века. Ч. 1—2. М., Изд-во АН СССР, 1960—1963.
Тихомиров В. В., Хаин В. Е. Краткий очерк истории геологии. М., Госгеолтехиздат, 1956. 260 с.
Хомизури Г. П. Развитие понятия «геосинклиналь». М., «Наука», 1976. 235 с.
Яблоков В. С. История изучения каменноугольных отложений и углей Подмосковного бассейна (1722—1966). М., «Наука», 1967. 260 с.

ПЕРСОНАЛИИ

XVIII в.

Крашенинников С. П. Описание земли Камчатки. М.— Л., Изд-во Главсевморпути, 1949. 842 с.
Гордеев Д. И. *М. В. Ломоносов* — основоположник геологической науки. Изд. 2-е. М., Изд-во МГУ, 1961. 204 с.

1-я половина XIX в.

Гумбольдт А. Центральная Азия. Исследования о цепях гор и по сравнительной климатологии. М., 1915. 350 с.

Куторга С. С. Естественная история земной коры. СПб., 1858.

Соколов Д. И. Курс геогнозии. Ч. 1—3. СПб., 1839.

Терлев А. М. История минералогии. СПб., 1819.

2-я половина XIX — начало XX в.

Андрусов Н. И. Избранные труды. Т. 1—4. М., Изд-во АН СССР, 1961—1965.

Богданович К. И. Рудные месторождения. Т. 1—2. СПб., 1912—1913.

Вернадский В. И. Избранные сочинения. Т. 1—5. М., Изд-во АН СССР, 1954—1960.

Губкин И. М. Избранные сочинения. Т. 1—2. М.— Л., Изд-во АН СССР, 1950—1953.

Залесский М. Д. Очерки по вопросу образования угля. Пг., 1914. 114 с.

Иностранцев А. А. Геология. Т. 1—3. СПб., 1825—1827.

Карпинский А. П. Собрание сочинений. Т. 1—4. М.— Л., Изд-во АН СССР, 1939—1949.

Шафрановский И. И. Николай Иванович Кокшаров (1818—1892). М.— Л., «Наука», 1964. 216 с.

Лагинин-Лессинг Ф. Ю. О некоторых химических типах изверженных горных пород.— «Вести. естествозн.», 1890, № 1, с. 16—25.

Лагинин-Лессинг Ф. Ю. Введение в историю петрографии. Л.— М., 1936. 132 с.

Мушкетов И. В. Физическая геология. Ч. 1—2. СПб., 1888—1891.

Никитин С. Н. Грунтовые и артезианские воды на Русской равнине. СПб., 1890.

Обручев В. А. История геологического исследования Сибири. Периоды первый — пятый. Л., Изд-во АН СССР, 1931—1959.

Павлов А. П. Полвека в истории науки об ископаемых организмах. М., 1897. 88 с.

Павлов А. П. Самарская Лука и Жигули.— «Труды Геол. ком.», 1887, т. 2, № 5.

Федоров Е. С. Царство кристаллов. Таблицы по кристаллохимическому анализу.— «Зап. Акад. наук по физ.-мат. отд.», 1920, VIII серия.

Ферсман А. Е. Геохимия. Т. 1—2. Л., 1934.

Чернышев Ф. Н. Верхнекаменноугольные брахиоподы Урала и Тимана.— «Труды Геол. ком.», 1902, т. 16, № 2.

Черский И. Д. Предварительный отчет об исследованиях в области рек Колымы, Индигирки и Яны.— «Зап. имп. Акад. наук», 1893, т. 73, кн. 1, прил. № 5.

ГЕОГРАФИЯ

Абрамов Л. С. Описание природы нашей страны. Развитие физико-географических характеристик. М., «Мысль», 1972. 277 с.

Авсюк Г. А., Карташов С. Н. 150 лет открытия Антарктиды русской экспедицией.— В кн.: Антарктика. Доклады комиссии. 1968. М., «Наука», 1971, с. 5—12.

Алексеев А. И. Русские географические исследования на Дальнем Востоке и в Северной Америке (XIX — нач. XX в.). М., «Наука», 1976. 92 с.

Берг Л. С. Очерки по истории русских географических открытий. Изд 2-е. М.— Л., Изд-во АН СССР, 1949. 467 с.

Географическое общество за 125 лет. Л., «Наука», 1970. 396 с.

Гнучев В. Ф. Географический департамент Академии наук XVIII века. М.—Л., Изд-во АН СССР, 1946. 446 с.

Греков В. И. Очерки из истории русских географических исследований в 1725—1765 гг. М., Изд-во АН СССР, 1960. 425 с.

Григорьев А. А. Развитие физико-географической мысли в России (XIX — начало XX в.). Краткий очерк. М., Изд-во АН СССР, 1961. 91 с.

Дынин В. А. Русские мореплаватели в Тихом океане в XVIII веке. М., «Мысль», 1971. 375 с.

Есаков В. А., Плахотник А. Ф., Алексеев А. И. Русские океанические и морские исследования в XIX — начале XX в. М., «Наука», 1964. 160 с.

Есаков В. А., Сологуб А. И. Русские географические исследования Европейской России и Урала в XIX — начале XX в. М., «Наука», 1964. 179 с.

Ефимов А. В. Из истории великих русских географических открытий. М., «Наука», 1971. 300 с.

Зубов Н. Н. Отечественные мореплаватели — исследователи морей и океанов. М., Географгиз, 1954. 475 с.

Лебедев Д. М., Есаков В. А. Русские географические открытия и исследования. С древних времен до 1917 года. М., «Мысль», 1971. 516 с.

Наумов Г. В. Русские географические исследования Сибири в XIX — начале XX в. М., «Наука», 1965. 148 с.

Невский В. В. Борьба за создание кафедр географии в русских университетах.— «Вести. ЛГУ», 1971, № 6, геология, география, вып. 1, с. 147—151.

Новокшанова-Соколовская З. К. Картографические и геодезические работы в России в XIX — начале XX в. М., «Наука», 1967. 265 с.

Обзор русских путешествий и экспедиций в Среднюю Азию. Сост. О. В. Маслова. Ч. 1—4. 1715—1886. Ташкент, «Фан», 1955—1971.

Отечественные физико-географы и путешественники. М., Учпедгиз, 1959. 783 с.

Очерки истории географической науки СССР. Отв. ред. В. А. Есаков и Л. Г. Каманин. М., «Наука», 1976. 181 с.

Пасецкий В. М. Арктические путешествия россиян. М., «Мысль», 1974. 230 с.

Развитие физико-географических наук (XVII—XX вв.) М., «Наука», 1975. 435 с.

Русские географические исследования Кавказа и Средней Азии в XIX — начале XX в. М., «Наука», 1964. 158 с.

Федосеев И. А. История изучения основных проблем гидросферы. М., «Наука», 1975. 207 с.

Федосеев И. А. Развитие гидрогеологии суши в России. М., Изд-во АН СССР, 1960. 302 с.

Федчина В. Н. Как создавалась карта Средней Азии. М., «Наука», 1967. 132 с.

Шибанов Ф. А. Очерки по истории отечественной картографии. Л., 1971. 160 с.

Шокальский Ю. М. Океанография. Изд. 2-е. Л., Гидрометеоиздат, 1959. 537 с.

ПЕРСОНАЛИИ

XVIII в.

Крашенинников С. П. Описание земли Камчатки. Изд. 2-е. М.—Л., Изд-во Главсевморпути, 1949. 842 с.

Ломоносов М. В. Рассуждение о происхождении ледяных гор в северных морях.— В кн.: Ломоносов М. В. Полн. собр. соч., т. 3. М.—Л., 1952, с. 447—459.

Виттер Э. Научное исследование Сибири в петровское время. Семилетняя научная экспедиция *Д. Г. Мессершмидта* в Сибирь (1720—1727). М., «Наука», 1971. 13 с.

Паллас П. С. Путешествие по разным провинциям Российской империи. Ч. 1—3. СПб., 1773—1788.

Татищев В. Н. Избранные труды по географии России. М., Географгиз, 1950, 248 с.

1-я половина XIX в.

Беллинсгаузен Ф. Ф. Двукратные изыскания в Южном Ледовитом океане и плавание вокруг света в продолжение 1819, 20 и 21 гг., совершенные на шлюпах «Восток» и «Мирный» под начальством капитана Беллинсгаузена, командира шлюпа «Восток». Шлюпом «Мирный» начальствовал лейтенант Лазарев. Изд. 3-е. М., Географгиз, 1960. 488 с.

Бэр К. Переписка Карла Бэра по проблемам географии. Л., «Наука», 1970. 332 с.

Головнин В. М. Путешествие вокруг света, совершенное на военном шлюпе «Камчатка» в 1817, 1818 и 1819 годах флота капитаном Головниным. М., «Мысль», 1965. 384 с.

Есаков В. А. *Гумбольдт* в России. М., Изд-во АН СССР, 1960. 110 с.

Пасецкий В. М. *Иван Федорович Крузенштерн* (1770—1845). М., «Наука», 1974. 176 с.

Лисянский Ю. Ф. Путешествие вокруг света на корабле «Нева» в 1803—1806 годах. М., Гос. изд. геогр. лит-ры, 1947. 296 с.

Алексеев А. И. *Федор Петрович Литке.* М., «Наука», 1970. 276 с.

Леонов Н. И. *Александр Федорович Миддендорф* (1815—1894). М., «Наука», 1967. 147 с.

Невельской Г. И. Подвиги русских морских офицеров на крайнем востоке России. 1849—1855. Хабаровск, Кн. изд-во, 1969. 419 с.

Чихачев П. А. Путешествие в Восточный Алтай. Центральная Азия в источниках и материалах XIX — начала XX века. М., «Наука», 1974. 358 с.

2-я половина XIX — начало XX в.

Азатьян А. А. Выдающиеся исследователи природы Средней Азии (2-я половина XIX в.). Ч. 1—2. Ташкент, 1960—1966.— *П. П. Семенов-Тян-Шанский, А. П. Федченко, В. Ф. Ошанин, И. А. Северцов, А. Н. Краснов.*

Есаков В. А. *Д. Н. Анучин* и создание русской университетской географической школы. М., Изд-во АН СССР, 1955. 183 с.

Арсеньев В. К. Сочинения. Т. 1—6. Владивосток, Примиздат, 1947—1949.

Берг Л. С. Избранные труды. В 5-ти тт. Т. 1—3. М., Изд-во АН СССР, 1956—1960.

Докучаев В. В. К учению о зонах природы.— В кн.: Соч., т. 6. М.—Л., Изд-во АН СССР, 1951, с. 398—414.

Докучаев В. В. Место и роль современ-

ного почвоведения в науке и жизни.— В кн.: Соч., т. 6. М.—Л., Изд-во АН СССР, 1951, с. 415—424.
Краснов А. Н. География как новая университетская наука.— В кн.: Профессор Андрей Николаевич Краснов. Под ред. В. И. Талиева. Харьков, 1916, с. 147—148.
Кропоткин П. А. Общий очерк орографии Восточной Сибири.— «Зап. Русск. геогр. о-ва», 1875, т. 5.
Пирумова Н. М. *Петр Алексеевич Кропоткин.* М., «Наука», 1972. 223 с.
Кротов П. И. Задачи научной географии и постановка ее преподавания в имп. Казанском университете.— «Ежегодн. Русск. геогр. о-ва», 1892, т.2, с. 341—368.
Макаров С. О. «Витязь» и Тихий океан. Гидрологические наблюдения, произведенные офицерами корвета «Витязь» во время кругосветного плавания 1886—1889 годов, и свод наблюдений над температурою и удельным весом воды Северного Тихого океана. Т. 1—2. СПб., 1894.
Мензбир М. А. Орнитологическая география Европейской России.— «Учен. зап. Моск. ун-та». Отд. естеств.-истор., 1882, вып. 2, 3. 524 с.
Мечников Л. И. Цивилизация и великие исторические реки. М., 1924. 255 с.
Егорьева А. В. Русский географ и путешественник *Миклухо-Маклай* (К 125-летию со дня рождения). Л., 1971. 32 с.
Козлов П. К. В азиатских просторах. Книга о жизни и путешествиях *Н. М. Пржевальского.* Хабаровск, Кн. изд-во, 1971. 237 с.
Риттер К. Идеи о сравнительном землеведении.— «Магазин землеведения и путешествий», т. 2. М., 1853.

БИОЛОГИЯ

Баранов П. А. История эмбриологии растений в связи с развитием представлений о зарождении организмов. М.—Л., Изд-во АН СССР, 1955. 440 с.
Бляхер Л. Я. История эмбриологии в России (с середины XVIII до середины XIX в.). М., Изд-во АН СССР, 1955. 376 с.
Бляхер Л. Я. История эмбриологии в России (с середины XIX до середины XX в.). Беспозвоночные. М., Изд-во АН СССР, 1959. 627 с.
Бляхер Л. Я. Очерк истории морфологии животных. М., Изд-во АН СССР, 1962. 263 с.
Выдающиеся отечественные ботаники. (Очерки о жизни и научной деятельности). М., Учпедгиз, 1957. 443 с.
Заварзин Г. А. Развитие эволюционной теории после Дарвина (1859—1920-е гг.). Л., «Наука», 1973. 423 с.
Зенкевич Л. А. Русские исследования фауны морей.— «Труды Ин-та истории естествознания АН СССР», 1948, т. 2, с. 170—195.
Исаченко Б. Л. Очерки по истории микробиологии в России.— В кн.: Избранные труды, т. 2. М.—Л., Изд-во АН СССР, 1951, с. 314—330.
История биологии с древнейших времен до начала XX века. Под ред. С. Р. Микулинского. М., «Наука», 1972. 563 с.
Коштоянц Х. С. Очерки по истории физиологии в России. М.—Л., Изд-во АН СССР, 1946. 494 с.
Лункевич В. В. От Гераклита до Дарвина. Очерки по истории биологии. Т. 2. М., Учпедгиз, 1960. 547 с.
Магурмович Б. Н. Выдающиеся отечественные зоологи. М., Учпедгиз, 1960. 425 с.
Майоров Ф. П. История учения об условных рефлексах. Изд 2-е. М.—Л., Изд-во АН СССР, 1954. 368 с.
Микулинский С. Р. Развитие общих проблем биологии в России. Первая половина XIX в. М., Изд-во АН СССР, 1961. 450 с.
Мирзоян Э. Н. Индивидуальное развитие и эволюция. Очерк истории проблемы соотношения онтогенеза и филогенеза. М., Изд-во АН СССР, 1963. 302 с.
Модилевский Я. С. История отечественной эмбриологии высших растений. Киев, Изд-во АН УССР, 1956. 203 с.
Плавильщиков Н. Н. Очерки по истории зоологии. М., Учпедгиз, 1941. 295 с.
Соболь С. Л. История микроскопа и микроскопических исследований в России в XVIII в. М.—Л., Изд-во АН СССР, 1949. 607 с.
Трасс Х. Х. Геоботаника. История и современные тенденции развития. Л., «Наука», 1976. 252 с.

ПЕРСОНАЛИИ

XVIII в.

Райков Б. Е. Русские биологи — эволюционисты до Дарвина. Материалы к истории эволюционной идеи в России. Т. I. М.— Л., Изд-во АН СССР, 1952. 472 с.— *М. В. Ломоносов, П. С. Паллас, К. Ф. Вольф, А. А. Каверзнев, М. А. Таушер, Я. К. Кайданов* и *Л. Я. Боянус.*
Вольф К. Ф. Теория зарождения. М., Изд-во АН СССР, 1950. 631 с.
Гайсинович А. Е. *К. Ф. Вольф* и учение о развитии организмов. М., Изд-во АН СССР, 1961. 548 с.

1-я половина XIX в.

Райков Б. Е. Русские биологи-эволюционисты до Дарвина. Материалы к истории эволюционной идеи в России. Т. 2. М.—Л., Изд-во АН СССР, 1951. 587 с.— *К. М. Бэр, Х. И. Пандер, Д. И. Соколов, Э. И. Эйхвальд, П. Ф. Горянинов, Г. Е. Щуровский* и московские трансформисты 30-х гг.
Бэр К. М. История развития животных. Наблюдения и размышления. Т. 1—2. М., Изд-во АН СССР, 1950—1953.
Райков Б. Е. *Карл Бэр*, его жизнь и труды. М.—Л., Изд-во АН СССР, 1961. 524 с.
Рулье К. Ф. Избранные биологические произведения. Ред., статья и коммент. Л. Ш. Давиташвили и С. Р. Микулинского. М., Изд-во АН СССР, 1954. 688 с.
Микулинский С. Р. *К. Ф. Рулье* и его учение о развитии органического мира. М., Изд-во АН СССР, 1957. 355 с.
Райков Б. Е. Русские биологи-эволюционисты до Дарвина. Т. 3. Русский биолог-эволюционист *Карл Францевич Рулье.* Его жизнь и деятельность. М.—Л., Изд-во АН СССР, 1955. 644 с.

2-я половина XIX — начало XX в.

Райков Б. Е. Русские биологи-эволюционисты до Дарвина. Т. 4. М.—Л., Изд-во АН СССР, 1959. 678 с.
Манойленко (Рязанская) К. В. *А. Ф. Баталин* — выдающийся русский ботаник XIX в. (1847—1896). М.—Л., «Наука», 1962. 132 с.
Бах А. Н. Собрание трудов по химии и биохимии. М., Изд-во АН СССР, 1950. 648 с.
Берг Л. С. Избранные труды. Т. 4, 5. М., Изд-во АН СССР, 1961—1962.
Вавилов Н. И. Избранные труды. Т. 1—5. М.—Л., Изд-во АН СССР, 1959—1965.
Введенский Н. Е. Полное собрание сочинений. Т. 1—7. Л., Изд-во ЛГУ, 1951—1963.
Вернадский В. И. Биосфера. Т. 1—2. Л., 1926.
Русские микробиологи *С. Н. Виноградский* и *В. Л. Омелянский.* Сб. статей. М., Изд-во Мин-ва сельского хоз-ва СССР, 1960. 84 с.
Парнес В. А. *Михаил Степанович Воронин.* 1838—1903. М., «Наука», 1976. 183 с.
Мейер К. И. *Иван Николаевич Горожанкин* и его роль в развитии русской ботаники (1848—1904). М., Изд-во МГУ, 1966. 96 с.
Данилевский А. Я. Избранные труды. М., Изд-во АН СССР, 1960. 519 с.
Докучаев В. В. Сочинения. Т. 1—8. М.—Л., Изд-во АН СССР, 1949—1961.
Кирьянов Г. Ф. *Василий Васильевич Докучаев.* 1846—1903. М., «Наука», 1966.
Заварзин А. А. Избранные труды. Т. 1—4. М.—Л., Изд-во АН СССР, 1950—1953.
Ковалевский А. О. Избранные работы. М., Изд-во АН СССР, 1951. 676 с.
Догель В. А. *А. О. Ковалевский.* М.—Л., Изд-во АН СССР, 1945. 153 с.
Ковалевский В. О. Собрание научных трудов. Т. 1—3. М., Изд-во АН СССР, 1950—1960.
Давиташвили Л. Ш. *В. О. Ковалевский.* М.—Л., Изд-во СССР, 1946. 423 с.
Астауров Б. Л., Рокицкий П. Ф. *Н. К. Кольцов.* М., «Наука», 1975. 168 с.
Комаров В. Л. Избранные сочинения. Т. 1—12. М.—Л., Изд-во АН СССР, 1958.
Мечников И. И. Избранные биологические произведения. М., Изд-во АН СССР, 1950. 797 с.
Мичурин И. В. Избранные сочинения. М., Сельхозгиз, 1958. 608 с.
Морозов Г. Ф. Избранные труды. Т. 1—2. М., Лесная пром-сть, 1970—1971.
Бейлин И. Г., Парнес В. А. *Георгий Федорович Морозов* (1867—1920). М., «Наука», 1971. 216 с.
Навашин С. Г. Избранные труды. Т. I. М.—Л., Изд-во АН СССР, 1951.
Павлов И. П. Полное собрание сочинений. Изд. 2-е. Т. 1—6. М.—Л., Изд-во АН СССР, 1951—1952.
Асратян Э. А. *И. П. Павлов.* М., «Наука», 1974. 456 с.
Палладин В. И. Избранные труды. М., Изд-во АН СССР, 1960. 244 с.
Прянишников Д. Н. Избранные труды. М., «Наука», 1976. 591 с.
Григорян Н. А. *Александр Филиппович Самойлов* (1867—1930). М., «Наука», 1963. 203 с.
Северцов А. Н. Собрание сочинений. Т. 1—5. М.—Л., Изд-во АН СССР, 1948—1950.
Сеченов И. М. Избранные произведения. Т. 1—2. М., Изд-во АН СССР, 1952—1956.
Коштоянц Х. С. *И. М. Сеченов.* 1829—1905. Изд. 3-е. М., Гос. изд-во мед. лит-ры, 1950. 224 с.
Ярошевский М. Г. *И. М. Сеченов.* М., «Наука», 1968. 422 с.
Тимирязев К. А. Сочинения. Т. 1—10. М., Сельхозгиз, 1937—1940.
Холодковский Н. А. Биологические очерки. М.—Пг., Госиздат, 1923. 355 с.
Сенченкова Е. М. *Михаил Семенович Цвет.* 1872—1919. М., «Наука», 1973. 307 с.

СПИСОК ИЛЛЮСТРАЦИЙ

1. Карта Сибири Петра Годунова. 1667 г.— *9*
2. Славяно-греко-латинская академия в Москве. Гравюра XIX в. — *11*
3. Сухарева башня в Москве, где помещались Математико-навигационная школа и ее обсерватория — *13*
4. М. В. Ломоносов — *20*
5. Здание Московского университета на Красной площади. 1755 г. — *21*
6. И. П. Кулибин — *23*
7. А. Н. Радищев — *25*
8. Страницы петровского проекта об учреждении Академии наук с пометками Петра I — *31*
9. Печатное объявление о первом публичном собрании Петербургской академии наук — *33*
10. Титульный лист первого тома «Комментариев Петербургской академии наук» 1728 г. — *35*
11. Библиотека Кунсткамеры. 1741 г.— *37*
12. Титульный лист журнала «Ежемесячные сочинения, к пользе и увеселению служащие». 1755 г.— *43*
13. Набережная Невы со зданиями Академии наук и Кунсткамеры. Середина XVIII в.— *44*
14. Я. Герман — *51*
15. Л. Эйлер — *53*
16. Титульный лист работы Л. Эйлера «Дифференциальное исчисление». 1755 г.— *57*
17. С. Я. Румовский — *65*
18. Д. Бернулли — *70*
19. Титульный лист «Гидродинамики» Д. Бернулли. 1738 г.— *71*
20. Титульный лист «Книги, содержащей в себе учение о равновесии и движении тел» С. К. Котельникова. 1774 г.— *74*
21. Дом Я. В. Брюса в Глинках (под Москвой), где находилась его последняя домашняя обсерватория — *77*
22. Ж. Н. Делиль — *78*
23. П. Б. Иноходцев — *79*
24. Н. Г. Курганов — *80*
25. Ф. И. Шуберт — *83*
26. Чертежи М. В. Ломоносова к наблюдению прохождения Венеры по диску Солнца 26 мая (7 июня) 1761 г.— *88*
27. Домашняя обсерватория М. В. Ломоносова — *89*
28. Чертежи М. В. Ломоносова, поясняющие кинетическую теорию теплоты — *94*
29. Рисунки М. В. Ломоносова, иллюстрирующие ковку ртути (*5*), демонстрацию электропроводности твердой ртути и раскаленного железа (*6*) и образование пустот при замерзании ртути в стеклянной трубке (*7*) — *95*
30. Анемометр М. В. Ломоносова — *96*
31. Г. В. Рихман — *98*
32. Опыт М. В. Ломоносова с атмосферным электричеством в Усть-Рудице — *100*
33. Набросок рефлектора М. В. Ломоносова, построенного впоследствии В. Гершелем — *103*
34. Микроскоп Ф. У. Т. Эпинуса — *104*
35. Макет химической лаборатории М. В. Ломоносова — *107*
36. В. М. Севергин — *111*
37. Т. Е. Ловиц — *113*
38. С. П. Крашенинников — *116*
39. Титульный лист второго издания книги И. И. Лепехина «Дневные записки...», ч. 1, 1795 г.— *119*
40. Маршруты В. Беринга и А. И. Чирикова в Первой и Второй Камчатских экспедициях — *123*
41. И. Г. Гмелин — *124*
42. Маршруты экспедиций Академии наук в 1768—1774 гг. — *125*
43. Маршруты экспедиций Академии наук в 1768—1774 гг.— *127*
44. П. С. Паллас — *128*
45. Кунсткамера. Внутренний вид галереи с зоологическими коллекциями — *131*
46. К. Ф. Вольф — *133*
47. А. Т. Болотов — *134*
48. И. И. Лепехин — *135*
49. Здание Московского университета. Построено архитектором М. Ф. Казаковым в 1786—1793 гг.; перестроено в 1817—1819 гг. архитектором Д. Жилярди — *143*
50. Здание Петербургского университета в начале XIX в.— *145*
51. Здание Казанского университета в начале XIX в.— *145*
52. А. И. Герцен — *148*
53. Т. Ф. Осиповский — *151*
54. Н. Е. Зернов — *153*
55. Н. И. Лобачевский — *154*
56. Сопроводительная записка Н. И. Лобачевского к его докладу, прочитанному 11(23) февраля 1826 г.— *156*
57. Первая страница работы Н. И. Лобачевского «О началах геометрии». 1829 г.—*157*
58. Параллельные и расходящиеся прямые на плоскости Н. И. Лобачевского — *158*
59. Угол параллельности на плоскости Н. И. Лобачевского — *159*
60. Ф. Г. Миндинг — *163*
61. М. В. Остроградский — *166*
62. Фотокопия десятой страницы рукописи М. В. Остроградского «Доказательство одной теоремы интегрального исчисления». 1826 г.— *167*
63. В. Я. Буняковский — *170*
64. Н. Д. Брашман — *173*
65. А. Ю. Давидов — *175*
66. Д. М. Перевощиков — *177*
67. Б. Я. Швейцер — *177*
68. А. Н. Драшусов — *178*
69. И. И. Литтров — *178*
70. В. К. Вишневский — *179*
71. А. Н. Савич — *179*
72. Башня большого рефрактора Киевской обсерватории, построенная при А. П. Шидловском — *180*
73. Дерптская обсерватория в 1811—1824 гг.— *181*
74. В. Я. Струве — *182*
75. Пулковская обсерватория в середине XIX в. — *184*
76. Пулковский вертикальный круг Эртеля — *185*
77. Пулковский меридианный круг Репсольда — *185*
78. К. И. Теннер — *186*
79. Е. И. Паррот — *189*
80. Титульный лист книги В. В. Петрова «Известие о гальвановольтовских опытах». 1803 г.— *190*
81. Т. Гроттус — *191*
82. Электродвигатель Б. С. Якоби — *193*
83. Э. Х. Ленц — *194*
84. Б. С. Якоби — *195*
85. А. Я. Купфер — *197*
86. И. М. Симонов — *197*
87. Г. И. Гесс — *200*
88. Титульный лист учебника Г. И. Гесса «Основания чистой химии». 1834 г.— *201*
89. К. К. Клаус — *202*
90. А. А. Воскресенский — *203*
91. Н. Н. Зинин — *204*
92. Л. Н. Шишков — *204*
93. Препарат анилина, полученный Н. Н. Зининым (хранится в Казанском университете) — *205*
94. Титульный лист первой книжки «Горного журнала». 1825 г.— *207*
95. Г. Е. Щуровский — *208*
96. Д. И. Соколов — *211*
97. Ю. Ф. Лисянский — *215*
98. И. Ф. Крузенштерн — *216*
99. М. П. Лазарев — *217*
100. Ф. Ф. Беллинсгаузен — *218*
101. Маршруты путешествий Ф. Ф. Беллинсгаузена и М. П. Лазарева — *219*
102. Г. И. Невельской—*220*
103. А. Ф. Миддендорф — *221*
104. Древо животной жизни по Э. И. Эйхвальду (1829 г.) — *232*
105. М. А. Максимович — *235*
106. К. М. Бэр — *236*
107. К. Ф. Рулье — *239*
108. А. М. Филомафитский — *246*
109. П. Л. Чебышев — *262*
110. Е. И. Золотарев — *265*
111. Н. В. Бугаев — *267*
112. А. А. Марков — *271*
113. Н. Я. Сонин — *276*
114. С. В. Ковалевская — *277*
115. А. М. Ляпунов — *278*
116. В. А. Стеклов — *283*
117. В. Ф. Каган — *289*
118. К. М. Петерсон — *290*
119. Ф. Э. Молин — *292*
120. Н. Н. Лузин — *294*
121. Модели волчков для трех случаев движения твердых тел — *300*
122. Магистерская диссертация И. В. Мещерского (экземпляр, подаренный автором Н. Е. Жуковскому) — *301*
123. И. В. Мещерский—*302*
124. К. Э. Циолковский — *303*
125. А. П. Котельников — *305*
126. Н. В. Маневский — *306*
127. А. Н. Крылов — *307*
128. Н. Е. Жуковский—*312*
129. Н. П. Петров — *313*
130. С. А. Чаплыгин — *317*
131. О. В. Струве — *320*
132. Ф. А. Бредихин — *321*
133. О. А. Баклунд — *322*
134. М. А. Ковальский — *323*
135. В. К. Цераский — *324*
136. Московская астрономическая обсерватория в 60-е годы XIX в. — *325*

137. Главное здание Московской обсерватории после расширения его в 1895 и 1900 гг.— *326*
138. А. А. Белопольский — *327*
139. С. К. Костинский — *328*
140. А. П. Ганский — *329*
141. С. П. Глазенап — *331*
142. М. П. Авенариус — *335*
143. Б. Б. Голицын — *336*
144. Н. А. Умов — *338*
145. А. Г. Столетов — *339*
146. А. А. Эйхенвальд — *342*
147. Схема установки А. А. Эйхенвальда для исследования магнитного поля вращающихся электрически заряженных тел — *343*
148. П. Н. Лебедев — *345*
149. А. С. Попов — *346*
150. П. Н. Яблочков — *347*
151. Схема опыта А. Г. Столетова по исследованию фотоэффекта — *350*
152. Установка П. Н. Лебедева для исследования светового давления на твердые тела — *353*
153. Подвесная система П. Н. Лебедева для исследования светового давления на твердые тела — *353*
154. Схема прибора П. Н. Лебедева для исследования светового давления на газы — *355*
155. А. Ф. Иоффе — *356*
156. Д. С. Рождественский — *357*
157. Е. С. Федоров — *358*
158. Ю. В. Вульф — *359*
159. В. К. Аркадьев — *361*
160. Титульные листы первого издания «Основ химии» Д. И. Менделеева — *367*
161. Д. И. Менделеев — *368*
162. Автограф раннего варианта Периодической системы элементов Д. И. Менделеева — *370*
163. Н. С. Курнаков — *378*
164. Л. А. Чугаев — *381*
165. Н. Н. Бекетов — *383*
166. Д. П. Коновалов — *384*
167. Н. А. Меншуткин — *386*
168. А. Н. Бах — *387*
169. Н. А. Шилов — *389*
170. Титульный лист докторской диссертации Д. П. Коновалова с дарственной надписью Д. И. Менделееву. 1885 г.— *391*
171. А. М. Бутлеров — *396*
172. Титульные листы русского и немецкого изданий «Введения к полному изучению органической химии» А. М. Бутлерова — *397*
173. В. В. Марковников — *400*
174. Титульный лист докторской диссертации В. В. Марковникова — *401*
175. Н. А. Морозов — *410*
176. Н. И. Андрусов — *415*
177. А. П. Карпинский — *417*
178. А. П. Павлов — *418*
179. И. В. Мушкетов — *419*
180. И. М. Губкин — *421*
181. Н. И. Кокшаров — *425*
182. В. И. Вернадский — *426*
183. П. П. Семенов-Тян-Шанский — *429*
184. Д. Н. Анучин — *430*
185. В. В. Докучаев — *431*
186. Л. С. Берг — *435*
187. Н. А. Северцов — *437*
188. А. П. Федченко — *438*
189. Н. М. Пржевальский — *439*
190. Маршруты экспедиций Н. М. Пржевальского — *440*
191. П. А. Кропоткин — *442*
192. Г. И. Танфильев — *443*
193. К. А. Тимирязев — *452*
194. В. О. Ковалевский — *453*
195. А. Н. Бекетов — *454*
196. И. Н. Горожанкин — *455*
197. Л. С. Ценковский — *456*
198. М. А. Мензбир — *460*
199. Н. А. Холодковский — *461*
200. А. Н. Северцов — *462*
201. А. О. Ковалевский — *463*
202. И. И. Мечников — *465*
203. В. И. Беляев — *468*
204. С. Г. Навашин — *469*
205. И. М. Сеченов — *471*
206. И. П. Павлов — *470*
207. Н. Е. Введенский — *473*
208. А. Ф. Самойлов — *475*
209. А. Я. Данилевский — *477*
210. В. И. Палладин — *479*

УКАЗАТЕЛЬ ИМЕН

Аббе Кливленд (1838—1916) (Abbe, C.) *319*
Абель Нильс Хенрик (1802—1829) (Abel, N.) *65*, *153*, *154*, *169*
Абих Герман Вильгельмович (1806—1886) *208—211*, *421*, *425*, *446*
Авдеев Иван Васильевич (1818—1865) *202*, *371*
Авенариус Михаил Петрович (1835—1895) *335—337*
Авенариус Рихард (1843—1896) (Avenarius, R.) *487*
Авогадро Амедео (1776—1856) (Avogadro, A.) *137*
Агассис Жан Луи (1807—1873) (Agassiz, J. L.) *210*, *237*
Адамар Жак (1865—1963) (Hadamard, G.) *264*
Адамс Джордж (XVIII) (Adams, J.) *133*
Адамюк Эмилиан Валентиевич (1839—1906) *472*
Адодуров Василий Евдокимович (1709—1780) *36*, *40*, *47*, *48*, *74*
Александров Павел Сергеевич (род. 1896) *295*
Александров Анатолий Петрович (род. 1903) *357*
Алексеев Владимир Федорович (1852—1919) *383*
Альбанов Валериан Иванович (1881—1919) *448*
Амман Иоганн (1707—1741) (Amman, J.) *36*
Ампер Андре Мари (1775—1836) (Ampère, A. M.) *192*, *196*, *275*, *337*, *340*, *351*
Андреев Константин Алексеевич (1848—1921) *290*
Андрусов Николай Иванович (1861—1924) *415*, *416*, *421*, *427*
Анжу Петр Федорович (1796—1869) *217*, *218*
Аничков Дмитрий Сергеевич (1733—1788) *22*
Антипов Алексей Иванович (1839—1909) *210*, *414—418*
Анучин Дмитрий Николаевич (1843—1923) *430*, *431*, *434*
Аппельрот Герман Германович (1866—1943) *300*
Араго Доминик Франсуа (1786—1853) (Arago, D. F.) *90*, *196*
Арбогаст Луи Франсуа Антуан (1759—1803) (Arbogast, L. F. A.) *59*
Арбузов Александр Ерминингельдович (1877—1968) *493*
Аргеландер Фридрих Вильгельм Август (1799—1875) (Argelander, Fr. W. A.) *177*, *182*, *183*
Аристотель (384—322 до н. э.) *8*
Аркадьев Владимир Константинович (1884—1953) *361*
Арминьский Франтишек (1789—1848) (Arminsky, F.) *183*
Армстронг Генри (1848—1937) (Armstrong, H.) *377*
Арнольди Владимир Митрофанович (1871—1924) *455*
Аррениус Сванте Август (1859—1927) (Arrhenius, S. A.) *111*, *249*, *383—385*
Арсеньев Александр Ильич (1807—1867) *210*
Арсеньев Владимир Клавдиевич (1872—1930) *443*
Арсеньев Константин Иванович (1789—1865) *148*, *222*
Артин Эмиль (1898—1962) (Artin, E.) *62*
Архангельский Андрей Дмитриевич (1879—1940) *416*, *424*
Архимед (ок. 287—212 до н. э.) *70*
Арцимович Лев Андреевич (1909—1973) *357*
Арцруни Андрей Еремеевич (1847—1898) *425*
Аскан Адольф Оссиан (1860—1939) (Aschan, A. O.) *405*
Асратян Эзрас Асратович (род. 1903) *476*
Ассур Леонид Владимирович (1878—1920) *299*
Атвуд Джордж (1745—1807) (Atwood, G.) *75*

Бабухин Александр Иванович (1835—1891) *466*
Баганов Василий Васильевич *220*
Байер Адольф (1835—1917) (Baeyer, A.) *387*, *399*
Байи Жан Сильвен (1736—1793) (Bailly, J. S.) *90*
Бакар (1699—1750) *82*, *90*
Баклунд Оскар Андреевич (1846—1916) *321*, *323*, *332*
Балакирев Милий Алексеевич (1836—1910) *256*, *392*
Баландин Алексей Александрович (1898—1967) *392*
Барапецкий Осип Васильевич (1843—1905) *457*, *458*, *469*

Барановский Ян (1800—1879) *183*
Барбот де Марни Николай Павлович (1829—1877) *208, 422*
Барбье Филипп Антуан (1848—1922) (Barbier, Ph. A.) *406*
Барре де Сен-Венан Адемар Жан Клод (1797—1886) (Barré de Saint-Venant, A. J. C.) *287, 303*
Барсов Антон Алексеевич (1730—1791) *21, 47, 48*
Бартельс Мартын Федорович (1796—1836) *151, 154*
Бартоли Адольфо (1851—1896) (Bartoli, A.) *349, 351*
Басов Василий Александрович (1812—1879) *246*
Батайон Жан Эжен (1864—1953) (Bataillon, J. E.) *463*
Баталин Александр Федорович (1847—1896) *454, 458*
Баттальини Джузеппе (1826—1894) (Battaglini, G.) *162*
Бах Алексей Николаевич (1857—1946) *256, 286—288, 456, 457, 478, 490*
Бедный Демьян (1883—1945) *484*
Бекетка Александр Михайлович (1870—1949) *469*
Бейеринк Мартин (1851—1931) (Beyerinck, M.) *459*
Бейлисс Уильям Мэддок (1860—1924) (Bayliss, W.) *475*
Бейльштейн Федор Федорович (1838—1906) *404, 405*
Бекетов Андрей Николаевич (1825—1902) *452—454*
Бекетов Николай Николаевич (1827—1911) *382, 383, 393*
Беккерель Антуан Анри (1852—1908) (Becquerel, A. H.) *485*
Бекович-Черкасский Александр (до принятия христианства Девлет-Кизден-Мурза) (ум. 1717) *15, 121*
Белелюбский Николай Аполлонович (1845—1922) *308*
Белинский Виссарион Григорьевич (1811—1848) *5, 17, 144, 226, 230, 451*
Беллинсгаузен Фаддей Фаддеевич (1778—1852) *179, 181, 196, 215, 216, 218, 219*
Беллярминов Леонид Георгиевич (1859—1930) *472*
Белопольский Аристарх Аполлонович (1854—1934), *324, 326, 328, 332, 333, 355*
Белый Андрей (псевдоним Бугаева Бориса Николаевича) (1880—1934) *291*
Бельтрами Эудженио (1835—1900) (Beltrami, E.) *164*
Белявский Сергей Иванович (1883—1953) *331*
Беляев Владимир Иванович (1855—1911) *455, 468*
Беляев Иван Елисеевич (ум. 1729) *37*
Беляев Иван Иванович (1710—1788) *37, 133*
Белянкин, Дмитрий Степанович (1876—1953) *422, 424*
Бер де Гевин (1889—1972) (Ber de, G.) *466*
Берг Лев Семенович (1876—1950) *434, 435, 438, 444, 450, 461*
Бергман Торберн Улаф (1735—1784) (Bergman, T.) *113*
Бергсон Анри (1859—1941) (Bergson, H.) *452*
Беринг Витус (1681—1741) (Bering, Behring, V.) *122—124, 126, 214*
Беркенгейм Абрам Моисеевич (1867—1938) *411*
Бернар Клод (1813—1878) (Bernard, Cl.) *141, 472*
Бернет Томас (1635—1715) (Bernet, Th.) *115*
Бернулли Даниил (1700—1782) (Bernoulli, D.) *15, 16, 18, 31, 34, 45, 47, 49, 50—53, 57, 59, 67, 69—73, 79, 84, 88, 90—93, 105, 130, 171, 285, 305*
Бернулли Иоганн (1667—1748) (Bernoulli J.) *30, 49, 52, 54, 55, 53, 60, 68*
Бернулли Николай II (1695—1726) (Bernoulli, N.) *31, 47, 49, 52, 58*
Бернулли Якоб (1654—1705) (Bernoulli, Ja.) *49, 51, 60, 72, 269*
Бернштейн Сергей Натанович (1880—1968), *260, 261, 271—273, 277*
Бертло Пьер Эжен Марселен (1827—1907) (Berthelot, P.) *200, 205, 393, 402*
Бертран Жозеф Луи Франсуа (1822—1900) (Bertrand, J.) *264, 322*
Берцелиус Йёнс Якоб (1779—1848) (Berzelius, I. Ja.) *137, 202*
Бессель Александр Васильевич (1839—1870) *274, 285*
Бессель Фридрих Вильгельм (1784—1846) (Bessel F. W.) *50, 58, 86, 176, 182, 184*
Бесси Френикл Бернар, де (1602—1678) (Bessy Frenicle B. de.) *63*
Бехер Иоганн Иоахим (1635—1682) (Becher, J. J.) *106*
Бехтерев Владимир Михайлович (1857—1927) *472*
Бианки Валентин Львович (1857—1920) *461*
Биберштейн Федор Кондратьевич (1768—1826) *242*
Бидлоо Николай (ум. 1735) *14*
Биллингс Иосиф (ум. 1806) (Billings, J.) *129, 218*
Биндгейм Иоганн Якоб (1750—1825) (Bindheim, J. Ja.) *113*
Биркгоф Джордж Дэвид (1884—1944) (Birkhoff G. D.) *281*
Бирон Евгений Владиславович (1874—1919) *383*
Биша Эрист Адольф (1845—1905) (Bichat E. A.) *349*

Бишоф Карл Адам (1855—1908) (Bischoff, C. A.) *408, 420*
Блажко Сергей Николаевич (1870—1956) *325*
Бленвиль Анри (1777—1850) (Blainville, H.) *232*
Блок Александр Александрович (1880—1921) *487*
Блондло Рене Проспер (1849—1930) (Blondlot, R. P.) *349*
Блэк Джозеф (1728—1799) (Black, J.) *113*
Блюм Исаак Август (1812—1877) (Blum, I. A.) *166*
Блюментрост Лаврентий Лаврентьевич (1692—1755) *30*
Бобрецкий Николай Васильевич (1843—1907) *452*
Бобылев Дмитрий Константинович (1842—1917) *174, 297*
Богданов Анатолий Петрович (1834—1896) *238, 239, 461*
Богданович Карл Иванович (1864—1947) *414, 416, 419, 420, 427*
Боде Иоганн Элерт (1747—1826) (Bode, J.) *181*
Боденштейн Макс (1871—1942) (Bodenstein, M.) *392*
Бойаи (Больяй) Фаркаш (1775—1856) (Bolyai, F.) *162*
Бойаи (Больяй) Янош (1802—1860) (Bolyai, Ja.) *162*
Бойль Роберт (1627—1691) (Boyle R.) *18, 69, 92, 93, 106, 108—110, 334, 335*
Болдырев Анатолий Капитонович (1883—1946) *493*
Болотов Андрей Тимофеевич (1738—1833) *133—135*
Боль Пирс Георгиевич (1865—1921) *261, 280, 281*
Больцано Бернард (1781—1848) (Bolzano, B.) *153*
Больцман Людвиг (1844—1906) (Boltzmann, L.) *339, 362*
Бонне Оссиан (1819—1892) (Bonnet, O.) *163, 290*
Бонне Шарль (1720—1793) (Bonnet, Ch.) *25, 133*
Бор Гарольд (род. 1887) (Bohr, H.) *281*
Бор Нильс (1885—1962) (Bohr, N.) *281, 357, 485*
Борель Эмиль (1871—1956) (Borel, E.) *273, 293*
Борзенков Яков Андреевич (1825—1883) *224, 238, 239, 462*
Борисяк Алексей Алексеевич (1872—1944) *259, 416*
Боровский Петр Фокич (1863—1932) *461*
Бородин Александр Порфирьевич (1833—1887) *203, 256, 365, 392*
Бородин Иван Парфеньевич (1847—1930) *452, 454, 456, 457, 469*
Борцов Илья Григорьевич (1833—1878) *453*
Боссю Шарль (1730—1814) (Bossut, Ch.) *75*
Боткин Сергей Петрович (1832—1889) *5, 466, 470, 471*
Боумен Уильям (1816—1892) (Bowmann, W.) *135*
Бошкович Ружер Иосип (1711—1787) (Boscovich, R. J.) *40*
Боянус Людвиг Генрих (1776—1827) (Bojanus, L. H.) *243, 244*
Браге Тихо (1546—1601) (Brahe, Tycho) *83, 89*
Брандт Александр Федорович (род. 1844) *471*
Брандт Федор Федорович (1802—1879) *130, 220, 242, 244*
Брандт Эдуард Карлович (1839—1891) *461*
Бранли Эдуард (1846—1927) (Branly, E.) *345, 348*
Браун Александр (1805—1877) (Braun, A.) *453*
Браун Иосиф Адам (1712—1768) (Braun, J. A.) *39, 80, 87, 92, 94, 105*
Браун Эрнст Уильям (1866—1938) (Brown, E. W.) *86*
Браунер Александр Александрович (1857—1941) *461*
Браунер Богуслав (1855—1935) (Brauner, B.) *371, 372*
Брауэр Лейтзен Эгберт (1881—1966) (Brouwer, L. E.) *281, 289*
Брашман Николай Дмитриевич (1796—1866) *75, 151, 152, 173—175, 261, 274, 275, 296*
Бредихин Федор Александрович (1831—1904) *80, 86, 178, 253, 321, 323, 324, 326, 328, 331—333, 351, 417*
Бронн Генрих Георг (1800—1862) (Bronn, H. G.) *239*
Броньяр Александр (1770—1847) (Brongniart, A.) *209*
Броунов Петр Иванович (1852—1927) *434, 450*
Брусилов Георгий Львович (1884—1914) *448*
Брэгг Уильям Генри (1862—1942) (Bragg, W. H.) *359*
Брэгг Уильям Лоренс (1890—1971) (Bragg, W. L.) *359*
Брэдли Джеймс (1693—1762) (Bradley, J.) *40, 81, 322*
Брюллов Александр Павлович (1798—1877) *186*
Брюс Яков Вилимович (1670—1735) *12, 76, 77, 91, 115*
Брюсов Валерий Яковлевич (1873—1924) *484*
Бубнов Иван Григорьевич (1872—1919) *286, 309*
Бугаев Николай Васильевич (1837—1903) *267, 268, 287, 291*
Буге Пьер (1698—1758) (Bouguer, P.) *82, 88*

Буль Джордж (1815—1864) (Boole, G.) *289*
Бунге Александр Андреевич (1803—1890) *447*
Бунге Густав (1844—1920) (Bunge G.) *477*
Бунзен Роберт Вильгельм (1811—1899) (Bunsen, R. W.) *177*, *205*, *249*, *382*
Бунин Иван Алексеевич (1870—1953) *484*
Буняковский Виктор Яковлевич (1804—1889) *150*, *152*, *154*, *162*, *169*, *170*, *261*, *276*
Буссенго Жан Батист (1802—1887) (Boussingault, J. B.) *455*, *457*
Бутаков Алексей Иванович (1816—1869) *220*
Бутлеров Александр Михайлович (1828—1886) *5*, *142*, *203*, *253*, *257*, *365*, *366*, *373*, *379*, *392—404*, *406—408*, *411*, *493*
Бух фон Леопольд (1774—1853) (Buch, L. von) *209*, *210*, *211*, *229*
Буш Иван Федорович (1771—1843) *244*
Буяльский Илья Васильевич (1789—1866) *244*
Бьенэме И. Ж. (1796—1878) (Bienaymé, I. J.) *262*, *270*
Бэр Карл Максимович (1792—1876) *134*, *138*, *149*, *210*, *220*, *233—236*, *241*, *242*, *244*, *245*, *463*, *464*
Бэр Рене (1874—1932) (Baire, R.) *293*
Бюльфингер Георг Бернгард (1693—1750) (Bülffinger, G. B.) *31*, *32*, *34*, *91*
Бюффон Жорж Луи Леклерк (1707—1788) (Buffon G. L. Leclerc de) *28*, *44*, *90*, *116*, *132*, *136*, *212*, *229*, *230*
Бюшгенс Сергей Сергеевич (1892—1963) *290*
Бюшинг Антон Фридрих (1724—1793) (Busching A. F.) *45*

Вагнер Егор Егорович (1849—1903) *386*, *392*, *395*, *400*, *401*, *405*, *406*
Вагнер Николай Петрович (1829—1907) *460*
Валентин Габриэль (1810—1883) (Valentin, G.) *466*
Валлериус Ю. Г. (XVIII в.) (Wallerius, Ju. G.) *112*
Валлис (Уоллис) Джон (1616—1703) (Wallis, J.) *51*, *63*
Вальбек Хенрик Юхан (1793—1822) (Walbeck, H. J.) *182*, *184*
Вальден Павел Иванович (1863—1957) *202*, *385*, *408*, *409*
Вальтер Йоханнес (1860—1937) (Walther, J.) *412*, *415*
Вальц Яков Яковлевич (1841—1904) *455*, *458*
Ван дер Ваальс Ян Дидерих (1837—1923) (Van der Waals, J. D.) *92*, *382*
Вант-Гофф Якоб Хендрик (1852—1911) (Van't Hoff, Ja. H.) *111*, *249*, *376*, *379*, *383*, *387*, *408*
Варениус Бернхардус (1622—1650) (Varenius, B.) *76*
Варнек Николай Александрович (1821—1876) *245*
Васильев Александр Васильевич (1853—1929) *260*, *261*, *290*, *291*
Васнецов Виктор Михайлович (1848—1926) *484*
Вахушти Багратиони (1695 или 1696—1784) *82*, *90*
Ващенко-Захарченко Михаил Егорович (1825—1912) *282*, *287*, *292*
Введенский Николай Евгеньевич (1852—1922) *256*, *471*, *473*, *489*, *493*
Вебер Валериан Николаевич (1871—1940) *414*
Вебер Вильгельм Эдуард (1804—1891) (Weber, W. E.) *192*, *194—195*, *337—339*
Вебер Ф. (XVIII в.) (Weber F.) *122*
Вебстер Артур Гордон (1863—1923) (Webster, A. G.) *341*
Везалий Андреас (1514—1564) (Vesalius, A.) *10*
Вейерштрасс Карл Теодор Вильгельм (1815—1897) (Weierstrass, K. T. W.) *273*, *276*, *286*, *287*, *300*
Вейсман Август (1834—1914) (Weismann, A.) *464*
Вейтбрехт Иосия (1702—1747) (Weitbrecht, L.) *34*, *130*
Велланский Данило Михайлович (1774—1847) *147*, *225*
Вельмин Владимир Петрович (род. 1885) *268*
Верден Карл фон (ум. 1731) (Werden, C. von) *15*
Вересаев Викентий Викентьевич (1867—1945) *484*
Вериго Бронислав Фортунатович (1860—1925) *471*, *473*, *474*
Вернадский Владимир Иванович (1863—1945) *5*, *412*, *414*, *425—427*, *486*, *490*, *491*, *493*
Вернейль Филипп Эдуард де (1805—1873) (Verneuil, F. E. de) *208*
Вернер Абраам Готлиб (1750—1817) (Werner, A. G.) *27*
Вернер Альфред (1866—1919) (Werner, A.) *380*
Веселовский Константин Степанович (1819—1890) *223*
Вессель Каспар (1745—1818) (Wessel, C.) *56*
Виганд Альберт (1821—1886) (Wigand, A.) *451*
Виггинс И. (XIX в.) (Wiggans, I.) *447*
Визе Владимир Юльевич (1886—1956) *448*
Вик д'Азир Феликс (1748—1794) (Vicq d'Azyr, F.) *28*

Виллямс Карл (род. 1776) (Williams, C.) *183*
Вильке Иоганн Карл (1732—1796) (Wilke, J. C.) *97*
Виклер Клеменс Александр (1838—1904) (Winkler, K. A.) *371*, *373*
Виноградов Иван Матвеевич (род. 1891) *51*, *268*
Виноградский Сергей Николаевич (1856—1953) *458*, *459*
Винсгейм Христиан Николай (ум. 1751) (Winsheim, Ch. N.) *82*, *126*
Виньон Пьер (XVIII в.) (Vignon, P.) *79*
Висковатов Василий Иванович (1779—1812) *66*, *75*
Вислиценус Йоханнес (1835—1902) (Wislicenus, J.) *408*
Вишневский Викентий Карлович (1781—1855), *179*, *181*, *186*
Власов Алексей Константинович (1868—1922) *290*
Воейков Александр Иванович (1842—1916) *419*, *435*, *436*
Воклен Луи Никола (1763—1829) (Vauquelin, L. N.) *113*
Вольстедт Фредерик (1813—1861) (Volstedt, Fr.) *183*
Вольта Алессандро (1745—1827) (Volta, A.) *101*, *137*, *188*, *340*
Вольтер Франсуа Мари Аруэ (1694—1778) (Voltaire, F. M. Arouet) *40*
Вольф Каспар Фридрих (1734—1794) (Wolff, C. F.) *23*, *28*, *36*, *40*, *130*, *133*, *134*
Вольф Христиан (1679—1754) (Wolff, Ch.) *17*, *30*, *48*, *109*, *110*, *139*
Воронин Михаил Степанович (1828—1903) *455*, *458*
Вороной Георгий Феодосьевич (1868—1908) *260*, *261*, *266—268*
Воскобойников Николай Иванович (1803—1846) *208*
Воскресенский Александр Абрамович (1809—1880) *5*, *142*, *202*, *203*, *205*, *365*
Вотчал Евгений Филиппович (1864—1937) *457*
Врангель Фердинанд Петрович (1796—1870) *217*, *218*
Врасский Владимир Павлович (1829—1862) *462*
Вревский Михаил Степанович (1871—1929) *383*
Вреден Феликс Романович (1841—1878) *404*
Вроблевский Эдуард Антонович (1848—1892) *398*
Врубель Михаил Александрович (1856—1910) *484*
Всеволодов Всеволод Иванович (1790—1863) *244*
Вудворд Д. Ж. (1665—1722) (Woodward, J.) *115*
Вульф Юрий Викторович (1863—1925) *358*, *359*
Высоцкий Георгий Николаевич (1865—1940) *433*
Высоцкий Николай Константинович (1864—1932) *420*
Вышнеградский Александр Николаевич (1851—1880) *399*
Вышнеградский Иван Алексеевич (1831—1895) *169*, *173*, *174*, *258*, *299*, *313*
Вюрц Шарль Адольф (1817—1884) (Würtz, Ch.) *372*

Гадолин Аксель Вильгельмович (1828—1892) *308*, *424*
Галеркин Борис Григорьевич (1871—1945) *286*, *309*
Галилей Галилео (1564—1642) (Galilei, G.) *25*, *72*
Галич (Говоров) Александр Иванович (1783—1848) *148*
Галлей Эдмунд (1656—1742) (Halley, E.) *84*
Галлер Альбрехт (1708—1777) (Haller, A.) *133*
Галуа Эварист (1811—1832) (Galois, E.) *138*, *154*, *291*
Галльвакс Вильгельм (1859—1922) (Hallwachs, W.) *349*
Гальвани Луиджи (1737—1798) (Galvani, L.) *137*, *188*
Гамалея Платон Яковлевич (1766—1817) 90
Гамильтон Уильям Роуан (1805—1865) (Hamilton, W. R.) *61*, *138*, *152*, *154*, *171*, *172*, *287*, *296*, *297*
Ганс Рихард Мартин (1880—1954) (Hans, R. M.) *361*
Ганский Алексей Павлович (1870—1908) *328*, *329*
Ганстен Христофор (1784—1873) (Hansteen, Ch.) *197*
Гаррисон Джон (1693—1776) (Harrison, J.) *85*
Гаррисон Росс Гренвилл (1870—1959) (Harrison, R.) *467*
Гаскелл Уолтер Холбрук (1847—1914) (Gaskell, W. G.) *472*
Гассельберг Б. (1848—1922) (Hasselberg, B.) *320*, *332*
Гассенди Пьер (1592—1655) (Gassendi, P.) *93*, *108*
Гаусс Карл Фридрих (1777—1855) (Gauss, C. F.) *50*, *58*, *62—64*, *138*, *150*, *153*, *154*, *161—163*, *168*, *176*, *195*, *197*, *198*, *264*, *265*, *268*, *269*, *284*, *291*
Геблер Фридрих Август (Федор Васильевич) (1782—1850) *242*
Гевелий Ян (1611—1687) (Hevelius, Ja.) *10*, *89*
Гегель, Георг Вильгельм Фридрих (1770—1831) (Hegel, G. W. F.) *230*

Гедеонов Дмитрий Данилович (1854—1908) *319*
Гейденгайн Рудольф (1834—1897) (Heidenhain, R.) *472*
Гейлс Стивен (1677—1761) (Hales, S.) *132*
Гей-Люссак Жозеф Луи (1778—1850) (Gay-Lussac, J. L.) *137*
Гейнзиус Готфрид (1709—1769) (Heinsius, G.) *39, 79, 80, 82, 84, 86, 87, 125*
Гейтель Ганс Фридрих (1855—1923) (Geitel, G. F.) *350*
Геккель Эрнст (1834—1919) (Haeckel, E.) *249, 464, 465*
Гексли Томас Генри (1825—1895) (Huxley, T. H.) *229*
Геллерт Христлиб Эргот (1713—1795) (Gellert, Ch. E.) *39*
Гельвеций Клод Адриан (1715—1771) (Helvétius, C. A.) *28*
Гельмгольц Герман Людвиг Фердинанд (1821—1894) (Helmholtz H. L. F.) *141, 193, 196, 200, 249, 339, 340, 342*
Гельмерсен Григорий Петрович (1803—1855) *208, 209, 243, 413*
Гельфонд Александр Осипович (1906—1968) *64*
Гельцер Екатерина Васильевна (1876—1962) *485*.
Гендерсон Томас (1798—1844) (Henderson, T.) *176, 184*
Гензель Курт (1861—1941) (Hensel K.) *293*
Генкель Иоганн Фридрих (1678—1744) (Henckel, Henkel), J. Fr.) *17*
Генинн Виллим Иванович (1676—1750) *10, 115*
Георги Иоганн Готлиб (1729—1802) (Georgi, J. G.) *40, 118, 127—129, 135*
Герасимов Александр Павлович (1869—1942) *420*
Герасимов Иван Иванович (1867—1920) *469*
Герман Якоб (1678—1733) (Hermann, Ja.) *30, 32, 34, 47, 49, 51, 67, 68, 79, 84*
Герц Генрих (1857—1894) (Hertz, H.) *249, 339, 340, 342—346, 349, 350*
Герцен Александр Иванович (1812—1870) *5, 144, 149, 226, 227, 230 238, 451*
Гершель Вильям (Фридрих Вильгельм) (1738—1822) (Herschel F. W.) *44, 84, 85, 102, 103, 137*
Гершель Джон Фредерик Вильям (1792—1871) (Herschel, J. F. W.) *177*
Гесс Герман Иванович (1802—1850) *149, 200, 201, 202, 205*
Геттон Джеймс (1726—1797) (Hutton, J.) *27, 117, 139, 212, 412*
Гиббс Джосиа Виллард (1836—1903) (Gibbs, J. W.) *249, 359*
Гильберт Давид (1862—1943) (Hilbert, D.) *62, 64, 277, 284, 285, 288*
Гильденштедт Иоганн Антон (1745—1781) (Gildenstedt, J. A.) *118, 125*
Гинсберг Альберт Семенович (род. 1883) *424*
Гинсбург Илья Исаакович (1882—1965) *420, 424*
Гиньяр Жан Луи Леон (1852—1928) (Guignard, J. L. L.) *469*
Глазенап Сергей Павлович (1848—1937) *330—333*.
Глазунов Александр Константинович (1865—1936) *484*
Глебов Иван Тимофеевич (1806—1884) *227, 245—247*
Глинка Константин Дмитриевич (1867—1927) *424, 444*
Глэдстон Джон (1827—1902) (Gladstone, J. H.) *368*
Глэзбрук Ричард (1854—1935) (Glazebrook, R.) *341*
Гмелин Иоганн Георг (1709—1755) (Gmelin, J. G.) *34, 36, 38, 39, 115, 124, 125, 130, 131, 135, 136*
Гмелин Самуил Готлиб (1745—1774) (Gmelin, S. G.) *38, 40, 45, 118, 124, 125*
Гоби Христофор Яковлевич (1847—1919) *455*
Гоголь Николай Васильевич (1809—1852) *226*
Годен Луи (1704—1760) (Godin, L.) *82*
Годлевский Владислав (XIX в.) (Godlevski, V.) *443, 460*
Годунов Петр Иванович (ум. 1670) *9*
Голицын Борис Борисович (1862—1916) *253, 337, 355, 412, 419, 427*
Головин Михаил Евсевьевич (1756—1790) *40, 42, 45, 47, 48, 53*
Головин Харлампий Сергеевич (1844—1904) *308*
Головкинский Николай Алексеевич (1834—1897) *412, 414, 415, 418, 427*
Головнин Василий Михайлович (1776—1831) *216*
Голубев Владимир Васильевич (1884—1954) *295*
Голубятников Дмитрий Васильевич (1866—1933) *421*
Гольбах Поль Анри (1723—1789) (Holbach, P. H.) *28*
Гольдбах Христиан (1690—1764) (Goldbach, Ch.) *31, 47, 49, 51, 177, 274*
Гольджи Камилло (1844—1926) (Golgi, C.) *66*
Гольдшмидт Виктор Мориц (1888—1947) (Goldschmidt, V. M.) *412*
Гомберг Мозес (1866—1947) (Gomberg, M.) *409*
Горожанкин Иван Николаевич (1848—1904) *453—455*
Горький Алексей Максимович (1868—1936) *484, 485, 491*
Горянинов Павел Федорович (1796—1865) *134, 147, 225, 230, 231*
Гофман Август Вильгельм (1818—1892) (Hofmann, A. W.) *204*
Гофман Эрнст Карлович (1801—1871) *220*

Гофмейстер Вильгельм (1824—1877) (Hofmeister, W.) *455*
Гохман Хаим Иегудович (род. 1851) *299*
Граве Дмитрий Александрович (1863—1939) *261, 268, 291—293*
Гравесанд Вильгельм Якоб (1688—1742) (Gravesande, W. Ja.) *37, 91*
Грассман Герман (1809—1877) (Grassmann, H.) *61, 138, 154, 287*
Грегори Джеймс (1638—1675) (Gregory, J.) *102*
Грейг Алексей Самуилович (1775—1845) *186*
Греффе Карл (1799—1873) (Graeffe, C.) *154, 164*
Григорьев Андрей Александрович (1883—1968) *435*
Грин Джордж (1793—1841) (Green, G.) *168, 172*
Гриньяр Франсуа Огюст (1871—1935) (Grignard, F. A.) *406*
Гришов Августин Нафанаил (1726—1760) *39, 80, 81*
Гроттус Теодор (1785—1822) (Grotthuss, T.) *189, 190, 191, 198, 200, 205*
Грум-Гржимайло Григорий Ефимович (1860—1936) *434, 440*
Губкин Иван Михайлович (1871—1939) *414, 421, 422, 427, 490*
Гук Роберт (1635—1703) (Hooke, R.) *72*
Гулд Бенджамин Апторп (1824—1896) (Gould B.) *319*
Гулевич Владимир Сергеевич (1867—1933) *479*
Гулл Гордон Ферри: см. Халл, Гордон Ферри
Гумбольдт Александр Фридрих Вильгельм фон (1769—1859) (Humboldt A. F. W. von) *197, 208, 220, 223, 414, 428, 432, 437, 440, 442*
Гурвич Александр Гаврилович (1874—1954) *469, 470*
Гурьев Семен Емельянович (1766—1813) *42, 47, 65, 66, 75, 150*
Гусев Матвей Матвеевич (1826—1866) *182*
Густавсон Гавриил Гаврилович (1842—1908) *405*
Гут Иоганн Сигизмунд (1763—1818) (Huth, J. S.) *180, 183*
Гюйгенс Христиан (1629—1695) (Huygens, Chr.) *25, 77, 94*
Гюльден Иоганн Август Гуго (1841—1896) (Gylden, J. A. H.) *322*
Гюнтер Николай Максимович (1871—1941) *285*

Давидов Август Юльевич (1823—1886) *152, 174, 175, 275*
Д'Аламбер Жан Лерон (1717—1783) (D'Alembert, J. Le Rond) *28, 49, 54, 55, 59, 66, 69, 278*
Далибар Тома Франсуа (1703—1779) (Dalibard, T. F.) *99*
Дальтон Джон (1766—1844) (Dalton, J.) *99, 137, 199, 258*
Данделен Жерминаль Пьер (1794—1887) (Dandelin, G. P.) *164*
Данилевский Александр Яковлевич (1838—1923) *476—479*
Данилевский Василий Яковлевич (1852—1939) *243, 472*
Данилевский Николай Яковлевич (1822—1885) *220, 451*
Дарбу Жан Гастон (1842—1917) (Darboux, J. G.) *72, 277*
Дарвин Джордж Хоуард (1845—1912) (Darwin, J.) *311, 332*
Дарвин Чарльз Роберт (1809—1882) (Darwin, Ch. R.) *135, 136, 139, 141, 212, 217, 224, 229, 233, 235—237, 239, 240, 249, 259, 436, 451, 452, 462, 464, 470, 471, 486*
Дарвин Эразм (1731—1802) (Darwin, E.) *230*
Дашкова Екатерина Романовна (1743—1810) *43*
Двигубский Иван Алексеевич (1771—1839) *147, 212, 213, 230, 242*
Дедекинд Рихард Юлиус (1831—1916) (Dedekind, R.) *267*
Дежнев Семен Иванович (ок. 1605—1673) *9*
Декарт Рене (1596—1650) (Descartes, R.) *34, 78, 82, 91, 93, 110, 115*
Деламбр Жан Батист Жозеф (1749—1822) (Delambre, J. B. J.) *90*
Деландр Анри (1853—1948) (Deslandres, A) *328*
Деларю Даниил Михайлович (1839—1905) *291*
Делиль Жозеф Никола (1688—1768) (De l'Isle, J. N.) *30, 34, 39, 76, 78 — 84, 86—90, 122, 126, 187*
Делиль де ля Кройер Луи (1690—1741) (De l'Isle de la Croyère, L.) *38*
Де Лоне Луи (1860—1938) (De Launay, L.) *412, 420*
Делоне Борис Николаевич (род. 1890) *266, 268, 292, 293*
Делоне Николай Борисович (1856—1931) *299, 300*
Делянов Иван Давыдович (1818—1897) *366*
Демьянов Николай Яковлевич (1861—1938) *493*
Ден Макс (1878—1952) (Dehn, M.) *288*
Дерюгин Константин Михайлович (1878—1938) *460*
Дёллен Вильгельм Карлович (1820—1897) *184*
Джексон Д. (1883—1946) (Jackson, J.) *273*
Дженкин Флеминг (1833—1885) (Jenkin, Fl.) *340*
Дженокки Анджело (1817—1889) (Genocchi, A.) *304*

Джинс Джеймс Хопвуд (1877—1946) (Jeans, J. H.) *311*
Джоуль Джеймс Прескотт (1818—1889) (Joule, J. P.) *193*, *194*, *249*
Дзержинский Феликс Эдмундович (1877—1926) *305*
Дидро Дени (1713—1784) (Diderot, D.) *28*, *44*, *227*, *229*, *230*
Димо Николай Александрович (1873—1959) *435*
Динник Александр Николаевич (1876—1950) *309*
Динник Николай Яковлевич (1847—1917) *461*
Дирихле Петер Густав Лежен (1805—1858) (Dirichlet, P. G. Le jeune) *54*, *154*, *165*, *268*, *277*, *283*, *284*, *311*
Добролюбов Николай Александрович (1836—1861) *254*, *283*, *451*, *479*
Добронравов Николай Иванович (1891—1949) *356*
Дове Генрих Вильгельм (1803—1879) (Dove, H. W.) *435*
Догель Александр Станиславович (1852—1922) *466—468*, *472*
Догель Валентин Александрович (1882—1955) *461*
Докучаев Василий Васильевич (1846—1903) *5*, *257*, *424*, *426*, *431—434*, *444—447*, *450*, *480*
Долбня Иван Петрович (1853—1912) *275*
Доллонд Джон (1706—1761) (Dollond, J.) *103*
Домашнев Сергей Герасимович (1743—1795) *43*
Доплер Христиан (1803—1853) (Doppler, Ch.) *355*
Д'Орбиньи Альсид Дессалин (1802—1857) (D'Orbigny, A. D.) *211*, *237*
Дорфман Яков Григорьевич (1898—1975) *361*
Достоевский Федор Михайлович (1821—1881) *256*, *392*
Драшусов Александр Николаевич (1816—1890) *178*
Дриш Ганс (1867—1941) (Driesch, H.) *452*
Дуэ Христиан (1805—1893) (Due, Ch.) *197*
Дыбовский Бенедикт Иванович (1833—1930) *443*, *460*
Дэви Гемфри (1778—1829) (Devy, H.) *137*, *189*, *258*
Дэна Джеймс (1813—1895) (Dana, J.) *412*
Дюбуа Пьер (1731—1809) (Du-Bois, P.) *312*
Дювернуа Иоганн Георг (1691—1759) (Duvernois, J. G.) *31*, *34*, *38*, *79*, *86*, *88*, *130*
Дюгамель Жан Мари (1797—1872) (Duhamel, J. M.) *166*, *168*, *175*
Дюгем Пьер (1861—1916) (Duhem, P.) *362*, *382*
Дюлонг Пьер Луи (1785—1838) (Dulong, P. L.) *97*
Дюма Жан Батист Андре (1800—1884) (Dumas, J. B. A.) *205*, *368*
Дюпен Франсуа Пьер Шарль (1784—1873) (Dupin, F. P. Ch.) *175*
Дядьковский Иустин Евдокимович (1784—1841) *5*, *147*, *226—228*, *230*, *247*

Евклид (III в. до н. э.) *63*, *155*, *157*, *158*, *288*.
Евреинов Иван Михайлович (ум. 1724) *15*, *122*
Егоров Дмитрий Федорович (1869—1931) *261*, *275*, *290*, *294*, *493*
Еремеев Павел Васильевич (1830—1899) *420*, *424*
Ермак Тимофеевич (ум. 1585) *121*.
Ермаков Василий Петрович (1845—1922) *174*, *275*, *292*
Ершов Александр Степанович (1818—1867) *175*
Ефремов Николай Николаевич (1886—1947) *377*

Жамен Жюль (1818—1886) (Jamin, J.) *337*
Жансен Пьер Жюль Сезар (1824—1907) (Janssen, P. J.) *329*
Жегалкин Иван Иванович (1869—1947) *294*
Железнов Николай Иванович (1816—1877) *245*, *454*
Желябов Андрей Иванович (1850—1881) *489*
Жемчужный Сергей Федорович (1873—1929) *377*, *378*
Жерар Шарль (1816—1856) (Gerhardt, Ch.) *393*, *394*
Жилярди Джованни Баттиста (Иван Дементьевич) (1757—1819) *143*
Жоффруа Сент-Илер Этьен (1772—1844) (Geoffroy Saint-Hilaire, E.) *141*, *226*, *229*, *230*, *233*, *239—241*, *451*
Жубер Жюль-Франсуа (1834—1910) (Joubert, J. F.) *195*
Жуковский Николай Егорович (1847—1921) *5*, *171*, *174*, *258*, *280*, *296*, *297*, *299*, *300*, *301*, *303*, *305*, *311—318*, *327*, *491*, *493*
Журавский Дмитрий Иванович (1821—1891) *173*, *307—309*
Жюссье Антуан Лоран (1748—1836) (Jussieu A. L.) *28*

Забудский Николай Александрович (1853—1917) *306*
Заварзин Алексей Алексеевич (1886—1945) *467*, *468*
Заварицкий Александр Николаевич (1884—1952) *422*, *493*
Завойский Евгений Константинович (род. 1907) *361*

Загорский Петр Андреевич (1764—1846) *244*
Загоскин Лаврентий Алексеевич (1808—1890) *218*, *219*
Зайцев Александр Михайлович (1841—1910) *395*, *406*
Зайцев Михаил Михайлович (1845—1904) *493*
Заленский Владимир Владимирович (1847—1918) *452*
Зандбергер Ф. (1821—1880) *420*
Захаров Яков Дмитриевич (1765—1836) *113*
Захарьин Григорий Антонович (1829—1898) *471*
Зейлигер Дмитрий Николаевич (1864—1936) *288*, *290*, *305*
Зеленый Семен Иванович (1810—1892) *181*
Зелинский Николай Дмитриевич (1861—1953) *392*, *405*, *490*, *491*
Земятченский Петр Андреевич (1856—1942) *420*, *424*
Зенф Карл Эдуард (1810—1850) (Senf, C. E.) *151*
Зернов Николай Ефимович (1804—1862) *151*, *153*, *275*
Зернов Сергей Алексеевич (1871—1945) *436*, *460*
Зилов Петр Алексеевич (1849—1918) *339*, *340*, *493*
Зинин Николай Николаевич (1812—1880) *5*, *142*, *148*, *149*, *202—205*, *253*, *365*, *390*, *393*, *394*
Золотарев Егор Иванович (1847—1878) *253*, *258*, *260*, *261*, *264—267*, *272*, *274*
Зуев Василий Федорович (1754—1794) *38*, *45*, *135*
Зуев Никита Иванович (1823—1890) *222*
Зыбелин Семен Герасимович (1735—1802) *22*
Зюсс Эдуард (1831—1914) (Suess, E.) *412*, *417*, *443*
Зябловский Евдоким Филиппович (1763—1846) *222*

Ибн-ал-Хайсам Абу Али ал-Хасан ал Басри (1965—1039) *88*
Ибн Юнус Абу-л-Хасан Али ибн Абу Саид Абд-ар-Рахман (950—1009) *90*
Иванов Иван Иванович (1862—1939) *261*, *267*
Иванов Леонид Александрович (1871—1962) *457*
Ивановский Дмитрий Иосифович (1864—1920) *459*
Измаильский Всеволод Александрович (род. 1885) *409*
Ильенков Павел Антонович (1821—1877) *457*
Имшенецкий Василий Григорьевич (1832—1892) *260*, *275*, *276*

Иностранцев Александр Александрович (1843—1919) *415*, *418*, *422*, *427*.
Иноходцев Петр Борисович (1742—1806) *22*, *40*, *41*, *79*, *80*, *90*
Иовский Александр Алексеевич (1796—1857) *209*, *226*
Иоффе Абрам Федорович (1880—1960) *343*, *349*, *350*, *355—357*, *359*, *360*, *493*
Ипатьев Владимир Николаевич (1867—1952) *403*, *493*

Каблуков Иван Алексеевич (1857—1942) *383—385*, *395*
Каве Франсуа (1794—1875) (Cavét, Fr.) *262*
Кавендиш Генри (1731—1810) (Cavendish, H.) *101*, *113*
Каверзнев Афанасий Аввакумович (род. 1748) *136*
Каган Вениамин Федорович (1869—1953) *261*, *288*, *289*, *292*
Казаков Матвей Федорович (1738—1812) *143*
Казорати Феличе (1835—1890) (Casorati, F.) *286*
Кайданов Яков Кузьмич (1779—1855) *147*, *225*, *230*
Калицкий Казимир Петрович (1875—1941) *421*
Калмыков Иван Иванович (ум. 1734) *37*
Кальете (Кайете) Луи Поль (1832—1913) (Cailletet, L. P.) *337*
Кампер Петр (1722—1789) (Camper, P.) *28*
Камю Шарль Этьен Луи (1699—1768) (Camus, Ch. E. L.) *82*
Канкрин Егор Францевич (1774—1845) *192*
Канонников Иннокентий Иванович (1854—1902) *399*, *408*
Кант Иммануил (1724—1804) (Kant, I). *28*, *44*, *116*, *132*, *139*, *151*, *157*, *206*, *212*, *213*, *416*
Кантемир Антиох Дмитриевич (1709—1744) *36*, *90*
Кантор Георг (1845—1918) (Cantor, G.) *293*
Каньяр де Латур Шарль (1777—1859) (Cagniard de Latour, Ch.) *334*
Капица Петр Леонидович (род. 1894) *357*
Каптейн Якобус Корнелис (1851—1922) (Kapteyn, Ja. K.) *321*, *322*
Карелин Григорий Силыч (1801—1872) *243*
Карно Лазар Никола (1753—1823) (Carnot, L.) *172*
Карно Никола Леонар Сади (1796—1832) (Carnot, N. L. S.) *141*
Карпинский Александр Петрович (1847—1936) *5*, *253*, *412*, *413*, *415*, *417*, *418*, *420*, *422*, *423*, *427*, *491*, *493*
Карпов Лев Яковлевич (1879—1921) *490*

Картан Эли Жозеф (1869—1951) (Cartan, E. J.) *292*
Кассини Джованни Доменико (1625—1712) (Cassini, J. D.) *78, 87, 328,*
Кассини Жак (1677—1756) (Cassini J.) *84*
Кассо Лев Аристидович (1865—1914) *344, 358, 490*
Кейзерлинг Александр Андреевич (1815—1891) *208*
Кекуле Фридрих Август (1829—1896) (Kekule, F. A.) *249, 393, 398, 408*
Келлер, Борис Александрович (1874—1945) *435*
Келликер Рудольф Альберт (1817—1905) (Kölliker, R. A.) *466*
Кеплер Иоганн (1571—1630) (Kepler, J.) *25, 83, 84, 87, 89, 187, 351*
Кеппен Петр Иванович (1793—1864) *223*
Кеппен Федор Петрович (1833—1908) *461*
Кер Георг Якоб (1692—1740) (Kehr, G. Ja.) *82, 90*
Кибер Август Эрих (1794—1855) (Kyber, A. E.) *218*
Кижнер Николай Матвеевич (1867—1935) *405, 493*
Кикин Алексей Иванович (ум. 1852) *244*
Кикоин Исаак Константинович (род. 1908) *357*
Килер Джеймс Эдвард (ум. 1900) (Keeler, J. E.) *328*
Кильмейер Карл Фридрих (1765—1844) (Kielmeyer, C. F.) *464*
Кирилл (ок. 827—869) *7*
Кирилов Иван Кириллович (1689—1737) *81, 126*
Кирилов Иван Петрович (1821—1842 или 1843) *243*
Кирпичев Виктор Львович (1845—1913) *308, 309*
Кирпичева Милица Владимировна (ум. 1923) *360*
Кирхгоф Густав Роберт (1824—1887) (Kirchhoff, G. R.) *177, 192, 205, 249, 312, 338, 340, 361*
Кирхгоф Константин Готлиб Сигизмунд (1764—1833) (Kirchhoff, K. G.) *199*
Кирхер Афанасиус (1602—1680) (Kircher, A.) *115*
Кистяковский Владимир Александрович (1865—1952) *385*
Киттлиц Фридрих — Генрих, фон (1799—1874) (Kittlitz, Fr. H., von) *217*
Клапейрон Бенуа Поль Эмиль (1799—1864) (Clapeyron, B. P. E.) *335*
Клапрот Мартин Генрих (1743—1817) (Klaproth, M. H.) *113*
Кларк Франк Уиглсуорт (1847—1931) Clarke, F. W.) *412*
Клаус Карл Карлович (1796—1864) *202, 205, 394*
Клебш Рудольф Фридрих Альфред (1833—1872) (Clebsch, R. Fr. A.) *312*
Клейн Феликс (1849—1925) (Klein, F.) *164*
Клеменц Дмитрий Александрович (1848—1914) *444*
Клеро Алексис Клод (1713—1765) (Clairaut, A. C.) *40, 41, 49, 59, 82, 84, 85, 278, 310*
Клингенстиерна Самюэль (1698—1765) (Klingenstjerna S.) *103*
Клиффорд Уильям (1845—1879) (Clifford, W.) *164, 288*
Кнезер Адольф (1862—1930) (Kneser, A.) *280*
Книпович Николай Михайлович (1862—1939) *448*, 450
Киппинг Поль (1883—1935) (Knipping P. *359*
Кноп Иоганн (род. 1817) (Knop, J.) *456*
Ковалевская Софья Васильевна (1850—1891) *69, 261, 275—277, 287, 300, 301, 328*
Ковалевский Александр Онуфриевич (1840—1901) *254, 257, 452, 460, 462, 464, 467, 480*
Ковалевский Владимир Онуфриевич (1842—1883) *256, 257, 259, 276, 415, 427, 452, 453, 480*
Ковалевский Евграф Петрович (1790—1867) *207*
Ковалевский Николай Осипович (1840—1891) *471, 472*
Ковальский Марнан Альбертович (1821—1884) *179, 220, 321—323, 331—333*
Кодацци Дельфино (1824—1872) (Codazzi, D.) *163, 290*
Козельский Яков Павлович (ок. 1728 — ок. 1794) *45, 47, 75*
Козлов Петр Кузьмич (1863—1935) *439, 492*
Кокорев Василий Александрович (1817—1889) *251*
Кокшаров Николай Иванович (1818—1892) *208, 420, 424, 425, 427*
Колли Роберт Андреевич (1845—1891) *340, 341*
Коллинс Джон (1625—1683) (Collins, J.) *150*
Колмогоров Андрей Николаевич (род. 1903) *269*
Колодкин Алексей Емельянович (1777—1851) *220*
Колонг Иван Петрович (1839—1901) *306*
Колосов Гурий Васильевич (1867—1936) *310*
Кольбе Адольф Вильгельм Герман (1818—1884) (Kolbe, A. W. H.) *393, 399*
Кольрауш Рудольф Герман Арндт (1809—1858) (Kohlrausch, R. H. A.) *192*
Кольрауш Фридрих Вильгельм Георг (1840—1910) (Kohlrausch, F.) *384*
Кольцов Николай Константинович (1872—1940) *452, 492*
Комаров Владимир Леонтьевич (1869—1945) *442, 452, 480, 492*
Комов Григорий (XVIII в.) *178*

Кондаков Иван Лаврентьевич (1857—1931) *404*
Кондамин Шарль Мари ла (1701—1774) (Condamine, Ch. M. la) *40, 82*
Кондорсе Мари Жан Антуан Никола (1743—1794) (Condorcet, M.) *54,*
Кондратьев Виктор Николаевич (род. 1902) *357*
Коновалов Дмитрий Петрович (1856—1929) *382—384, 390, 391, 395*
Коновалов Михаил Иванович (1858—1906) *403, 493*
Кононов Алексей Кононович (1766—1795) *105*
Кононович Александр Константинович (1850—1910) *331*
Константинов Борис Павлович (1910—1969) *357*
Константинов Константин Иванович (1817—1871) *196, 198*
Коперник Николай (1473—1543) (Copernik N.) *10, 25, 83, 90, 164, 176, 183*
Коржинский Сергей Иванович (1861—1900) *446, 452*
Коркин Александр Николаевич (1837—1908) *258, 260, 261, 264, 265, 285, 292*
Короленко Владимир Галактионович (1853—1921) *484*
Коссович Петр Самсонович (1862—1915) *456, 458*
Костинский Сергей Константинович (1867—1936) *324, 328, 332*
Костычев Сергей Павлович (1877—1931) *457, 459*
Котельников Александр Петрович (1865—1944) *261, 288, 304, 305*
Котельников Петр Иванович (1809—1879) *288*
Котельников Семен Кириллович (1723—1806), *22, 40, 43, 47—49, 52, 74, 75*
Котта Бернгард (1808—1879) (Cotta, B.) *229, 237, 412*
Коутс Роджер (1682—1716) (Cotes, R.) *55, 63*
Кох Роберт (1843—1910) (Koch, R.) *458*
Коцебу Отто Евстафьевич (1788—1846) *181, 217, 243*
Коши Огюстен Луи (1789—1857) (Cauchy, A. L.) *56, 65, 66, 138, 150, 151, 153, 154, 165, 166, 170, 173, 262, 277, 286, 287, 294*
Кравков Николай Павлович (1865—1924) *471*
Крамской Иван Николаевич (1837—1887) *256*
Красильников Андрей Дмитриевич (1705—1773) *79—81, 87*
Краснов Андрей Николаевич (1862—1914) *430—434, 436, 438, 450, 454*
Кратценштейн Христиан Готлиб (1723—1795) (Kratzenstein, Ch. G.) *39*
Крафт Вольфганг Людвиг (1743—1814) (Krafft, W. L.) *40, 53, 84, 85*
Крафт Георг Вольфганг (1701—1754) (Krafft, G. W.) *36, 39, 47, 49, 51, 53, 73, 74, 79, 84, 86—88.*
Крафтс, Джеймс Мейсон (1839—1917) (Crafts, J. M.) *405*
Крашенинников Ипполит Михайлович (1884—1947) *446*
Крашенинников Степан Петрович (1713—1755) *22, 38, 115, 124, 130, 131*
Крашенинников Федор Николаевич (1869—1938) *456, 458*
Кремерс Питер (род. 1827) (Kremers, P.) *368*
Кржижановский Глеб Максимилианович (1872—1959) *490*
Кристоффель Эльвин Бруно (1829—1900) (Christoffel, E. B.) *291*
Кронекер Леопольд (1823—1891) (Cronecker, L.) *65, 267*
Кропоткин Петр Алексеевич (1842—1921) *210, 256, 413, 416, 436, 441, 442*
Кротов Петр Иванович (1852—1914) *418, 446*
Крубер Александр Александрович (1871—1941) *434*
Крузенштерн, Иван Федорович (1770—1846) *181, 214, 216, 218*
Крутицкий Петр Яковлевич (1839—1891) *457*
Крылов Алексей Николаевич (1863—1945) *260, 286, 306, 307, 309*
Крылов Николай Митрофанович (1879—1955) *286*
Крюйс Корнелий Иванович (1657—1727) *121*
Кудр де Теодор (1862—1926) (De Coudre T.) *341*
Кузнецов Николай Иванович (1864—1932) *452, 453*
Кузьмин Родион Осиевич (1891—1949) *51*
Кук Джеймс (1728—1779) (Cook J.) *215*
Кулагин Николай Михайлович (1869—1940) *461*
Кулибин Иван Петрович (1735—1818) *23, 44, 104, 133*
Кулон Шарль Огюстен (1736—1806) (Coulomb, Ch. A.) *101, 314, 351*
Кулябко Алексей Александрович (1866—1930) *472*
Куммер Эрист Эдуард (1810—1893) (Kummer, E.) *62, 63, 154, 267*
Кундт Август (1839—1894) (Kundt, A.) *344*
Купалов Петр Степанович (1888—1964) *476*
Купер Арчибальд Скотт (1831—1892) (Couper, A. S.) *393*
Куприн Александр Иванович (1870—1938) *484*
Купфер Адольф Яковлевич (Адольф Теодор) (1799—1865) *192, 196—198.*
Курбатов Аполлон Аполлонович (1851—1903) *404, 405*
Курганов Николай Гаврилович (1726—1796) *49, 80, 81, 87, 90*

Курнаков Николай Семенович (1860—1941) *377—380, 491, 493*
Курсанов Лев Иванович (1874—1921) *455*
Курчатов Игорь Васильевич (1903—1960) *357*
Куторга Степан Семенович (1805—1861) *209—211, 237, 243, 425*
Кутюра Луи (1868—1914) (Couturat, L.) *289*
Кучеров Михаил Григорьевич (1851—1903) *404*
Кэли Артур (1821—1895) (Cayley, A) *158*
Кэмпбелл Уильям Уоллес (1862—1938) (Campbell W. W.) *323*
Кювье Жорж (1769—1832) (Cuvier, J.) *120, 209, 211, 224, 226, 229, 232, 237, 240, 243, 463*
Кюи Цезарь Антонович (1835—1918) *256*
Кюри Мария см. Склодовская-Кюри
Кюри Поль Жак (1855—1941) (Curie, P. J.) *360*
Кюри Пьер (1859—1906) (Curie, P.) *359, 360, 373, 485*

Ла Валле Пуссен Шарль (1866—1962) (De la Vallée Poussin, Ch.) *264, 273*
Лаврентьев Борис Иннокентьевич (1892—1944) *467*
Лавуазье Антуан Лоран (1743—1794) (Lavoisier, A. L.) *27, 113, 139, 188, 199, 202, 335*
Лагорио Александр Евгеньевич (1852—1925) *423, 424*
Лагранж Жозеф Луи (1736—1813) (Lagrange, J. L.) *44, 49, 54, 58, 59, 61, 63, 64, 66, 68, 69, 73, 150, 154, 168, 171, 174, 265, 274, 291, 296, 297, 300, 301, 310, 311*
Ладенбург Альберт (1842—1911) (Ladenburg, A.) *202*
Ладенбург Эрих Роберт (род. 1903) (Ladenburg, E. R.) *356*
Лазарев Михаил Петрович (1788—1851) *179, 196, 215—217, 219*
Лайель Чарльз (1797—1875) (Lyell, Ch.) *138, 141, 210, 212, 229, 412*
Лакайль Никола Луи (1713—1762) (Lacaille, N. L.) *40, 81, 90*
Лаксман Эрик (Кирилл Густавович) (1737—1796) (Laxmann, E.) *40, 113, 120.*
Лаланд Жозеф Франсуа де (1732—1807) (Lalande, J. F. de) *81, 90*
Ламарк Жан Батист Пьер Антуан (1744—1829) (Lamarck, J. B.) *136, 139, 141, 212, 229, 230, 235, 238—241, 451*
Ламберт Иоганн Генрих (1728—1777) (Lambert, J. H.) *63, 84, 88*
Ламе Габриель (1795—1870) (Lamé, G.) *166, 168, 308*
Ламеттри Жюльен Офре де (1709—1751) (Lamettrie, J. Offray de.) *229*
Лангсдорф Григорий Иванович (1774—1852) *214, 243*
Ландольт Ганс Генрих (1831—1910) (Landolt, H. H.) *337*
Лаперуз Жан Франсуа де Гало (1741—1788) (La Pérouse, J. F. de) *218*
Лапик Луи (1866—1952) (Lapicque, L.) *473*
Лаплас Пьер Симон (1749—1827) (Laplace, P. S.) *44, 45, 48, 86, 101, 137, 141, 150, 154, 165, 168, 176, 206, 213, 269, 270, 272, 275, 278, 310, 416*
Лапшин Василий Иванович (1809—1888) *184*
Лартэ Эдвард (1801—1871) (Lartet, E.) *236*
Латрейль Пьер (1762—1833) (Latreille, P.) *232*
Лауэ Макс Феликс Теодор (род. 1879) (Laue, M. F. T.) *359*
Лахтин Леонид Кузьмич (1863—1927) *291*
Лебег Анри (1875—1941) (Lebesgue, H.) *262, 273, 293, 294*
Лебедев Александр Николаевич (1881—1938) *459*
Лебедев Петр Иванович (1885—1948) *424*
Лебедев Петр Николаевич (1866—1912) *5, 323, 344, 345, 349—355, 358, 361, 362, 493*
Лебедев Сергей Васильевич (1874—1934) *404, 491, 493*
Ле Бель Ашиль Жозеф (1847—1930) (Le Bel, A. J.) *379, 408*
Леваковский Николай Федорович (1833—1896) *454*
Левинсон-Лессинг Франц Юльевич (1861—1939) *420, 422—424, 427, 493*
Левитан Исаак Ильич (1860—1900) *484*
Лидебур Карл Фридрих (1785—1851) (Ledebour C. Fr.) *242, 243*
Лежандр Адриен Мари (1752—1833) (Legendre, A. M.) *58, 62, 66, 157, 264, 283, 310*
Лейбензон Леонид Самуилович (1879—1951) *309, 316, 490, 493*
Лейбниц Готфрид Вильгельм (1646—1716) (Leibniz, G. W.) *30, 55, 60, 61, 67, 69, 92, 109, 115, 282*
Лейдиг Франц (1821—1908) (Leydig, F.) *466*
Лейпольд Якоб (1674—1727) (Leupold Ja.) *110*
Лейтман Иоганн Георг (1667—1736) (Leutmann, J. G.) *31*
Лекок де Буабодран Поль Эмиль (1838—1912) (L. de Boisbaudran, P.) *371, 372*
Лексель Андрей Иванович (1740—1784) *40, 47, 53, 64, 84, 85*
Леман Иоганн Готлиб (1700—1767) (Lehmann, J. G.) *43*
Лемберг Иван Иванович (1842—1902) *423*
Лемери Никола (1645—1715) (Lemery, N.) *106, 108*
Ленин Владимир Ильич (1870—1924) *4, 5, 250—252, 254—256, 304, 318, 363, 364, 450, 471, 475, 481—485, 487—489*

Ленсен Эрнст (род. 1837) (Lensen, E.) *368*
Ленц Эмилий Христианович (Генрих Фридрих Эмиль) (1804—1865) *148, 192—196, 198, 217, 223, 365, 429, 449*
Лепехин Иван Иванович (1740—1802) *22, 38, 42, 45, 90, 118, 119, 125, 128, 129, 135, 136, 210*
Леруа Пьер Луи (1699—1774) (Leroy, P. L.) *86*
Лесгафт Петр Францевич (1837—1909) *256*
Лесинский Теофиль Игнатьевич (1821—1860) *365*
Летников Алексей Васильевич (1837—1888) *282, 283*
Лёб Жак (1859—1924) (Loeb, J.) *463*
Лёви Отто (1873—1961) (Loewi, O.) *474*
Ли Марнус Софус (1842—1899) (Lie M. S.) *275*
Либих Юстус (1803—1873) (Liebig, Ju.) *202, 203, 390, 455*
Лигин Валериан Николаевич (1846—1900) *299*
Линдеман Фердинанд (1852—1939) (Lindemann, F.) *63*
Линдеман Эдуард Эдуардович (1842—1897) *320*
Линней Карл (1707—1778) (Linné, Linnaeus, C.) *28, 40, 41, 134*
Листинг Иоганн Бенедикт (1808—1882) (Listing, J. B.) *61*
Лисянский Юрий Федорович (1773—1837) *214, 215*
Литке Федор Петрович (1797—1882) *181, 217, 243, 436*
Литтров, Йозеф Иоганн (1781—1840) (Littrow, J. J.) *178, 179*
Лиувилль Жозеф (1809—1882) (Liouville, J.) *169, 262, 278*
Лобачевский Николай Иванович (1792—1856) *5, 54, 66, 138, 142, 149—151, 153—165, 170, 179, 261, 282, 288, 290, 304*
Ловецкий Алексей Леонтьевич (1787—1840) *147, 209, 212*
Ловиц Георг Мориц (1722—1774) (Lowitz, G. M.) *40*
Ловиц Товий Егорович (1757—1804) *113, 114*
Лодж Оливер Джозеф (1851—1940) (Lodge, O. J.) *341, 344, 345, 348*
Лодыгин Александр Николаевич (1847—1923) *348*
Локьер Джозеф Норман (1836—1920) (Lockyer, J. N.) *332*
Ломоносов Михаил Васильевич (1711—1765) *4, 14, 16—22, 24, 28, 32, 36—42, 46, 52, 76, 79, 80, 86—89, 92—97, 99—103, 105, 107—113, 116—118, 120, 126, 128, 132, 147, 209, 210, 212, 213, 223, 229, 230, 335, 338, 425, 451*
Лонг де Джордж-Вашингтон (1844—1881) (Long de, G. W.) *218*
Лоран Огюст (1807—1853) (Laurent, A.) *394*
Лугинин Владимир Федорович (1834—1911) *407*
Лужин Федор Федорович (ум. 1727) *15, 122*
Лузин Николай Николаевич (1883—1950) *261, 294, 295, 493*
Лукашевич Иосиф Дементьевич (1863—1928) *419, 423, 427*
Лундаль Густав (1814—1844) (Lundal, G.) *183*
Лунин Николай Иванович (1854—1937) *477, 478*
Лутугин Леонид Иванович (1864—1915) *413, 422*
Лучицкий Владимир Иванович (1877—1949) *424*
Львов Михаил Дмитриевич (1848—1899) *395*
Льюис Гильберт Ньютон (1875—1946) (Lewis, G. N.) *410*
Лэнгмюр Ирвинг (1881—1957) (Langmuir, I.) *354*
Любавин Николай Николаевич (1845—1918) *477*
Любарский Василий Васильевич (1705—1852) *202, 205*
Любименко Владимир Николаевич (1873—1937) *469*
Людвиг Карл Фридрих Вильгельм (1816—1895) (Ludwig, K. F. W.) *371, 472*
Ляпунов Александр Михайлович (1857—1918) *169, 179, 258, 260, 261, 263, 270, 277—280, 283, 285, 287, 296, 300, 301, 310, 311, 492*
Ляпунов Михаил Васильевич (1820—1868) *179*
Лященко Петр Иванович (род. 1876) *141*

Маак Роберт Карлович (1825—1886) *436, 441*
Магницкий Леонтий Филиппович (1669—1739) *12, 14, 49, 76*
Магницкий Михаил Леонтьевич (1778—1855) *154*
Мажанди Франсуа (1783—1855) (Magendie, F.) *141, 472*
Маневский Николай Владимирович (1823—1892) *174, 305, 306*
Майер Иоганн Тобиас (1723—1762) (Mayer, J. T.) *85*
Майер Фридрих Христоф (1697—1729) (Mayer, F. Chr.) *47, 52, 79, 84, 86, 88*
Майер Юлиус Роберт (1814—1878) (Mayer, Ju. R.) *200, 249, 259*
Майнарди Анжело (1800—1879) (Mainardi, A.) *163, 290*
Макаров Степан Осипович (1849—1904) *448—450*
Маклорен Колин (1698—1746) (Maclaurin, C.) *56, 268, 278, 311*
Максвелл Джеймс Клерк (1831—1879) (Maxwell, J. C.) *192, 249, 328, 339—342, 344, 349, 352, 354, 361, 363*

Максимов Александр Александрович (1874—1928) *467*
Максимов Николай Александрович (1880—1952) *457*
Максимович Карл Иванович (1827—1891) *243*, *441*
Максимович Михаил Александрович (1804—1873) *134*, *147*, *148*, *225*, *226*, *233—235*
Максимович-Амбодик Нестор Максимович (1744—1812) *134*
Мальпиги Марчелло (1628—1694) (Malpighi, M.) *134*, *135*
Мамин-Сибиряк Дмитрий Наркисович (1852—1912) *484*
Манассеин Вячеслав Авксентьевич (1841—1901) *458*
Маргулес Макс (1856—1920) (Margules, M.) *382*
Мариотт Эдм (1620—1684) (Mariotte E.) *69*, *92*, *93*, *334*
Марков Андрей Андреевич (1865—1922) *253*, *258*, *260*, *261*, *265—267*, *270—273*, *275*, *281*, *283*, *285*, *291*, *490*, *492*
Марков Владимир Андреевич (1871—1897) *260*, *272*
Марковников Владимир Васильевич (1838—1904) *324*, *395—400*, *402—405*, *407*, *408*, *411*, *493*
Маркони Гульельмо (1874—1937) (Marconi, G.) *249*, *347*, *348*, *491*
Маркс Карл (1818—1883) (Marx, K.) *140*, *212*, *251*, *254*, *255*, *363*, *451*, *487*, *488*
Марциновский Евгений Иванович (1874—1934) *461*
Марш Отниел Чарльз (1831—1899) (Marsh, O. Ch.) *236*
Матвеев Борис Степанович (род. 1889) *452*
Матюшкин Федор Федорович (1799—1872) *218*
Мах Эрнст (1838—1916) (Mach, E.) *362*, *363*, *487*
Маяковский Владимир Владимирович (1893—1930) *484*
Меглицкий Николай Гаврилович (1825—1857) *210*, *414*, *417*, *418*, *441*
Мейендорф Александр Казимирович (1798—1865) *208*
Мейер Юлиус Лотар (1830—1895) (Meyer, J. L.) *374*
Мейоу Джон (1645—1679) (Mayow, J.) *110*
Меккель Иоганн Фридрих (Младший) (1781—1833) (Meckel, J. F.) *464*
Менделеев Дмитрий Иванович (1834—1907) *5*, *111*, *200*, *202*, *249—251*, *253*, *257—259*, *272*, *335*, *363*, *365—377*, *379*, *382*, *384*, *385*, *390—392*, *395*, *407*, *417*, *421*, *426*, *432*, *482*, *485*, *488*, *489*
Мендель Грегор Иоганн (1822—1884) (Mendel G. J.) *249*, *486*
Менетрие Эдуард Петрович (1802—1861) *242*
Мензбир Михаил Александрович (1855—1935) *436*, *452*, *461*, *462*, *480*
Меншиков Александр Данилович (1673—1729) *76*
Меншуткин Борис Николаевич (1874—1938) *108*, *111*, *112*
Меншуткин Николай Александрович (1842—1907) *369*, *386*, *387*, *401*, *402*
Меньшов Дмитрий Евгеньевич (род. 1892) *295*
Мережковский Константин Сергеевич (1855—1921) *469*
Мерклин Карл Евгеньевич (1821—1904) *243*
Мессершмидт Даниил Готлиб (1685—1735) (Messerschmidt, D. G.) *35*, *122*, *130*
Мефодий (ок. 815—885) *7*
Мечников Илья Ильич (1845—1916) *257*, *452*, *458*, *462—465*, *467*, *480*
Мечников Лев Ильич (1838—1888) *429*
Мещерский Иван Всеволодович (1859—1935) *296*, *301*, *303*
Миддендорф Александр Федорович (1815—1894) *220*, *221*, *223*, *242*, *436*, *444*
Миклухо-Маклай Николай Николаевич (1846—1888) *257*, *258*, *460*
Миллер Герард Фридрих (1705—1783) (Müller, G. Fr.) *38*, *41*, *45*, *82*, *83*, *86*, *89*, *124*
Милликэн Роберт Эндрус (1868—1953) (Millikan, R. A.) *356*
Миндинг Фердинанд Готлибович (1806—1885) *151*, *162—164*, *261*
Минковский Герман (1864—1909 (Minkovski, H.) *160*, *265*, *266*
Мирославский Николай Александрович (1854—1928) *467*
Миттаг-Леффлер Магнус Гёста (1846—1927) (Mittag-Löfflér, M. H.) *276*
Михайлов Александр Александрович (род. 1888) *331*
Михайловский Георгий Павлович (1870—1912) *421*
Михельсон Владимир Александрович (1860—1927) *363*, *493*
Мичурин Иван Владимирович (1855—1935) *458*, *492*
Млодзиевский Болеслав Корнелиевич (1858—1923) *290*, *293*, *300*
Мозли Генри (1887—1915) (Moseley, H.) *485*
Молин Федор Эдуардович (1861—1941) *261*, *292*
Монж, Гаспар (1746—1818) (Monge, G.) *150*, *154*, *275*
Монтюкла Жан Этьен (1725—1799) (Montucla, J. E.) *90*
Мопертюи Пьер Луи Моро (1698—1759) (Maupertuis, P. L. Moreau de) *68*, *82*,
Морган, Томас Хант (1866—1945) (Morgan T. H.) *486*
Мордухай-Болтовский Дмитрий Дмитриевич (1876—1952) *260*, *275*

Моритци Александр (1806—1850) (Moritzi, A.) *229*
Моро Антонио Лаццаро (1687—1764) (Moro, A. L.) *115*
Морозевич Иосиф Августинович (1865—1941) *424*
Морозов Георгий Федорович (1867—1920) *433*, *436*, *450*, *454*
Морозов Николай Александрович (1854—1946) *410*, *411*
Москвин Иван Михайлович (1874—1946) *485*
Мочалов Павел Степанович (1800—1848) *226*
Мочульский Виктор Иванович (1810—1871) *243*
Муавр Абрахам де (1667—1754) (Moivre-A. de.) *55*, *269*
Мурчисон Родерик Импи (1792—1871) (Murchison, R. I.) *118*, *208*, *413*
Мусабеков Юсуф Сулейманович (1910—1970) *402*
Мусин-Пушкин Аполлос Аполлосович (1760—1805) *113*
Мусоргский Модест Петрович (1839—1881) *256*
Мусхелишвили Николай Иванович (1891—1976) *310*
Мухин Ефрем Осипович (1766—1850) *244*, *247*
Мушенбрук Питер ван (1692—1761) (Musschenbroek, P. van.) *37*, *40*, *91*
Мушкетов Иван Васильевич (1850—1902) *414*, *417*, *419*, *420*, *422*, *427*
Мэдлер Иоганн Генрих (1794—1874) (Mädler, J. H.) *184*, *186*
Мюллер Иоганнес Питер (1801—1858) (Müller, J. P.) *141*, *226*, *247*, *249*, *466*
Мюллер Фриц (1821—1897) (Müller, F.) *464*

Навашин Сергей Гаврилович (1857—1930) *468*, *469*
Навье Луи Мари Анри (1785—1836) (Navier, L. M. H.) *173*
Надеждин Александр Иванович (1858—1886) *336*
Найт Томас Эндрю (1759—1838) (Knight, Th. A.) *135*
Нартов Андрей Константинович (1683—1756) *12*, *37*, *79*
Насир ад-дин ат-Туси Мухаммед (1201—1274) *90*
Натансон Якуб (1832—1884) (Natanson, Ja.) *365*
Невельской Геннадий Иванович (1813—1876) *218*, *220*
Нейман Франц Эрнст (1798—1895) (Neumann, F. E.) *193*, *337*, *338*
Некрасов Александр Иванович (1883—1957) *316*
Некрасов Николай Алексеевич (1821—1877) *255*
Некрасов Павел Алексеевич (1853—1924) *291*
Нелюбов Дмитрий Николаевич (1866—1926) *458*
Немирович-Данченко Владимир Иванович (1858—1943) *485*
Ненцкий Марцел (1847—1901) (Nencki, M.) *457*, 478, 479
Нервандер Юхан Якоб (1805—1848) (Nervander, J. Ja.) *183*
Нернст Вальтер Герман (1864—1941) (Nernst, W. H.) *111*
Нестеров Михаил Васильевич (1862—1942) *484*
Нестеров Петр Николаевич (1887—1914) *315*
Неуймин Григорий Николаевич (1886—1946) *331*
Неуструев Сергей Семенович (1874—1928) *435*, *439*, *446*
Нечаев Алексей Васильевич (1864—1915) *416*
Никитин Сергей Николаевич (1851—1909) *415*, *416*, *422*, *427*
Никифоров Михаил Никифорович (1858—1915) *461*
Николь Уильям (ок. 1768—1851) (Nicol, W.) *344*
Никольс Эрнст Фокс (1869—1926) (Nichols, E. F.) *354*
Никольский Александр Михайлович (1858—1942) *461*
Нильсон Ларс Фредерик (1840—1899) (Nilson, L. F.) *371*, *373*
Нобель Альфред (1833—1896) (Nobel, A.) *205*, *251*
Новиков Николай Иванович (1744—1818) *24*
Ноинский Михаил Эдуардович (1875—1932) *416*
Норденшельд Нильс Адольф Эрик (1832—1901) (Nordenskiöld, N. A. E.) *447*
Нордман Александр Давыдович (1803—1866) *243*, *245*
Нумеров Борис Васильевич (1891—1943) *331*
Ньюкомб Симон (Ньюком, Саймон) (1835—1909) (Newcomb, S.) *319*, *332*
Ньюлендс Джон Александр (1838—1898) (Newlands, J. A.) *368*, 374
Ньютон Исаак (1643—1727) (Newton, I.) *25*, *34*, *41*, *60*, *65*, *68*, *76*, *78*, *82—85*, *88*, *91*, *93*, *95*, *97*, *101—103*, *110*, *158*, *274*, *278*, *286*, *302*, *310*, *311*, *322*, *337*, *351*, *374*

Обручев Владимир Афанасьевич (1863—1956) *413*, *417*, *420*, *422*, *427*, *440*, *442*, *444*, *492*
Овсянников Филипп Васильевич (1827—1906) *245*, *466*, *472*
Ог Эмиль (1861—1927) (Haug, E.) *412*
Огарев Николай Платонович (1813—1877) *226*
Озерецковский Николай Яковлевич (1750—1827) *22*, *38*, *125*, *135*

Озерский Александр Дмитриевич (1813—1880) *210*
Окен Лоренц (1779—1851) (Oken, L.) *225, 229, 230, 234, 464*
Ом Георг Симон (1787—1854) (Ohm, G. S.) *194, 195*
д'Омалиус д'Аллуа Жан (1783—1875) (d'Omalius d'Halloy, J.) *229*
Омелянский Василий Леонидович (1867—1928) *459*
Оорт Ян Хендрик (род. 1900) (Oort, Ja.) *322*
Орбели Леон Абгарович (1882—1958) *472, 476, 493*
Орлов Александр Петрович (1840—1889) *412, 419, 427*
Орлов Александр Яковлевич (1880—1954) *331*
Орлов Владимир Григорьевич (1743—1831) *43, 53*
Орлов Сергей Владимирович (1880—1950) *331*
Осборн Генри Фэрфильд (1857—1935) (Osborn, H. F.) *259*
Осипов Иван Павлович (1855—1918) *408*
Осиповский Тимофей Федорович (1765—1832) *148, 151, 165*
Оствальд Вильгельм Фридрих (1853—1932) (Ostwald, W.) *200, 362, 383, 384, 390, 408, 410, 487*
Островский Александр Николаевич (1823—1886) *256*
Остроградский Михаил Васильевич (1801—1861) *5, 142, 148, 150—154, 162, 165—174, 256, 283, 296, 297, 299, 305, 307, 313, 365*
Остромысленский Иван Иванович (1880—1939) *404*
Оуэль Гийом-Жюль (1823—1886) (Hoüel G.-J.) *162*
Ошанин Василий Федорович (1844—1917) *438*

Павлов Алексей Петрович (1854—1929) *415, 416, 418, 419, 422, 427*
Павлов Иван Петрович (1849—1936) *5, 246, 255, 257, 452, 466, 472, 474—476, 478, 480, 491—493*
Павлов Михаил Григорьевич (1793—1840) *147, 225, 230*
Павлова Анна Павловна (1881—1931) *485*
Палладин Владимир Иванович (1859—1922) *457, 469, 478, 479*
Паллас Петр Симон (1741—1811) (Pallas, P. S.) *38, 40, 45, 118—120, 127—130, 135, 136, 232*
Пандер Христиан Иванович (1794—1865) *134, 209, 233, 237, 243—245, 463*
Панкевич Михаил Иванович (1757—1812) *75, 177*
Паррот Егор Иванович (Георг Фридрих) (1767—1852) (Parrot, G. F.) *105, 183, 186, 188, 189, 191, 192, 198, 217*
Партингтон Джеймс Риддик (род. 1886) (Partington, J. R.) *112*
Пастер Луи (1822—1895) (Pasteur, L.) *458*
Паукер Герман Егорович (1822—1889) *173, 308*
Паукер Магнус Георг (1787—1855) (Pauker, M. G.) *183, 191*
Пачоский Юзеф (Иосиф) Конрадович (1864—1942) (Paczoski, J. K.) *454*
Пашутин Виктор Васильевич (1845—1901) *478*
Певцов Михаил Васильевич (1843—1902) *319, 439, 440,*
Пекен (Пеккен) Матвей Христофорович (XVII в.) *134*
Перевощиков Дмитрий Матвеевич (1788—1880) *147, 151, 177—179, 212, 322, 332*
Перемежко Петр Иванович (1833—1893) *468*
Перкин (младший) Уильям Генри (1860—1929) (Perkin, W. H.) *398*
Перов Василий Григорьевич (1833—1882) *256*
Перовская Софья Львовна (1853—1881) *489*
Перри Джон (1850—1920) (Perry J.) *340*
Пестель Павел Иванович (1793—1826) *144*
Петерс Христиан Август Фридрих (Христиан Иванович) (1806—1880) (Peters Chr. A. F.) *186, 319*
Петерсон Карл Михайлович (1828—1881) *151, 163, 261, 290*
Петр I (1672—1725) *4, 7, 10, 12, 14, 16, 30, 31, 35—37, 39, 40, 76, 77—79, 81, 101, 115, 121, 122, 130, 214*
Петри Эдуард Юльевич (1854—1899) *430*
Петров Василий Владимирович (1761—1834) *5, 105, 149, 188—191, 198*
Петров Николай Павлович (1836—1920) *169, 173, 258, 313, 314*
Петрова Мария Капитоновна (1874—1948) *476*
Петтенкофер Макс (1818—1901) (Pettenkofer, M.) *368*
Пикар Эмиль (1856—1941) (Picard E.) *287*
Пикеринг Спенсер У. (1858—1920) (Pickering, S. W.) *377*
Пикок Георг (1791—1858) (Peacock, G.) *154*
Пирогов Николай Иванович (1810—1881) *5, 244, 258*
Пирсон Карл (1857—1936) (Pearson, C.) 362
Писарев Дмитрий Иванович (1840—1868) *255, 451, 479*
Писаржевский Лев Владимирович (1874—1938) *385, 488, 490, 491*
Пифагор (ок. 580—500 до н. э.) *284*
Планк Макс Карл Эрнст Людвиг (1858—1947) (Planck, M. C. L.) *363, 382, 485*
Плеханов Георгий Валентинович (1856—1918) *255, 304, 429*

Плотников Владимир Александрович (1873—1949) *385*
Пойнтинг Джон Генри (1852—1914) (Poynting, J. H.) *338*
Поленов Борис Константинович (род. 1859) *423*
Ползунов Иван Иванович (1728—1766) *23*
Поло Марко (1254—1323) (Polo, M.) *440*
Поляков Иван Семенович (1847—1887) *442*
Понселе Жан Виктор (1788—1867) (Poncelet, J. V.) *272*
Попов Александр Никифорович (1840—1881) *395, 400, 401*
Попов Александр Степанович (1859—1906) *249, 344—348, 362, 491*
Попов Никита Иванович (1720—1782) *40, 41, 80, 81, 84, 87*
Поповский Николай Никитич (1730—1760) *21, 22*
Порай-Кошиц Александр Евгеньевич (1877—1949) *493*
Порецкий Платон Сергеевич (1846—1907) *261, 289*
Порт Уно Вильгельм (1813—1885) (Porth, U. W.) *184*
Поссе Константин Александрович (1847—1928) *261, 270, 273, 275, 281*
Потанин Григорий Николаевич (1835—1920) *436, 440, 450*
Почебут-Одляницкий Мартин (1728—1810) (Poczebut-Odlanicki, M.) *182*
Пражмовский Адам (1825—1885) (Prażmovski, A.) *183*
Прасолов Леонид Иванович (1875—1954) *435*
Пржевальский Николай Михайлович (1839—1888) *258, 436, 439, 440, 442, 450, 492*
Прибылов Гавриил Логинович (ум. 1796) *129*
Привалов Иван Иванович (1891—1941) *295*
Пристли Джозеф (1733—1804) (Priestley, J.) *113*
Прончищев Василий (ум. 1736) *126*
Прончищева Мария (ум. 1736) *126*
Проскуряков Лавр Дмитриевич (1858—1926) *308*
Протасов Алексей Протасьевич (1794—1796) *22*
Прохазка (Прохаска) Иржи (Георг) (1749—1820) (Procháska, Ji. G.) 141
Пряшников Дмитрий Николаевич (1865—1948) *456, 457, 492*
Пти Алексис Терез (1791—1820) (Petit, A. T.) 97
Пуанкаре Анри (1854—1912) (Poincaré, H.) *160, 164, 169, 271, 277, 279—281, 283, 284, 311, 487*
Пуансо Луи (1777—1859) (Poinsot, L.) *274, 300*
Пуассон Симеон Дени (1781—1840) (Poisson, S. D.) *72, 154, 165, 166, 168, 172, 173, 175, 268, 269, 274, 300, 309, 310, 312*
Пупиевич Константин Адрианович (1866—1916) *457*
Пуркине Ян Эвангелиста (1787—1869) (Purkyně, Ja. E.) *141, 466*
Пушкин Александр Сергеевич (1799—1837) *16, 271*
Пфафф Иоганн Вильгельм Андреас (1774—1835) (Pfaff, J. W. A.) *183*
Пфейфер Георгий Васильевич (1872—1946) *292*
Пфефер Вильгельм (1845—1920) (Pfeffer, W.) *456*

Рагозин Виктор Иванович (род. 1833) *251*
Радде Густав Иванович (1831—1903) *441*
Радищев Александр Николаевич (1749—1802) *24, 25, 134, 230*
Разумовский Алексей Григорьевич (1709—1771) *39*
Разумовский Григорий Кириллович (1759—1837) *210*
Разумовский Кирилл Григорьевич (1728—1803) *39*
Райков Борис Евгеньевич (1880—1966) *237*
Райт Уильям (1871—1959) (Wright W.) *356*
Раман Чандрасекара Венката (род. 1888) (Raman, Ch. W.) *449*
Рамзай (Рамсей) Уильям (1852—1916) (Ramsay, W.) *373, 485, 488*
Рамон-и-Кахаль Сантьяго (1852—1934) (Ramon y Cajal S.) *466*
Раус Эдвард Джон (1831—1907) (Routh, E. J.) *297*
Рахманинов Иван Иванович (1826—1897) 175, *296*
Рахманинов Сергей Васильевич (1873—1943) *484*
Резерфорд Эрнест (1871—1937) (Rutherford, E.) *485*
Рейнольдс Осборн (1842—1912) (Reynolds, O.) *314*
Реклю Жан Жак Элизе (1830—1905) (Reclus, J. J. E.) *431*
Ремак Роберт (1815—1865) (Remak, R.) *466*
Ремезов Семен Ульянович (1662—1716) *121*
Рентген Вильгельм Конрад (1845—1923) (Roentgen, W. K.) *342, 343, 355, 359, 360, 485*
Реньо Анри Виктор (1810—1878) (Regnault, H. V.) *334, 336, 382*
Репин Илья Ефимович (1844—1930) *256, 484*
Реппе Вальтер (1892—1969) (Reppe, W.) *404*
Репсольд Иоганн Георг (1770—1830) (Repsold, J. G.) *184*
Реформатский Сергей Николаевич (1860—1934) *406*

Риги Аугусто (1850—1920) (Righi, A.) *344, 349*
Риккати Якопо Франческо (1676—1754) (Riccati, Ja. F.) *49*
Риман Георг Фридрих Бернхард (1826—1866) (Riemann, G. F. B.) *55, 56, 72, 138, 158, 164, 264, 286, 287, 294*
Римский-Корсаков, Николай Андреевич (1844—1908) *256, 392*
Риттер Карл (1779—1859) (Ritter, C.) *428—430, 436, 437*
Ритц Вальтер (1878—1909) (Rittz, W.) *286, 309*
Рихман Георг Вильгельм (1711—1753) (Richmann, G. W.) *18, 37, 39, 41, 46, 79, 82, 86, 92, 97—101, 105, 116*
Рихтгофен Фердинанд Пауль Вильгельм (1833—1905) (Richthofen, F. P. W.) *440*
Роборовский Всеволод Иванович (1856—1910) *439*
Родриг Бенжамин О. (1794—1851) (Rodrigues, B.) *297*
Рождественский Дмитрий Сергеевич (1876—1940) *355, 357*
Розе Густав (1798—1873) (Rose, G.) *197, 208*
Романовский Геннадий Данилович (1830—1906) *208, 243, 414*
Романовский Дмитрий Леонидович (1861—1921) *461*
Роско Генри Энфилд (1833—1915) (Roscoe, H. E.) *382*
Рост Иоганн Иохим Юлиус (Иван Акимович) (1726—1791) (Rost, J. J.) *75, 177*
Ротерт Владислав Адольфович (1863—1916) *458*
Роулэнд Генри Август (1848—1901) (Rowland, H. A.) *342*
Рулье Карл Францевич (1814—1858) *5, 134, 147, 149, 209, 210, 213, 223, 228, 238—241, 243, 247, 416, 462*
Румовский Степан Яковлевич (1734—1812) *22, 38, 40, 41, 43, 47, 48, 52, 64, 65, 80, 81, 90, 93*
Рупрехт Франц Иванович (1814—1870) *242, 243, 445*
Руссов Эдмунд (1841—1897) (Russow, E.) *468*
Руффини Паоло (1765—1822) (Ruffini, P.) *154*
Рыкачев Михаил Александрович (1840—1919) *434*
Рычков Николай Петрович (1746—1784) *135*
Рычков Петр Иванович (1712—1777) 22, *117*
Рэлей Стритт Джон Уильям (1842—1919) (Rayleigh Strutt J. W.) *309, 317, 373*
Рюйш Фредерик (1638—1731) (Ruysch, F.) *88, 130, 134*

Сабанеев Леонид Павлович (1844—1898) *461*
Саблер Георг Томас (Егор Егорович) (1810—1864) (Sabler, G. T.) *182, 184, 186*
Саваренский Федор Петрович (1881—1946) *422*
Савельев Александр Степанович (1820—1860) *196, 198*
Савич Алексей Николаевич (1810—1883) 179, *181, 182, 184, 331—333*
Садовский Александр Иванович (1859—1920) *355*
Сакс Юлиус (1832—1897) (Sachs, Ju.) *456*
Салтыков-Щедрин Михаил Евграфович (1826—1889) *256*
Самойлов Александр Филиппович (1867—1930) *471, 474*
Самойлов Яков Владимирович (1870—1925) *420, 424, 427*
Самосский Аристарх (III в. до н. э.) *19*
Сапегин Андрей Афанасьевич (1883—1946) *469*
Сапожников Василий Васильевич (1761—1824) *456*
Саррюс Пьер (1798—1858) (Sarrus, P.) *169*
Сарычев Гавриил Андреевич (1763—1831) *129, 215, 218*
Сатунин Константин Алексеевич (1863—1915) *461*
Себа Альберт (1665—1736) (Seba, A.) *130*
Севастьянов Александр Федорович (1771—1824) *242*
Севергин Василий Михайлович (1765—1826) *22, 112, 113, 118, 208—210, 425*
Северцов Алексей Николаевич (1866—1936) *452, 462—466, 480, 493*
Северцов Николай Алексеевич (1827—1885) *223, 238, 242, 247, 414, 436, 437, 450, 460*
Сегнер Янош Андраш (1704—1777) (Segner, Ja. A.) *71*
Седийо Луи Пьер Амели (1808—1873) (Sédillot, L. P. A.) *90*
Седов Георгий Яковлевич (1877—1914) *448, 492*
Селиванов Дмитрий Федорович (род. 1855) *291*
Семенов Николай Николаевич (род. 1896) *357*
Семенов Федор Алексеевич (1794—1860) *421*
Семенов Тян-Шанский Петр Петрович (1827—1914) *414, 429, 430, 436, 437, 450, 462, 492*
Серафимович Александр Серафимович (1863—1949) *484*
Серов Валентин Александрович (1865—1911) *484*
Серпинский Вацлав (1882—1969) (Sierpinski, W.) *268*
Серре Жозеф Альфред (1819—1885) (Serret, J. A.) *262, 297*
Сеченов Иван Михайлович (1829—1905) *5, 227, 246, 257, 259, 452, 466, 470, 471, 475, 480, 489*

Сибирцев Николай Михайлович (1860—1900) *418*
Сидоров Михаил Константинович (1823—1887) *447*
Симонов Иван Михайлович (1794—1855) *179, 182, 196—198, 215, 216, 331, 332*
Синцов Дмитрий Матвеевич (1867—1946) *275, 290, 291*
Скиапарелли Джованни Вирджинио (1835—1910) (Schiaparelli, G. V.) *319*
Склодовская-Кюри Мария (1867—1934) (Skłodowska-Curie, M.) *373, 485*
Скобельцын Дмитрий Владимирович (род. 1892) *357*
Скориняков-Писарев Григорий Григорьевич (ум. 1745) *13, 67*
Скрябин Александр Николаевич (1871—1915) *484*
Скрябин Константин Иванович (1878—1972) *461*
Славинский Петр (1795—1881) *182*
Славянов Николай Николаевич (1878—1958) *422*
Слешинский Иван Владиславович (1854—1931) *289*
Словцов Петр Андреевич (1767—1843) *220*
Слудский Федор Алексеевич (1841—1897) *174, 296, 297*
Слуцкий Евгений Евгеньевич (1880—1948) *271*
Смирнов Александр Ефимович (1859—1911) *466*
Смирнов Владимир Иванович (1887—1974) *50, 285*
Смит Уильям (1769—1839) (Smith, W.) *209*
Собинов Леонид Витальевич (1872—1934) *485*
Собко Петр Иванович (1819—1870) *173*
Соболев Сергей Львович (род. 1908) *59*
Соболевский Петр Григорьевич (1781—1841) *202, 205*
Соболь Самуил Львович (1893—1960) *131*
Содди Фредерик (1877—1956) (Soddy F.) *485*
Соймонов Федор Иванович (1682—1780) *15, 122*
Соколов Дмитрий Иванович (1788—1852) *209—212, 237*
Соколов Иван Дмитриевич (1812—1873) *296*
Соколов Никита Петрович (1748—1795) *22*
Соколов Николай Николаевич (1826—1874) *393*
Соколовский Лука Александрович (1808—1883), *420*
Сомов Осип (Иосиф) Иванович (1815—1876) *152, 174, 253, 274, 287, 296*
Сомов Павел Осипович (1852—1919) *287*
Сонин Николай Яковлевич (1849—1915) *253, 260, 268, 270, 273, 275, 276, 282, 285*
Софронов М (1729—1760) *47, 52*
Сохоцкий Юлиан Васильевич (1842—1929) *261, 267, 273, 281, 284, 286, 287*
Спалланцани Ладзаро (1729—1799) (Spallanzani, L.) *134*
Спасский Михаил Федорович (1809—1859) *198, 223*
Спафарий (Милеску) Николай Гаврилович (1636—1708) *10*
Станиславский Константин Сергеевич (1863—1938) *485*
Станкевич Николай Владимирович (1813—1840) *226*
Старлинг Эрнест Генри (1866—1927) (Starling, E. H.) *475*
Стеклов Владимир Андреевич (1863—1926) *258, 260, 268, 283—285, 291, 309, 313, 316, 492*
Стеллер Георг Вильгельм (1709—1746) (Steller, G. W.) *115, 124, 130, 131*
Степанов Вячеслав Васильевич (1889—1950) *295*
Степанов Николай Иванович (1879—1938) *377, 493*
Степанов Павел Иванович (1880—1947) *422*
Стилтьес Томас Жан (1856—1894) (Stieltjes, T. J.) *270*
Стойкович Афанасий Иванович (1764—1832) *147*
Стокс Джордж Габриель (1819—1903) (Stokes, G. G.) *312*
Столетов Александр Григорьевич (1839—1896) *5, 257, 303, 336—340, 344, 349, 350, 361, 362, 493*
Страсбургер Эдвард (1844—1912) (Strasburger, E.) *468*
Страхов Николай Николаевич (1828—1896) *451*
Страхов Петр Иванович (1757—1813) *105, 177*
Струве Василий Яковлевич (Георг Фридрих Вильгельм) (1793—1864) 5, *80, 149, 176, 180—184, 186, 187, 319—321, 332*
Струве Людвиг Оттович (1858—1920) *322*
Струве Отто Васильевич (1819—1905) *80, 184, 186, 320, 322, 332*
Струмилин Станислав Густавович (1877—1974) *250, 483*
Субботин Михаил Федорович (род. 1893) *331*
Сукачев Владимир Николаевич (1880—1967) *436, 454*
Сумароков Александр Петрович (1717 или 1718—1777) *42*
Сунь-Цзы (VI—V вв. до н. э.) *63*
Суриков Василий Иванович (1848—1916) *256*
Суслин Михаил Яковлевич (1894—1919) *295*
Суслов Гавриил Константинович (1857—1935) *174, 296*
Сухомлинов Михаил Иванович (1828—1901) *112*

Талызин Матвей Иванович (род. 1819) *174, 296, 297*
Тамаркин Яков Давидович (1888—1945) *285*
Танфильев Гавриил Иванович (1857—1928) *433, 434, 436, 443—445, 447, 453*
Тарханов Иван Романович (1846—1908) *471, 472*
Тарханов Михаил Михайлович (1877—1948) *485*
Татищев Василий Никитич (1686—1750) *14, 115, 116, 120*
Тейлор Брук (1685—1731) (Taylor B.) *59*
Теннер Карл Иванович (1783—1860) *176, 183, 186, 187*
Тереховский Мартын Матвеевич (1740—1796) *23, 133, 134*
Теряев Андрей Михайлович (1767—1827) *209*
Тилли Жозеф де (1837—1906) (Tilly, J. de) *304*
Тилло Алексей Андреевич (1839—1899) *419, 445*
Тимирязев Климент Аркадьевич (1843—1920) *146, 147, 251, 255, 257—259, 392, 451—453, 456, 457, 469, 480, 490, 492*
Тимошенко Степан Прокофьевич (род. 1878) *309*
Тиссеран Франсуа (1845—1896) (Tisserand, F.) *332*
Тихов Гавриил Андрианович (род. 1875) *331*
Тихомандрицкий Матвей Александрович (1844—1921) *287*
Тихомиров Александр Андреевич (1850—1931) *461, 463*
Тихомиров Петр Васильевич (1803—1831) *181*
Тищенко Вячеслав Евгеньевич (1861—1941) *395*
Толль Эдуард Васильевич (1858—1902) *447, 448*
Толмен Ричард Чейс (1881—1948) (Tolman, R. Ch.) *341*
Толстой Лев Николаевич (1828—1910) *256, 392, 484*
Томсен Ханс Юрген Юлиус (1826—1909) (Thomsen, Ju.) *200*
Томсон Джозеф Джон (1856—1940) (Thomson, J. J.) *485*
Томсон Уильям (1824—1907) (Thomson, W.) *297, 312, 338, 340*
Траверс Морис Вильям (1872—1961) (Travers, M. W.) *373*
Траутшольд Герман Адольфович (1817—1902) *414*
Третьяковский Василий Кириллович (1703—1769) *42, 81, 89*
Тринкус Карл Антонович (1778—1844) *243*
Трускотт Иоганн Фомич (1719—1786) (Truscott, J.) *82*
Трюммер Н. (XVIII в.) (Trümmer, N.) *89*
Туполев Андрей Николаевич (1888—1972) *316*
Тургенев Иван Сергеевич (1818—1883) *256, 392*
Турчанинов Николай Степанович (1796—1863) *243*
Тэт Питер (1831—1901) (Tait, P.) *312*

Уатт Джеймс (1736—1819) (Watt, J.) *272*, 298
Умов Николай Алексеевич (1846—1915) *327, 338, 362, 363, 490*
Унгер Франц (1800—1870) (Unger, F.) *229*
Уразов Георгий Григорьевич (1884—1957) *377, 493*
Усов Михаил Антонович (1883—1939) *422, 424*
Усов Павел Степанович (1828—1888) *209*
Усов Сергей Алексеевич (1827—1886) *238*
Ухтомский Алексей Алексеевич (1875—1942) *492, 493*

Фабрициус Василий Иванович (1845—1895) *323*
Фаворский Алексей Евграфович (1860—1945) *395, 404, 405, 491, 493*
Фальк Иоганн Петер (1727—1774) (Falk, J. P.) *118, 127, 128.*
Фамицын Андрей Сергеевич (1835—1918) *452, 456—458*
Фарадей Майкл (1791—1867) (Faraday, M.) *188, 192, 193, 258, 334, 338, 339, 342*
Фарварсон Андрей Данилович (1675—1739) *12, 77*
Феддерсен Беренд Вильгельм (1832—1918) (Feddersen, B. W.) *101*
Федоренко Иван Иванович (1827—1888) *180*
Федоров Василий Федорович (1802—1855) *180, 184*
Федоров Евграф Степанович (1853—1919) *5, 256, 266, 358, 420, 422, 424, 425, 427, 493*
Федоров Иван (ум. 1733) 122, 123
Федоровский Николай Михайлович (1886—1956) *490*
Федченко Алексей Павлович (1844—1873) *437, 438, 461*
Федченко Ольга Александровна (1845—1921) *437*
Ферма Пьер (1601—1665) (Fermat, P.) *62—64, 68, 266, 267*
Ферсман Александр Евгеньевич (1883—1945) *427, 490, 491, 493*
Фесенков Василий Григорьевич (1889—1972) *331*
Фехнер Густав Теодор (1801—1887) (Fechner, G. T.) *195*
Фигурин Александр Евдокимович (1793—1851) *218*
Физо Арман Ипполит Луи (1819—1896) (Fizzeau A. H. L.) *339*
Филатов Дмитрий Петрович (1876—1943) *452*

Филомафитский Алексей Матвеевич (1807—1849) *226, 246, 247*
Фиников Сергей Павлович (род. 1883) *290*
Фишер фон Вальдгейм Григорий Иванович (1771—1853) (Fischer von Waldheim, G. I.) *209, 242*
Фишер Рональд (род. 1890) (Fisher, R.) *50*
Флавицкий Флавиан Михайлович (1848—1917) *395, 399, 405, 407*
Флеминг Вальтер (1843—1905) (Flemming, W.) *468*
Фогель Роберт Филиппович (1859—1920) *323*
Фонтенель Бернар ле Бовье де (1657—1757) (Fontenelle, B. le Bovier de) *90*
Франкланд Эдуард (1825—1899) (Frankland E.) *258*
Франклин Бенжамен (1706—1790) (Franklin, B.) *44, 91, 99, 101, 105*
Фрейнд Август (1835—1892) (Freund, A.) *398*
Фридель Шарль (1832—1899) (Friedel, Ch.) *405*
Фридман Александр Александрович (1888—1925) *285*
Фридрих Вальтер (1883—1968) (Friedrich, W.) *359*
Фриз (де Фриз) Гуго (род. 1848) (De Vriese, H.) *486*
Фрицше Юлий Федорович (1808—1871) *202, 203*
Фробениус Фердинанд Георг (1849—1917) (Frobenius, F. G.) *292*
Фролов Козьма Дмитриевич (1726—1800) *23*
Фурье Жан Батист Жозеф (1768—1830) (Fourier, J. B. J.) *59 150, 154, 165—168, 272, 283, 286*
Фусс Николай Иванович (1755—1825) *40, 47, 48, 53, 64, 65, 104, 150, 155*
Фусс Павел Николаевич (1798—1855) *150, 182, 184, 186*

Халл Гордон Ферри (род. 1870) (Hull G. F.) *354*
Хандриков Митрофан Федорович (1837—1915) *178, 180, 323, 331, 332*
Хантер Джон (1728—1793) (Hunter J.) *28*
Харитон Юлий Борисович (род. 1904) *357*
Хвольсон Орест Данилович (1852—1934) *348, 350, 362*
Хевисайд Оливер (1850—1925) (Heavisside, O.) *282*
Хилл Джордж Уильям (1838—1914) (Hill, G. W.) *86*
Хинчин Александр Яковлевич (род. 1894) 50, *295*
Холл Джеймс (род. 1811) (Hall, J.) *120, 412*
Холл Честер Мур (1703—1771) (Hall, C. M.) *103*
Холодковский Николай Александрович (1858—1921) *461*
Хрущов Константин Дмитриевич (1852—1912) *423, 424*
Хюбнер Иоганн (1668—1731) (Huebner, J.) *77*

Цвет Михаил Семенович (1872—1919) *456*
Цейгер Иоганн Эрнст (1720—1784) (Zeiger, J. E.) *103*
Цейсс Карл Фридрих (1816—1888) (Zeiss, C. F.) *330*
Целльнер Иоганн Карл Фридрих (1834—1882) (Zöllner, J. C. F.) *320, 324, 351*
Цельсий Андерс (1701—1744) (Celsius, A.) *82*
Ценковский Лев Семенович (1822—1887) *243, 245, 258, 259, 455*
Цераская Лидия Петровна (1855—1931) 325
Цераский Витольд Карлович (1849—1925) *178, 324—326, 331, 332*
Цингер Василий Яковлевич (1836—1907) *290*
Цингер Николай Яковлевич (1842—1918) *319*
Цинке Теодор (1843—1928) (Zincke, T.) *401*
Циолковский Константин Эдуардович (1857—1935) *302—304, 491*
Цион Илья Фаддеевич (1842—1912) *471*

Чаговец Василий Юрьевич (1873—1941) *474*
Чайковский Петр Ильич (1840—1893) 256, *392*
Чаплыгин Сергей Алексеевич (1869—1942) *5, 296, 310, 313, 314, 316—318, 493*
Чеботарев Николай Григорьевич (1894—1947) *268, 292, 293*
Чебышев Пафнутий Львович (1821—1894) *5, 45, 53, 55, 58, 62, 64, 142, 150, 154, 169, 170, 174, 251, 258, 260—265, 267, 268—274, 276, 281—284, 286, 287, 291, 292, 295, 296, 298, 305, 492*
Чекановский Александр Лаврентьевич (1832—1876) *413, 443*
Челинцев Владимир Васильевич (1877—1947) *406*
Чемберс (Чеймберс) Роберт (род. 1881) (Chambers, R.) *229*
Чернышев Феодосий Николаевич (1856—1914) *412, 413, 416, 422, 427*
Чернышевский Николай Гаврилович (1828—1889) *5, 254, 255, 257, 451, 479*
Черняев Илья Ильич (род. 1893) *493*
Черский Иван Дементьевич (1845—1892) *413, 417, 419, 443*
Чехов Антон Павлович (1860—1904) *484, 485*
Чирвинский Владимир Николаевич (XX в.) *424*
Чириков Алексей Ильич (1703—1748) *122—124*
Чистяков Иван Дорофеевич (1843—1877) *454, 468*

Чихачев Петр Александрович (1808—1890) *221*, *243*
Чичибабин Алексей Евгеньевич (1871—1945) *399*, *409*
Чугаев Лев Александрович (1873—1922) *380*, *381*, *405*, *408*, *409*, *493*
Чугунов Андрей Кириллович (1827—1898) *456*
Чумаков Федор Иванович (1782—1837) *75*
Чупров Александр Александрович (1874—1926) *271*

Шагин Антоний Францевич (1798—1842) *180*, *182*
Шайн Григорий Абрамович (1892—1956) *331*
Шаляпин Федор Иванович (1873—1938) *485*
Шангин Петр (XVIII в.) *120*
Шанкуртуа Александр Эмиль Бегье де (1820—1886) (De Chancourtois, A. B. de) *368*, *374*
Шанявский Альфонс Леонович (1837—1905) *344*, *358*
Шапп д'Отерош Жан (1722—1769) (Chappe d'Auteroche, J.) *81*
Шарпантье Иоганн (Жан) (1786—1855) (Charpentier, J.) *210*
Шатерников Михаил Николаевич (1870—1939) *471*
Шатуновский Самуил Осипович (1859—1929) *261*, *288*, *289*
Швann Теодор (1810—1882) (Schwann, Th.) *138*, *141*, *224*
Шварц Герман Амандус (1843—1921) (Schwarz, H. A.) *170*, *283*
Шварц Людвиг Евграфович *59*, *441*
Шведов Федор Никифорович (1840—1905) *338*
Швейцер Каспар Готфрид (Богдан Яковлевич) (1816—1873) (Schweizer, C. G.) *177*, *178*, *321*, *332*
Шебуев Георгий Николаевич (ум. 1900) *288*
Шевяков Владимир Тимофеевич (1859—1930) *461*
Шееле Карл Вильгельмович (1742—1786) *113*
Шейхцер Иоганн Яков (1672—1733) (Scheuchzer, J. Ja.) *115*
Шелихов Георгий Иванович (1747—1795) *129*
Шеллинг Фридрих Вильгельм Йозеф (1775—1854) (Schelling, F. W. J.) *225*
Шенбейн Христиан Фридрих (1799—1868) (Schönbein, Ch. F.) *426*
Шергин Федор Егорович (XIX в.) 220, *221*
Шеринг Эрнст Христиан Юлиус (1833—1897) (Schering, E. Ch. J.) *304*
Шеррингтон Чарльз Скотт (1859—1952) (Sherrington, Ch. S.) *473*
Шидловский Андрей Петрович (1818—1892) *178*, *180*, *184*
Шиллер Николай Николаевич (1848—1910) *339*, *340*
Шиллинг Павел Львович (1786—1837) *196*
Шилов Николай Александрович (1872—1930) *386*, *388—390*
Шимкевич Владимир Михайлович (1858—1923) *460*
Широков Петр Алексеевич (1895—1944) *305*
Шифф Гуго (1834—1915) (Schiff, H.) *366*
Шишков Леон Николаевич (1830—1908) *204*, *205*, *365*
Шлейден Маттиас Якоб (1804—1881) (Schleiden, M. Ja.) *138*, *141*, *224*
Шмальгаузен Иван Иванович (1884—1963) *452*, *462*, *463*, *493*
Шмидт Александр Александрович (1831—1894) *477*
Шмидт Отто Юльевич (1891—1956) *261*, *292*, *293*
Шмидт Петр Юльевич (1872—1949) *460*
Шнейдер Фридрих-Антон (1831—1890) (Schneider, F.-A.) *468*
Шокальский Юлий Михайлович (1856—1940) *449*
Шостаковский Михаил Федорович (род. 1905) *404*
Шпанберг Мартын Петрович (ум. 1761) *122*, *124*
Шпиндлер Иосиф Бенедиктович (1848—1919) *449*
Шредер Иван Федорович (1858—1918) *383*
Шредер Эрнст (1841—1902) (Shröder, E.) *289*
Шренк Леопольд Иванович (1830—1894) *441*, *442*, *449*
Шталь Георг Эрнст (1660—1734) (Stahl, G.) *106*
Штелин Яков Яковлевич (1709—1785) *43*
Штерер Эмиль (1813—1890) (Stöhrer, E.) *195*
Штериберг Павел Карлович (1865—1920) *331*, *490*
Штудер Бернгард (1794—1887) (Studer, B.) *210*
Штуди Эдуард (1862—1922) (Study, E.) *288*
Штукенберг Александр Антонович (1844—1905) *416*
Штурм Жак Шарль Франсуа (1803—1855) (Sturm, J. Ch.) *154*
Шуберт Фредерик Теодор (Федор Иванович) (1758—1825) *47*, *56*, *65*, *83*, *86*, *150*, *181*, *197*
Шувалов Иван Иванович (1727—1797) *19*, *20*
Шульц Евгений Александрович (1870—1917) *452*
Шумахер Генрих Христиан (1780—1850) (Schumacher, H. Ch.) *162*, *183*

Шумахер Иоганн Даниил (1690—1761) (Schumacher, J. D.) *16*, *30*, *38*
Шумлянский Александр Михайлович (1748—1795) *23*, *133—135*, *245*
Шур Фридрих (1856—1932) (Schur, Fr.) *288*
Шухов Владимир Григорьевич (1853—1939) *310*, *491*

Щеглов Николай Прокофьевич (1793—1831) *209*
Щепкин Михаил Семенович (1788—1863) *226*
Щепкин Павел Степанович (1793—1836) *151*
Щуровский Григорий Ефимович (1803—1884) *147*, *208*, *230*, *233*, *243*, *416*, *418*, *420*, *427*

Эверсман Эдуард Александрович (1794—1860) *242*, *428*
Эйзенштейн Фердинанд (1823—1852) (Eisenstein, F.) 62
Эйлер Иоганн Альбрехт (1734—1800) (Euler, J. A.) *42*, *43*, *47*, *52*, *53*, *64*, *84—86*
Эйлер Леонард (1707—1783) (Euler, L.) *16*, *31*, *34*, *38—43*, *45—76*, *79—89*, *91*, *92*, *94*, *95*, *102—105*, *109*, *112*, *126*, *130*, *132*, *133*, *138*, *150*, *154*, *163*, *165*, *168*, *169*, *171*, *174*, *182*, *261*, *262*, *264*, *265*, *268*, *274*, *275*, *282*, *285*, *292*, *296*, *297*, *300*, *305*, *306*, *319*, *338*
Эйнтховен Виллем (1860—1927) (Einthoven, W.) *474*
Эйнштейн Альберт (1879—1955) (Einstein, A.) *160*, *356*, *485*, *486*
Эйртон Уильям Эдвард (1847—1908) (Ayrton, W. E.) *340*
Эйхвальд Эдуард Иванович (1795—1876) *209*, *211*, *230—233*, *242*, *414*
Эйхенвальд Александр Александрович (1863—1944) *342*, *343*, *363*
Эйхлер Август Вильгельм (1839—1887) (Eichler, A. W.) *453*
Эйхфельд Иван Иванович ((XIX в). *208*
Эли де Бомон Леонс (1798—1874) (Elie de Beaumont, L.) 210, *211*, *417*, *420*, *425*
Эльстер Иоганн Филипп Людвиг Юлиус (1854—1920) (Elster, J. Ju.) *350*
Эльтеков Александр Павлович (1846—1894) *398*
Энгельгардт Александр Николаевич (1832—1893) *251*, *253*, *393*
Энгельгардт Василий Павлович (1828—1915) *330*
Энгельгардт Владимир Александрович (род. 1894) *479*
Энгельс Фридрих (1820—1895) (Engels, Fr.) *134*, *140*, *212* *254*, *363*, *451*
Эндрюс Томас (1813—1885) (Endrews, T.) *335—337*
Энке Иоганн Франц (1791—1865) (Encke, J. F.) *264*
Эпинус Франц Ульрих Теодор (1724—1802) (Aepinus, F. U. Th). *39*, *46*, *88*, *89*, *92*, *101*, *102*, *104*, *105*, *132*, *133*
Эренберг Христиан-Готфрид (1795—1876) (Ehrenberg, Ch. G.) *197*, *208*
Эри Джордж Биллел (1801—1892) (Airy, J. B.) *322*
Эрленмейер Рихард Август Карл Эмиль (1825—1909) (Erlenmeyer, R.A. K. E.) *398*, *399*
Эрман Георг Адольф (1806—1877) (Ermann, G. A.) *197*
Эрмит Шарль (1822—1901) (Hermite, Ch.) *58*, *63*, *169*, *262*, *265*
Эррера Лео-Абрам (1858—1905) (Errera L.-A.) *373*
Эрстед Ханс Кристиан (1777—1851) (Oersted, H. Ch.) *192*
Этвеш Лоранд (Роланд) (1848—1919) (Eötvös, L.) *412*
Этьен (XVIII в.) (Etienne) *78*
Эшшольц Иоганн Фридрих (1793—1831) (Eschscholtz J. F) *217*

Юнг Томас (1773—1829) (Young T.) *95*
Юшкевич Павел Соломонович (1873—1945) *304*

Яблочков Павел Николаевич (1847—1894) *347*, *348*
Ядринцев Николай Михайлович (1842—1894) *444*
Языков Петр Михайлович (1798—1851) *209*
Якимов Василий Ларионович (1870—1940) *461*
Якоби Борис Семенович (Мориц Герман) (1801—1874) (Jacobi, M. H.) *149*, *192—196*, *198*
Якоби Карл Густав Якоб (1804—1851) (Jacobi, K. G. Ja.) *63*, *152*, *172*, *274*, *275*, *278*, *296*, *297*, *310*, *311*
Якобсон Георгий Георгиевич (1871—1926) *461*
Якубович Николай Мартынович (1817—1879) *245*
Ясинский Феликс Станиславович (1856—1899) *308*, *309*
Ястржембовский Н. Ф. 174
Ячевский Артур Артурович (1863—1932) *455*
Ячевский Леонард Антонович (1858—1916) *419*

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ (*С. Р. Микулинский*) 3

Часть первая

ЕСТЕСТВОЗНАНИЕ В РОССИИ в XVIII веке

Глава 1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ в XVIII веке (*Б. Г. Кузнецов, С. Р. Микулинский*) 7

Глава 2. СОЗДАНИЕ ПЕТЕРБУРГСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК И ЕЕ РОЛЬ В РАЗВИТИИ ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ в XVIII веке (*Ю. Е. Копелевич*) . . . 30

Глава 3. МАТЕМАТИКА (*А. П. Юшкевич, Б. А. Розенфельд*) 47

Глава 4. МЕХАНИКА (*А. Т. Григорьян*) 67

Глава 5. АСТРОНОМИЯ (*И. И. Невская*) 76

Глава 6. ФИЗИКА (*О. А. Лежнева*) 91

Глава 7. ХИМИЯ (*Ю. И. Соловьев*) 106

Глава 8. ГЕОЛОГИЯ (*И. В. Батюшкова*) 115

Глава 9. ГЕОГРАФИЯ (*Г. В. Наумов*) 121

Глава 10. БИОЛОГИЯ (*Л. Я. Бляхер*) 130

Часть вторая

ЕСТЕСТВОЗНАНИЕ В РОССИИ в XIX веке (до 60-х годов)

Глава 11. ИСТОРИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ И ОСОБЕННОСТИ РАЗВИТИЯ ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ В РОССИИ в XIX веке (до 60-х годов) (*С. Р. Микулинский*) . . 137

Глава 12. МАТЕМАТИКА (*А. П. Юшкевич, Б. А. Розенфельд*) 150

Глава 13. МЕХАНИКА (*А. Т. Григорьян*) 171

Глава 14. АСТРОНОМИЯ (*И. И. Невская*) 176

Глава 15. ФИЗИКА (*О. А. Лежнева*) 188

Глава 16. ХИМИЯ (*Ю. И. Соловьев*) 199

Глава 17. ГЕОЛОГИЯ (*И. В. Батюшкова*) 206

Глава 18. ГЕОГРАФИЯ (*Г. В. Наумов*) 214

Глава 19. БИОЛОГИЯ (*С. Р. Микулинский*) 224

Часть третья

ЕСТЕСТВОЗНАНИЕ В РОССИИ с 60-х годов XIX века до 1917 года

Глава 20. ХАРАКТЕРИСТИКА ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ во второй половине XIX века (до середины 90-х годов) (*Б. М. Кедров*) 248

Глава 21. МАТЕМАТИКА (*А. П. Юшкевич, Б. А. Розенфельд*) 260

Глава 22. МЕХАНИКА (*А. Т. Григорьян*) 296

Глава 23. АСТРОНОМИЯ (*Г. М. Идлис*) 319

Глава 24. ФИЗИКА (*Я. Г. Дорфман*) 334

Глава 25. ХИМИЯ

Общая и неорганическая химия (*Ю. И. Соловьев*) 365

Органическая химия (*Г. В. Быков*) 392

Глава 26. ГЕОЛОГИЯ (*И. В. Батюшкова, И. В. Круть*) . 412

Глава 27. ГЕОГРАФИЯ (*Г. В. Наумов*) 428

Глава 28. БИОЛОГИЯ (*Л. Я. Бляхер*) 451

Глава 29. ОСОБЕННОСТИ ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ конца XIX — начала XX века (*Б. М. Кедров*) 481

ЛИТЕРАТУРА 494

СПИСОК ИЛЛЮСТРАЦИЙ 508

УКАЗАТЕЛЬ ИМЕН 511

РАЗВИТИЕ ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ В РОССИИ

(XVIII — начало XX века)

Утверждено к печати
Институтом истории естествознания и техники
Академии наук СССР

Редактор
Т. М. Галицкая

Редактор издательства
Д. В. Петрова

Художник
Л. С. Эрман

Художественный редактор
А. И. Жданов

Технический редактор
И. С. Кашина

Корректоры
В. А. Шварцер, И. С. Шерман

Сдано в набор 18/VIII-1976 г.
Подписано к печати 28/IV-1977 г.
Формат 70×100¹/₁₆. Бумага для глубокой печати.
Усл. печ. л. 43,86. Уч.-изд. л. 44. Тираж 3250.
Т-00688. Тип. зак. 1118.

Цена 4 руб.

Издательство «Наука»
117485, Москва, Профсоюзная ул., 94-а,
2-я типография издательства «Наука»,
121099, Москва, Г-99, Шубинский пер., 10

