

П - 167/2

АКАДЕМИЯ НАУК СССР

ИЗВЕСТИЯ  
СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ  
АКАДЕМИИ НАУК  
СССР

1

НОВОСИБИРСК

1960

# ИЗВЕСТИЯ СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ АКАДЕМИИ НАУК СССР

1

ГОРБС Г.

ИЗДАТЕЛЬСТВО  
СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ  
АКАДЕМИИ НАУК СССР  
1960

## СОДЕРЖАНИЕ

Развитие науки в Сибирском отделении АН СССР . . . . .	3
<i>ТЕХНИЧЕСКИЕ И ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ</i>	
А. К. Дюнин. Опытные исследования закономерностей метелей . . . . .	17
Н. И. Малинин. О механизме усталостной релаксации высокополимеров . . . . .	33
Ч. Г. Мустафин [Б. П. Соколов]. О выборе поля допусков на размеры шагов и определение рациональных зазоров между опорными поверхностями зубьев многоопорных хвостовых соединений рабочих лопаток турбин . . . . .	41
Ю. В. Троицкий. Экспериментальная проверка работы электронной пушки в магнитном поле, направленном вдоль траекторий электронов . . . . .	56
Р. Г. Карымов. О влиянии волновых процессов на статическую устойчивость настроенных электропередач . . . . .	61
<i>ХИМИЯ</i>	
С. С. Бацаинов. Структурно-химические проблемы теории электроотрицательностей . . . . .	68
А. Д. Соцков. Диффузия в гетерогенных системах . . . . .	84
А. В. Коршунов, А. А. Коловский. Спектры комбинационного рассеяния света малых частот кристаллов некоторых квасцов . . . . .	98
<i>БИОЛОГИЯ</i>	
В. П. Мартынов. Некоторые данные о почвах байкальских горных степей . . . . .	103
З. Д. Кузнецова. О групповом составе частиц менее 0,01 мм в лугово-черноземной и серых лесных почвах Томской области . . . . .	114
К. М. Малышева. О физиологическом действии введенных в лист растворов минеральных веществ . . . . .	120
И. П. Щербачев, Р. В. Чугунова. О классификации гарей в юго-западной и центральной Якутии . . . . .	127
<i>КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ</i>	
Г. Ф. Тигин, В. В. Каменский. Получение графика движения с помощью кино съемочной камеры СКС-1М . . . . .	137
Л. М. Бурлакова. Формы фосфора в серых лесных и черноземно-луговых почвах Томской области . . . . .	138
<i>КРИТИКА И БИБЛИОГРАФИЯ</i>	
Актуальные вопросы развития сельского хозяйства Среднего Приагарья. Н. Н. Казанский . . . . .	144
<i>ХРОНИКА</i>	
Первое научное совещание географов Сибири и Дальнего Востока. В. В. Воробьев, К. П. Космачев . . . . .	147

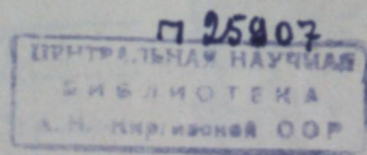
## РАЗВИТИЕ НАУКИ В СИБИРСКОМ ОТДЕЛЕНИИ АН СССР

XXI съезд Коммунистической партии Советского Союза начертал величественную программу построения коммунистического общества в нашей стране, наметив конкретные пути создания материально-технической базы коммунизма. Особое значение в семилетке 1959—1965 гг., с целью правильного размещения производительных сил, придается восточным районам страны, на развитие которых планируется около 40% всех новых капиталовложений. Эти средства должны быть направлены на сооружение предприятий, особенно по добыче нефти и газа, выработке электроэнергии, расширению выпуска новых химических продуктов. Именно здесь вложенные средства смогут дать наибольший экономический эффект благодаря исключительно удачному сочетанию ресурсов материального сырья и огромных запасов энергии (уголь, гидроэнергия, газ). К концу семилетки Сибирь должна превратиться в крупнейшую базу СССР по добыче угля, производству электроэнергии, выпуску легких металлов (алюминий, магний, титан) и сплавов, а также редких металлов высокой чистоты, выпуску синтетических полимерных материалов (пластические массы, синтетический каучук, синтетическое искусственное волокно).

Наряду с промышленностью в Сибири и на Дальнем Востоке намечено широкое развитие сельского и лесного хозяйства. Здесь сосредоточено более 75% всех лесных богатств СССР, расположены огромные массивы целинных и залежных земель.

Огромную роль в осуществлении семилетки призвана сыграть передовая советская наука. В резолюции XXI съезда КПСС по докладу Н. С. Хрущева «О контрольных цифрах развития народного хозяйства СССР на 1959—1965 годы» говорится: «...Отмечая огромные достижения советской науки во всех областях знаний, особенно в области ядерной физики и атомной энергетики, реактивной авиации и ракетной техники, съезд считает необходимым достичь в течение семилетки еще более быстрого развития всех отраслей науки, осуществления важных теоретических исследований, обеспечивающих дальнейший научно-технический прогресс. С этой целью предусмотреть широкую программу научно-исследовательских работ, сосредоточив научные силы и средства на важнейших направлениях, имеющих практическое и теоретическое значение. Надо постоянно укреплять связи научных учреждений с практикой, широко и быстро внедрять в народное хозяйство новейшие достижения науки и техники, смелее вести экспериментальную и конструкторскую работу».

В выполнении грандиозных задач быстрого пробуждения производительных сил Сибири и Дальнего Востока ведущую роль призвано сыграть Сибирское отделение Академии наук СССР, организованное в мае 1957 г. по постановлению Совета Министров СССР. В настоящее время Сибирское отделение АН СССР является крупнейшим научным центром на Востоке страны: оно объединяет в своем составе около 20 научно-исследовательских институтов, расположенных в Научном



### РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Д-р. хим. наук В. Т. Быков, член-корр. Т. Ф. Горбачев (зам. главного редактора), д-р физ.-мат. наук Л. В. Киренский, д-р техн. наук К. Н. Коржавин, канд. экон. наук В. А. Кротов, член-корр. А. В. Николаев, член-корр. И. И. Новиков, член-корр. Г. А. Пруденский, акад. С. Л. Соболев (главный редактор), д-р. биол. наук К. А. Соболевская.

Адрес редакции: г. Новосибирск, ул. Советская, 20.

городке и в самом г. Новосибирске: Институт математики с Вычислительным центром, Институт гидродинамики, Институт теоретической и прикладной механики, Институт ядерной физики, Институт теплофизики, Институт автоматики и электрометрии, Институт неорганической химии, Институт органической химии, Институт катализа, Институт химической кинетики и горения, Институт геологии и геофизики, Институт цитологии и генетики, Институт экспериментальной биологии и медицины, Институт экономики и организации промышленного производства, Институт радиофизики и электроники, Институт горного дела, Транспортно-энергетический институт, Химико-металлургический институт, биологический институт и Центральный Сибирский ботанический сад; Восточно-Сибирский филиал и 4 института: Восточно-Сибирский геологический, географии, геохимии и органической химии в Иркутске; Якутский филиал; Дальневосточный филиал во Владивостоке; Институт физики и Институт леса и древесины в Красноярске; а также комплексные научно-исследовательские институты — Бурятский в Улан-Удэ и Сахалинский в г. Ново-Александровске.

В составе научных учреждений Сибирского отделения работает 10 академиков и 27 членов-корреспондентов АН СССР, более семидесяти докторов наук и свыше пятисот кандидатов наук.

В 1959 г. усилия ученых Сибири и Дальнего Востока были направлены на решение 131 научной проблемы. Реализуя указания XXI съезда КПСС о концентрации научных сил и средств на важнейших направлениях, Президиум Сибирского отделения АН СССР в истекшем году выделил ведущие проблемы, подлежащие разработке в течение семилетия 1959—1965 гг. Работы Отделения должны протекать в русле основных научных направлений советской науки, определенных Общим собранием Академии наук СССР в марте 1959 г. По 23 направлениям учеными Сибири и Дальнего Востока будут разрабатываться в семилетке 64 важнейших проблемы в области физико-математических и технических, химических, геолого-географических, биологических, экономических и философских, исторических и филологических наук.

В области физико-математических и технических наук ученые Сибирского отделения будут решать ряд принципиальных научных задач, имеющих серьезное теоретическое и практическое значение.

Под руководством чл.-корр. АН СССР Г. И. Будкера будут производиться изучение возможности осуществления регулируемых термоядерных реакций, разработка ускорителей элементарных частиц и исследования в области физики частиц сверхвысоких энергий на ускорительных установках. Совместно с Физическим институтом им. П. Н. Лебедева АН СССР производятся исследования вариаций интенсивности космических лучей и изучение взаимодействия частиц высокой энергии с ядрами атомов воздуха. Результаты этих работ позволяют ближе подойти к пониманию строения ядра и овладеть ядерными процессами, далеко выходящими за рамки проблем атомной энергетики сегодняшнего дня, а также расширить знания о процессах, развивающихся в межпланетном пространстве, на Солнце, в магнитном поле Земли и в атмосфере.

Под руководством акад. Ю. Н. Работнова и чл.-корр. АН СССР Э. И. Григолюка будут изучаться вопросы прочности при высоких температурах и динамической прочности. В связи с повышением рабочих параметров энергетических установок, развитием высокоскоростной авиации, наряду с изысканием новых жаропрочных материалов, особую важность приобретает изучение характера и причин разрушения изделий при высоких температурах. Создание законченной теории деформирования и разрушений в этих условиях позволит разработать методы расчета на прочность при высоких температурах применительно к турбо-

строению, рекомендации наивыгоднейших конструктивных форм изделий. Зависимость прочности от действия ударных нагрузок, воздействия на конструкцию потока жидкости или газов явится предметом изучения динамической прочности. В результате должна быть изучена усталость металлов и пластмасс в условиях сложного напряженного состояния. Кроме того, будут исследоваться особенности механической прочности сталей и пластических материалов при различных температурах, в частности до  $-70^{\circ}$ , для выяснения условий проявления хрупкости и хладноломкости материалов и деталей в условиях глубокого естественного холода Сибири.

Под руководством д-ра физ.-мат. наук Л. В. Киренского будут изучаться магнитные свойства ферромагнетиков и новые магнитные материалы, в частности, ферриты и тонкие ферромагнитные пленки, разрабатываться новые методы радиоспектроскопии и эмиссионного спектрального анализа с целью создания надежных и быстрых методов контроля технологического процесса извлечения редких и цветных металлов.

Проблемы энергетики ученые Сибирского отделения разрабатывают по нескольким вопросам. Под руководством чл.-корр. АН СССР И. И. Новикова, д-ра техн. наук С. С. Кутателадзе и д-ра физ.-мат. наук П. Г. Стрелкова должны быть развиты основные положения теории кризисов в кипящем пограничном слое, теории теплообмена в запыленных потоках и полуэмпирической теории турбулентного переноса тепла в жидкометаллических теплоносителях. На этой основе будет решен ряд конкретных задач по теплообмену и аэродинамике в отраслях новой техники, использующих повышенные тепловые потоки: в камерах сверхмощных паровых котлов, в теплообменных установках металлургической и химической промышленности, в элементах турбомашин и др. Будут созданы методы и экспериментальные установки для определения термодинамических и теплофизических свойств (энтальпия, плотность, вязкость, теплопроводность и др.) различных теплоносителей — жидкие металлы, органические соединения и т. д. — особенно при низких и повышенных температурах от  $1,5^{\circ}$  К до  $1100^{\circ}$  К, в том числе поставлены спектроскопические исследования в различных областях спектра с целью последующего расчета статистическими методами термодинамических функций продуктов химических реакций горения и синтеза. Будут разрабатываться основы методов и созданы первые образцы установок для измерения теплофизических свойств при температурах до  $2500^{\circ}$  К.

Акад. С. А. Христианович, чл.-корр. АН СССР А. А. Ковальский, д-р техн. наук Л. С. Козаченко руководят работами по созданию парогазовых турбинных установок большой мощности, в которых горение должно осуществляться при давлении 60—80 атм, рабочим телом будет служить парогазовая смесь. Ожидается, что стоимость электростанции с парогазовой турбинной установкой большой мощности будет примерно в два раза меньше стоимости электростанции с паротурбинной установкой такой же мощности, при этом к.п.д. парогазовой турбинной установки ожидается равным к.п.д. лучших паротурбинных установок. Решение этой задачи потребует исследований процесса горения на различных режимах, в частности, турбулентного горения, процесса испарения, изучения скорости распространения пламени в потоке и ряда других практических вопросов.

Научные основы создания и развития единой энергетической системы Сибири разрабатывают под руководством д-ров техн. наук В. К. Щербакова, К. Н. Коржавина и д-ра геогр. наук Д. И. Абрамовича. Эта

проблема имеет особое значение, так как за семилетие выработка электроэнергии в восточных районах страны составит 45% от общей выработки по СССР. Будут обоснованы варианты схемы структуры ЕЭС Сибири и ее связи с системами Урала, Казахстана и Дальнего Востока. Для специфических условий Сибири будут разработаны теория, схемы и параметры сверхдальних передач на 2000—3000 км с учетом особенностей климата. Для крупных водохранилищ Сибири будут разработаны мероприятия по регулированию гидрологического и ледотермического режимов, в частности, решаются вопросы пропуска ледохода через плотину Братской ГЭС. Эти исследования проводятся в тесном содружестве с Энергетическим институтом АН СССР и совнархозами Сибири.

В связи с интенсивным строительством в Сибири электростанций очень важно исследовать гидродинамику крупных и высоконапорных энергетических гидроузлов, особенности их работы в местных условиях. Специфика природных условий, огромные мощности гидроузлов и большие высоты плотин сибирских гидроэлектростанций, по сравнению с построенными гидроэлектростанциями в других частях СССР, приводят к возникновению новых гидравлических явлений: интенсивной аэрации потока, образованию вакуума, а в связи с последним к возникновению кавитации, вызывающей повреждение сооружений. При больших напорах гидроузлов для судопропускных сооружений экономически целесообразней строить не шлюзы, а вертикальные или наклонные судоподъемники, гидродинамические особенности которых еще нуждаются в серьезном исследовании. Эти работы проводятся под руководством акад. П. Я. Кочкиной.

Ряд институтов и филиалов отделения, в координации с Отделением технических наук АН СССР и с ГНТК Совета Министров СССР, занимается изучением вопросов комплексного использования углей Сибири и Дальнего Востока для энергетики, металлургии и химии. Создание в Сибири третьей металлургической базы страны, широкое развитие химической промышленности и строительство здесь крупных тепловых электростанций диктует необходимость объединения усилий химиков и теплотехников в вопросах организации производства доменного кокса из газовых и слабоспекающихся углей, обладающих наибольшими выходами бензола и других химических веществ для нужд синтетической промышленности, в вопросах газо-энерго-химического использования энергетических каменных и бурых углей (выдача электроэнергии, высококалорийного газа и сырья для химических производств), эффективного сжигания углей применительно к мощным электростанциям, к газовым и парогазовым турбинам.

В области математики под руководством акад. С. Л. Соболева и акад. И. Н. Векуа будут разрабатываться общая теория дифференциальных уравнений в частных производных и ее практические применения, при этом предполагается значительно расширить общую теорию краевых задач и, в частности, определить возможные новые области применения теории для потребностей сегодняшнего дня: применение математических методов в гидрометеорологии, математическое предсказание изменений уровня рек и т. д. Математики совместно с чл.-корр. АН СССР К. Б. Карандеевым, чл.-корр. АН СССР В. Н. Авдеевым и коллективами промышленных предприятий Новосибирска будут заняты развитием кибернетики и математической логики, созданием новых типов вычислительных машин для геофизических, медицинских и других исследований. Предполагается значительно увеличить быстродействие математических машин и их надежность, уменьшить их габариты и потребляемую мощность.

В области радиоэлектроники под руководством д-ра физ.-мат. наук Ю. Б. Румера разрабатываются методы генерирования, усиления и преобразования электромагнитных колебаний сверхвысоких частот, проводятся теоретические и экспериментальные исследования излучающих систем и элементов волноводного тракта. В результате этих исследований должны быть разработаны электронные приборы, которые найдут применение в радиоастрономии, радиометеорологии, радиорелейной и волноводной связи в сантиметровых и миллиметровых диапазонах. Полученные результаты помогут созданию мощных радиотелескопов, антенн направленного действия и различных других электронных приборов. Под руководством чл.-корр. АН СССР В. Н. Авдеева производятся работы по увеличению разрешающей способности приемно-усилительной электроники в направлении уменьшения потребляемой мощности и увеличения измеряемого диапазона токов и напряжений. В частности, ставится задача создания электронных логических ячеек, которые могли бы заменить в вычислительных машинах, радиотехнике, автоматике и телемеханике не только радиолампы и полупроводники, но и исключили бы применение большого количества радиодеталей.

Претворению в жизнь решений партии об автоматизации производств служит участие Сибирского отделения в решении общеакадемической проблемы «Научные основы автоматизации производственных процессов». Чл.-корр. АН СССР К. Б. Карандеев руководит исследованиями характеристик автоматизируемых процессов (в радиотехнической, химической промышленности) и разработкой алгоритмов управления этими процессами; изучением вопросов повышения экономичности, быстродействия и надежности систем управления, разработкой и применением счетно-решающих устройств в системах автоматизации производственных процессов. Для целей связи, телемеханики и автоматики в горном деле совершенствуется применение токов высокой частоты. Будут разрабатываться более совершенные принципы автоматического контроля, методы и средства преобразования и передачи информации с целью создания измерительных устройств высокой точности для систем автоматического управления и научных исследований.

Вопросами использования взрыва в народном хозяйстве занимается коллектив ученых под руководством акад. М. А. Лаврентьева. В результате работы ожидается расширение области применения взрывов в народном хозяйстве: для вскрышных работ при организации открытых разработок полезных ископаемых, углубления русла рек и прокладки каналов, устранения ледовых перемычек в районе Северного морского пути и на реках Сибири, подводных скалоуборочных работ и других целей. Путем решения ряда задач в области гравитационных волн и пространственных течений предполагается указать способы прогнозирования цунами, дать рекомендацию по судовождению в связи с подводными волнами и течениями. Последними работами, совместно с М. А. Лаврентьевым, руководят акад. П. Я. Кочина и д-р техн. наук. Г. С. Мигиренко.

Исследованием процесса обтекания тел при очень больших скоростях и температурах руководит акад. С. А. Христианович. Этот вопрос имеет принципиальное значение для полета тел с большими сверхзвуковыми скоростями. Интенсивные теоретические и экспериментальные исследования проблем магнитогидродинамики, рассмотрение процессов теплового излучения, диссоциации и ионизации должны обеспечить расчет оплавления тел, входящих в атмосферу Земли, помочь созданию в металлургии высокотемпературных сплавов и покрытий, наносимых на основной материал.

Изучение проблем горной механики и горного давления, создание эффективных систем разработки угольных и рудных месторождений производят коллективы ученых под руководством акад. С. А. Христиановича, чл.-корреспондентов АН СССР Н. А. Чинакала и Т. Ф. Горбачева. Эти работы позволят усовершенствовать существующие и изыскать новые способы, системы и методы добывания углей и руд в Кузбассе и Западной Сибири, механизировать выемку углей и слабых горных пород, разработать основы борьбы с пылью в шахтах и проветривания шахт Сибири. Будут даны научно обоснованные методы расчета горного давления с целью предложения новых методов эксплуатации угольных месторождений, в частности, связанных с гидродобычей и внезапными выбросами; будет разработана теория механизма выбросов угля и газа, теория гидроразрывов пластов. Все это позволит создать более эффективные и обоснованные методы ведения горных работ.

С горным делом связана также разработка проблем разрушения и бурения горных пород, которой руководят акад. М. А. Лаврентьев, чл.-корр. АН СССР Н. А. Чинакал и канд. техн. наук Б. В. Суднишников. В результате работ предполагается создание теории бурильных машин, развитие методов расчета и создание новых типов станков и рабочих органов для бурения скважин в подземных условиях и на открытых разработках. Новые машины должны обеспечить резкое повышение производительности по сравнению с существующей. Должны быть разработаны также принципы получения высокоскоростных водяных струй, создание элементов теории разрушения горных пород при гидродобыче и с применением взрывов. Совместно с Институтом горного дела АН СССР Сибирское отделение разрабатывает технологические схемы извлечения редких и цветных металлов попутно с железом из железорудных месторождений, извлечения ценных компонентов из углей и золы Кузбасса, ведет работу по созданию методов и схем обогащения шламов тонких частиц различных месторождений.

В области химических наук внимание ученых Сибири и Дальнего Востока будет сконцентрировано на решении задач, поставленных майским (1958 г.) Пленумом ЦК КПСС и XXI съездом партии.

По химии высокомолекулярных соединений исследования ведутся под руководством членов-корреспондентов АН СССР Н. Н. Ворожцова, Г. К. Борескова, В. В. Воеводского и д-ра хим. наук М. Ф. Шостаковского. Усилия ученых будут сосредоточены на изыскании методов синтеза фторсодержащих ароматических мономеров и получении продуктов их полимеризации с целью синтеза ряда полифторпроизводных стирола; на использовании для синтеза сырья, имеющегося в избыточном количестве (соединения каменноугольной смолы), и на разработке способов приготовления новых кремнеорганических полимеров, обладающих термической устойчивостью, стойких к маслам и другим продуктам. Разработка научных основ подбора и приготовления катализаторов для получения мономеров и полимеров должна способствовать улучшению свойств катализаторов, используемых промышленностью в настоящее время (для синтеза ацетальдегида методом одностадийного окисления этилена, для усовершенствования катализаторов платформинга с целью получения ароматических углеводородов из парафиновых составляющих нефти). Одновременно будет производиться разработка методов регулирования структуры полимеров при каталитической полимеризации олефинов на твердых катализаторах; разработка каталитических и хемосорбционных методов тонкой очистки мономеров, растворителей и вспомогательных веществ, применяемых для синтеза полимеров (эти методы могут найти также применение для очистки техно-

логических газов, отходящих газов промышленности и выхлопных газов двигателей). Будут изучаться способы крашения искусственных волокон и синтез красителей для синтетических материалов, что должно привести к разработке рекомендаций по крашению капрона, анида и лавсана в массе. Для глубокого понимания вопросов синтеза высокомолекулярных соединений из мономеров, совместно с Институтом химической физики и другими учреждениями Отделения химических наук АН СССР, будет производиться разработка теории химического строения, кинетики и реакционной способности. В результате исследований будут изучены вопросы изменения механических свойств полимеров при облучении («сшивание» и деструкция), решены теоретические вопросы изомеризации органических соединений для синтеза некоторых мономеров, намечены пути приготовления катализаторов с заданными свойствами, предложены катализаторы для синтеза полимеров, представляющие собой комплексные металлоорганические соединения.

В вопросах химии природных и биологически важных соединений основное внимание будет уделено проблемам исследования лекарственных растений Сибири и Дальнего Востока (маралий корень, женьшень, лимонник и др.) и изучению химической природы их действующих начал. Будут разрабатываться также методы синтеза биологически активных соединений и физиологически активных веществ (ряд гомологов и замещенных триптофана), исследования кинетики и механизма образования белков — важнейших составляющих живых организмов, при этом ожидается разработка новых принципов получения препаратов, обладающих канцеролитическим действием. Эти исследования возглавляют чл.-корр. АН СССР Н. Н. Ворожцов и д-р хим. наук М. Ф. Шостаковский.

Изучением редких элементов, металлов и сплавов с особыми свойствами для новой техники руководят чл.-корреспонденты АН СССР А. В. Николаев, Г. Б. Бокий, д-р хим. наук Б. В. Птицын и канд. техн. наук Т. В. Заболоцкий.

Комплексное использование сырья, поступающего на заводы цветной металлургии, усовершенствование существующих методов извлечения легких металлов, разработка схем комплексной переработки флюоритово-бериллиевых и ниобиево-танталовых руд с извлечением соединений редких элементов — вот далеко не полный перечень задач, которые надлежит решить в области природного сырья Сибири и Дальнего Востока. С целью получения высокочистых соединений редкоземельных элементов, серебра и золота будут усовершенствованы методы экстракции, высокотемпературной ректификации и зонной плавки. Развитие кристаллохимии неорганических веществ, связанное с изучением оптических, полупроводниковых, магнитных и других свойств, должно способствовать получению материалов для нужд новой техники.

В области радиохимии под руководством чл.-корреспондентов АН СССР А. В. Николаева и Г. К. Борескова будет производиться изучение широкого комплекса химических и физикохимических свойств соединений урана, плутония и нептуния с целью определения областей мирного применения атомной энергии. Должны получить широкое развитие исследования по радиационной химии для выяснения условий образования свободных радикалов при процессах облучения, для создания научных основ применения излучений при синтезе энергоемких химических веществ, для управления течением химических реакций и т. д.

С целью создания новых и интенсификации существующих технологических процессов в химической промышленности под руководством члена-корр. АН СССР Г. К. Борескова разрабатываются методы расчета и моделирования контактных аппаратов для создания научных основ

расчета заводских каталитических установок по результатам модельных испытаний без полувзаводских опытов (например, для получения окиси этилена). Под руководством д-ра хим. наук В. Т. Быкова и канд. техн. наук А. Т. Логвиненко будет производиться разработка физико-химических основ использования минерального сырья Сибири и Дальнего Востока для обоснования новых методов получения химических продуктов из солей, вяжущих строительных материалов из шламов и глин, титановых концентратов и металлических титана и магния из минералов Восточной Сибири; методов получения плавиковой кислоты, микроудобрений, фосфорных удобрений и сорбентов из сырья Дальнего Востока.

**В области геолого-географических наук** большие коллективы ученых Отделения под руководством академиков В. С. Соболева, А. А. Трофимука, А. Л. Яншина, чл.-корр. АН СССР Ю. А. Косыгина, Ю. А. Кузнецова, В. А. Кузнецова, Б. С. Соколова, Э. Э. Фотиади, Ф. Н. Шахова, Г. А. Хельквиста, д-ров геол.-мин. наук В. П. Казаринова, М. М. Одицова, И. С. Рожкова, Е. А. Радкевич, В. Г. Ткачук и канд. геол.-мин. наук Л. В. Таусона будут изучать закономерности размещения важнейших полезных ископаемых на территории Сибири и Дальнего Востока (нефть, газ, уголь, черные и цветные металлы, редкие и радиоактивные элементы, алмазы). Важность этих исследований особенно возрастет в связи с интенсивным вовлечением в хозяйственный оборот восточных районов СССР. Нефть, газ, а также богатые железные руды имеют при этом особое значение.

Совместно с ведомственными, научными и производственными организациями и учреждениями Министерства геологии и охраны недр СССР и вузами Сибири и Дальнего Востока будет изучаться строение и развитие земной коры в платформенных и геоклинальных областях Сибири и Дальнего Востока как теоретическая основа поисков полезных ископаемых, будут изучаться закономерности размещения отдельных видов полезных ископаемых с целью определения перспектив и направления поисков. В результате исследований будет дано теоретическое обоснование закономерностей размещения месторождений полезных ископаемых; дана рекомендация по направлению поисковых и разведочных работ; предложены новые типы карт и методы их составления.

По изучению современных эндогенных и экзогенных процессов (динамики склонов, вечной мерзлоты, подземных вод, вулканизма, землетрясений и др.), их влияния на инженерные сооружения и прогнозированию этих процессов проводятся исследования под руководством чл.-корреспондентов АН СССР Б. И. Пийпа, В. Н. Сакса, В. Б. Сочавы, Г. А. Хельквиста, Э. Э. Фотиади и профессоров А. А. Трескова и В. П. Солоненко.

Под руководством чл.-корр. АН СССР В. Б. Сочавы и проф. В. А. Кротова будет производиться изучение природных условий Сибири и Дальнего Востока, особенностей размещения ресурсов и их экономическая оценка. Постановка таких исследований должна служить организации планомерного картирования природных условий и ресурсов, обоснованию создания крупных промышленных баз на Востоке страны.

Над созданием новых геологических, геофизических и геохимических методов поисков и разведки полезных ископаемых работают ученые под руководством акад. А. А. Трофимука, чл.-корреспондентов АН СССР Э. Э. Фотиади, Ф. Н. Шахова, К. Б. Карандеева и канд. геол.-мин. наук Л. В. Таусона.

В связи с бурным развитием работ на закрытых территориях в настоящее время все большее значение приобретают вопросы совершен-

ствования существующих и разработки новых методов поисков и разведки полезных ископаемых, с использованием последних достижений в области ядерной физики, ультразвука, инфракрасного спектра и других физических явлений. Намечается детальное изучение состава полезных ископаемых, в том числе элементов примесей, для рекомендации методов полного использования минерального сырья. Будут усовершенствованы существующие геофизические методы и разработаны теоретические основы новых методов геохронологических исследований, интерпретации магнитных аномалий и данных сейсморазведки, электроразведки и исследований структур рудных полей.

**В области биологических наук** исследования будут проводиться во всех местах расположения научных учреждений Сибирского отделения.

Изучением физических, химических и структурных основ жизненных явлений и наследственности руководит д-р биол. наук И. Д. Романов. В этом плане намечено исследовать роль нуклеиновых кислот в передаче наследственной информации, в синтезе белков клеток животных и растительных организмов, изучить механизм митоза, выявить участвующие в этом процессе физические и химические силы.

Существенное развитие должны получить работы по изучению влияния ионизирующей радиации на наследственные структуры человека, млекопитающих и на развитие растений. Специально будет исследоваться биофизика клеток крови, предполагается дать физико-химическую характеристику качественного состава эритроцитов и количественную характеристику кинетики гемолиза. Предполагается передать в практическую медицину биофизический метод анализа крови в различных физиологических и патологических состояниях, а также разработать аппаратуру для проведения этих анализов.

Вопросами управления наследственностью и продуктивностью растений, животных и микроорганизмов, управления гетерозисом хозяйственно полезных животных и растений, повышением активности продуцентов антибиотиков занимаются коллективы, руководимые канд. биол. наук Д. К. Беляевым, д-ром с.-х. наук В. Б. Енкенем и д-ром биол. наук Д. Ф. Петровым. Намечается использовать приемы радиационной селекции, химические мутационные вещества для получения новых форм озимой пшеницы и других мутантов. На основе изучения явления гетерозиса планируется получение гибридной кукурузы для Сибири, триплоидной сахарной свеклы и полиплоидов эфиромасличных культур, гречихи и других культур. Получат дальнейшее развитие работы по генетике и селекции животных, использованию гетерозиса в животноводстве и экологической генетике животных. Будут изучаться особенности цитологии раковой клетки, изменения наследственной природы микроорганизмов. Определенное место отводится изучению апомиксиса у кукурузы и ряда других культурных растений, направлению дальнейшего усовершенствования селекционно-генетического учения И. В. Мичурина.

Работы по регенерации и трансплантации тканей производятся под руководством проф. И. К. Есиповой. В результате комплексного подхода к данной проблеме предполагается разработать новые гистологические, гистохимические, биохимические и иммунологические методики, с особым вниманием к субмикроскопическим изменениям, происходящим при регенерации в клетках и межклеточном веществе. В результате ожидается возможность предотвращения грубого склероза, более совершенная регенерация паренхиматозных элементов; будут получены данные для преодоления несовместимости органов и тканей при их пересадке из одного организма в другой.

Под руководством д-ра мед. наук Е. Н. Мешалкина будут изучать-

ся восстановительные и компенсаторные процессы в сердечно-сосудистой системе при ее важнейших заболеваниях и хирургических операциях. На основе изучения кровообращения у человека будут созданы новые методы диагностики, лечения и операционного вмешательства при заболеваниях сердечно-сосудистой системы. Под руководством канд. мед. наук В. Н. Никифорова разрабатывается краевая патология Сибири с преимущественным изучением вирусных инфекций и риккетсиозов, в результате чего будут рекомендованы меры борьбы с инфекционными заболеваниями. Предполагается также развернуть исследования по радиационной патологии с целью разработки мер профилактики и лечения лучевой болезни у человека.

Научные основы рационального использования почв Сибири в районах первоочередного освоения (Братско-Тайшетский гидроузел, Иркутская область, Барабинская лесостепь) разрабатывают коллективы ученых под руководством д-ра с.-х. наук Р. В. Ковалева и проф. В. Г. Зольникова. Обширный комплекс работ позволит вплотную подойти к вопросам классификации, географии и генезиса почв, изучению эрозионных процессов, микрофлоры и микроэлементов почв, их водного, температурного, солевого режима. На основе исследований будет произведено частичное уточнение земельных фондов и составлены почвенные карты ряда географических районов Сибири и Дальнего Востока.

Изучение флоры и растительности Сибири и Дальнего Востока, их географического размещения, обогащения, преобразования и исследования с целью повышения продуктивности лесов, создания прочной кормовой базы и изыскания нового лекарственного сырья производятся под руководством д-ров биол. наук К. А. Соболевской, Т. Г. Поповой и д-ра с.-х. наук А. Б. Жукова. Предстоит получить важный материал по характеристике растительного покрова кормовых угодий и лесной зоны, повышению продуктивности и сокращению возобновительного периода лесов, изыскать пути коренного улучшения засоленных и заболоченных лугов, разработать приемы озеленения городов Сибири; вывести новые для Сибири виды и сорта овощных, зерновых и плодово-ягодных растений, провести геоботаническое картирование части Якутской АССР и Дальнего Востока. На основе специальных исследований будут рекомендованы пути размножения и способы использования дикорастущих растений в народном хозяйстве.

Изучение физиологических основ устойчивости растений, путей ее повышения с целью увеличения продуктивности сельскохозяйственных культур в условиях Сибири и Дальнего Востока проводится под руководством д-ра биол. наук Ф. Э. Реймерса, канд-ов биол. наук В. Ф. Альтергота и И. Ф. Беликова. Предполагается разработка методов активного воздействия на урожай, методов повышения холодо-, жаро- и зимостойкости растений, разработка методов увеличения урожайности картофеля в Якутии, рекомендаций по возделыванию овощей в суровых условиях района Тайшета, предложение новых видов растений как сырья для фармацевтической промышленности, рассмотрение особенностей усвоения растениями различных форм удобрений на почвах южной части Сахалина.

Исследование фауны Сибири и Дальнего Востока под руководством д-ров биол. наук А. И. Черепанова, А. И. Куренцова, С. У. Строганова предполагает изучение фауны по систематическим категориям, изучение биологии особо важных в практическом отношении видов (котик, калан, соболь, норка), изучение вопросов ихтиологии, биологии промысловых зверей и сельскохозяйственной энтомологии. В результате будут разработаны рекомендации по борьбе с вредителями лесного и сельского хо-

зяйства (сибирский шелкопряд, водяная крыса), составлены рекомендации охотохозяйствам, определены научные основы рыбоводства в Якутии и на Сахалине, подготовлены предложения по рациональному использованию пушных ресурсов Сахалинской области.

Разработка методов борьбы с гнусом в Сибири, проводимая комиссией под руководством прсф. В. И. Полтева, имеет важное значение для увеличения производительности труда человека в период массового распространения кровососущих насекомых. Предполагается выработать эффективные меры борьбы с гнусом, используя методы отпугивания, приманки и уничтожения кровососущих двукрылых и другие методы.

В области экономических наук под руководством чл.-корр. АН СССР Г. А. Пруденского изучаются резервы роста производительности труда и рационального использования трудовых ресурсов в отраслях тяжелой промышленности Сибири и Дальнего Востока. В связи с планируемым ростом производительности труда в этих районах в 1,5—2 раза выше, чем в среднем по СССР, эта проблема приобретает особо актуальное значение. Путем разработки методологии, составления отчетного и перспективного баланса трудовых ресурсов в территориальном разрезе и по ведущим отраслям промышленности (металлургической, машиностроительной, химической, горнодобывающей и лесной) ожидается получение перспективной (до 1972 г.) схемы использования трудовых ресурсов как научной основы для перспективного плана развития народного хозяйства на последующий период. Важным направлением в изучении резервов роста производительности труда будут служить разрабатываемые Институтом экономики новые методы анализа рабочего времени. Большое научное и практическое значение представляет предпринятое экономистами Сибири изучение внеурочного времени трудящихся. Уже в 1959 г. в ряде городов приступлено к разработке бюджетов времени трудящихся.

Все эти работы проводятся в тесном контакте с совнархозами и экономическими кафедрами вузов восточных районов страны.

Технико-экономической оценкой природных ресурсов и рациональным размещением производительных сил Сибири и Дальнего Востока занимаются ученые отделения, возглавляемые чл.-корр. АН СССР Н. Н. Некрасовым. Эти исследования должны обеспечить правильное размещение главных очагов развития тяжелой промышленности в соответствии с концентрацией природных ресурсов и дать научное обоснование предлагаемых для перспективного планирования крупных комплексных производственных баз. Это позволит научно обосновать оценку природных ресурсов Сибири и Дальнего Востока, их значимость для нашей страны.

Под руководством проф. В. Е. Еврейскова разрабатываются научные основы развития транспортной сети Сибири, предусматривающие в перспективе оценку развития в Западной Сибири и Красноярском крае всех видов транспорта: железнодорожного, водного, автомобильного, воздушного, трубопроводного. Ожидается выдача рекомендаций планирующим органам по развитию транспортной сети в указанных районах на перспективу до 1975—1980 гг.; соображений о рациональных перевозках руды, угля и леса, в связи с созданием третьей металлургической базы; методик проектирования защиты крупных объектов от снеговых заносов, защиты дорог от снеговых лавин и т. д. Работы проводятся в координации с Институтом комплексных транспортных проблем и другими институтами АН СССР.



**В области гуманитарных наук** Постоянная комиссия СОАН СССР по общественным наукам во главе с д-ром филос. наук И. И. Матвеевым направит свою работу на дальнейшее развитие теории и практики коммунистического воспитания в период развернутого строительства коммунизма в СССР.

Совместно с кафедрами философии вузов Сибири и Дальнего Востока будет начато изучение творческой практики масс на заводах, в колхозах, в учебных заведениях. Особое значение придается таким вопросам, как роль труда в коммунистическом воспитании, роль бригад коммунистического труда в стирании различий между физическим и умственным трудом, идейности как высшей форме личной заинтересованности и т. п. Большое внимание будет уделено вопросам коммунистической нравственности, проблемам научно-атеистического и эстетического воспитания трудящихся, являющимся неотъемлемой частью формирования коммунистического мировоззрения.

Постоянная комиссия будет координировать также работу кафедр истории вузов Сибири и Дальнего Востока по созданию фундаментального труда «История социалистического и коммунистического строительства в Сибири и на Дальнем Востоке», готовить ряд работ по истории Якутии, Кузбасса, по истории партийных организаций Новосибирской, Кемеровской, Иркутской областей и Красноярского края и другие работы.

Большую координационную работу предстоит провести Постоянной комиссии в области литературы и искусства социалистического реализма и их роли в коммунистическом воспитании, а также по проблемам русского языкознания, исследования национальных языков и диалектов народов Сибири и Дальнего Востока.

Перечисленные направления работ объединяют усилия не только ученых Сибирского отделения. По многим проблемам созданы научные советы, объединяющие в своем составе представителей Сибирского отделения, предприятий и совнархозов Сибири и Дальнего Востока, работников вузов и отраслевых научно-исследовательских институтов Новосибирска, Красноярска и других городов.

Для учета интересов различных областей и краев Сибири и Дальнего Востока планы исследований рассылаются всем совнархозам этих экономических районов, пожелания заинтересованных организаций учитываются и принимаются к реализации в планах учреждений Отделения. Аналогичная координация производится через Президиум АН СССР с отделениями Академии наук по специальностям, к сожалению, это делается односторонне: планы Сибирского отделения рассматриваются Отделением АН СССР, а Сибирское отделение остается в неведении о планах других Отделений. Имеются все основания считать, что в дальнейшем будет установлен более тесный взаимный обмен. Это позволит исключить возможный параллелизм в исследованиях и действительно сконцентрировать силы и средства на выполнение важнейших проблем, на что нас ориентируют решения XXI съезда КПСС.

С целью проведения в жизнь рекомендаций научных советов по проблемам Сибирское отделение начало издавать работы, посвященные актуальным вопросам. Так, в марте выпущены сборники докладов на совещании по проблеме взрыва, проходившем в феврале 1959 г. под руководством акад. М. А. Лаврентьева. Быстрая информация о новейших достижениях науки и техники должна служить ускоренному внедрению достижений науки в практику народного хозяйства.

Ученые Сибирского отделения широко проводят опытно-промышленную проверку или внедрение в производство результатов законченных научно-исследовательских работ. Если в 1959 г. по этому разделу выполнялась всего 41 работа, то в 1960 г. будут проходить опытно-промышленную проверку или внедрение уже более 60 работ из области технических, химических и биологических наук.

Например, Институтом автоматики и электрометрии представлена разработка комплекса аэроэлектроразведочной аппаратуры по схеме бесконечно длинного кабеля, позволяющая исследовать возможность залегания полезных ископаемых в труднодоступных районах страны с применением вертолета, что значительно сокращает время проведения планируемых электроразведочных работ. Институт радиофизики и электроники внедряет новый прибор «тирالیфтрон», являющийся важным для практики ионным преобразователем энергии; широкополосный усилитель типа лампы бегущей волны. Институт горного дела внедряет ряд работ: щитовую систему с гидроротбойкой угля; шатровый щит на катках для пластов наклонного падения; комбинированную камерно-щитовую систему разработки; самоходный станок БМ-150; буровой полуавтомат НКР-100 для бурения глубоких скважин в крепких рудах в подземных условиях; аппаратуру высокочастотной диспетчерской связи и телесигнализации в горнорудных шахтах и на городском электрическом транспорте — «Сибирь-59». Транспортно-энергетический институт внедряет новые снегозадерживающие средства, топку с механической цепной решеткой БЦР-М на речных судах и другие работы. Якутский филиал представил к внедрению работы по обогащению мелких классов алмазных концентратов, Сахалинский комплексный НИИ рационализацией схем обогатительных фабрик Сахалина уменьшил потери угольной мелочи в отходах, за счет чего получена экономия около 1 млн. руб. в год только на трех шахтах комбината «Сахалинуголь».

Химико-металлургический институт внедряет в производство ряд новых работ, наиболее важная из них — технология коксования газовых углей с предварительной термической подготовкой их в «кипящем слое». Восточно-Сибирский филиал организует получение акролеина каталитическим окислением пропилена, проверку в опытно-заводских условиях технологии гранулирования силлиманитовой и каолиновой шихты для выплавки кремний-алюминиевых сплавов и ряд других исследований. Дальневосточный филиал испытывает способ получения фосфорных удобрений на основе местного сырья, Сахалинский комплексный НИИ prepares местные вяжущие материалы из минерального сырья южной части Сахалина и внедряет другие работы, касающиеся химии.

Биологический институт внедряет новые методы борьбы с водяной крысой, являющейся вредителем сельскохозяйственных культур и разносчиком заболевания туляремией; комплексное применение на посевах яровой пшеницы внекорневых подкормок и средств химической борьбы с сорняками (гербицидов) позволит повысить урожайность зерна на 2 ц/га, и проводят другие работы. Центральный Сибирский ботанический сад внедряет новые формы плодово-ягодных и лекарственных растений и сельскохозяйственных культур. Опытные исследования в области биологии проводят Дальневосточный филиал и Сахалинский КНИИ.

В дальнейшем научные учреждения СОАН СССР значительно расширят свои деловые связи с промышленными и сельскохозяйственными предприятиями Сибири и Дальнего Востока.

В настоящее время учеными Сибирского отделения проводится большая работа по составлению генеральной перспективы развития народного хозяйства на 1960—1975 гг. и развитию всех отраслей науки на этот период. Специалисты всех отраслей знаний, в содружестве с партийными, советскими и производственными организациями сибирских и дальневосточных областей, краев, автономных республик и национальных округов, готовят для Академии наук СССР и Советского Правительства предложения по развитию производительных сил Сибири и Дальнего Востока, размещению центров угольной, металлургической, химической и других отраслей промышленности, районов освоения земель для сельского хозяйства и продвижения на север культурного земледелия. Разрабатываются вопросы развития научных исследований на 15-летний период в области физико-математических, технических, химических, геолого-географических, биологических, экономических и других общественных наук.

В перспективе будут решаться, например, такие задачи, как создание полностью автоматизированной шахты, работающей без людей, для чего требуется объединить усилия горняков, физиков, математиков, специалистов по электромеханике, автоматике, телемеханике; разработка путей применения сверхвысоких давлений (до 100 000 атм) и температур (до 10 000°) сулит много нового для химической промышленности и т. д.

Бурный рост числа и качества научных исследований в Сибири и на Дальнем Востоке немыслим без развития новых институтов и научных центров, их дальнейшего продвижения к востоку. Для новых научных учреждений потребуется иметь достаточное количество научных кадров. Поэтому в предложениях будет уточнено географическое расположение новых точек развития науки, указаны места организации в Сибири и на Дальнем Востоке новых научных центров и высших учебных заведений.

Исключительное внимание и помощь Сибирскому отделению АН СССР оказывают Советское правительство и ЦК КПСС. Видным событием в жизни Сибирского отделения явилось посещение Научного городка в Новосибирске Н. С. Хрущевым, его беседа с ведущими учеными и сделанные им советы и замечания по развитию научных исследований.

Расширение сети научных учреждений, укрепление связей ученых с производством, быстрее внедрение результатов научных исследований в народное хозяйство и культуру страны — в этом залог успешного развития науки на Востоке СССР — наш вклад в великое дело построения коммунизма. Ученые Сибирского отделения полностью оправдают доверие, оказанное им Коммунистической партией и Советским Правительством.

Редколлегия

А. К. ДЮНИН

## ОПЫТНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ МЕТЕЛЕЙ

В работе [1] излагались основы теории метелей. В данной статье дается обобщение опытных материалов.

Первые попытки количественного измерения метелевого переноса снега относятся к прошлому веку. Более 80 лет назад Э. Д. Злотницкий установил, что преимущественный перенос снега происходит в непосредственной близости к земной поверхности [2]. В 1883 г. А. Андре приборами, похожими на современные метелемеры, сделал на Шпицбергене первые измерения твердого расхода метелевого потока [3]. В последующем метелемерные измерения производились В. В. Кузнецовым [4], Н. Е. Долговым [5], Н. Н. Изюмовым [6]. Последний использовал сконструированный на Воденяпинской снегозаносной станции НКПС метелемер «ВО» с узкой горизонтальной приемной щелью [7]. Этот метелемер был применен также И. К. Зеленым [8], Д. М. Мельником [9], Л. М. Дановским [10] и другими исследователями, в том числе автором настоящей статьи.

За рубежом подобные измерения долго не производились. Лишь в последнее время появились сообщения Ф. Лоуи [11] и М. Сиотани [12] об отдельных измерениях твердого расхода метелей на ледяном барьере Антарктиды и в Японии.

Результаты значительной части выполненных разными исследователями единичных метелемерных наблюдений представлены на рис. 1. По ординатам отложены значения общего весового расхода снега  $Q$  в граммах в течение одной секунды через 1 м мысленно проведенной на земной поверхности линии, перпендикулярной к направлению потока. По оси абсцисс даны значения средних скоростей ветра  $v_{1,2}$  на высоте  $1 \div 2$  м.

Опытные точки сильно разбросаны по полю чертежа. Заметим, что до сих пор все попытки нахождения эмпирических функциональных связей между расходом снега  $Q$  и скоростью ветра  $v$  основывались не на единичных измерениях, а на осредненных данных, что весьма снижало теоретическую ценность этих попыток.

Можно указать на две основные причины большого разброса опытных точек. С одной стороны, расход снега  $Q$  зависит не только от скорости  $v$ , но и от иных, неучитывавшихся факторов. С другой стороны, сопоставлением метелемерных данных с одновременными отложениями снега за преградами установлено, что показания метелемера «ВО», как правило, в несколько раз занижены. Последнее объясняется влиянием корпуса метелемера на ветровой поток и выдуванием снега из метелемера.

Сотрудник Транспортно-энергетического института СОАН СССР Г. С. Маркевич предложила удлинить сопло метелемера «ВО», чтобы вывести приемную щель из зоны влияния корпуса. Как видно на рис. 1, при скоростях ветра  $v_1$  до 8 м/сек показания метелемеров с длинным

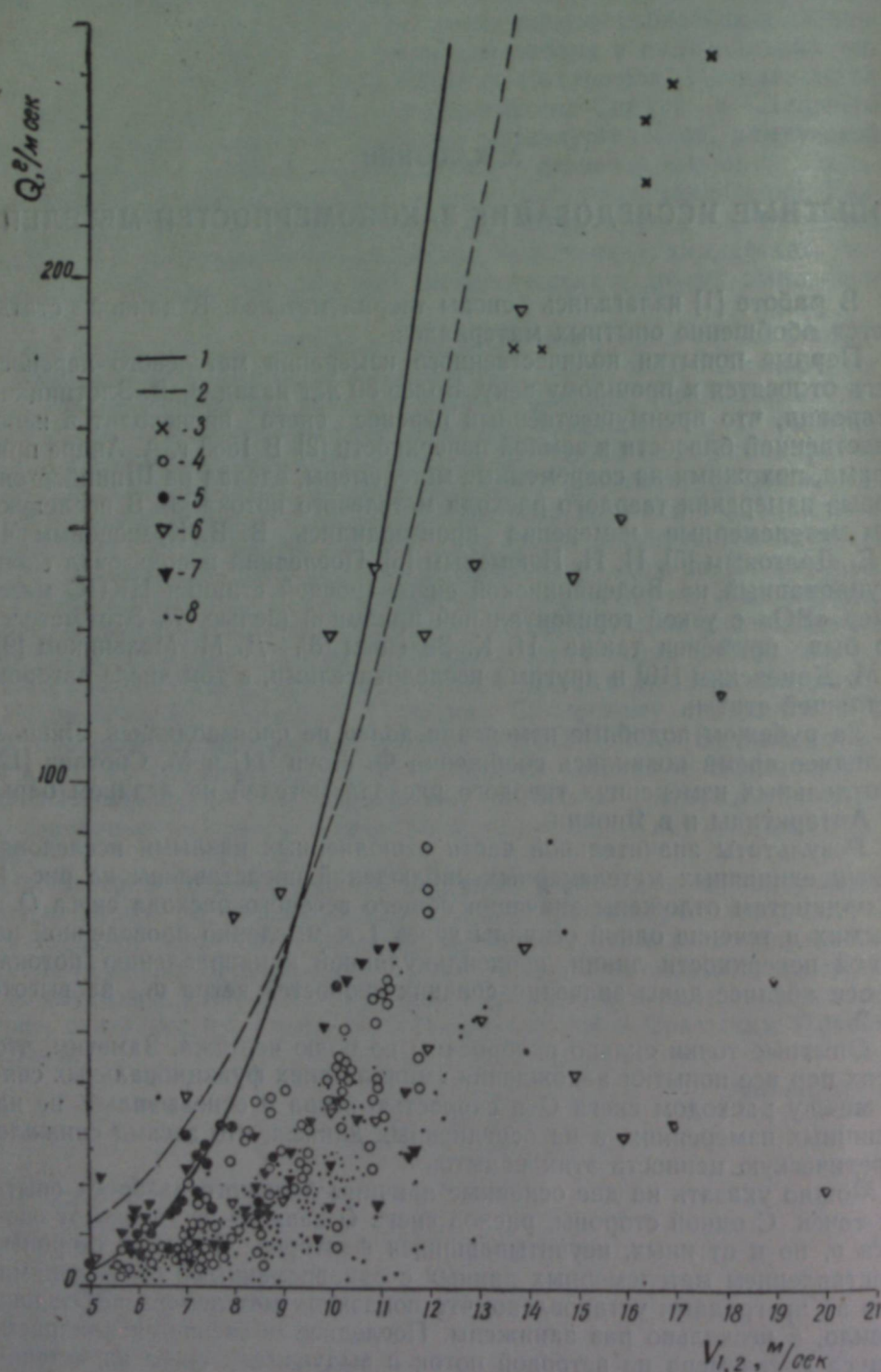


Рис. 1. Данные единичных метелемерных измерений снеготранспорта в зависимости от скорости ветра:

1 — теоретическая кривая [1], 2 — по формуле Д. М. Мельника, 3 — опытные данные Л. М. Дановского, 4 — данные ТЭИ СОАН СССР (метелемер с коротким соплом), 5 — данные ТЭИ СОАН СССР (метелемер с длинным соплом), 6 — данные И. К. Зеленого (Юкспор), 7 — данные Д. М. Мельника, 8 — данные Водениапинской станции МПС. Во всех случаях скорости ветра измерялись анемометрами на высоте 1–2 м от земли.

соплом выше, чем у обычных метелемеров. При более высоких скоростях усиливается выдувание снега из метелемеров.

Д. М. Мельник, сопоставив показания метелемеров с фактическими отложениями снега за снегозащитами, ввел для осредненных метелемерных данных поправочный коэффициент, равный 2, и дал эмпирическую формулу [9]:

$$Q = 0,0129 v_{11}^3, \text{ г/см мин}, \quad (1)$$

где  $v_{11}$  — скорость ветра по флюгеру на высоте 11 м.

В статье [1] была получена теоретическая формула:

$$Q = 0,685 (v_{0,05} - 2)^3, \text{ г/м сек}. \quad (2)$$

Соблюдая размерность и приняв  $v_{11} = 1,6 v_1$  и  $v_1 = 1,4 v_{0,05}$ , можно по формулам (1) и (2) построить кривые, изображенные на рис. 1. Из многих эмпирических формул, которые мы здесь не приводим, формула (1) оказалась наиболее близкой к теории. Расчеты, выполненные Д. М. Мельником, нами и М. Сиотани, показали ее применимость для грубой оценки размеров возможных снегоотложений по показаниям флюгеров метеорологических станций в условиях СССР и Японии [13, 14].

Поскольку метелемерные данные никак нельзя рассматривать в качестве экспериментальной основы для теории, нами в 1958–1959 гг., по-видимому, впервые были выполнены исследования лабораторного типа. В работе участвовали сотрудники Транспортно-энергетического института СОАН СССР Г. С. Маркевич и Н. Т. Мамаева.

Использовались закрытые аэродинамические каналы прямоугольного сечения с гладкими боковыми стенками из плексигласа. Один из этих каналов показан на рис. 2. Длина каналов 6,2–14,9 м вполне достаточна для стабилизации поля скоростей потока. Сечение варьировало от  $0,15 \times 0,15$  до  $0,32 \times 0,50 \text{ м}^2$ . Существенной разницы между результатами, полученными в трубах с узким и широким сечением, замечено не было, так как метель — типично поверхностное явление, и влияние гладких стенок не было существенным.

Воздушный поток создавался вентилятором, приводимым в движение мотором переменного тока. Скорость потока регулировалась шибером и заслонками.

Диффузор входил в большой короб, представляющий собой циклон с перегородками, на которых аккумуляровались взвешенные снеговые частицы. Скользящие частицы улавливались в съемный контейнер, прикрепляемый к дну канала.

Скорость потока измерялась пьезометрическими трубками. Каналы по длине разделялись на секции длиной по 30 см. Снег в каждой секции до и после продувки тщательно взвешивался.

Для определения концентрации снеговых частиц в единице объема воздуха применялись небольшие батометры, которыми можно было мгновенно отбирать пробы в различных точках потока. Распределение твердого расхода по высоте определялось с помощью хорошо обтекаемых коробок-расходомеров с щелевыми отверстиями, устанавливаемыми навстречу потоку.

На рис. 3 показано распределение твердого расхода  $q$  искусственного снеговоздушного потока по высоте  $x_3$  при скоростях  $v_{0,05}$ , измеренных на высоте 0,05 м и изменяющихся от 5,77 до 13,27 м/сек. На графике значения  $q$  отнесены к величинам  $q_0$ , где  $q_0$  — показания расходомера при его нахождении на снеговой поверхности.

Жирной сплошной линией проведена кривая, построенная автором



Рис. 2. Аэродинамический канал для исследования искусственной метели. Длина 6,8 м. Часть канала находится в закрытом холодном помещении. Диффузор вставлен внутрь циклона.

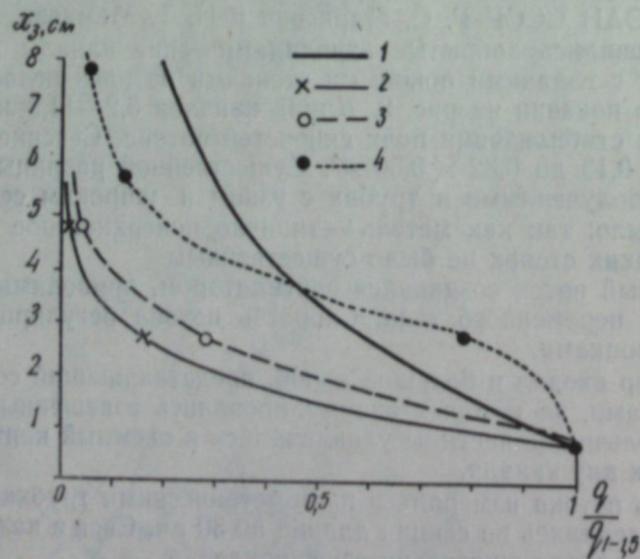


Рис. 3. Распределение твердого расхода снеговетрового потока по высоте.

1 — осредненные данные полевых метелемеров,  $v_{0,05} = 5,77$  м/сек, 2 — канал,  $v_{0,05} = 7,90$  м/сек, 3 — канал,  $v_{0,05} = 13,27$  м/сек, 4 — канал.

ранее [15] по осредненным метелемерным данным. Даже при очень больших скоростях потока, соответствующих скорости ветра 20—25 м/сек на уровне 1 м, подавляющая масса переноса происходит не в слое толщиной 10 см, как полагал Н. Н. Изюмов [6], а в слое еще более тонком. При увеличении скоростей ветра наблюдается подъем кривых  $q/q_0 = f(x_3)$ , что замечалось также В. Ванони в его опытах по переносу песка в гидротлке [16].

Структура снега изучалась нами ситовым методом и микрофотографированием фракций. Если при транспортировке песка в жидком потоке важную роль играет размер частиц, то для метелевого переноса влияние размера частиц малосущественно. Малые снежинки имеют более простую форму, приближающуюся к форме мелких песчинок; у снежинок больших размеров форма значительно усложняется, изменяется и объемный вес, что не может не сказаться на аэродинамических свойствах частиц. И. В. Литвиновым замечено, что гидравлическая скорость падения снеговых частиц в спокойном воздухе скорее зависит от их формы, чем от размеров [17]. Это подтверждено и нашими опытами.

Для начала метелевого переноса важное значение имеют свойства поверхности, вдоль которой происходит перенос. В табл. 1 приведены найденные автором значения скоростей ветра, соответствующие начальным стадиям переноса снега. Из таблицы видно, что в зависимости от состояния эродируемой поверхности скорости начала эрозии варьируют в широких пределах. В наиболее благоприятных для эрозии условиях скорость 2 м/сек в пограничном слое может уверенно считаться «неперемещающей скоростью».

Таблица 1

Скорости ветра, соответствующие началу переноса снега

Температура воздуха, °С	Средний размер частиц, мм	Состояние поверхности и форма снежинок	Скорость потока, м/сек, на высоте 0,05 м	Характер переноса
-18,6	0,20	Тонкий слой метелевых снежинок на ледяной поверхности	2,10	Смещение отдельных частиц
-18,5	—	Отдельные оплавленные звезды и пластинки на уплотненной и гладкой снеговой поверхности	2,40	»
-19,0	0,60	Тонкий слой звезд на гладкой деревянной поверхности	2,90	»
-17,8	0,70	Рыхлая поверхность, свежесвыпавшие звезды	2,90	Нет переноса
-17,0	0,66	»	2,90	»
-15,0	0,32	Тонкий слой метелевых частиц на гладкой металлической поверхности	2,91	Смещение отдельных частиц
-5,3	0,51	Рыхлая поверхность, оплавленные после оттепели звезды и пластинки	4,64	Нет переноса
-8,0	0,51	»	4,68	»
-7,2	0,46	»	4,93	»
-18,7	—	Толстый слой звезд на ледяной поверхности	5,83	Смещение отдельных частиц
-19,9	0,55	Рыхлая поверхность, пластинки	6,07	Начало массового переноса
-18,7	—	Монолит из сугроба с ненарушенной структурой	7,89	Смещение отдельных частиц
-18,5	—	Поверхность звездчатого снега уплотнена и приглажена	8,93	Вырывание отдельных частиц
-19,0	0,60	»	18,70	Смещение отдельных частиц
-18,5	—	»	26,40	Сильный перенос
-18,5	—	Ветровой наст	37,10	Нет видимого переноса

Интересно было проследить процесс реализации максимальной транспортирующей способности потока. При теоретическом решении задачи, данной в работе [1], мы получили критерий:

$$\Phi_4 = \frac{Q \ln \frac{0.05}{\delta}}{\rho (v_{0,05} - 2)}, \quad (3)$$

где  $\delta$  — средний размер фактических выступов шероховатости.

По мере развития метели, ветровой поток не сразу полностью насыщается снегом. Существует участок определенной длины  $x_p$ , на протяжении которого общий твердый расход метели и критерий  $\Phi_4$  достигают постепенно максимальных величин —  $Q_{\max}$  и  $\Phi_{4\max}$ . Длину этого участка мы условились называть длиной разгона метели. Р. А. Бэгнольд, наблюдавший в аэродинамическом канале перенос песка, также указывал на существование участков разгона, длина которых увеличивается пропорционально скорости потока [18]. Позднее это было замечено В. Чепилом и Р. Майлном, изучавшими ветровую эрозию почв [19].

Опытные кривые  $\Phi_4 = f(x_3)$  имеют довольно плавные очертания, и для их аналитического выражения можно предложить следующую эмпирическую формулу:

$$\Phi_4 = \Phi_{4\max} \cdot \sin^2 \frac{x_1}{2x_p} \pi, \quad (4)$$

где  $0 < x_1 < x_p$ .

Нашими опытами установлено, что длина разгона метели  $x_p$  зависит от температуры снега и воздуха, шероховатости эродируемой поверхности, воздействия ветра на эту поверхность, сублимационного твердения поверхностной корки, запасов эродируемого материала, степени загрязнения снега, солнечной радиации и т. д. Когда метель развивается на уплотненной, затвердевшей или приглаженной поверхности, главным фактором эрозии являются удары скачущих частиц. В начале участка разгона хорошо заметны следы этих ударов — маленькие кратерообразные углубления. Одна летящая с большой скоростью частица способна оторвать от поверхности, «выбить» несколько новых частиц, т. е. получается своеобразная цепная реакция, продолжающаяся до тех пор, пока не произойдет полное насыщение потока твердой фазой. Естественно ожидать, что чем лучше связаны между собой поверхностные частицы, тем медленнее будет происходить эта реакция.

В специальной серии опытов создавались наиболее благоприятные условия для эрозии. Снег, закладываемый в канал, тщательно просеивался через крупное сито с удалением смерзшихся комков. На рис. 4 показаны кривые прироста критерия  $\Phi_4$  по текущей длине канала  $x_1$ , отнесенной к числу  $\Phi_1$  [1], где

$$\Phi_1 = \frac{v_{0,05}}{2} - 1.$$

В подписи под рис. 4 охарактеризована каждая кривая с указанием скорости  $v_{0,05}$ , дефицита влажности воздуха  $\Delta p$  в мб, среднего размера частиц  $l_{ср}$  в мм, объемного веса снега  $\gamma$  в г/см<sup>3</sup> и температуры воздуха  $T$  в °С. Намечается отчетливая зависимость длины разгона метели  $x_p$  от температуры  $T$  при одинаково рыхлом снеге: чем выше температура, тем больше  $x_p$ . Это объясняется большей связанностью частиц снеговой поверхности при высоких температурах.

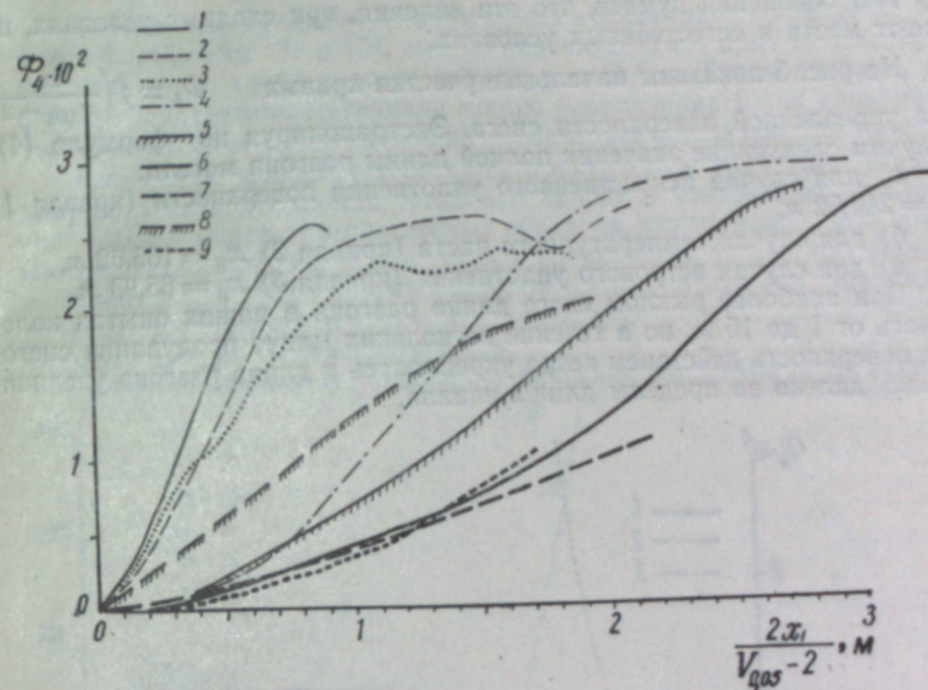


Рис. 4. Длина участка разгона метели при рыхлом снеге.

1 —  $v_{0,05} = 8,5$  м/сек,  $\Delta p = 0,272$  мб,  $l_{ср} = 0,66$  мм,  $\gamma = 0,201$  г/см<sup>3</sup>,  $T = -17,1^\circ$ ,  
 2 —  $v_{0,05} = 7,9$  м/сек,  $\Delta p = 0,381$  мб,  $l_{ср} = 0,28$  мм,  $\gamma = 0,304$  г/см<sup>3</sup>,  $T = -20,2^\circ$ ,  
 3 —  $v_{0,05} = 5,77$  м/сек,  $\Delta p = 0,232$  мб,  $l_{ср} = 0,29$  мм,  $\gamma = 0,300$  г/см<sup>3</sup>,  $T = -22,5^\circ$ ,  
 4 —  $v_{0,05} = 11,0$  м/сек,  $\gamma = 0,28$  г/см<sup>3</sup>,  $T = -11^\circ$ , 5 —  $v_{0,05} = 12,31$  м/сек,  $\gamma = 0,30$  г/см<sup>3</sup>,  
 $T = -7,6^\circ$ , 6 —  $v_{0,05} = 9,23$  м/сек,  $\gamma = 0,325$  г/см<sup>3</sup>,  $T = -11^\circ$ , 7 —  $v_{0,05} = 7,9$  м/сек,  
 $\Delta p = 0,329$  мб,  $l_{ср} = 0,72$  мм,  $\gamma = 0,139$  г/см<sup>3</sup>,  $T = -7,9^\circ$ , 8 —  $v_{0,05} = 8,15$  м/сек,  
 $\Delta p = 0,255$  мб,  $l_{ср} = 0,72$  мм,  $\gamma = 0,146$  г/см<sup>3</sup>,  $T = -15,6^\circ$ , 9 —  $v_{0,05} = 10,11$  м/сек,  
 $\Delta p = 0,406$  мб,  $\gamma = 0,168$  г/см<sup>3</sup>,  $T = -2,5^\circ$ .

Несмотря на высокие градиенты  $\frac{\partial v_1}{\partial x_3}$  на гладкой поверхности, приглаживание снега затрудняет его эрозию, ибо так упорядочивает положение поверхностных снежинок, особенно дендритов, что они лучше сцепляются друг с другом. Достаточно слегка приглажить поверхность снега гладкой пластинкой, чтобы рост  $\Phi_4$  резко замедлился.

Сильное уменьшение роста  $\Phi_4$  и, следовательно, значительное увеличение длины разгона  $x_p$  наблюдалось также в результате сублимационного твердения поверхностного слоя, если между временем закладки рыхлого снега в канал и временем продувания прошло несколько часов.

Во время искусственной метели укрепление снежной поверхности осуществлялось самим ветром. При продувках, длительность которых превышала 2—3 мин., интенсивность метели на выходе из канала падала к концу экспозиции. Действие ветра здесь, по-видимому, комплексное. Он не только приглаживает и уплотняет снеговую поверхность, но и ускоряет сублимационное твердение.

Существенно замедлялся рост  $\Phi_4$  при температурах, близких к  $0^\circ$  —  $-2^\circ$ С, и интенсивной солнечной радиации. Снег становился влажным и не поддавался ситовому анализу. Этот эффект усиливается при загрязнении снегового покрова, способствующем увеличению притока радиационного тепла к поверхностной корке.

Нет оснований думать, что эти явления, при сходных условиях, не имеют места в естественных условиях.

На рис. 5 показаны начальные участки кривых  $\Phi_4 = f\left(\frac{2x_1}{v_{0,05} - 2}\right)$  при укрепленной поверхности снега. Экстраполируя по формуле (4), получим следующие значения полной длины разгона метели:

а) для случая искусственного уплотнения поверхности (кривая 1)  $x_p = 240,62$  м,

б) для случая температурного наста (кривая 2)  $x_p = 165,52$  м,

в) для случая ветрового уплотнения (кривая 3)  $x_p = 65,93$  м.

При наиболее рыхлом снеге длина разгона в наших опытах колебалась от 1 до 15 м, но в течение нескольких минут продувания снеговая поверхность действием ветра укреплялась и длина разгона увеличивалась далеко за пределы длины канала.

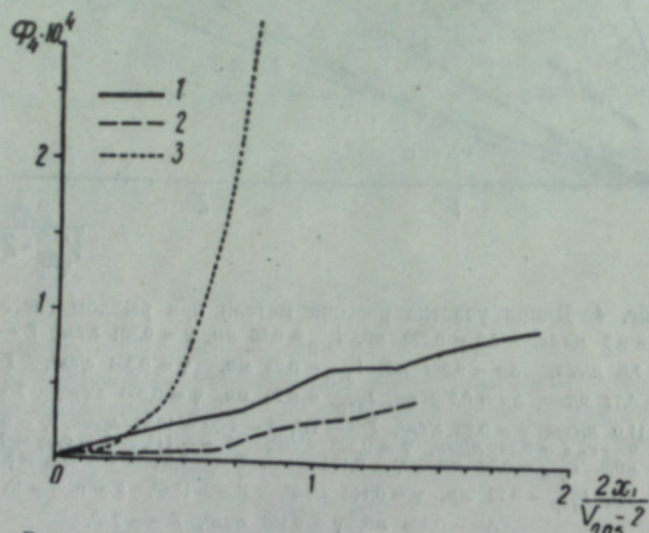


Рис. 5. Длина участка разгона метели при укрепленной снеговой поверхности.  
1 — влажный, непросеянный снег,  $v_{0,05} = 8,57$  м/сек,  $\Delta p = 0,728$  мб,  $T = -2,2^\circ$ , 2 — искусственно уплотненный и пригладженный снег,  $v_{0,05} = 11,24$  м/сек,  $\Delta p = 1,176$  мб,  $T = -7,9^\circ$ , 3 —  $v_{0,05} = 16,35$  м/сек,  $\Delta p = 1,196$  мб,  $T = -5,3^\circ$ .

В естественных условиях суммарное действие ветра и других факторов должно проявляться в том, что длина разгона метели, даже при наличии свежеснеженного снега, будет иметь порядок сотен метров. Это подтверждено специальными полевыми измерениями Д. М. Мельника в 1952 г. [20]. В. Чепил и Р. Майлн, исследуя эрозию почв, получили минимальную длину разгона от 2,4 до 9,0 м и максимумы до 450 м [19], что похоже на наши результаты, несмотря на существенное различие явлений.

Длина разгона метели, теоретически, может быть минимальной лишь при общих метелях, когда снежинки, падающие из атмосферы на снеговой покров, немедленно подхватываются ветром. Но интенсивность снегопадов мала, по сравнению с возможностями ветровой эрозии, т. е. мал приток запасов легко подвижного снега. Соответственный баланс (без учета сублимации) выразится так:

$$\frac{x_p i}{24 \cdot 3,6} = Q, \text{ г/м сек}, \quad (5)$$

где  $i$  — интенсивность снегопада в мм/сутки.

В условиях Западной Сибири  $i$  редко превышает 7 мм/сутки. Пользуясь формулами (2) и (5), можно подсчитать, что при  $i = 7$  мм/сутки и  $v_{0,05} = 6$  м/сек, длина разгона метели  $x_p = 537$  м. Таким образом, недостаток эродируемого материала можно рассматривать как дополнительный фактор, благоприятствующий увеличению длины разгона метели.

Сказанное выше имеет большое практическое значение, указывая, например, на возможность установки линейных снегозащит на расстояниях 100 м и более от ограждаемых объектов, что устраняет нежелательное соседство снеговых валов вблизи сооружений. В местных условиях, в зависимости от ряда других факторов (рельеф местности, микроклиматические особенности и т. д.), эти расстояния могут, конечно, варьировать, что требует опытного изучения.

На рис. 6 показаны наибольшие значения общих расходов снега, по-

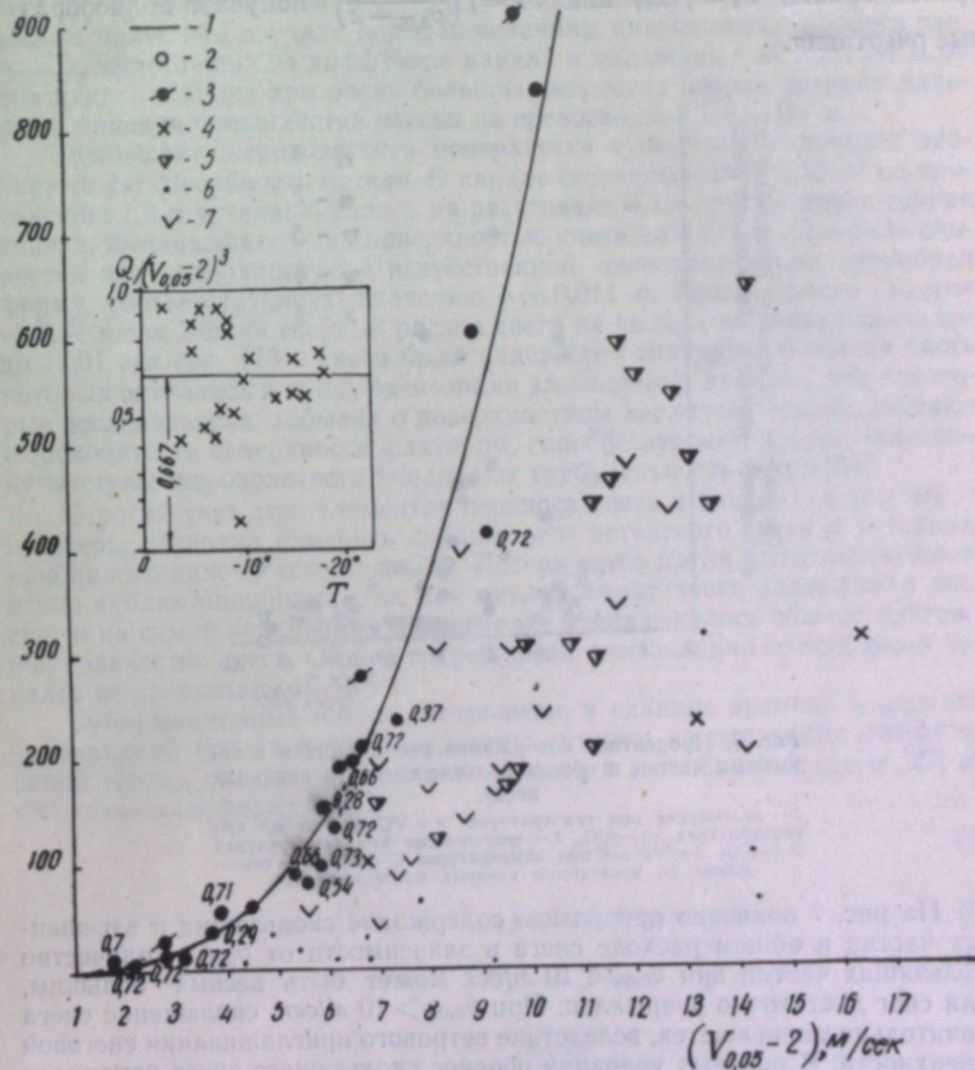


Рис. 6. Единичные измерения общего расхода снега в конце аэродинамического канала.  
1 — теоретическая кривая, 2 — разгон завершен, рыхлая поверхность, сечение канала  $0,15 \times 0,15$  м<sup>2</sup>, длина 6,2+14,9 м, 3 — разгон завершен, рыхлая поверхность, сечение канала  $0,30 \times 0,32$  м<sup>2</sup>, длина 8,6 м, 4 — разгон не завершен, уплотненная поверхность, 5 — разгон не завершен, рыхлая поверхность, канал длиной 6,5 м, 6 — разгон не завершен, рыхлая поверхность, длина канала 6,8 м, 7 — разгон не завершен, снег уплотнен в подветренной половине канала, числа около спятых точек указывают средний размер снеговых частиц. В левом углу рисунка дана зависимость  $Q/(v_{0,05} - 2)^3$  от температуры воздуха.

лученные нами в аэродинамических каналах. Там же проведена теоретическая кривая, построенная по формуле (2). Коэффициент 0,685 этой формулы близок к среднеарифметическому от опытных значений  $Q_{\max}/(v_{0,05} - 2)^3$  при завершеном разгоне метели, равному 0,667. На рис. 6 отдельно дан график этих значений, в зависимости от температуры воздуха. На основном чертеже опытные точки  $Q_{\max}$ , соответствующие завершеному разгону метели, изображены черными кружками. Они вполне удовлетворительно согласуются с теорией. Рассматривая рисунок, можно видеть, что расходы  $Q_{\max}$ , при полном насыщении метели, мало зависят от температуры воздуха и от средних размеров снеговых частиц.

Опытами установлено, что при малых скоростях потока и малых значениях  $Q_{\max}$  иногда возможны перенасыщение и недосыщение метели, причем кривая  $\Phi_4 = f(x_1)$  или  $\Phi_4 = f\left(\frac{2x_1}{v_{0,05} - 2}\right)$  получает волнообразные очертания.

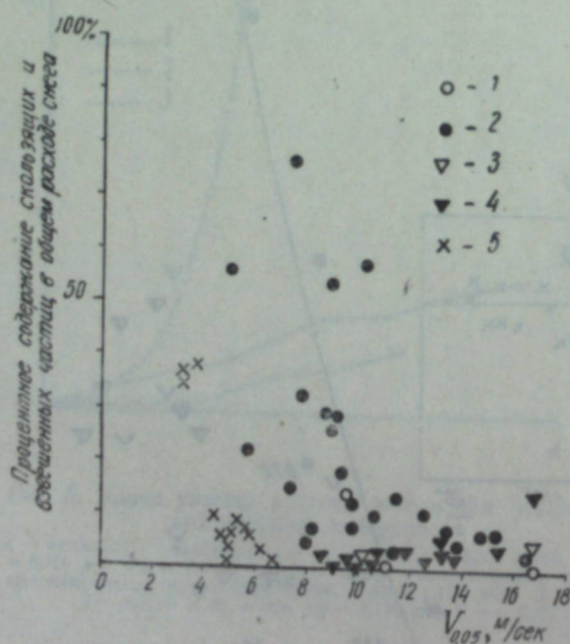


Рис. 7. Процентное содержание скользящих и взвешенных частиц в общем расходе снега (в единицах веса).

1 — скольжение при температурах  $> -5^{\circ}\text{C}$ , 2 — то же при температурах  $< -5^{\circ}\text{C}$ ; 3 — взвешивание при температурах  $> -5^{\circ}\text{C}$ ; 4 — то же при температурах  $< -5^{\circ}\text{C}$ ; 5 — скольжение по показаниям полевых снегоуловителей.

На рис. 7 показано процентное содержание скользящих и взвешенных частиц в общем расходе снега в зависимости от  $v_{0,05}$ . Количество скользящих частиц при  $v_{0,05} < 10$  м/сек может быть весьма большим, если снег достаточно разрыхлен. При  $v_{0,05} > 10$  м/сек скольжение снега значительно уменьшается, вследствие ветрового приглаживания снеговой поверхности. В полевых условиях перенос скользящего снега измерялся автором специальными уловителями, углублявшимися в снег. Скольжение снега в поле практически прекращалось уже при  $v_{0,05} > 7$  м/сек.

Доля взвешенных частиц растет с увеличением скорости потока, но остается весьма малой. Лишь в одном, экстремальном случае она превысила 13% при  $v_{0,05} = 16,8$  м/сек, что на высоте флюгера соответствует

ураганной скорости  $40 \div 45$  м/сек. Эти результаты, сопоставленные с приведенными выше измерениями профиля твердого расхода снеговетрового потока, доказывают, на наш взгляд, полную невозможность сколько-нибудь значительного переноса метелевого снега через крупные объекты (выемки, станции и т. д.). Но до сих пор многие специалисты оправдывают, например, образование огромных и вредных снежных валов по сторонам железнодорожной линии тем, что снег, мол, будет перебрасываться через такую искусственную выемку. Часто ссылаются на вихри, образующиеся в выемках и, якобы, выталкивающие оттуда надуваемый метелью снег. Но энергия этих образований мала по сравнению с энергией порождающего их ветра, размеры их велики и скорости вихревых движений намного меньше скорости полевого ветра. Снежинки, попадающие в зону малых скоростей, быстро ею тормозятся и осаждаются вследствие перенасыщения потока. Инерционные пробеги снежинок, вылетающих из диффузора канала и падавших с высоты 0,4 м на дно циклона. Даже при очень больших скоростях потока средняя дальность падения большинства частиц не превосходила  $0,6 \div 0,7$  м.

Увеличение шероховатости поверхности существенно снижает эрозирующую способность метели. В канале сечением  $0,15 \times 0,15$  м<sup>2</sup> на протяжении 1,2 м устанавливались на расстоянии 3 см друг от друга тонкие спички, выдававшиеся над поверхностью снега на 0,015 м. Профиль скоростей над поверхностью с искусственной шероховатостью приобрел форму, соответствующую значению  $\delta = 0,011$  м. При скорости  $v_{0,05} = 8,44$  м/сек. общий твердый расход снега на выходе из канала снизился до 11,01 г/м сек. 478 г снега было задержано спичками, большая часть которых оказалась к концу экспозиции засыпанной. Заметим, что некоторые исследователи, забывая о поверхностном характере эрозии, считают шероховатость поверхности фактором, способствующим эрозии, поскольку выступы шероховатости усиливают турбулентность ветра [21].

Строгий учет всех элементов переноса снега в каналах, в том числе и потерь, позволил измерить сублимацию метелевого снега в условиях, приближающихся к естественным. Потери снега могли быть преимущественно сублимационными, так как циклон практически задерживал весь снег и на самой верхней его перегородке откладывалось обычно ничтожное количество снега. Общие погрешности взвешивания по всей длине каналов не превышали 10—15 г.

Сублимационные потери, отнесенные к единице времени и единице эродируемой поверхности, определены автором на основании диффузионной теории испарения отдельных частиц в газообразной среде [22] по теоретическим формулам:

$$= \frac{D}{b} (c - c_a) f, \text{ г/м}^2 \text{ сек}, \quad (5)$$

$$I'' = \frac{12}{\gamma l_{s \min}} D (c - c_a) \psi_1 \psi_2 f_c f, \text{ г/м}^2 \text{ сек}, \quad (6)$$

$$f = 1 + 0,34 Re^{1/2} Sc^{1/2}, \quad (7)$$

$$\psi_2 = \frac{1}{1 + \frac{DcL^2M}{RA \times (273 + T)}}, \quad (8)$$

$$f_c = \frac{Q_{ср}}{v_{ср}}, \text{ г/м}^3, \quad (9)$$

где  $I'$  — сублимация с поверхности снегового покрова;  
 $I''$  — сублимация изолированных снеговых частиц, поднятых метелью;

$T$  — температура воздуха, °C;  
 $D$  — коэффициент диффузии водяного пара в воздухе, равный  $(2,2 + 0,015 T) \cdot 10^{-5}$  м<sup>2</sup>/сек;  
 $c$  — концентрация пара в воздухе, соответствующая состоянию насыщения, г/м<sup>3</sup>;  
 $c_b$  — фактическая концентрация пара в воздухе;  
 $f$  — ветровой коэффициент;  
 $Re$  — критерий Рейнольдса, равный  $\frac{v l}{\nu}$ , где  $v, l$  — характерные

скорость и размер,  $\nu$  — кинематический коэффициент молекулярной вязкости среды в м<sup>2</sup>/сек. Для  $l'$  в качестве  $v, l$  принимаются  $v_{0,05}$  и  $b$ . Строго установить относительную скорость движения частиц во время метели трудно, так как на разных стадиях скачка она может резко меняться. Еще более осложняет эту задачу турбулентный характер движения. Для  $l''$  нами принято приближенно, что  $v \sim v_{ср}$  и  $l \sim l_{ср}$ , где  $v_{ср}$  — средняя поступательная скорость движения всей массы снеговых частиц, равная  $0,5 \times (v_{0,05} - 2)$  [1] и  $l_{ср}$  — средний размер частиц, равный в наших опытах  $5 \cdot 10^{-4}$  м;

$Sc$  — число Шмидта, равное  $v/D$ ;

$b$  — расстояние в м от сублимирующей плоской поверхности, на котором концентрация пара в воздухе уменьшается до постоянной  $c_b$ .

$l_{s \text{ min}}$  — средняя толщина отдельных иголок и лучей звезд, принятая равной  $5 \cdot 10^{-5}$  м;

$\psi_1$  — коэффициент формы, равный для иголок, по опытным данным автора, 0,06;

$\psi_2$  — коэффициент, учитывающий влияние понижения температуры частицы на интенсивность сублимации;

$L$  — удельная теплота испарения, равная 600 кал/г;

$M$  — молекулярный вес пара, равный 18,016 г/моль;

$R$  — универсальная газовая постоянная, равная  $848 \frac{\text{Г} \cdot \text{М}}{\text{°С} \cdot \text{моль}}$ ;

$A$  — механический эквивалент теплоты, равный  $\frac{1 \text{ кал}}{427 \text{ Г} \cdot \text{М}}$ ;

$\kappa$  — коэффициент теплопроводности воздуха, равный  $(5,77 + 0,016 T) \cdot 10^{-3} \frac{\text{кал}}{\text{°С} \cdot \text{сек} \cdot \text{м}}$ ;

$f_c$  — весовое количество снега, удерживаемого в воздухе метелью, приходящееся на единицу площади снегового покрова, г/м<sup>2</sup>;

$Q_{ср}$  — средний по всем секциям канала общий твердый расход снега, г/м сек.

Здесь не учитывается влияние радиационного притока тепла. Взаимное влияние частиц в системе, по нашему предположению, ослабляется турбулентным перемешиванием, обеспечивающим быстрый отвод пара в верхние слои потока, иначе заметно испарялась бы только часть снега в начальном участке канала, где был приток свежего воздуха. Это подтверждается также нашими и П. Д. Долгих опытами по испарению снега, перемещавшегося в закрытых сосудах, где приток воздуха отсутствовал [2,3].

Параметры  $\psi_1$  определялись на основании опытов автора, описанных в статье [24].

В табл. 2 сравниваются расчетные и опытные данные, в большинстве случаев они имеют одинаковый порядок. Как правило, действительные сублимационные потери больше расчетных, и аналитическую

Таблица 2

Сублимационные потери метелевого снега в экспериментальных каналах

Сечение канала, м <sup>2</sup>	Длина канала, м	Средний дефицит влаги в воздухе, жб	Измеренные потери снега, г	Потери, подсчитанные по формулам (5) и (6), г
0,15×0,15	6,20	0,41	48	5,9
0,15×0,15	6,20	0,73	135	80,0
0,15×0,15	6,20	1,18	321	292,0
0,15×0,15	6,20	0,65	21	9,0
0,15×0,15	6,80	1,38	300	172,0
0,15×0,15	6,80	1,25	235	150,3
0,15×0,15	6,80	1,31	33	97,9
0,15×0,15	6,80	1,20	71	41,1
0,15×0,15	6,80	0,85	89	42,3
0,15×0,15	6,80	0,93	219	347,0
0,15×0,15	6,80	0,43	60	40,0
0,15×0,15	6,80	0,28	22	20,2
0,15×0,15	6,80	0,24	15	13,4
0,15×0,15	6,80	0,46	2	10,7
0,32×0,50	8,60	1,63	2563	2180,0
0,32×0,50	8,60	1,18	2710	1890,0
0,32×0,50	8,60	2,20	3855	3240,0

оценку сублимации метелевого снега, по-видимому, нельзя считать преувеличенной.

Кроме физических особенностей переноса снега, изучались снегоотложения за малыми моделями снеговых защит в канале большого сечения —  $0,32 \times 0,50$  м<sup>2</sup>.

На рис. 8 показаны результаты опытов с моделями решетчатого и сплошного щитов, густой двухрядной лесной полосы и системы защит, составленной из щитов с просветностью 60 и 40%. Как указывалось [1], в связи с невозможностью соблюдения ряда основных критериев подобия, эти опыты допускают, строго говоря, лишь качественную оценку. По сравнению с натуральными размерами снежинок настолько малы, инерционные пробег и отдельные скачки снежинок настолько малы, что ими можно пренебречь, а при масштабе моделей 1/10–1/50 размеры моделей и элементов траекторий отдельных частиц имеют один и тот же порядок. Поэтому малые модели снегозащит пропускают очень много снега, что можно проиллюстрировать данными, приведенными в табл. 3.

Таблица 3

Перенос снега за моделями снегозащитных средств

Характеристика модели	Задержано снега моделью в течение всего времени опыта, г	Вынесено снега из канала	
		всего, г	в % к общему подносу снега к моделям
Узкая густая лесная полоса высотой 12,5 см . . . . .	23335	9125	28,1
Двухрядная защита из двух щитовых линий высотой по 8 см . . . . .	26000	8040	23,6
Сплошной щит высотой 15 см . . . . .	15255	16305	51,6
Решетчатый щит просветностью 40%, высотой 16 см . . . . .	36490	50290	57,9



Переносить на натуру какие-либо выводы о динамике роста отложений за малыми моделями нельзя.

Но геометрия снегоотложений, рассматриваемая без учета времени, должна зависеть от кинематики квазистационарного турбулентного ветрового потока, для которой, как говорилось в работе [1], соблюдаются условия автомодельности, если изучаемые области потока не слишком близки к его границам. Поэтому геометрическая картина формирования снегоотложений, как видно на рис. 8, напоминает действительность. Исследование динамики возможно при масштабе не менее  $1/5$ , как сделано Г. В. Бялобжеским [25].

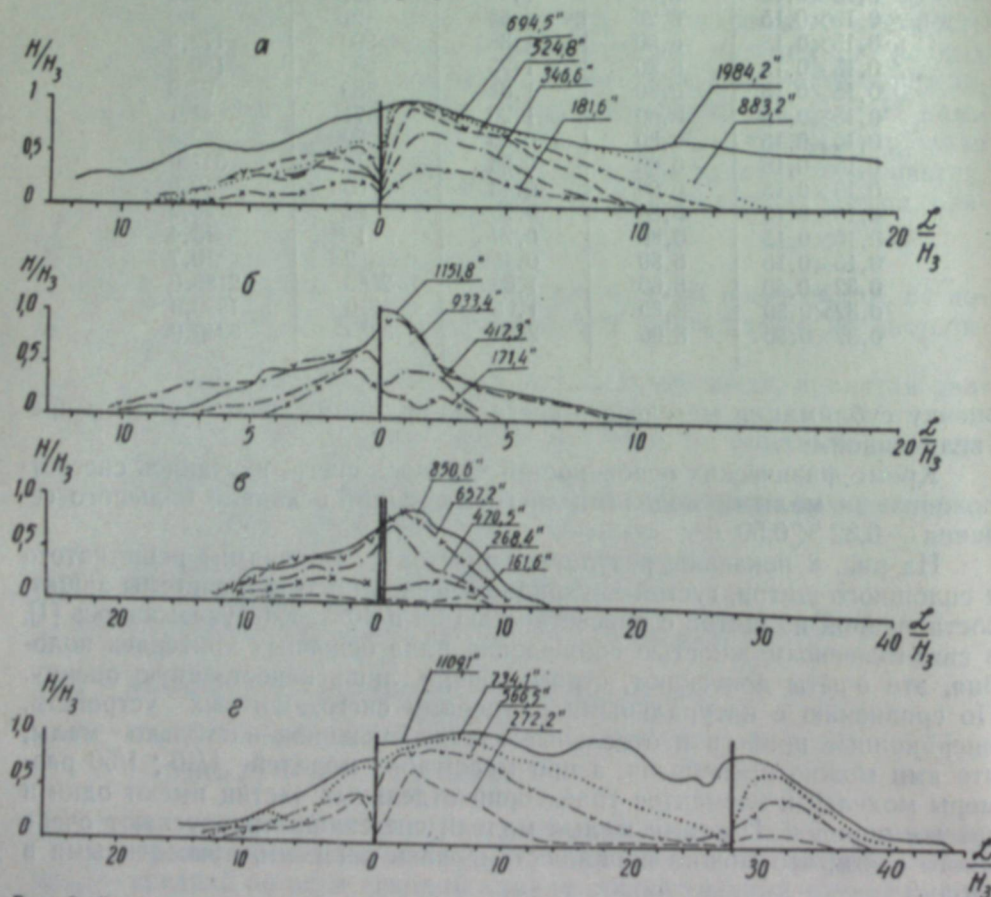


Рис. 8. Отложения снега за уменьшенными моделями снеговых защит. Направление снеговетрового потока слева направо.

а — стандартный щит с просветностью 50%, б — сплошной щит, в — узкая, густая лесная полоса, г — двухрядная защита. Наветренный ряд — щиты с просветностью 60%, подветренный ряд — щиты с просветностью 40%. L — расстояние от наветренной границы снегозащиты,  $H_3$  — высота снегозащиты, H — высота снегоотложений. Числа обозначают время продувки в секундах.

### Выводы

1. Эксперименты в аэродинамических каналах полностью подтвердили теоретические выводы. Максимальная транспортирующая способность метели пропорциональна величине

$$(v_h - v_0)^3,$$

где  $v_h$ ,  $v_0$  — соответственно скорость потока на высоте h и неподвижная скорость потока. В условиях, наиболее благоприятных для эрозии,  $v_0 = 2$  м/сек.

2. Главную роль в метелевом переносе играют прыгающие, сальтирующие снежинки. Количество взвешивающихся частиц сравнительно невелико, а скольжение снега уменьшается при росте скорости ветра.

3. Преимущественный перенос снега, даже при очень больших скоростях воздушного потока, происходит в слое толщиной 5 см.

4. Измеренные сублимационные потери переносимого воздушным потоком снега близки к данным аналитического расчета.

5. Длина участка, на протяжении которого метель полностью реализует свою транспортирующую способность, существенно зависит от состояния эродируемой снежной поверхности и может, по-видимому, изменяться от единиц до сотен метров.

6. Геометрическая картина отложения снега за уменьшенными моделями снегозащитных устройств примерно соответствует натуре.

Транспортно-энергетический институт  
Сибирского отделения АН СССР

Поступила в редакцию  
6/VIII 1959

### ЛИТЕРАТУРА

1. А. К. Дюнин, Основы теории метелей. Изв. СОАН СССР, № 12, 1959.
2. Э. Д. Злотницкий, О снежных заносах. Журнал Министерства путей сообщения (часть неофициальная), т. IV, кн. 1, 1878.
3. A. Andrée, Sur le chasse-neige dans les regions arctiques. Archives des Sciences physique et naturelle, v. XV, p. 523, Genève, 1886.
4. В. В. Кузнецов, Об измерении снега, переносимого ветром в горизонтальном направлении. Метеорологический вестник, № 12, 1900.
5. Н. Е. Долгов, Проект организации наблюдений в России над стоком вод в долинах и над заносами на основании позднейших выводов метеорологии. Железнодорожное дело, № 47—48, 1912.
6. Н. Н. Изюмов, Измерения переноса снега. Сб. «Работы по снегоборьбе», вып. 139, НИС ЦПТУ НКПС, Гострансиздат, М., 1931.
7. В. Н. Кедров, Кедровский, Метеорологические приборы. Гидрометеоздат, Л., 1947.
8. И. К. Зеленой, О количественной характеристике метелей. Метеорология и гидрология, № 1—2, 1940.
9. Д. М. Мельник, О законах переноса снега и их использовании в снегоборьбе. Техника железных дорог, № 11, 1952.
10. Л. М. Дановский, Особенности работы снеговых защит на дорогах Западной Сибири. Тр. НИИЖТа, вып. 9, М., 1953.
11. F. Loewe, Contributions to the glaciology of the Antarctic. Journal of Glaciology, vol. 2, № 19, 1956.
12. M. Shiotani, H. Arai, A short note on the snow storm. Proceedings of 2-d Japan Nat. Congr. of Appl. Mechanics, p. 217—218, 1952.
13. А. К. Дюнин, Твердый расход снеговетрового потока. Тр. ТЭИ ЗСФАН СССР, № 4, Новосибирск, 1954.
14. M. Shiotani, On the Possibility for Estimating an Annual amount of the Snow Drift. Journal of the Japan Society of Snow and Ice (Сэннэ), vol. 20, № 2, Sapporo, 1958.
15. А. К. Дюнин, О распределении расхода снеговетрового потока по высоте. Тр. ТЭИ ЗСФАН СССР, № 4, Новосибирск, 1954.
16. V. A. Vaponi, Transportation of Suspended Sediment by water. Proceedings of the American Society of Civil Engineers, vol. 70, № 6, 1944.
17. И. В. Литвинов, Определение установившейся скорости падения частиц снегопадов. Изв. АН СССР, сер. геофиз., № 7, 1956.
18. R. A. Vogt, The Movement of Desert Sand. Proceedings of the Royal Society, Ser. A, vol. 157, 1936.
19. W. S. Cheril, R. A. Milne, Wind erosion of soil in relation to roughness of surface. Soil Sciences, vol. 52, № 6, 1941.
20. Д. М. Мельник, Методика определения влияния длины снегосборного бассейна на интенсивность переноса снега. ЦНИИ МПС, М., 1952.
21. Т. Ф. Якубов, Новые данные по изучению ветровой эрозии почв и борьбе с ней. О природе и динамике процессов развития ветровой эрозии почв. Почвоведение, № 7, 1959.

22. Н. А. Фукс, Испарение и рост капель в газообразной среде. Изд. АН СССР, М., 1958.
23. А. К. Дюнин, Структура метелевого снега и закономерности снегового потока. Сб. «Вопросы использо- в. снега и борьба со снежными заносами и лавинами». Ин-т географии АН СССР, М., 1956.
24. А. К. Дюнин, Сублимация снега. Изв. СОАН СССР, № 2, 1958.
25. Г. В. Бялобжеский, Р. А. Амброс, Повышение эффективности и экономичности снегозадерживающих устройств. Автотрансиздат, М., 1956.

Н. И. МАЛИНИН

### О МЕХАНИЗМЕ УСТАЛОСТНОЙ РЕЛАКСАЦИИ ВЫСОКОПОЛИМЕРОВ

Рядом исследователей [1—3] показано, что предел прочности высокополимеров представляет собой не просто численную величину, но включает в себя временные и температурные эффекты.

Гавард [4] установил, что на величину времени пребывания образцов высокополимеров под нагрузкой до разрушения влияет история напряженного состояния. Он показал, что если деформированный образец ацетилцеллюлозы был перед разрывом освобожден, приведен нагреванием в первоначальное состояние и снова подвергнут действию напряжения, то он легче растягивается и разрывается через более короткое время. Таким образом, несмотря на то, что первая деформация была полностью восстановлена, внутренняя структура полимера необратимо изменилась вследствие механического воздействия. Алфрей [1], интерпретируя результаты работы Гаварда, высказал предположение, что при действии значительных нагрузок в полимерах происходит некоторый «внутренний разрыв», являющийся необратимым процессом. В книге Алфрея не содержится, однако, указаний на то, как понимать этот внутренний разрыв и что он представляет собой с молекулярно-кинетической точки зрения.

Гавардом было показано также, что напряжения, действуя длительное время на образец стеклообразного полимера, вызывают понижение модуля упругости материала. В связи с этим следует ожидать, что «внутренний разрыв» высокополимера связан с явлениями упругого последствия и релаксации напряжений.

Молекулярно-кинетическую теорию разрыва твердых тел (в том числе полимеров) развил Г. М. Бартнев [3]. Большой заслугой Бартнева является то, что он впервые доказал существование безопасного предела нагрузки, ниже которого разрыв невозможен.

Теория Бартнева исходит из положения о том, что разрыв образца при одноосном нагружении происходит путем прорастания трещин на поверхности вследствие флуктуаций тепловых движений атомов и молекул при разрыве межатомных (межмолекулярных) связей с переходом через энергетический барьер.

Теория, развитая Бартневым, удовлетворительно описывает механизм разрушения хрупких тел, в частности хрупких пластмасс. Но при разрыве полимеров, обнаруживающих вынужденно-эластические деформации [5], и высокоэластических материалов типа резин происходят явления, которые теорией Бартнева не объясняются. Так, Ю. С. Лазуркин и Р. Л. Фогельсон [5], Б. Р. Регель [6], Циглер [7] наблюдали перед разрывом органических стекол (полиметилметакрилата, полистирола и др.) образование в шейке множества волосных трещин. Регель [6], исследовавший форму линий встреч трещин, экспериментально устано-

вил, что разрушение органических стекол происходит путем одновременного прорастания нескольких трещин, причем зародыши последних могут располагаться не только на поверхности образца, но и в его внутренних слоях.

В настоящей работе сделана попытка обобщения названных выше работ по прочности высокополимеров с точки зрения молекулярной теории абсолютных скоростей реакций, развитой Г. Эйрингом с сотрудниками [8, 9].

Рассмотрим поведение цилиндрического образца полимера при одноосном центральном растяжении его некоторой силой  $Q$  (рассматриваем здесь цилиндрическую поверхность в общем смысле, боковые поверхности призматического стержня как цилиндрические). Пусть до начала действия силы каждый квадратный сантиметр поперечного сечения образца пронизывало  $N_0$  молекулярных цепей. В момент приложения напряжения  $\sigma_0$  все эти цепи несколько удлиняются в направлении действия силы. Можно для простоты положить, что все цепи передают внешние нагрузки совершенно одинаково, т. е. одинаково натянуты. Натяжение цепей, как нетрудно видеть, пропорционально растягивающей образцу силе (здесь имеется в виду среднее натяжение за какой-то конечный промежуток времени, а не мгновенная флуктуация). Если все цепи располагаются параллельно растягивающей силе, что приближенно имеет место при большой вытяжке высокоэластического полимера, то сила, приходящаяся на одну цепь, будет равна

$$q = \sigma/N. \quad (1)$$

Вообще говоря, на величину натяжения отдельных молекулярных цепей будет влиять их ориентация в пространстве по отношению к растягивающей силе. Можно показать, что при одинаковом натяжении всех молекулярных цепей, ориентированных в пространстве произвольно, существует простая зависимость, связывающая натяжение одной цепи с величиной нормального напряжения  $\sigma$ . Она имеет вид:

$$q = 2 \frac{\sigma}{N}. \quad (2)$$

Сравнивая уравнения (1) и (2), делаем вывод: среднее натяжение отдельной молекулярной цепи в реальном полимере  $q$  можно определить по уравнению

$$q = m \frac{\sigma}{N}, \quad (3)$$

где  $m$  — коэффициент ориентации, причем  $1 < m < 2$ . Для точного вычисления натяжений отдельных молекул полимера необходимо знать функции распределения отдельных цепей по длинам и по направлениям в пространстве. При этом поставленная задача значительно усложняется. На наш взгляд, с достаточной для практики точностью можно решить задачу, исходя из приближенного уравнения (3).

Картина несколько усложняется для стеклообразных полимеров вследствие значительно большего влияния на их механические свойства вторичных ван-дер-ваальсовых сил. Поэтому положение о том, что различные цепи полимера работают одинаково, является гипотезой, нуждающейся в экспериментальной проверке. Следствием этой гипотезы является пропорциональность модуля Юнга эффективному числу цепей на  $1 \text{ см}^2$  площади поперечного сечения образца.

Под действием внешней нагрузки, а также в результате флуктуаций теплового движения часть цепей из группы  $N_0$  может разорваться.

Происходит и обратный процесс. Радикалы, образовавшиеся в результате разрыва, вновь соединяются под воздействием флуктуаций теплового движения, импульсы которых противоположны первым. Этот процесс можно выразить формулой, имеющей вид:



где  $-R-$  и  $-R_1-$  радикалы, образующие цепь полимера. При разрыве звена  $-R-R_1-$  группам  $-R-$  и  $-R_1-$  приходится преодолевать энергетические барьеры, обусловленные взаимодействием радикалов друг с другом.

До разрыва атомы находятся в равновесных положениях (в объеме), характеризующихся минимумом потенциальной энергии. После разрыва они находятся на поверхностях также в равновесных положениях, характеризующихся другим минимумом потенциальной энергии.

На рис. 1 схематически изображена зависимость потенциальной энергии при самопроизвольном разрыве связей от межчастичного расстояния между двумя группами частиц, находящимися после разрыва на противоположных поверхностях у вершины трещины. Схема соответствует ненагруженному состоянию. Минимум слева соответствует равновесному положению частиц в объеме, справа — равновесному положению частиц на поверхности (у вершины трещины). Максимум соответствует работе, необходимой для преодоления сил сцепления между частицами, т. е. теоретической прочности материала.

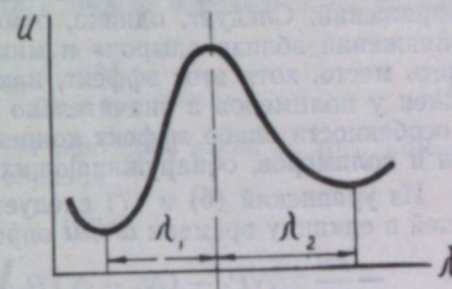


Рис. 1. Схематическое изображение зависимости потенциальной энергии от межчастичного расстояния в процессе разрыва.

Эти представления сформулированы Г. М. Бартеневым в работе [3] для процессов развития поверхностных трещин. Совершенно очевидно, что положения, высказанные Бартеневым, будут применимы и для замкнутых трещин.

Возникновение и развитие внутренних трещин происходит, по всей вероятности, следующим образом. При полимеризации (или поликонденсации) пространственного полимера, а также при сшивании линейного полимера в трехмерный образуются цепи различной длины. Наряду с длинными цепями, допускающими в соответствии с теориями высокой эластичности [10] весьма большие вытяжки, существуют короткие цепи, которые разрываются при небольших деформациях. На месте бывшей химической связи между радикалами  $-R-$  и  $-R_1-$  образуется дырка, которая вызывает концентрацию напряжений у ее границ. Если на границе с дыркой находятся цепи большой длины, развития трещин не происходит, если же цепи малой длины, весьма вероятно разрастание трещины, зародышем которой и являлась дырка. В образовании пространственной структуры стеклообразных полимеров очень большую роль играют ван-дер-ваальсовы силы. У линейных полимеров структурная сетка образуется исключительно последними.

Пусть в момент времени  $t$  число молекулярных цепей, пронизывающих  $1 \text{ см}^2$  поперечного сечения образца, равно  $N$ .  $N_0 - N$  цепей было разорвано в результате действия нагрузок за периоды времени, предшествующие моменту  $t$ . Вероятность разрыва связи из группы  $N$  при одном тепловом колебании равна [9, 10]:

$$P_1 = \exp\left(-\frac{U_1 - m \sigma \lambda_1 / N}{kT}\right), \quad (5)$$

а в единицу времени —

$$P_1 = \nu_0 \exp\left(-\frac{U_1 - m \sigma \lambda_1 / N}{kT}\right), \quad (6)$$

где  $\nu_0$  — частота колебаний атомов и молекул, примерно равная  $10^{12}$  —  $10^{13}$  сек $^{-1}$ ,

$U_1$  — высота потенциального барьера (см. рис. 1).

Смысл  $\lambda_1$  и  $\lambda_2$  также виден на рис. 1. Аналогично вероятность восстановления разорванной цепи в единицу времени равна

$$P_2 = \nu_0 \exp\left(-\frac{U_2 + m \sigma \lambda_2 / N}{kT}\right). \quad (7)$$

В уравнения (6) и (7) не подставлен коэффициент концентрации напряжений. Следует, однако, отметить, что некоторая концентрация напряжений вблизи «дырок» и микротрещин внутри образца должна иметь место, хотя этот эффект, как отмечает акад. В. А. Каргин\*, выражен у полимеров в значительно меньшей степени, чем у металлов. В особенности слабо эффект концентрации напряжений выражен у резины и полимеров, обнаруживающих вынужденную эластичность.

Из уравнений (6) и (7) следует, что убывание эффективного числа цепей в единицу времени  $dN/dt$  определяется формулой:

$$\begin{aligned} -\frac{dN}{dt} = NP_1 - (N_0 - N)P_2 = N\nu_0 \exp\left(-\frac{U_1 - m \sigma \lambda_1 / N}{kT}\right) - \\ - (N_0 - N)\nu_0 \exp\left(-\frac{U_2 + m \sigma \lambda_2 / N}{kT}\right) = NA_1 \exp\left(\frac{m \sigma \lambda_1}{NkT}\right) - \\ - (N_0 - N)A_2 \exp\left(-\frac{m \sigma \lambda_2}{NkT}\right), \end{aligned} \quad (8)$$

где  $A_1 = \nu_0 \exp\left(-\frac{U_1}{kT}\right)$  и  $A_2 = \nu_0 \exp\left(-\frac{U_2}{kT}\right)$ . Сформулированная выше гипотеза о том, что различные цепи полимера работают одинаково, может быть записана с помощью уравнения

$$\frac{E_0}{N_0} = \frac{E}{N}, \quad (9)$$

где  $E_0$  и  $E$  — равновесные модули упругости материала в начальный момент времени, когда работало  $N_0$  цепей на каждый квадратный сантиметр поперечного сечения, и в момент  $t$ .

Далее рассматриваются отдельные частные случаи.

### 1. Ползучесть при постоянном напряжении

Разделяя переменные в уравнении (8) и интегрируя, имеем:

$$-\int_{N_0}^N \left[ dN/NA_1 \exp\left(\frac{m \sigma \lambda_1}{NkT}\right) - (N_0 - N)A_2 \exp\left(-\frac{m \sigma \lambda_2}{NkT}\right) \right] = t. \quad (10)$$

Следуя Бартеневу, можно пренебрегать вторым членом правой части уравнения (8) по сравнению с первым. В самом деле, при малой степе-

ни «внутреннего разрыва» образца второй член мал, так как  $N_0 - N$  мало по сравнению с  $N$ . При значительном внутреннем разрыве трещины на поверхности и внутри образца приобретают макроскопические размеры. При этом только связи, расположенные по краям трещин, могут участвовать в их смыкании. Относительное число таких связей при значительном развитии трещин невелико, а поэтому эффект восстановления ничтожен. Уравнение (10) принимает при этом вид:

$$\begin{aligned} -\int_{N_0}^N dN/NA_1 \exp\left(\frac{m \sigma \lambda_1}{NkT}\right) = \frac{1}{A_1} \left( \int_x^{x_0} dx/x e^x - \int_{x_0}^{\infty} dx/x e^x \right) = \\ = \frac{1}{A_1} [Ei(-x) - Ei(-x_0)], \end{aligned} \quad (11)$$

где  $x = m \sigma \lambda_1 / NkT$ ;  $x_0 = \frac{m \sigma \lambda_1}{N_0 kT}$ ,  $Ei(-x)$  — интегральная показательная функция [14]. Деформацию ползучести  $\varepsilon$  можно определить из уравнений (9) и (11):

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E} = \frac{\sigma N_0}{NE_0} = \frac{N_0 x kT}{E_0 m \lambda_1}. \quad (12)$$

Естественно, что уравнения (8—11) пригодны лишь до того момента, пока не произошло разрушения образца.

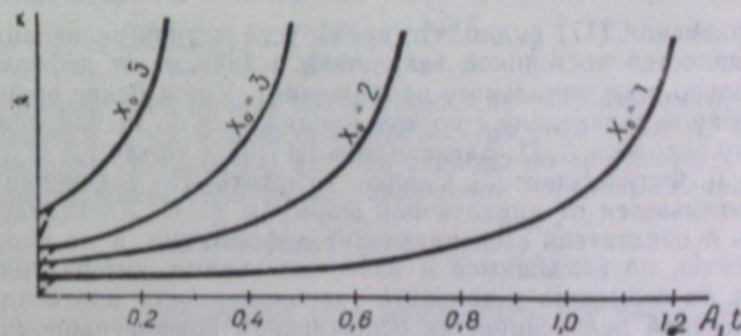


Рис. 2. Кривые усталостной ползучести пространственного полимера.

На рис. 2 изображены кривые ползучести в координатах  $x - A_1 t$  при напряжении  $\sigma = \frac{N_0 kT}{m \lambda_1}$ , а также при  $x_0 = 2$ ,  $x_0 = 3$ ,  $x_0 = 5$  согласно уравнению (11). На рис. 2 видно, что развитая здесь теория дает объяснение процессам, протекающим в течение второго и третьего периодов ползучести. В течение второго периода деформация нарастает весьма медленно, при этом почти с постоянной скоростью. Начиная с некоторого момента, скорость деформации резко увеличивается и процесс заканчивается разрывом образца. Теория, развитая в настоящей работе, непригодна для описания процессов конфигурационной релаксации, когда при деформировании происходит постепенное раскручивание первоначально клубкообразных молекул полимера. На кривых рис. 2 первый период ползучести условно изображен пунктиром. Уравнением (11) он не описывается. Молекулярно-кинетическая теория процессов конфигурационной релаксации, которые, в основном, протекают в течение периода неустойчивой ползучести, развита Алфреем [1], Накадой [11], Бринкманом и Шварцлем [12].

\* Сообщение в личной беседе.

## 2. Релаксация при постоянной деформации

Решение уравнения (8) выполняется для случая, когда можно пренебречь вторым членом правой части. При этом, подставляя в формулу (8) значение  $\sigma/N$  из уравнения (12), имеем:

$$-\frac{dN}{dt} = NA_1 \exp\left(\frac{mE_0 \varepsilon \lambda_1}{N_0 kT}\right), \quad (13)$$

$$-\ln N = A_1 t \exp\left(\frac{mE_0 \varepsilon \lambda_1}{N_0 kT}\right) + C, \quad (14)$$

$$N = N_0 \exp\left[-A_1 t \exp\left(\frac{mE_0 \varepsilon \lambda_1}{N_0 kT}\right)\right], \quad (14)$$

$$\sigma = E\varepsilon = \frac{N}{N_0} E_0 \varepsilon = E \varepsilon_0 \exp\left[-A_1 t \exp\left(\frac{mE_0 \varepsilon \lambda_1}{N_0 kT}\right)\right]. \quad (15)$$

Выражение (15) представляет собой видоизмененное уравнение Максвелла

$$\sigma = \sigma_0 \exp(-t/t_p), \quad (16)$$

где  $t_p$  — время усталостной релаксации. Сравнивая уравнения (15) и (16), находим время  $t_p$ :

$$t_p = \tau_0 \exp\left(-\frac{U_1 - mE_0 \varepsilon \lambda_1 / N_0}{kT}\right). \quad (17)$$

Из уравнения (17) видно, что время усталостной релаксации полимера не является постоянной величиной, а зависит от деформации (а следовательно, и от начального напряжения). Уменьшение времени конфигурационной релаксации с ростом напряжения по экспоненциальному закону наблюдалось А. П. Александровым [13], а также Ю. С. Лазуркиным и Р. Л. Фогельсоном [5]. Следует отметить, что уравнение (17) несколько отличается от аналогичной формулы А. П. Александрова, так как здесь в показатель степени входит деформация, а не напряжение. К сожалению, по имеющимся в настоящее время литературным данным вряд ли возможно установить закономерности протекания чистой усталостной релаксации, не осложненной конфигурационными эффектами.

## 3. Временно-температурная зависимость прочности

Как отмечает Алфрей [1], предельная прочность реальных тел и в особенности полимеров очень сильно зависит от случайных дефектов структуры материала. Если бы структура полимера была однородной, а дефекты отсутствовали, то образец, в соответствии с уравнением (9), рвался бы, образуя при разрыве большое количество плоских осколков, ориентированных перпендикулярно растягивающей силе. Это, однако, не происходит из-за наличия неоднородностей и дефектов структуры. У образца всегда имеется какое-то наиболее слабое место, по которому и происходит разрыв. Для характеристики неоднородностей структуры материала введем масштабный фактор  $x = SN_0/N_{0m}$  ( $N_{0m}$  — число связей, пронизывающих поперечное сечение образца в наиболее слабом месте,  $S$  — площадь поперечного сечения), зависящий от размеров образца.

Как отмечает Г. М. Бартенев, процесс разрушения образца протекает в две стадии. На первой, медленной стадии разрыв образца происходит по механизму, описанному выше; на второй стадии разрыв

происходит по Гриффиту со скоростью, близкой к скорости звука. Следуя Бартеневу [3], можно принять, что время второй стадии разрыва

$$t_2 = \tau_0 \frac{\sigma}{\sigma_*}, \quad (18)$$

где  $\tau_0 = L/v_*$  ( $L$  — ширина образца,  $v_*$  — скорость звука),  $\sigma_*$  — теоретическая прочность материала.

Число связей, пронизывающих  $1 \text{ см}^2$  поперечного сечения образца в начальный момент времени в наиболее слабом месте, равно  $N_0/x$ . В конце первого периода  $t_1$  оно уменьшается до  $N_0 \frac{\sigma}{\sigma_*}$ . Эти величины  $N_0/x$  и  $N_0 \sigma/\sigma_*$  определяют пределы интегрирования правой части уравнения (8). Таким образом, продолжительность первого периода  $t_1$  определится из уравнения

$$t_1 = \int_{N_0 \frac{\sigma}{\sigma_*}}^{N_0/x} dN/NA_1 \exp\left(\frac{m \sigma \lambda_1}{NkT}\right). \quad (19)$$

Разлагая полученное решение в ряд согласно формуле

$$Ei(-x) = \exp(-x) \left[ -\frac{1}{x} + \frac{1}{x^2} - \frac{2}{x^3} + \frac{6}{x^4} - \dots \right]$$

и отбрасывая второй и последующие члены разложения, имеем:

$$t_1 = \frac{N_0 kT}{x \sigma \lambda_1 A_1} \exp\left(-\frac{m \sigma \lambda_1 x}{N_0 kT}\right) - \frac{N_0 kT}{\sigma_* \lambda_1 A_1} \exp\left(-\frac{m \lambda_1 \sigma}{N_0 kT}\right). \quad (20)$$

При  $\sigma \ll \sigma_*$  второй член правой части уравнения (23) ничтожен, по сравнению с первым, и им можно пренебречь. При этом  $t_2 \ll t_1$  и, если пренебречь продолжительностью второго периода по сравнению с первым, время существования образца до разрушения определится уравнением

$$\tau = \frac{N_0 kT}{\lambda_1 v_0 x \sigma} \exp\left(\frac{U_1}{kT}\right) \exp\left(-\frac{m \sigma \lambda_1 x}{N_0 kT}\right). \quad (21)$$

Так как  $U_1 = \frac{\sigma_*}{N_0} \lambda_1$ , уравнение (21) может быть переписано в виде

$$\tau = \frac{N_0 kT}{\lambda_1 v_0 x \sigma} \exp\left(\frac{\sigma_* \lambda_1}{N_0 kT}\right) \exp\left(-\frac{m \sigma \lambda_1 x}{N_0 kT}\right). \quad (22)$$

Полученное решение мало отличается от уравнения Г. М. Бартенева ([3], формула (12)). Небольшое отличие заключается в том, что в уравнение Бартенева в числитель предэкспоненциального множителя входит ширина образца  $L$ . Таким образом, если пренебречь изменениями величины масштабного фактора, время существования образца под нагрузкой до разрушения при определенном напряжении оказывается прямо пропорциональным его ширине. Иначе говоря, увеличение геометрических размеров образцов ведет к повышению их прочности, что, как известно, противоречит опытным данным. Уравнение (22) свободно от этого недостатка.

Уравнение (22) совпадает с эмпирическими формулами Буссе — Журкова.

Представления Г. М. Бартенева о существовании предела безопасной нагрузки, при которой образовывавшаяся в материале трещина не прорастает при любом, сколь угодно длительном воздействии силы, в полной мере применимы не только для поверхностных, но и для внутренних, замкнутых трещин.

## Выводы

Развита теория температурно-временной зависимости усталостной прочности высокополимеров. В процессе работы материала происходит разрыв молекулярных цепей, который приводит к образованию внутренних трещин и, с течением времени, к разрыву образца.

Получены уравнения ползучести и релаксации полимеров, обусловленные усталостными эффектами.

Получено уравнение температурно-временной зависимости, отличающееся от известной формулы Г. М. Бартенева отсутствием в предэкспоненциальном члене ширины образца  $L$ .

Институт гидродинамики  
Сибирского отделения АН СССР

Поступила в редакцию  
17/IX 1959

## ЛИТЕРАТУРА

1. Т. Алфрей, Механические свойства высокополимеров. ИЛ, М., 1952.
2. С. Н. Журков, Б. Н. Нарзуллаев, Временная зависимость прочности твердых тел. ЖТФ, 23, № 10, 1953.
3. Г. М. Бартнев, О временной и температурной зависимости прочности твердых тел. Изв. АН СССР, ОТН, № 9, 53, 1955.
4. R. N. Haward, The strength of plastics and glass. Cleaver-hume, London, 1949.
5. Ю. С. Лазуркин, Р. Л. Фогельсон, О природе больших деформаций высокомолекулярных веществ в стеклообразном состоянии. ЖТФ, 21, № 3, 267, 1951.
6. В. Р. Регель, О механизме хрупкого разрушения пластмасс. ЖТФ, 21, № 3, 287, 1951.
7. E. E. Ziegler, The crazing of polystyrene. SPE, Journal, 10, № 4, 12, 1954.
8. С. Глестон, К. Лейдлер, Г. Эйринг, Теория абсолютных скоростей реакций. ИЛ, М., 1948.
9. Г. Эйринг, Д. Уолтер, Д. Кимболл, Квантовая химия. ИЛ, М., 1948.
10. Л. Трелоар, Физика упругости каучука. ИЛ, М., 1953.
11. O. Nakada, Theory of visco-elasticity of amorphous polymers. Journal Physical Society Japan, 10, № 9, 804, 1955.
12. H. C. Brinkman, F. A. Schwarzl, A mechanical and thermodynamic theory of non-linear relaxation behavior of solids. Discussions Faraday Soc., № 23, 11—18, Discuss. 72—84, 1957.
13. А. П. Александров, Сборник трудов I и II конференции по высокомолекулярным соединениям. Изд. АН СССР, М., 1945, стр. 49.
14. Таблицы интегральной показательной функции. Изд. АН СССР, М., 1954.

Ч. Г. МУСТАФИН, Б. П. СОКОЛОВ

О ВЫБОРЕ ПОЛЯ ДОПУСКОВ НА РАЗМЕРЫ ШАГОВ  
И ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЦИОНАЛЬНЫХ ЗАЗОРОВ МЕЖДУ  
ОПОРНЫМИ ПОВЕРХНОСТЯМИ ЗУБЬЕВ МНОГООПОРНЫХ  
ХВОСТОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ РАБОЧИХ ЛОПАТОК ТУРБИН

Результаты многочисленных теоретических и экспериментальных исследований показали, что нагрузки на опорные поверхности зубьев распределяются неравномерно. При этом принималось условие, согласно которому зазоры (натяги) между опорными поверхностями зубьев во время монтажа турбины отсутствуют (идеальный случай). Такое условие в реальном хвостовом соединении нельзя выдержать (а если и было бы можно, то оно является не лучшим), так как на изготовление любой детали имеются соответственные допуски на размеры, на чистоту обработки и т. д. Таким образом, в хвостовых соединениях турбин при наличии зазоров (натягов) картина распределения нагрузки между зубьями будет иной, и неизвестно, каким образом зазоры между опорными поверхностями зубьев повлияют на распределение нагрузки между зубьями. Поэтому справедливо встает вопрос о том, как рационально назначить зазоры и выбрать поле допусков для обеспечения более надежной работы соединения.

В статье предлагается формула, по которой можно определить зазоры между опорными поверхностями зубьев, исходя из условия равномерного распределения нагрузки по зубьям. Рекомендуется правило для выбора полей допусков на шаги между опорными поверхностями зубьев.

Теоретические выводы проверялись на моделях, изготовленных из пластмасс (целлулоид, винипласт, органическое стекло). Сходимость опытных данных с результатами теоретических исследований достаточно удовлетворительна: расхождения не превышают 10—13%.

## I

При решении задачи принимаем следующие предположения:

- а) хвостовое соединение нагружено только центробежной силой пера лопатки, точка приложения и направление которой совпадают с осью симметрии хвостовика;
- б) хвостовое соединение работает в условиях плоского напряженного состояния и имеет постоянную толщину;
- в) силы трения между опорными поверхностями отсутствуют;
- г) зубья хвостовика лопатки и межпазового выступа диска имеют одинаковую форму и размеры;
- д) зазоры между опорными поверхностями одной пары зубьев в данном сечении имеют одинаковую величину;
- е) после приложения полной нагрузки все зазоры выбираются и любая пара зубьев находится между собой в контакте;

ж) температурный перепад по высоте хвостового соединения отсутствует\*.

Хвостовое соединение типа «лопатка—диск» заменяем идеализированной схемой (рис. 1) [2], из которой следует:

$$x + \Delta_{\perp} + X_{\perp}(0) + X_0(0) - \delta(x) = x + \Delta_0 + X_{\perp}(x) + X_0(x) - \delta(0) \quad (1)$$

или

$$\Delta_{\perp} + X_{\perp}(0) + X_0(0) + \delta(0) = \Delta_0 + X_{\perp}(x) + X_0(x) + \delta(x).$$

Индекс  $\perp$  относится к хвостовому соединению, а индекс 0 — к межпазовому выступу диска.

Рассмотрим сечение  $x$ . При отсутствии зазоров между опорными поверхностями зубьев после приложения нагрузки (здесь и в дальнейшем полная расчетная нагрузка) на хвостовое соединение нагрузка на зубья в этом сечении составит  $P_x^0$ . Введем зазор  $\delta(x)$ . Тогда после приложения нагрузки на хвостовое соединение нагрузка на зубья будет  $P_x$ , причем для рассматриваемого сечения  $P_x^0 > P_x$ . Величину зазора  $\delta(x)$  можно задать такую, что зубья не придут в соприкосновение и не будут воспринимать нагрузку. Максимально допустимым зазором в сечении  $x$  будем считать такой зазор, когда после приложения нагрузки зубья только придут в соприкосновение, не воспринимая нагрузки, т. е. при  $\delta(x)_{\max} \rightarrow P_x = 0$ , и сумма прогибов зубьев будет равна нулю, т. е.  $X_{\perp}(x) + X_0(x) = 0$ .

Тогда из уравнения (1) следует:

$$\delta(x)_{\max} = \Delta_{\perp} - \Delta_0 + X_{\perp}(0) + X_0(0) + \delta(0). \quad (2)$$

Здесь максимально допустимый зазор выражается через другой, неизвестный, зазор, что не совсем удобно. В хвостовом соединении всегда должно быть такое сечение (обозначим его  $x=h$ ), в котором зазор в ненагруженном состоянии отсутствует и зубья находятся между собой в контакте. Напишем уравнение совместности деформаций для этого сечения  $\delta(h) = 0$ .

$$\Delta_{\perp} + X_{\perp}(0) + X_0(0) + \delta(0) = \Delta_0 + X_{\perp}(h) + X_0(h).$$

Отсюда

$$X_{\perp}(0) + X_0(0) + \delta(0) = \Delta_0 - \Delta_{\perp} + X_{\perp}(h) + X_0(h).$$

Подставляя последнее выражение в (2), получим универсальное выражение для максимально допустимого зазора в любом сечении:

$$\delta(x)_{\max} = (\Delta_{\perp} - \Delta_0)_x - (\Delta_{\perp} - \Delta_0)_h + X_{\perp}(h) + X_0(h). \quad (3)$$

Изложенное выше соображение удобно представить графически (рис. 2). По оси абсцисс откладываем величины зазоров, а по оси ординат — величины нагрузок на зубья. Когда зазор  $\delta(x) = 0$ , то нагрузка на зубья будет  $P_x^0$ . Когда зазор будет максимально допустимым  $\delta(x) = \delta(x)_{\max}$ , то нагрузка на зубья будет  $P_x = 0$ . Таким образом, имеются две крайние точки. Принимая линейную зависимость между величинами зазора и нагрузки, получим:

$$P_x = P_x^0 \left[ 1 - \frac{\delta(x)}{\delta(x)_{\max}} \right]. \quad (4)$$

\* Учет температурного фактора по высоте соединения выполнен в работе [1].

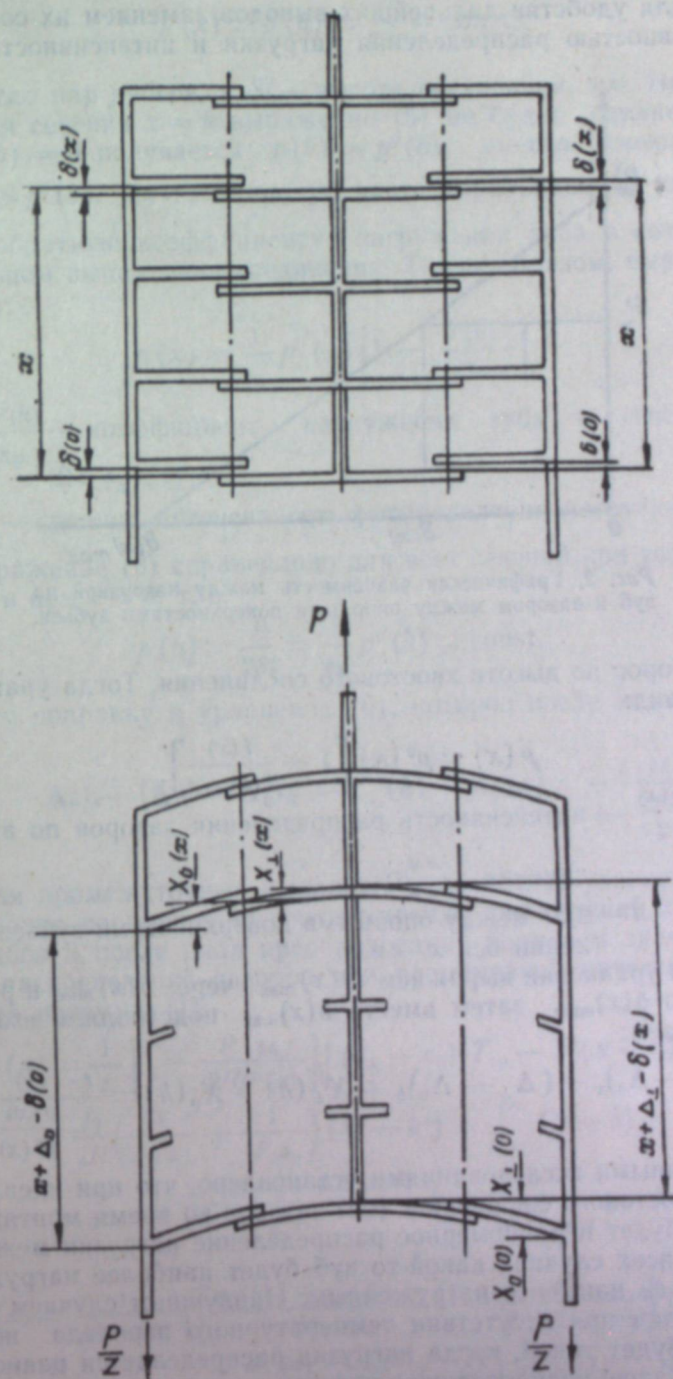


Рис. 1. Схема совместности деформаций деталей соединения «лопатка — диск» турбины.

Так как нагрузка и зазоры являются дискретными величинами и их нельзя выразить непрерывными функциями по высоте хвостового соединения, то для удобства дальнейших выводов заменяем их соответственно интенсивностью распределения нагрузки и интенсивностью распре-

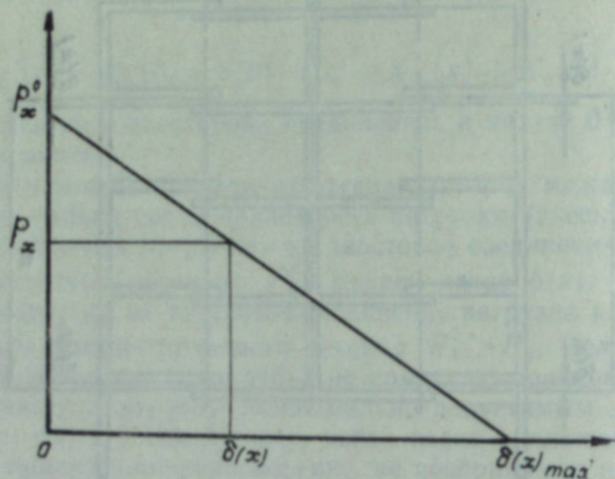


Рис. 2. Графическая зависимость между нагрузкой на зуб и зазором между опорными поверхностями зубьев.

деления зазоров по высоте хвостового соединения. Тогда уравнение (4) принимает вид:

$$p(x) = p^0(x) \left[ 1 - \frac{i(x)}{i(x)_{\max}} \right], \quad (5)$$

где  $i(x) = \frac{\delta(x)}{t}$  — интенсивность распределения зазоров по высоте соединения,  $\frac{м.м.}{м.м.}$ ;  
 $t$  — шаг между опорными поверхностями зубьев в направлении оси  $x$ ,  $м.м.$ .

В последнем уравнении выражаем  $i(x)_{\max}$  через  $\delta(x)_{\max}$  и решаем его относительно  $\delta(x)_{\max}$ , затем вместо  $\delta(x)_{\max}$  подставляем его значение (3) и получаем:

$$(\Delta_{\perp} - \Delta_0)_x - (\Delta_{\perp} - \Delta_0)_h + X_{\perp}(h) + X_0(h) = \frac{t \cdot i(x)}{1 - \frac{p(x)}{p^0(x)}}. \quad (6)$$

Многочисленными исследованиями установлено, что при идеальном выполнении хвостового соединения (без зазоров во время монтажа турбины) всегда будет неравномерное распределение нагрузки между зубьями, т. е. во всех случаях какой-то зуб будет наиболее нагруженным и один из зубьев наименее нагруженным. Наилучшим случаем распределения нагрузки при отсутствии температурного перепада по высоте соединения будет такой, когда нагрузка распределяется равномерно на все зубья. Такое распределение нагрузки наиболее желательно для соединения как уменьшающее общую неравномерность напряженного состояния. Этого можно достигнуть благодаря такому заданию зазоров, когда величины зазоров уменьшаются от наиболее нагруженной пары зубьев к наименее нагруженным, достигая нуля между опорными поверхностями наименее нагруженной пары. Выше это сечение обозначено через  $x = h$ . Определим, при какой закономерности интенсивности рас-

пределения зазоров по высоте соединения будет достигнута равномерная интенсивность распределения нагрузки.

$$\text{Имеем} \quad p(x) = p(h) = \frac{P}{2St} = \text{const}, \quad (7)$$

где  $S$  — число пар зубьев, а  $St$  — высота соединения,  $м.м.$ . Но при этом условии для сечения  $x = h$  выражение (5) не будет справедливо, так как при  $i(h) = 0$  получается  $p(h) = p^0(h)$ , вместо имеющего место  $p(h) = \frac{P}{2St} > p^0(h)$ . Поэтому правую часть выражения (5) умножим на величину, обратную коэффициенту нагружения зуба в сечении  $x = h$  при идеальном выполнении соединения. Таким образом, выражение (5) примет вид:

$$p(x) = \frac{1}{\rho_h} p^0(x) \left[ 1 - \frac{i(x)}{i(x)_{\max}} \right], \quad (8)$$

где  $\rho_h = \frac{p^0(h)}{p_{\text{ср}}}$  — коэффициент нагружения зуба в сечении  $x = h$  ( $0 < \rho_h < 1$ ),  
 $p_{\text{ср}} = \frac{P}{2St}$  — средняя интенсивность распределения нагрузки,  $\frac{кг}{м.м.}$ .

Теперь выражение (8) справедливо для всех сечений при условии (7), в том числе и при  $x = h$ , т. е.

$$p(h) = \frac{P}{2St} = \frac{1}{\rho_h} p^0(h) = \text{const}.$$

Введем эту поправку в уравнение (6), которое после этого запишется так:

$$(\Delta_{\perp} - \Delta_0)_x - (\Delta_{\perp} - \Delta_0)_h + X_{\perp}(h) + X_0(h) = \frac{t \cdot i(x)}{1 - \frac{\rho_h p(x)}{p^0(x)}}. \quad (9)$$

Не приводя промежуточных выкладок, в последнее уравнение подставим значения перемещений соответственно для сечений  $x$  и  $h$ , значения прогибов и после ряда преобразований получаем значения интенсивности распределения зазоров при равномерной интенсивности распределения нагрузки [1]:

$$i(x) = \frac{1}{t} \left[ 1 - \frac{P \cdot \rho_h}{2H p^0(x)} \right] \left[ (\alpha_{\perp} - \alpha_0)(T_{\text{ср}} - T)(x - h) + \frac{P}{2H} \left( \frac{1}{F_{\perp} a_{\perp}} + \frac{1}{F_0 a_0} \right) (x^2 - h^2) - \frac{P}{F_0 a_0} (x - h) + \frac{2P(\cos \varphi + 0.3 \sin^2 \varphi)}{g^2 b S} \left( \frac{1}{a_{\perp}} + \frac{1}{a_0} \right) \right], \quad (10)$$

где

$$p^0(x) = \frac{1}{AkShkH} \left\{ \left[ \frac{a_{\perp}(\alpha_{\perp} - \alpha_0)(T_{\text{ср}} - T)}{1 + \Phi} + \frac{P}{F_{\perp}(1 + \Phi)} \right] \text{ch } kx + \left[ \frac{P\Phi}{F_0(1 + \Phi)} - \frac{a_{\perp}(\alpha_{\perp} - \alpha_0)(T_{\text{ср}} - T)}{1 + \Phi} \right] \text{ch } k(H - x) \right\}. \quad (11)$$

Здесь

$$A = \frac{4H(\cos \varphi + 0.3 \sin^2 \varphi)}{g^2 b S}; \quad k = \sqrt{\frac{2 \left( \frac{C_0}{C_{\perp}} + \Phi \right)}{AF_0(1 + \Phi)}}.$$



В выражениях (10), (11) (см. также рис. 3):

$P$  — нагрузка на соединение, кг;

$p(x)$  — интенсивность распределения нагрузки по высоте соединения,  $\frac{кг}{мм}$ ;

$b$  — толщина соединения, мм;

$F = bc$  — площадь сечения соответственно тела хвостовика лопатки и межпазового выступа диска при  $x = \frac{H}{2}$ , мм<sup>2</sup>;

$g = \frac{h_0}{l}$  — жесткость зуба, где  $l$  — плечо от середины линии контакта опорных поверхностей зубьев до линии «защемления» зуба, а  $h_0$  — высота зуба под точкой приложения нагрузки на зуб;

$\varphi$  — угол скоса опорной поверхности зуба;

$\alpha$  — коэффициент линейного расширения материалов лопатки и диска;

$T_{cp}$  — средняя температура хвостового соединения, °С;

$T$  — температура монтажа турбины, °С;

$a$  — модуль ползучести [3] материалов лопатки и диска,  $\frac{кг}{мм^2}$ ;

$\Phi = \frac{a_1}{a_0}$  — коэффициент совместности работы соединения [3].

Для нахождения величины зазоров между опорными поверхностями зубьев в направлении  $x$  необходимо построить в определенном масштабе кривую интенсивности распределения зазоров и спланиметрировать площади под участками кривой, приходящиеся на шаг соответственного зуба. Величина зазора в направлении, перпендикулярном к опорным поверхностям зубьев, определится умножением величины зазора в направлении оси  $x$  на  $\cos \varphi$ .

Практически быстро и просто координата сечения  $x = h$  находится путем табличного расчета функции  $p^0(x)$  для значений  $x$ , равных  $x = 0$ ,  $x = H$  и координатам опорных поверхностей зубьев, т. е. при числе пар зубьев в соединении  $S$  количество значений будет  $S + 2$ . Из этого расчета наглядно видна наименее нагруженная пара зубьев, тем более, что результат этого расчета используется затем для нахождения интенсивности распределения зазоров по выражению (10), в которое входит и функция  $p^0(x)$ .

Принятие исходной схемы (рис. 2) для связи между нагрузкой на зуб и зазором между опорными поверхностями ограничивает применимость формулы (10), которая оказывается справедливой лишь для тех случаев, когда значения интенсивности распределения нагрузки по высоте соединения для идеально точного прилегания зубьев во всех сечениях больше нуля; поэтому  $0 < p_h < 1$ , ибо при очень больших температурных деформациях первые или последние зубья могут быть совсем ненагруженными и даже могут быть зазоры между их опорными поверхностями. В таких случаях хвостовое соединение нужно привести к исходной схеме (рис. 2) описанным ниже приемом.

Искусственно разбиваем процесс нагружения хвостового соединения на два этапа. Сначала считаем, что хвостовое соединение подвержено температурной деформации, но при этом в холодном состоянии между опорными поверхностями задаем такие зазоры, которые полностью исчезнут в процессе нагревания, и все соответствующие пары зубьев придут только в контакт, то есть на основании [1] имеем:

$$\Delta_1^T - \Delta_0^T = \delta^T(x) \text{ или } (\alpha_1 - \alpha_0)(T_{cp} - T)x = \delta^T(x).$$

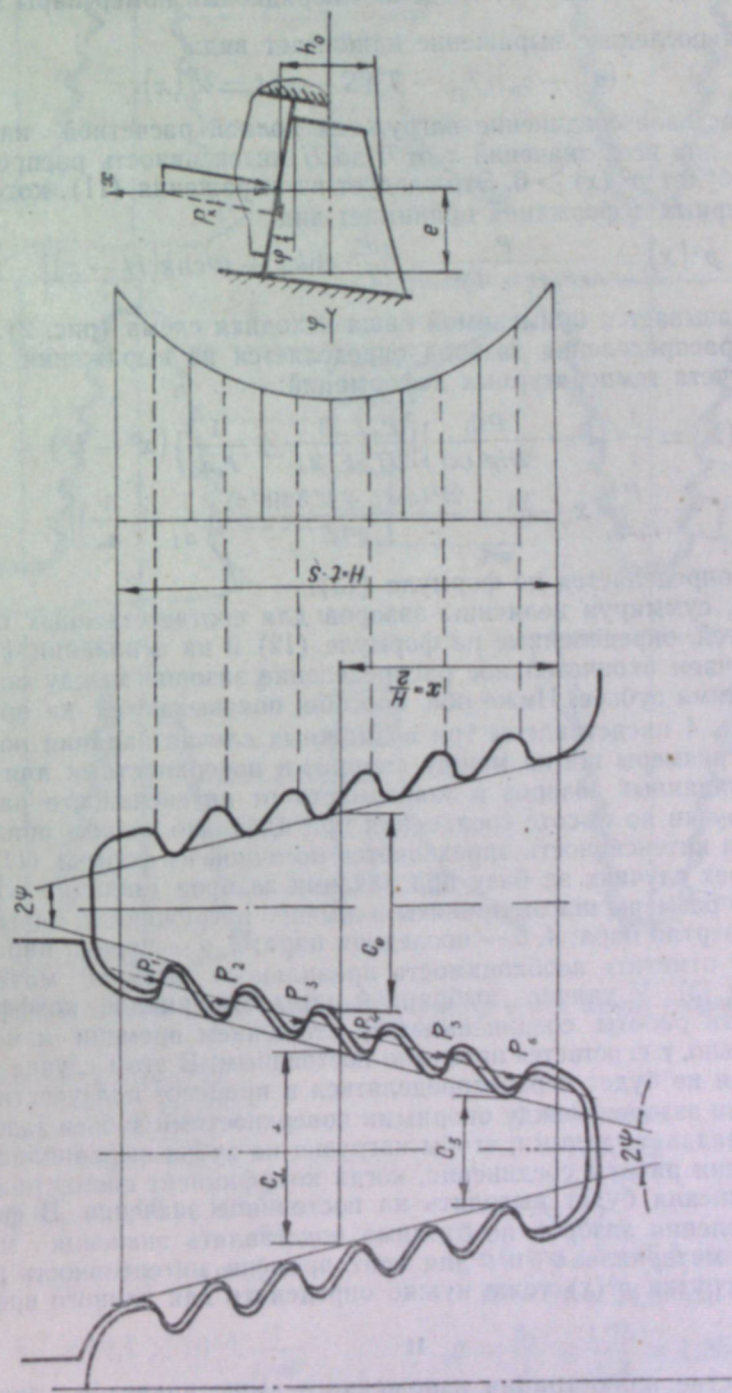


Рис. 3. Схема хвостового соединения.

Так как при координате  $x=0$  нет опорной поверхности, то здесь вместо текущей координаты  $x$  необходимо подставлять расстояния между опорными поверхностями зубьев, беря за базу последнюю пару (координата  $x = \frac{t}{2}$ ), т. е.  $(S-n)t$ , где  $n$  — порядковый номер пары зубьев.

Тогда последнее выражение принимает вид:

$$(\alpha_1 - \alpha_0)(T_{cp} - T)(S-n)t = \delta^T(x). \quad (12)$$

Затем хвостовое соединение нагружаем полной расчетной нагрузкой. При этом для всех значений  $x$  от 0 до  $H$  интенсивность распределения нагрузки будет  $p^0(x) > 0$ . Это следует из выражения (11), которое без температурных деформаций принимает вид:

$$p^0(x) = \frac{P}{AkF_0(1+\Phi)^{shkH}} \left[ \frac{C_0}{C_1} \operatorname{ch} kx + \Phi \operatorname{ch} k(H-x) \right]. \quad (13)$$

Теперь оказывается применимой наша исходная схема (рис. 2). Интенсивность распределения зазоров определяется из выражения (10), но уже без учета температурных деформаций:

$$i(x) = \frac{1}{t} \left[ 1 - \frac{Psh}{2Hp^0(x)} \right] \left[ \frac{P}{2H} \left( \frac{1}{F_{\perp a_{\perp}}} + \frac{1}{F_0 a_0} \right) (x^2 - h^2) - \frac{P}{F_0 a_0} (x-h) + \frac{2P(\cos \varphi + 0,3 \sin^2 \varphi)}{g^2 b S} \left( \frac{1}{a_{\perp}} + \frac{1}{a_0} \right) \right], \quad (14)$$

где  $p^0(x)$  определяется по формуле (13).

Затем, суммируя величины зазоров для соответственных опорных поверхностей, определенные по формуле (12) и на основании формулы (14), получаем окончательное распределение зазоров между опорными поверхностями зубьев. Ниже оба способа показываются на примерах.

На рис. 4 представлены три возможных случая задания полей допусков на размеры шагов между опорными поверхностями для осуществления заданных зазоров в зависимости от интенсивности распределения нагрузки по высоте соединения при идеально точном прилегании зубьев. Эта интенсивность определяется по одной из формул (11), (13). Во всех трех случаях за базу при задании зазоров (задании полей допусков) на размеры шагов приняты наименее нагруженные пары зубьев (4, а — четвертая пара; 4, б — последняя пара; 4, в — первая пара). Особо следует отметить необходимость правильного выбора материалов соединения [3]. У удачно выбранной пары материалов коэффициент совместности работы соединения ( $\Phi$ ) с течением времени изменяется незначительно, т. е. остается примерно постоянным. В этом случае нагрузка на зубья не будет перераспределяться в процессе ползучести. При определении зазоров между опорными поверхностями зубьев зазоры необходимо задавать такими, чтобы нагрузка на зубья выравнялась к такому времени работы соединения, когда коэффициент совместности работы соединения будет выходить на постоянное значение. В формулу для определения зазоров необходимо подставлять значения модулей ползучести материалов  $a_{\perp}$  и  $a$  для этого времени, интенсивность распределения нагрузки  $p^0(x)$  тоже нужно определять для данного времени.

## II

В качестве иллюстрации изложенного выше приведем два примера расчетов зазоров и задания полей допусков хвостовых соединений, работающих в области упругого деформирования материалов (расчет для условий ползучести отличается тем, что вместо модулей упругости подставляются соответственные модули ползучести).

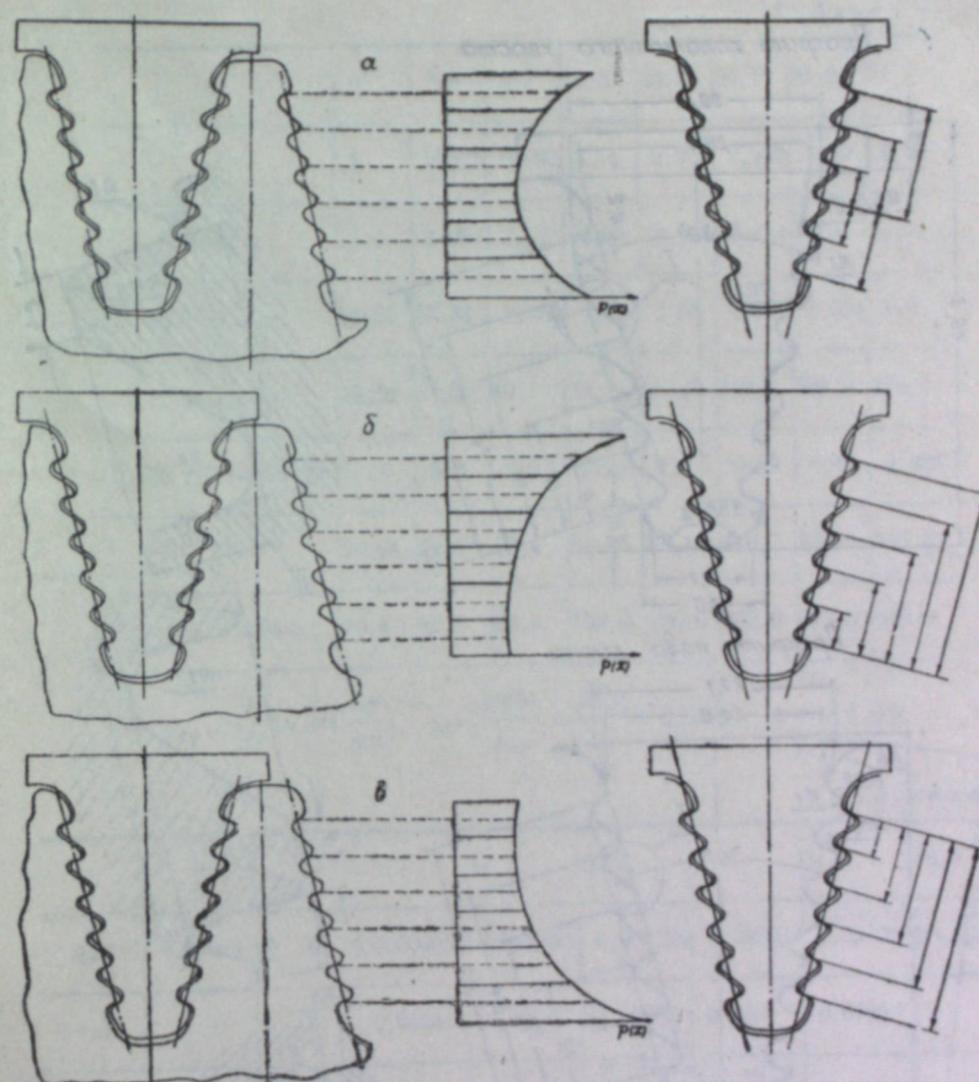


Рис. 4. Примеры задания полей допусков на размеры шагов между опорными поверхностями зубьев.

### Пример 1 (рис. 5)

$$T_{cp} = 500^\circ\text{C}$$

$$T = 20^\circ\text{C}$$

$$E_{\perp} = 1,97 \times 10^4 \frac{\text{кг}}{\text{мм}}$$

$$E_0 = 1,8 \times 10^4 \frac{\text{кг}}{\text{мм}}$$

$$\alpha_{\perp} = 14,1 \times 10^{-6} \frac{1}{\text{град}}$$

$$\alpha_0 = 12,75 \times 10^{-6} \frac{1}{\text{град}}$$

$$C_{\perp} = 15,75 \text{ мм}$$

$$C_0 = 16,95 \text{ мм}$$

$$b = 80 \text{ мм}$$

$$P = 1700 \text{ кг}$$

$$\varphi = 15^\circ$$

$$S = 6$$

$$t = 6 \cos 15^\circ = 5,8 \text{ мм}$$

$$H = St = 34,8 \text{ мм}$$

$$g = \frac{h_0}{t} = \frac{1,75}{1,3} = 1,35$$

$$\Phi = \frac{E_{\perp}}{E_0} = 1,094$$

$$F_{\perp} = C_{\perp} b = 1356 \text{ мм}^2$$

$$F_0 = C_0 b = 1260 \text{ мм}^2$$

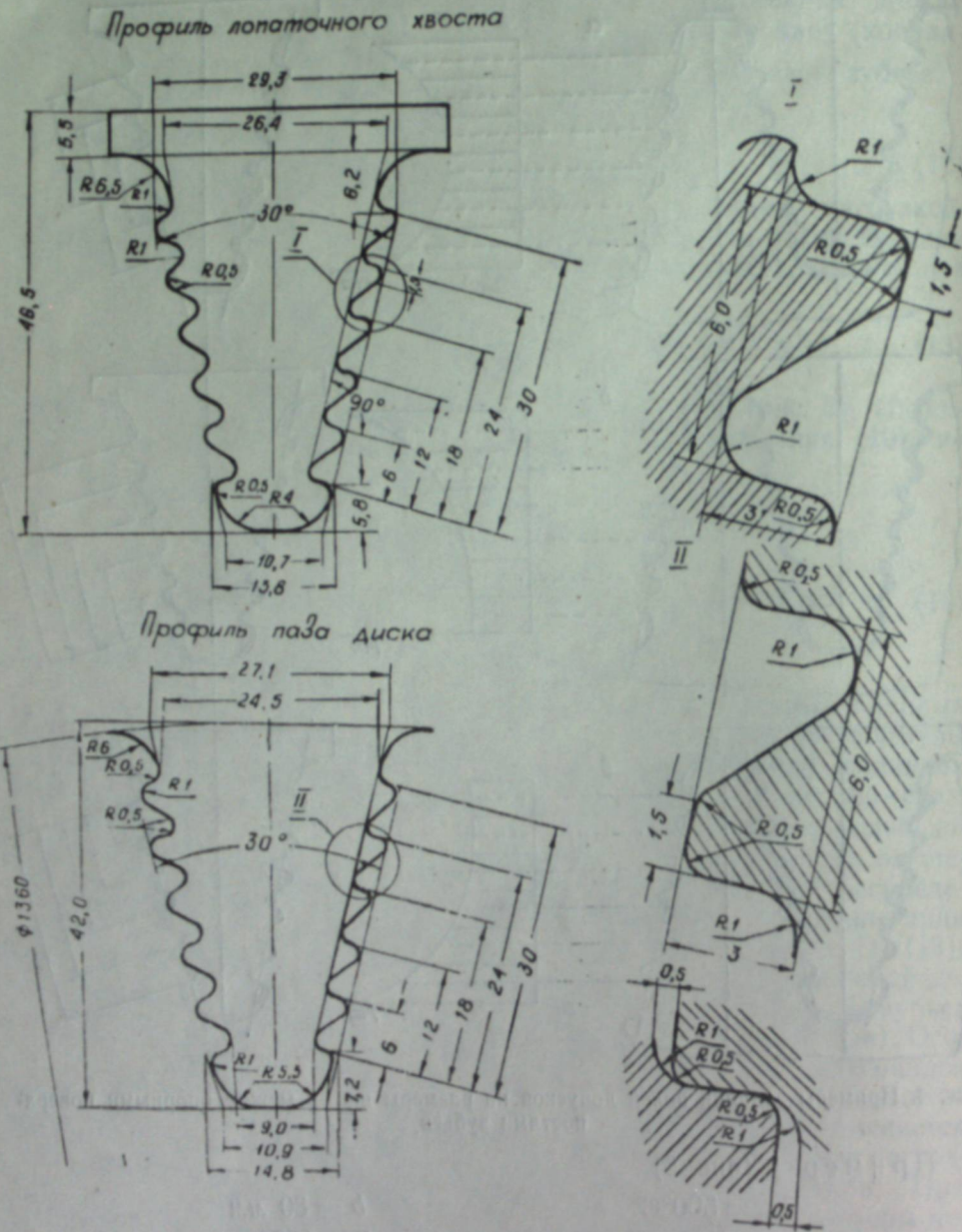


Рис. 5. Эскиз хвостового соединения к примерам 1, 2.

$$A = \frac{4H(\cos \varphi + 0,3 \sin^2 \varphi)}{g^2 b S} = 0,12; \quad (\alpha_{\perp} - \alpha_0) = 1,35 \times 10^{-6} \frac{1}{\text{град}};$$

$$k = \sqrt{\frac{2 \left( \frac{C_0}{C_{\perp}} + \Phi \right)}{A F_0 (1 + \Phi)}} = 0,1126;$$

$$p^0(x) = 2,94 [12,54 \operatorname{ch} kx + 0,453 \operatorname{Ch} k(H-x)].$$

Расчет  $p^0(x)$  сведен в табл. 1.

Расчет  $i(x)$  после нахождения постоянных коэффициентов сводится в табл. 2.

Таблица 1

$x$	0	2,9	8,7	14,5	20,3	26,1	31,9	34,8
$kx$	0	0,327	0,980	1,63	2,285	2,940	3,60	3,92
$\operatorname{ch} kx$	1,0	1,054	1,52	2,65	4,964	9,484	18,31	25,21
$\operatorname{ch} k(H-x)$	25,21	18,31	9,484	4,964	2,65	1,52	1,054	1,0
$12,54 \operatorname{ch} kx$	12,54	13,2	19,1	33,2	62,25	119,0	230,0	316,0
$0,453 \operatorname{ch} k(H-x)$	11,4	8,3	4,3	2,25	1,2	0,69	0,48	0,453
$\Sigma$	23,94	21,5	23,4	35,45	63,45	119,7	230,5	316,5
$p^0(x) = 2,94 \Sigma$	70,4	63,2	68,8	104,0	186,0	352,0	678,0	930,0

$$P_{\text{ср}} = \frac{P}{2H} = 244 \frac{\text{кг}}{\text{мм}}; \quad p_h = \frac{p^0(h)}{P_{\text{ср}}} = \frac{63,2}{244} = 0,259; \quad h = 2,9 \text{ мм.}$$

Таблица 2

$x$	0	2,9	8,7	14,5	20,3	26,1	31,9	34,8
$i(x)$	0,00005	0	0,000054	0,000421	0,001125	0,00206	0,00326	0,0039
$\delta(x)$		0	0,000314	0,00244	0,00653	0,012	0,0189	
$\delta$		0	0,000303	0,00236	0,0063	0,0116	0,0182	

Пример 2

Взято то же хвостовое соединение, только вместо  $(\alpha_{\perp} - \alpha_0) = 1,35 \times 10^{-6} \frac{1}{\text{град}}$  принимаем  $(\alpha_{\perp} - \alpha_0) = 2 \cdot 10^{-6} \frac{1}{\text{град}}$ . Расчет  $p^0x$  произведем по формуле (11).

$x$	0	2,9	8,7	14,5	20,3	26,1	31,9	34,8
$p^0(x)$	..	-138,4	-85,6	-0,059	84,4	206,5	420,4	825,3

Как видно из приведенных данных и из графика (рис. 6, выражения с индексом 2), последние две пары зубцов в идеальном случае являются ненагруженными и даже имеются зазоры между их опорными поверхностями. Величины зазоров в холодном состоянии для уничтожения температурных деформаций определяются по формуле (12).

$x$	0	2,9	8,7	14,5	20,3	26,1	31,9	34,8
$\delta T(x)$	..	0	0,00278	0,00835	0,0139	0,0195	0,02506	0,0306

Находим  $p^0(x)$  по формуле (13).

$x$	0	2,9	8,7	14,5	20,3	26,1	31,9	34,8
$p^0(x)$	505,0	372,0	212,0	145,7	145,0	208,6	367,0	496,0

Из приведенных данных  $\rho_h = \frac{145}{244} = 0,595$ ;  $h = 20,3$  мм. По формуле (14) определяем интенсивность  $i'(x)$ , по ней находим зазоры  $\delta'(x)$ , к которым прибавляем зазоры  $\delta^T(x)$ , и находим окончательные рациональные зазоры  $\delta$  (табл. 3). Интенсивность распределения нагрузки  $p^0(x)$  и зазоров  $i(x)$  для обоих примеров представлена на рис. 6. Расчет, рассмотренный в примере 2, является универсальным. Все расчеты можно сразу производить по формулам (12—14). В обоих примерах наименее нагруженными зубьями в идеальном случае являются последние, поле допусков необходимо задавать так, как показано на рис. 4, б.

Таблица 3

$x$	0	2,9	8,7	14,5	20,3	26,1	31,9	34,8
$i'(x)$	0,00107	0,00072	0,00023	0,0000015	0	0,00022	0,000704	0,00103
$\delta'(x)$	—	0,0042	0,00134	0,00087	0	0,00128	0,0041	—
$\delta^T(x)$	—	0	0,00556	0,01112	0,0167	0,0223	0,0278	—
$\Sigma$	—	0,0042	0,0069	0,01121	0,0167	0,0236	0,0319	—
$\delta(x) = \Sigma - 0,0042$	—	0	0,0027	0,007	0,0125	0,0194	0,0277	—
$i$	—	0	0,0026	0,0067	0,012	0,0187	0,0267	—

Если за максимально допустимую точность изготовления хвостовых соединений принять точность 0,005 мм, тогда поля допусков на размеры шагов для рассмотренных примеров можно задать согласно схем рис. 7. На этих схемах слева от оси даны размеры шагов с допусками для хвостовика лопатки и межпазового выступа диска; справа от оси даны: а) величины зазоров, полученные расчетным путем, б) гарантированные величины зазоров, полученные в результате задания допусков на шаги. Хотя при этих гарантированных зазорах распределение нагрузки по зубьям не будет абсолютно равномерным, все же благодаря им все зубья будут нагружены и возможность чрезмерной перегрузки одних зубьев за счет полного невключения в работу других исключается.

### Выводы

1. Наиболее равномерное распределение нагрузки по зубьям может быть обеспечено рациональным распределением величин зазоров, для определения которых при изготовлении хвостового соединения рекомендуются формулы (10—14).

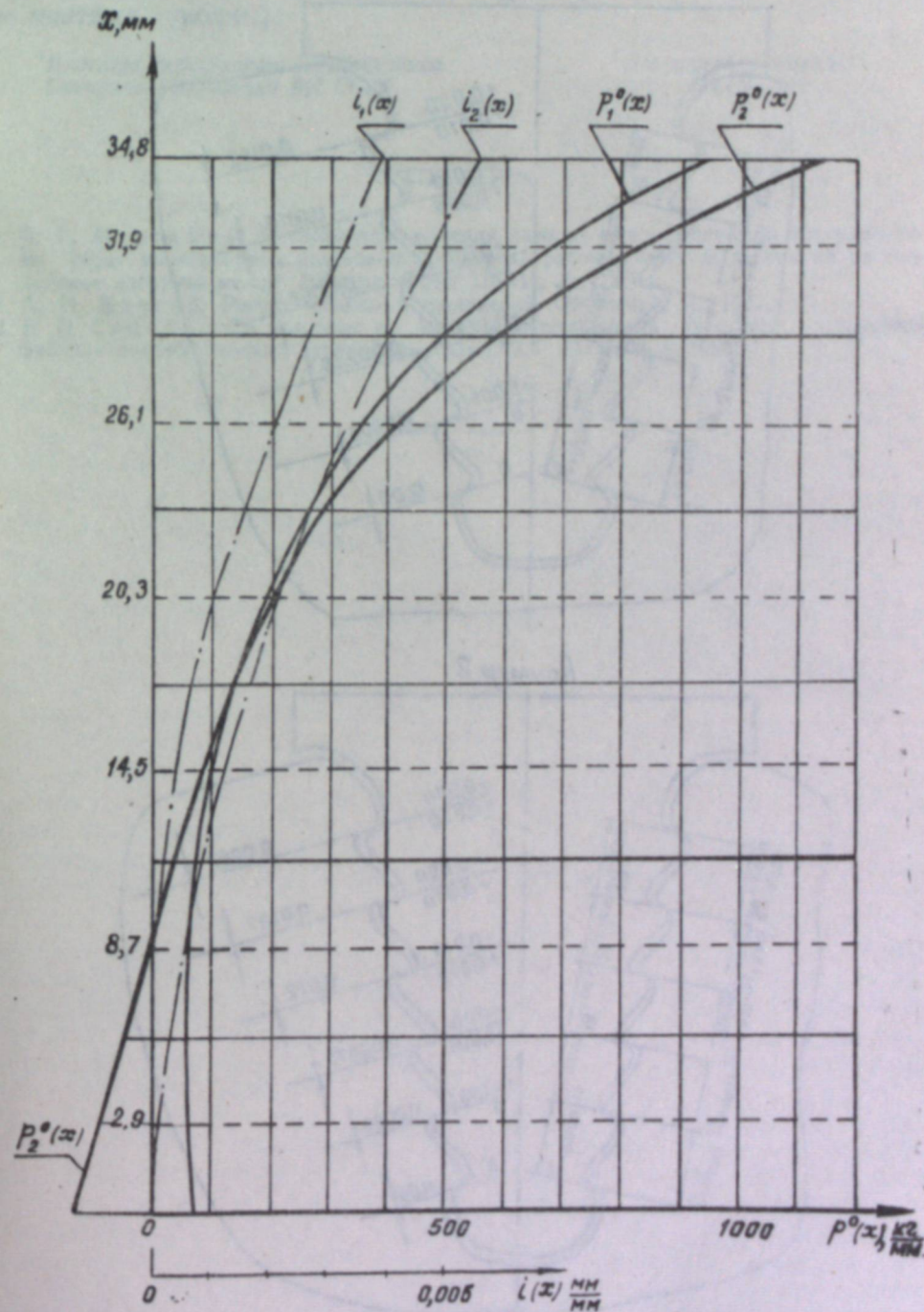


Рис. 6. Интенсивности распределения и нагрузки зазоров (соответственно  $p^0(x)$  и  $i(x)$ ); к примерам 1, 2).

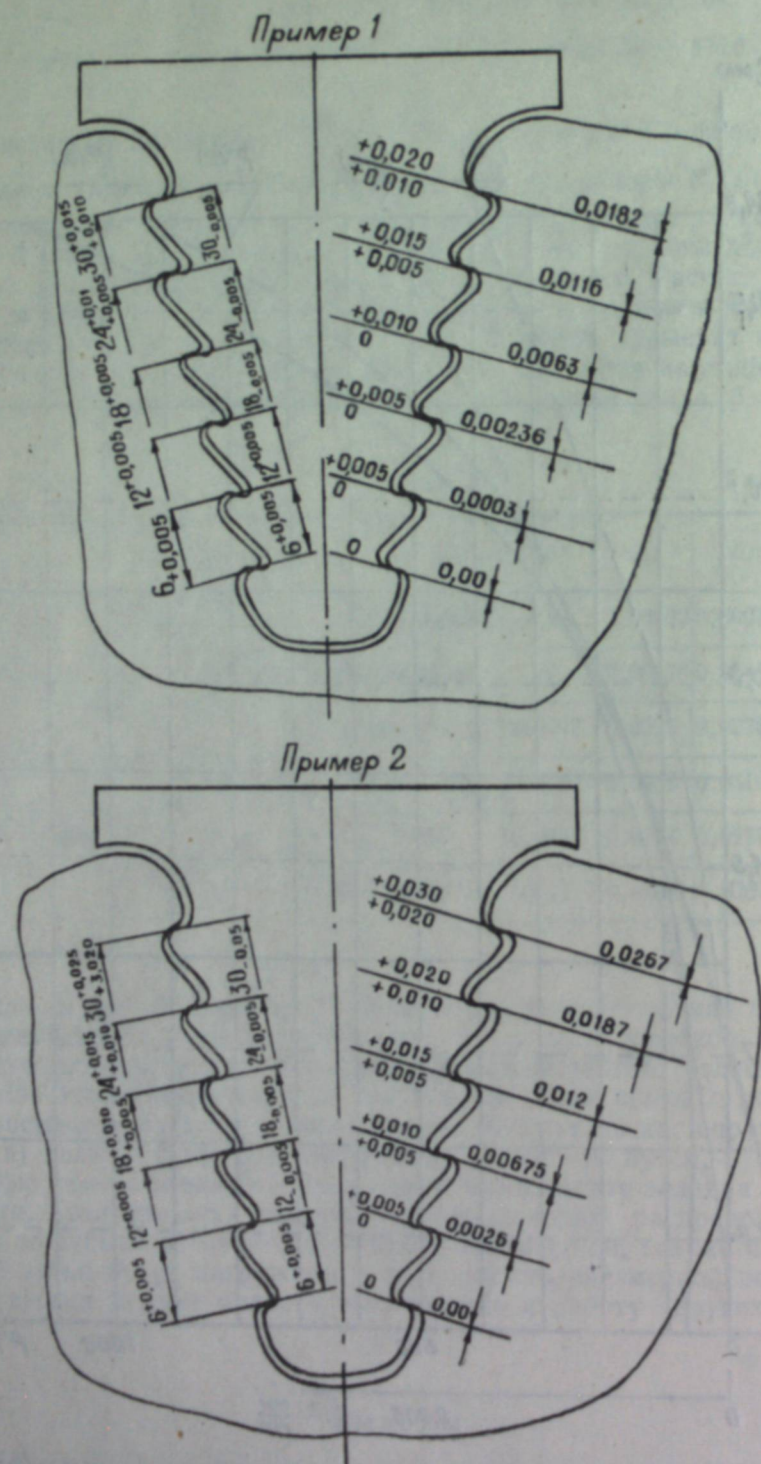


Рис. 7. Схема полей допусков на размеры шагов и зазоры между опорными поверхностями зубьев (к примерам 1, 2).

2. При задании поля допусков на размеры шагов между опорными поверхностями зубьев за базу необходимо принимать опорные поверхности той пары, которая является наименее нагруженной при идеально точном выполнении хвостового соединения (без зазоров при температуре монтажа турбины).

Институт радиофизики и электроники  
Сибирского отделения АН СССР

Поступила в редакцию  
8/VIII 1959

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Ч. Г. Мустафин, Исследование влияния зазоров между опорными поверхностями зубьев многоопорных хвостовых соединений рабочих лопаток турбин на распределение нагрузки между зубьями. Отчет ЦКТИ, Л., 1959.
2. А. И. Биргер, Расчет резьбовых соединений. Оборонгиз, М., 1951.
3. Б. П. Соколов, Об условиях на контуре многоопорных хвостовых соединений рабочих лопаток газовых турбин. Изв. АН СССР, ОТН, № 5, 1958.

Ю. В. ТРОИЦКИЙ

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ПРОВЕРКА РАБОТЫ  
ЭЛЕКТРОННОЙ ПУШКИ В МАГНИТНОМ ПОЛЕ,  
НАПРАВЛЕННОМ ВДОЛЬ ТРАЕКТОРИЙ ЭЛЕКТРОНОВ

Получение электронных потоков с большой проводимостью и высокой плотностью тока при небольшой нагрузке катода относится к наиболее сложным задачам, возникающим при конструировании электронных приборов свч (клистронов, ламп бегущей волны, ламп обратной волны и т. п.). Один из возможных способов улучшения работы электронных пушек в этих приборах заключается в том, чтобы для формирования электронного потока, выходящего из катода, использовать не только электростатическое, но и магнитное поле. В частности, можно использовать магнитное поле для «стабилизации» электронного потока в обычных электростатических пушках (например в пушках Пирса). В этом случае пушка должна быть помещена в магнитное поле (в общем случае неоднородное), силовые линии которого совпадали бы с расчетными траекториями электронов в пушке. Такое магнитное поле не повлияет на движение основной массы электронов пучка; в то же время электроны, имеющие добавочные поперечные скорости (например из-за аббераций, тепловые начальные скорости и т. д.), будут закручиваться вокруг магнитных силовых линий и не отойдут далеко от траекторий электронов, не имеющих добавочной поперечной скорости. Это даст возможность улучшить распределение плотности тока в сечении пучка и получить резко очерченные пучки очень малого диаметра в таких системах, которые без магнитного поля создавали бы пучки низкого качества.

В работах [1] и [2] рассмотрено влияние однородного магнитного поля на характеристики параллельного электронного потока при наличии тепловых начальных скоростей на катоде. В этом случае «распыление» пучка, связанное с тепловыми скоростями электронов, может быть значительно уменьшено благодаря магнитному полю, а в некоторых точках вдоль пучка — даже сведено к нулю. Однако с практической точки зрения, по-видимому, этот эффект представлял бы наибольший интерес для более общего случая — для электронного потока с изменяющимся по длине радиусом, например для сжимающегося пучка, который позволяет получить большую плотность тока.

Настоящая статья посвящена экспериментальной проверке влияния магнитного поля на работу пушки со сходящимся пучком\*. В приборе, схема которого изображена на рис. 1, используется пушка Пирса [3, стр. 181—190]. Она создает аксиально-симметричный электронный пучок 1, который по выходе из пушки сначала сходится, затем достигает минимального радиуса  $r_m$  и начинает расходиться под действием

\* В изготовлении экспериментальных приборов принимал участие сотрудник ИРЭ СОАН СССР А. Ф. Рогожников.

собственного пространственного заряда. Параметры примененной в приборе пушки следующие:  $\bar{r}_k/\bar{r}_a = 2,25$ ,  $r_k = 2,25$  мм,  $r_m = 0,38$  мм,  $I/U_a^{3/2} = 0,4 \cdot 10^{-6}$  а/в<sup>3/2</sup>, ( $\bar{r}_k$  и  $\bar{r}_a$  — радиусы кривизны катода и анода в сферическом диоде, частью которого является пушка [3, стр. 181],  $r_k$  — радиус пучка у катода,  $r_m$  — радиус пучка в минимальном сечении при отсутствии тепловых скоростей;  $I$  — ток пучка,  $U_a$  — ускоряющее напряжение).

Пушка помещена в магнитный экран 3 из «армоко». Экран состоит из двух цилиндров равного диаметра (14,4 мм), разделенных небольшим зазором 4, в котором создается магнитное поле. Диаметр экранов и положение зазора подобраны таким образом, чтобы магнитные силовые линии на всем протяжении пушки были направлены приблизительно вдоль электронных траекторий, вычисленных без учета тепловых скорос-

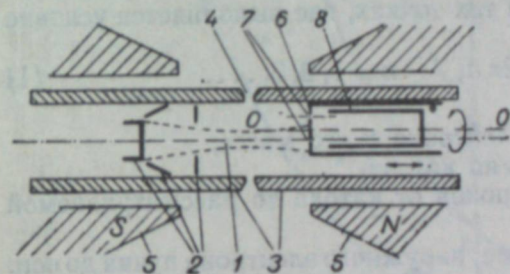


Рис. 1.

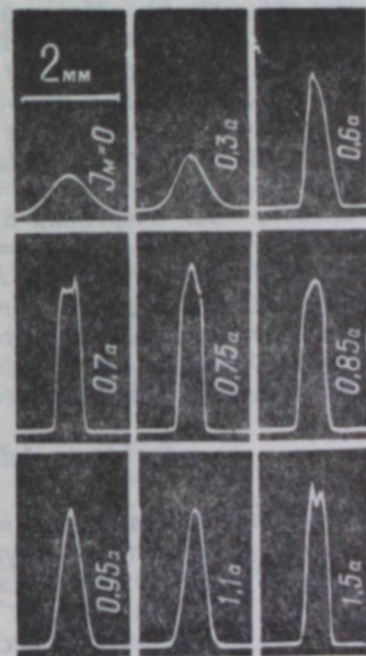


Рис. 2.

тей на катоде. Ход магнитного поля был рассчитан для экранов с бесконечной магнитной проницаемостью [4, стр. 52—61], а затем проверен путем магнитных измерений.

Выходящий из пушки пучок попадает на танталовую мишень 6, в которой имеется четыре очень малых отверстия 7. Мишень может вращаться вокруг оси  $OO'$ , отстоящей на некотором расстоянии от оси пушки и экранов. При вращении мишени отверстия одно за другим движутся через пучок, и ток, проходящий через них, улавливаемый коллектором 8, изменяется пропорционально плотности тока в месте расположения отверстия. Таким способом можно получить распределение плотности тока  $j(r)$  в сечении пучка. Наличие не одного, а нескольких отверстий в мишени позволяет снизить требования к центровке всего прибора. Чтобы избежать влияния вторичной эмиссии из коллектора, потенциал его устанавливается несколько выше, чем потенциал мишени. Распределение плотности тока автоматически записывается на киноплёнку при помощи шлейфового осциллографа. Более полное описание всей системы измерений содержится в работе [5].

Весь прибор был помещен в стеклянный вакуумный баллон и испытывался в отпаянном виде; высокий вакуум поддерживался при помощи бариевых газопоглотителей. Магнитное поле создавалось при помощи электромагнита 5, расположенного вне лампы.

На рис. 2 показано распределение плотности тока  $j(r)$  в минимальном сечении пучка (против зазора 4, см. рис. 1) при одном и том же ускоряющем напряжении  $U_a = 200$  в и токе пучка  $I = 1,1$  ма, но при

различных магнитных полях в пушке. Масштаб по  $r$  всех кривых рис. 2 одинаков и показан около 1-й кривой; масштаб по  $j$  также один и тот же. На каждой осциллограмме указан ток электромагнита  $I_m$ , при котором производилась запись.

Когда для формирования пучка используется лишь электростатическое поле (1-я кривая,  $I_m = 0$ ), пучок имеет большой радиус и размытую границу, плотность тока постепенно спадает к краям. Это происходит из-за наличия тепловых скоростей электронов на катоде [6]. Такое распределение плотности тока обычно весьма невыгодно с точки зрения использования в приборах свч. По мере увеличения магнитного поля плотность тока в центре пучка возрастает, его радиус уменьшается, достигая минимума при  $I_m = 0,7 - 0,75 a$ , что соответствует магнитной индукции на катоде  $B_{zk} = 13,6 - 15$  гаусс. При дальнейшем росте магнитного поля очертания пучка снова делаются нерезкими и плотность тока уменьшается ( $I_m = 0,95 - 1,1 a$ ), но затем начинается новое увеличение плотности тока ( $I_m = 1,5 a$ ) и т. д. Таким образом, при некоторых значениях магнитного поля, параллельного расчетным траекториям электронов, влияние тепловых скоростей совершенно устраняется и пучок приобретает резкие границы и диаметр, близкий к расчетному. Согласно [7], это имеет место в тех точках, где выполняется условие

$$\eta B_{zk} \int_0^t (r_k/r_e)^2 dt = 2\pi n, \quad n = 1, 2, 3, \dots, \quad (1)$$

где  $\eta = e/m$  — отношение заряда электрона к его массе,  
 $B_{zk}$  — магнитная индукция на катоде,  
 $t$  — время пролета электронов от катода до рассматриваемой точки пучка,  
 $r_e$  — переменное расстояние наружного электрона пучка до оси.

Приведенная формула является условием фокусировки электронов, выходящих из катода с поперечными тепловыми скоростями. В тех точках, где оно выполнено, получается изображение катода, создаваемое тепловыми электронами. Формула (1) выведена для ламинарного приосевого аксиально-симметричного потока с почти постоянной плотностью тока в поперечном сечении; считается, что силовые линии магнитного поля повсюду направлены вдоль траекторий электронов, которые вышли из катода без начальной скорости.

Картина, представленная на рис. 2, несколько сложнее, чем предполагалось в упрощенной теории [7]. По мере увеличения магнитного поля кривая приобретает П-образный вид с небольшими всплесками на краях (кривые для  $0,7 a$  и  $1,5 a$ ), а затем, при большем токе, максимальная плотность тока получается в центре ( $I_m = 0,75 - 0,85 a$ ). Можно предположить, что в первом случае в исследуемой плоскости фокусируются электроны, выходящие из края катода, а во втором — центральные электроны. Неправильности в кривых плотности тока, по-видимому, зависят от неравномерной токовой нагрузки различных участков катода.

Кроме 9 кривых, приведенных в качестве примера на рис. 2, было записано около 1500 осциллограмм  $j(r)$  при напряжениях пучка от 50 до 800 в в различных точках вдоль оси пучка  $z$ . Полученные записи качественно аналогичны приведенным на рис. 2. Особое внимание при измерениях обращалось на точки фокусировки, которые наиболее интересны из-за большой плотности тока, достигаемой в них. На рис. 3 по оси абсцисс отложено осевое расстояние  $z$ , причем точка  $z = 0$  соответствует положению минимума при отсутствии тепловых скоростей; точками различной конфигурации обозначена экспериментально най-

денная величина  $B_{zk}/\sqrt{U_a}$ , при которой в данном месте пучка получается фокусировка тепловых электронов. Сплошные линии дают связь между  $B_{zk}/\sqrt{U_a}$  и  $z$ , найденную при помощи формулы (1) для  $n = 1, 2$  и 3; вычисление интеграла, входящего в формулу, производилось согласно [6], исходя из известных расчетных параметров нашей пушки. Экспериментальные точки при приближении к аноду пушки располагаются выше теоретических, а при удалении за точку  $z = 0$  — ниже. В первом случае для фокусировки требуется магнитное поле, несколько большее

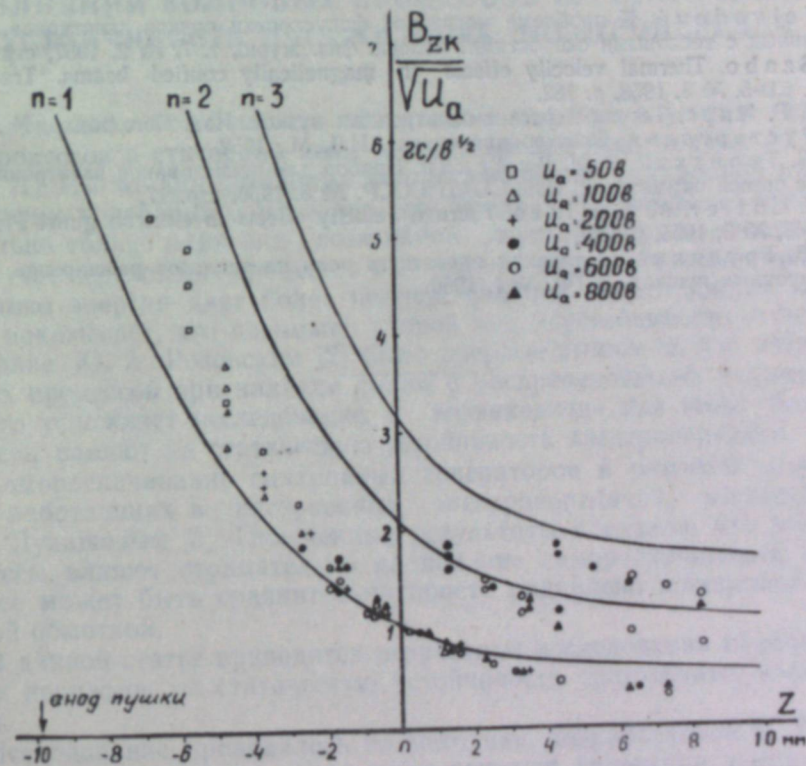


Рис. 3.

расчетного, а во втором случае меньше. Небольшая величина расстояния между точками и сплошными кривыми свидетельствует о том, что формула (1) в данном случае является хорошим приближением. Следует отметить, что экспериментальные точки на рис. 3 соответствуют кривым распределения плотности тока такого же вида, как при  $I_m = 0,7 a$  на рис. 2, т. е. предполагаемой фокусировке периферийных электронов пучка. Если вместо этого нанести на рис. 3 экспериментальные точки, соответствующие кривым типа  $I_m = 0,75 - 0,85 a$  (см. рис. 2), то они расположатся несколько правее.

Кроме прибора, описанного выше, для изучения формирующих систем с магнитным полем были изготовлены и другие приборы. Их исследование подтвердило возможность получения в таких системах электронного пучка малого диаметра с резко очерченными границами. В частности, для одного из этих приборов получена компрессия площади пучка на пути от катода до минимума в 125 раз ( $U_a = 600$  в,  $I = 5,9$  ма).

Описанные «стабилизированные» электронные пушки могут найти применение в ряде приборов для усиления и генерации сверхвысоких

частот, в частности — в низковольтных приборах с коротким пространством взаимодействия (клистронах, генераторах с тормозящим полем и т. п.).

Институт радиофизики и электроники  
Сибирского отделения АН СССР

Поступила в редакцию  
26/VI 1959

#### ЛИТЕРАТУРА

1. J. Vejvodová, К проблеме магнитной фокусировки пучков электронов, эмиттированных с тепловыми скоростями. Чехосл. физ. журн., т. 7, № 2, 1957, стр. 191.
2. A. Szabo, Thermal velocity effects in magnetically confined beams. Trans. IRE, vol. ED-5, № 3, 1958, p. 182.
3. Дж. Р. Пирс, Теория и расчет электронных пучков. Изд. Сов. радио, М., 1956.
4. А. Рустергольц, Электронная оптика. ИЛ, М., 1952.
5. Ю. В. Троицкий, В. И. Воженин, Прибор для исследования электронных пучков с осевой симметрией. Изв. СОАН СССР, № 8, 1959, стр. 17.
6. C. C. Cutler, M. E. Hines, Thermal velocity effects in electron guns. Proc. IRE, vol. 43, № 3, 1955, p. 299.
7. Ю. В. Троицкий, О влиянии магнитного поля на тепловое расширение пучка в электронных пушках, ЖТФ, № 1, 1960.

Р. Г. КАРЫМОВ

### О ВЛИЯНИИ ВОЛНОВЫХ ПРОЦЕССОВ НА СТАТИЧЕСКУЮ УСТОЙЧИВОСТЬ НАСТРОЕННЫХ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ

Статическая устойчивость синхронной машины с учетом переходных процессов в статорной цепи была подробно исследована А. А. Горевым [1]. Им же дан детальный анализ уравнений синхронной машины для малых колебаний и показано, что уравнения Лебедева отражают правильно только один вид возможной неустойчивости — аperiodическую; учет переходных процессов в статорной обмотке и линии при учете рассеяния энергии дает более полную картину происходящих процессов и показывает, что возможен второй вид неустойчивости — самораскачивание. Ю. А. Розовским [2] было впервые выявлено, что учет переходных процессов при наличии линии с распределенными параметрами много усложняет исследование, и возникающие при этом волновые процессы влияют на статическую устойчивость электропередачи.

Самораскачивание синхронных генераторов в режимах холостого хода, работающих в настроенных электропередачах, исследовалось Э. С. Лукашовым [3]. Полученные результаты показали, что волновые процессы влияют отрицательно на явление самораскачивания, но последнее может быть сравнительно просто подавлено поперечной демпферной обмоткой.

В данной статье приводятся результаты исследования влияния волновых процессов на статическую устойчивость настроенных электропередач.

Исследование проводилось по методике, разработанной П. И. Зубковым, заключающейся в совместном решении уравнений линии и синхронной машины при малых возмущениях.

Работа выполнена в лаборатории электроэнергетических систем Транспортно-энергетического института СОАН СССР под руководством В. К. Шербакова и является частью общей темы лаборатории.

Характеристическое уравнение системы, полученное по указанной выше методике, для случая передачи энергии на шины бесконечной мощности при отсутствии автоматического регулирования может быть записано в следующем виде:

$$I(p) = - [X'_d(p) + X(p)] \frac{e_{d0}^2 - e_{d0} i_{d0} [2x_d - x_q(p) + X(p)]}{\Delta(p)p^2} - \\ - i_{d0}^2 [x_d - x_q(p)] \frac{[x_d + X(p)][x'_d(p) + X(p)] + R^2(p)}{\Delta(p)p^2} - \\ - i_{q0}^2 [x_q - x'_d(p)] \frac{[x_q + X(p)][x_q(p) + X(p)] + R^2(p)}{\Delta(p)p^2}, \quad (1)$$

где

$$\Delta(p) = [x'_d(p) + X(p)][x_q(p) + X(p)] + R^2(p), \quad (2)$$



$$x'_d(p) = \frac{x_d + x'_d T_{d0} p}{1 + T_{d0} p}, \quad (3)$$

$$x_q(p) = \frac{x_q + T_q x'_q p}{1 + T_q p}, \quad (4)$$

$$R(p) = \frac{1}{2j} \left[ \frac{r + Z(p-j)}{p-j} - \frac{r + Z(p+j)}{p+j} \right], \quad (5)$$

$$X(p) = \frac{1}{2} \left[ \frac{r + Z(p-j)}{p-j} + \frac{r + Z(p+j)}{p+j} \right]. \quad (6)$$

В приведенных выражениях:

$I$  — постоянная инерции генератора,

$T_q$  — постоянная времени поперечной успокоительной обмотки,

$Z(p-j)$ ,  $Z(p+j)$  — входные операторные сопротивления линии при к. з. по смещенным операторам,

$r$  — активное сопротивление генератора,

$p$  — оператор,

остальные обозначения общепринятые.

Успокоительная обмотка в продольной оси, намного усложняя все расчеты, не вносит существенных изменений, так как в этой оси имеется обмотка возбуждения с гораздо большей постоянной времени. Поэтому влияние продольной успокоительной обмотки не учитывалось.

Приведенное уравнение (1) не учитывает возможных нелинейностей, т. е. справедливо лишь для генератора, идеализированного в общепринятом смысле.

Специфичность характеристических уравнений для систем с распределенными параметрами состоит в том, что это уравнения бесконечно большой степени, поэтому исследование их ведется обычно методом  $D$ -разбиения [4]. В данной работе оно проводилось по постоянной инерции.

На рис. 1, 2 приведены кривые  $D$ -разбиения для линии полуволновой длины без учета активного сопротивления. При этом выражения (5) и (6) принимают вид:

$$R(p) = \frac{\text{th } \pi p}{p^2 + 1}; \quad X(p) = pR(p).$$

Приведенные кривые построены для генератора с симметричным ротором и параметрами:  $x_d = x_q = 1$ ,  $x'_d = 0,15$ ,  $T_{d0} = 1500 \text{ рад.}$ ,  $T_q = 0$ , т. е. влияние поперечного демпферного контура также не учитывалось.

ЭДС генератора по продольной оси принималась постоянной и равной 1,5.

Кривая, приведенная на рис. 1, построена для  $\delta = 268^\circ 50'$ , т. е. для случая работы генератора в зоне естественной устойчивости, но очень близко к ее границе. При построении всей кривой (от  $\nu = -\infty$  до  $\nu = +\infty$ ) получилось бы бесконечное число областей в соответствии с бесконечно большой степенью характеристического уравнения. В данном случае в таком построении нет необходимости.

Первая же полученная область (при  $0,57 > \nu > -0,57$ ) является единственной претендующей на зону устойчивости, что ясно видно из дальнейшего построения приведенной кривой (при увеличении  $\nu$ ). Основная трудность здесь заключается в определении, действительно ли эта область является зоной устойчивости, т. е. действительно ли

уравнение (1) при значениях постоянной инерции, лежащих в этой области, не имеет корней с положительной вещественной частью.

К ответу на поставленный вопрос можно прийти путем следующих рассуждений. Если в выражении (1)  $\nu \rightarrow 0$ , то постоянная инерция стремится к  $+\infty$ . Следовательно, при замене значения  $I(p)$  на  $+\infty$  получится новый квазиполином, число правых корней которого равно числу правых корней исходного квазиполинома.

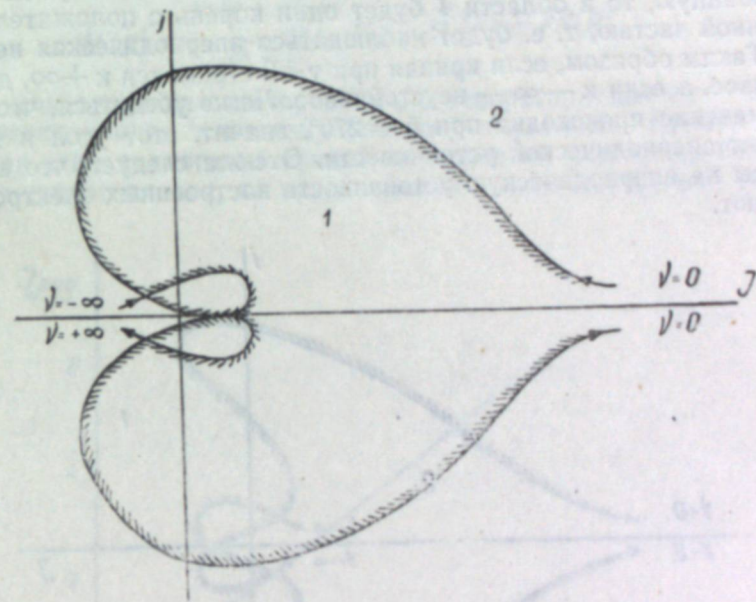


Рис. 1.

Вновь полученный квазиполином можно записать в виде:

$$[x'_d(p) + X(p)][x_q(p) + X(p)] + R^2(p) = 0. \quad (7)$$

Последнее уравнение является также трансцендентным, но гораздо более простым. Рассуждая аналогично, можно получить в итоге уравнение конечной степени и, определив число его правых корней, вернуться к исходному. Но в этом нет необходимости. Выражение (7) является характеристическим уравнением той же системы при неизменной скорости вращения ротора и в данном случае правых корней иметь не может. Следовательно, и квазиполином (1) при  $I = +\infty$  не имеет правых корней. А так как при уменьшении постоянной инерции от  $+\infty$  (т. е. при движении влево по вещественной оси) происходит переход с ветвей  $D$ -разбиения в заштрихованную зону, то правых корней в зоне  $I$  не будет, т. е. она является областью устойчивости. При этом в отличие от систем, работающих через линию, представленную сосредоточенными сопротивлениями, в рассматриваемой системе в зону устойчивости входит не вся положительная ось. В точке  $I = 6,3$  рад. кривая  $D$ -разбиения дважды пересекается. Значит, появляется пара комплексных корней с положительными вещественными частями, т. е. начинается самораскачивание. Указанное явление само по себе не может иметь практического значения, так как постоянные инерции генераторов во много раз больше.

На рис. 2 построена аналогичная кривая для  $\delta = 271^\circ 10'$ , т. е. для случая работы генератора за пределом естественной устойчивости.

Претендентом на устойчивую зону является зона 1, также охватывающая почти всю положительную ось абсцисс.

Рассуждая по аналогии с предыдущим, можно также показать, что в точке  $l = -\infty$  правых корней не будет. Но при движении вправо от этой точки произойдет переход с кривых  $D$ -разбиения в незаштрихованную сторону, значит, в зоне 2 будет два положительных корня. А так как, чтобы попасть из области 2 в область 1, достаточно один раз пересечь кривую  $D$ -разбиения с незаштрихованной стороны на заштрихованную, то в области 1 будет один корень с положительной вещественной частью, т. е. будет наблюдаться аperiodическая неустойчивость. Таким образом, если кривая при  $v \rightarrow 0$  стремится к  $+\infty$ , движение устойчивое, а если к  $-\infty$  — неустойчивое. Легко убедиться, что указанное изменение происходит при  $\delta = 270^\circ$ , значит, этот угол и является пределом аperiodической устойчивости. Отсюда следует, что волновые процессы на аperiodическую устойчивость настроенных электропередач не влияют.

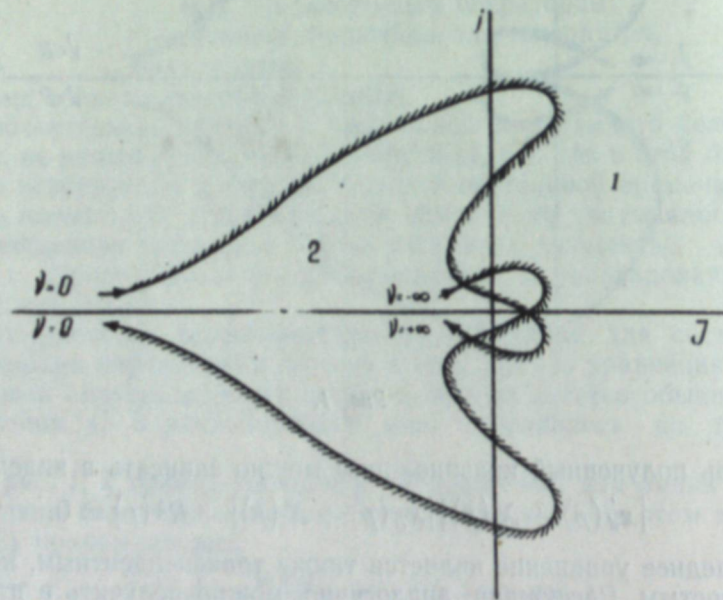


Рис. 2.

На рис. 3 приведен график зависимости предельной величины постоянной инерции от угла  $\delta$ . Из него видно, что самораскачивание усиливается с увеличением нагрузки, в отличие от самораскачивания, вызванного переходными процессами в обмотках машины при наличии активных сопротивлений. Те же исследования были проведены для линии, обладающей активными сопротивлениями. Для упрощения вычислений линия принималась неискажающей. Это приводит к несколько завышенным активным потерям и, как следствие, несколько увеличивает возможность самораскачивания, но принципиально правильно отражает все происходящие процессы. Принятые параметры линии:

$$r_0 = 0,011 \text{ ом/км}, \quad x_0 = 0,283 \text{ ом/км}, \quad b_0 = 4,13 \cdot 10^{-6} \text{ 1/ом км},$$

$$g_0 = 0,161 \cdot 10^{-6} \text{ 1/ом км}.$$

Исследуемая электропередача имела линию полуволновой длины, что с точки зрения самораскачивания является наиболее тяжелым случаем.

Величины токов по продольной и поперечной осям подсчитывались по следующим выражениям [5]:

$$i_{q0} = \frac{p_r}{e_d} = \frac{e_d a d}{b^2 + x_r^2 d^2} + \frac{\sin(\delta - \alpha_{12})}{\sqrt{b^2 + x_r^2 d^2}}, \quad (8)$$

$$i_{d0} = \frac{q_r}{e_d} = \frac{e_d d^2 x_r}{b^2 + x_r^2 d^2} - \frac{\cos(\delta - \alpha_{12})}{\sqrt{b^2 + x_r^2 d^2}}. \quad (9)$$

Для неискажающей линии выражения (5), (6) запишутся в виде:

$$R(p) = \frac{\text{th}(p + \frac{r_0}{x_0})\pi}{p^2 + 1}; \quad X(p) = pR(p).$$

Активное сопротивление статорной цепи генератора намного меньше сопротивления линии, и поэтому оно не учитывалось. Кривая  $D$ -разбиения при этом аналогична кривой, построенной для линии без учета активного сопротивления, но предельная величина постоянной инерции

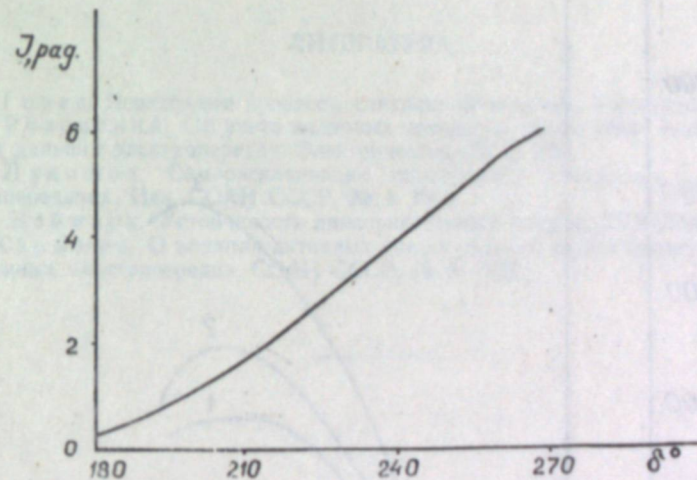


Рис. 3.

во много раз больше. На рис. 4 (кривая 1) приведен график зависимости предельной величины постоянной инерции от угла  $\delta$  при учете активного сопротивления линии. Постоянную инерции генератора, отнесенную к натуральной мощности линии, можно принять равной примерно 6000 рад.

Из графика видно, что при этом самораскачивание происходит при любой нагрузке. В отличие от случая работы генератора через сосредоточенные сопротивления, начиная с некоторых углов, оно увеличивается с увеличением нагрузки, что соответствует характеру кривой рис. 3.

Далее исследовалось влияние поперечной демпферной обмотки, которая в случае работы генератора через сосредоточенное сопротивление является радикальной мерой борьбы с явлением самораскачивания. Строились кривые  $D$ -разбиения для различных нагрузок с учетом поперечного успокоительного контура, а по их результатам — графики зависимости предельных значений постоянных инерций от угла  $\delta$ . Последние приведены на рис. 4 (кривые 2, 3) соответственно для  $T_r = 20$  рад. и  $T_q = 50$  рад.

Указанные графики дают наглядное представление о влиянии поперечных демпферных контуров на самораскачивание синхронных машин в исследуемом случае.

Если условно представить, что при наличии активных сопротивлений самораскачивание может быть вызвано отдельно переходными процессами в обмотках машины и переходными процессами в линии, то можно сказать, что поперечная демпферная обмотка подавляет самораскачивание в первом случае и усиливает во втором.

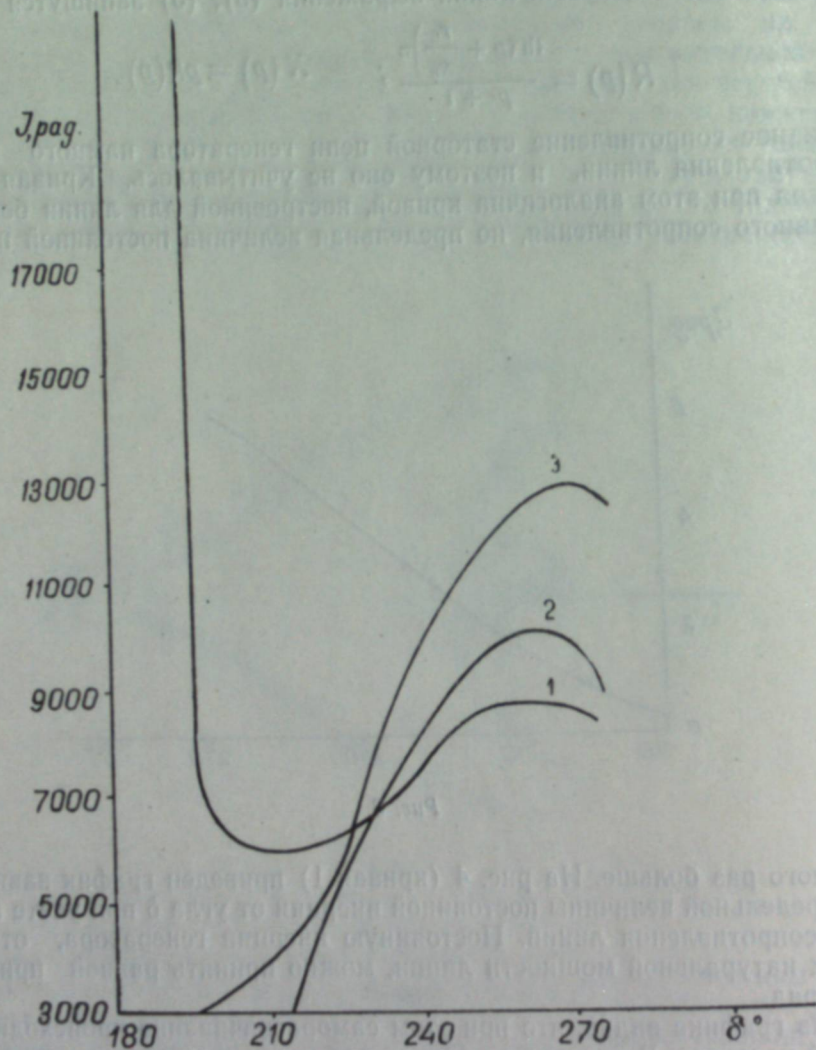


Рис. 4.

Таким образом, поперечный демпферный контур, благотворно влияя на устойчивость при малых нагрузках, ухудшает ее при передаче больших мощностей. Поэтому, если электропередача по расчету должна работать при больших углах, то с точки зрения статической устойчивости постоянная времени поперечной демпферной обмотки должна быть минимально необходимой из условия возможности устойчивой работы в режиме малых нагрузок.

В целом, учитывая, что в рассмотренном примере линия взята с явно ухудшенными параметрами против нормальных, можно сказать, что при правильном выборе параметров генераторов самораскачивание не будет лимитировать передаваемую мощность.

## Выводы

1. Волновые процессы на аperiodическую устойчивость электропередачи не влияют, следовательно, при расчете последней их можно не учитывать.

2. Волновые процессы вызывают в линии явление самораскачивания, которое может служить причиной неустойчивости настроенных электропередач не только при малых, но и при больших нагрузках.

3. В режиме больших нагрузок поперечная демпферная обмотка влияет на процесс самораскачивания отрицательно, поэтому выбор величины ее постоянной времени должен быть согласован с возможными режимами работы данной электропередачи.

Транспортно-энергетический институт  
Сибирского отделения АН СССР

Поступила в редакцию  
23/IX 1959

## ЛИТЕРАТУРА

1. А. А. Горев, Переходные процессы синхронной машины. Госэнергоиздат, М., 1950.
2. Ю. А. Розовский, Об учете волновых процессов при анализе статической устойчивости дальних электропередач. Электричество, № 3, 1953.
3. Э. С. Лукашов, Самораскачивание синхронного генератора в настроенных электропередачах. Изв. СОАН СССР, № 4, 1959.
4. Ю. Н. Неймарк, Устойчивость линеоризованных систем. ЛКВВИА, 1949.
5. Р. Г. Карымов, О влиянии активных сопротивлений на статическую устойчивость настроенных электропередач. СОАН СССР, № 9, 1959.

С. С. БАЦАНОВ

## СТРУКТУРНО-ХИМИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ТЕОРИИ ЭЛЕКТРООТРИЦАТЕЛЬНОСТЕЙ

### Введение

Учение об электроотрицательности и электроположительности элементов является одной из наиболее старых теоретических концепций химии, корни которой восходят еще к Берцелиусу. Однако в течение длительного времени это учение носило сугубо качественный характер. Количественная сторона концепции электроотрицательности стала развиваться с 30-х годов нашего столетия. Основоположителем этого направления является Полинг [1], который впервые дал четкое определение электроотрицательности как тенденции атома в молекуле к присоединению электронов.

К указанному времени в общей химии большое распространение получила теория поляризации, основное назначение которой заключалось в учете взаимного влияния ионов и создания на этой основе непрерывной шкалы соединений от чисто ионных до чисто ковалентных веществ. Хотя исторически теория поляризации сыграла важную роль в химии, она так и не смогла дать сколько-нибудь удовлетворительной количественной характеристики явления деформации ионов. Причина этого заключается в несовершенстве понятия и методов определения ионных радиусов, которые тем хуже «работают», чем выше деформация ионов, и поскольку они входят во все формулы электростатической энергии, принципиально невозможно дать объективную характеристику явлению поляризации [2].

Концепция электроотрицательностей исходит из физических характеристик ковалентных связей атомов, которые могут быть измерены, вообще говоря, с любой степенью точности. Поэтому развитие этой теории сразу же началось с разработки количественной характеристики атомов и молекул.

### Методы расчета электроотрицательностей

#### 1. Термохимия

В цитированной уже работе Полинга [1] электроотрицательность ( $X$ ) определялась из теплового эффекта реакции ( $Q$ ):  $x_A - x_B = 0,208 \sqrt{Q}$ . Первоначально расчет был сделан для 10 элементов, позднее Полинг в своей классической работе «Природа химической связи» [3] распространил вывод на 33 элемента.

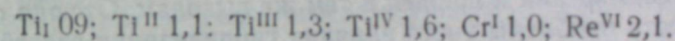
Термохимические расчеты вслед за Полингом проводили и другие авторы, в результате чего был значительно расширен набор электроотрицательностей. Наиболее существенным является то, что удалось по-

лучить различные значения электроотрицательностей для атомов в разных валентных состояниях [4].

Из данных Гайсинского можно сделать вывод, что увеличение положительной валентности повышает электроотрицательность атомов. Но этот фактор является не единственным. В 1953 г. Хаггинс [5] произвел расчет электроотрицательностей методом Полинга для атомов в одинаковом валентном состоянии, но в соединениях с различными элементами. Результаты его расчетов показывают некоторый разброс в значениях электроотрицательностей в зависимости от партнера химической связи данного элемента.

Однако средние значения Хаггинса в общем достаточно близки к классическим величинам Полинга, т. е. накопление нового экспериментального термохимического материала принципиально ничего не меняет в системе электроотрицательностей.

К такому же выводу пришел и Аллен [6], пересчитавший по новым данным электроотрицательности большого числа элементов и убедившийся в том, что они в пределах 0,1—0,2 соответствуют первоначальной системе Полинга. Вместе с тем этот автор впервые определил электроотрицательности некоторых элементов в разных валентных состояниях:



Небольшие отклонения в величинах электроотрицательностей не вызывают существенных изменений в системе, если они не затрагивают относительного взаиморасположения элементов. В случае же элементов IV группы наблюдается обратное положение: в системе Полинга и Гайсинского имеем следующую последовательность  $\text{C} > \text{Si} > \text{Ge} = \text{Sn}$ , а в системе Хаггинса электроотрицательности всех перечисленных элементов, кроме C, считаются равными.

Анализ химических свойств соединений IV группы, а также теплоты их образования дают основания полагать, что порядок изменения электроотрицательностей будет отличаться от того, который дан в работе Полинга. Оллред и Рохов [7] считают, что электроотрицательности элементов IV группы должны изменяться следующим образом:  $\text{C} > \text{Ge} > \text{Si} \approx \text{Sn}$ . Термохимические расчеты, сделанные этими авторами методом Полинга по новейшим экспериментальным данным, подтверждают выводы, сделанные на основании изучения химического поведения:  $\text{C} = 2,60; \text{Si} = 1,89; \text{Ge} = 1,99; \text{Sn} = 1,96$ .

Ниже мы еще вернемся к этому вопросу с позиций других методов расчета электроотрицательностей.

#### 2. Спектроскопия

Энергии химических связей, как известно, совершенно определенно влияют на спектральные характеристики соответствующих атомов. Поэтому естественно, что спектроскопические данные могут быть использованы для вычисления электроотрицательностей атомов.

Первая работа в этом направлении принадлежит Горди [8], который предложил следующую эмпирическую формулу для расчета электроотрицательностей:  $k = an \left( \frac{X_A X_B}{d^2} \right)^{3/4} + b$ , где  $k$  — силовая константа связи  $A - B$ ,  $X_A, X_B$  — электроотрицательности,  $d$  — длина и  $n$  — порядок связи,  $a, b$  — постоянные величины.

Наиболее важный результат работы Горди заключается в возможности учета влияния кратности связи на электроотрицательности ато-

мов. Из формулы  $k = an \left( \frac{X_A X_B}{d^2} \right)^{3/4} + b$  видно, что при увеличении порядка связи  $d$  уменьшается,  $n$  увеличивается и  $k$  тоже увеличивается, но в значительно меньшей степени, и поэтому  $X_{A,B}$  должны несколько уменьшиться. Этот вывод вполне естественен с точки зрения самого определения понятия электроотрицательности, как сродства к электрону, поскольку увеличение кратности связей сопровождается увеличением восстановительных свойств молекулы.

В 1948 г. Валш [9, 10] детально рассмотрел различные факторы, влияющие на силу связей, и подчеркнул особенно важную роль явления гибридизации связей. Он пришел к выводу, что увеличение доли  $s$ -состояния в связях, например углерода, повышает его электроотрицательность, тогда как увеличение доли  $p$ -связей снижает сродство атома к электронам. Отсюда вытекает, что говорить об электроотрицательности атома вне конкретных условий его существования можно лишь весьма условно. И, наоборот, по экспериментально определенной величине электроотрицательности данного атома в данном соединении можно, в принципе, найти степень гибридизации его связей.

Позднее Моффит [11] рассмотрел эту же проблему с квантово-механической точки зрения и пришел к тем же выводам. Отсюда снова вытекает важность проблемы учета влияния гибридизации связей на свойства атомов, в частности, на их электроотрицательности. В той же работе Моффит дал квантово-механическое определение электроотрицательности атомов. Именно, рассматривая волновую функцию связи  $A-B$  как линейную комбинацию трех волновых функций, описывающих все возможные состояния системы, имеем  $\Psi = c_1 \Psi(A+B^-) + c_2 \Psi(A-B) + c_3 \Psi(A-B^+)$ , где  $c_1, c_2, c_3$  — константы, определяемые из требования минимума энергии. Если  $c_1$  больше, чем  $c_3$ , то атом  $B$  является более электроотрицательным и наоборот. Это определение можно видоизменить с тем, чтобы говорить об электроотрицательности атомных орбит. Последняя терминология будет более строга и сразу же учтет всевозможные гибридные связи. Ниже мы еще вернемся к этому определению и методам его реализации.

Обратимся, однако, снова к спектроскопическим методам расчета электроотрицательностей. В самое последнее время Самаяюлу [12] нашел, что силовые константы связей разнородных атомов ( $k_{A,B}$ ) связаны с силовыми константами однородных связей ( $k_{AA}$  и  $k_{BB}$ ) соотношением вида  $k_{AB} = \sqrt{k_{AA} k_{BB}} + \Delta$ , где  $\sqrt{\Delta} = X_A - X_B$ . Эта формула была проверена более чем на 70 примерах, причем среднее расхождение оказалось равным  $\pm 0,1$  единиц электроотрицательностей. Поэтому уравнение Самаяюлу может быть использовано и в предсказательных целях.

Электроотрицательности атомов связаны со спектральными свойствами молекул не только через силовые константы, но и непосредственно через характеристические частоты спектров комбинационного рассеяния или инфракрасных спектров.

Так, Белл с сотрудиниками [13] нашел, что частоты  $P=0$  связи в

молекулах типа  $\begin{array}{c} O \\ || \\ P \\ / \quad \backslash \\ A \quad B \quad C \end{array}$  прямолинейно зависят от суммы электроотри-

цательностей радикалов  $A, B$  и  $C$ ; именно  $\lambda_p = \frac{47,3 - \Sigma X}{4,9333}$ , где  $\Sigma X = X_A + X_B + X_C$ , а  $\lambda_p$  — рамановская длина волны  $\times 10^4$ , и  $\lambda_{ик}$  —

$= \frac{39,96 - \Sigma X}{3,995}$ , где  $\lambda_{ик}$  — длина волны инфракрасного спектра в микронах. Пользуясь этими зависимостями, оказалось возможным вывести электроотрицательности различных радикалов при минимальном числе допущений.

Несмотря на всю ценность полученных таким способом сведений, нельзя не отметить некоторых недостатков. Прежде всего здесь не учтено влияние массы атомов и все различие приписано лишь изменению характера связей. Это затруднение, в случае родственных соединений и не слишком различающихся по весу атомов, будет иногда носить второстепенный характер, но принципиально должно быть учтено. Кроме того, вызывает некоторые возражения выбор суммы электроотрицательностей в качестве аргумента функции, призванной учитывать влияние замещения радикалов. Указанные недостатки, а также игнорирования  $H$ -связей привели в работе Вилмшурста [14] к ряду неправдоподобных результатов, например, к невероятно высокому значению электроотрицательности  $OH$  (3,85) по сравнению с электроотрицательностью кислорода в молекуле  $O_2$ .

Наиболее правильным решением вопроса является вариация только одного атома в молекуле или замена всего окружения на одинаковые атомы или радикалы. Такой способ осуществлен в работах по ядерному магнитному резонансу.

В статье Дэйли и Шулеры [15] показано, что частота электромагнитного излучения, необходимая для ядерного магнитного резонанса, в случае атома водорода непосредственно зависит от плотности окружающего его электронного облака. Изменение частоты магнитного резонанса ядра атома водорода (называемое «химическим сдвигом») линейно зависит от электроотрицательности связанных с ним атомов или радикалов. Рассматривая однотипные молекулы и изменяя лишь один атом-заместитель, Дэйли и Шулеры удалось получить систему электроотрицательностей целого ряда радикалов из области органических соединений.

В упомянутой выше работе Оллреда и Рохова [7] также описаны результаты исследования ядерного магнитного резонанса в тетраметилах элементов IV группы, из которых следует, что электроотрицательности равны:  $C = 2,60$ ;  $Si = 1,90$ ;  $Ge = 2,00$ ;  $Sn = 1,93$ ;  $Pb = 2,45$ .

Сходный прием был применен этими же авторами при вычислениях электроотрицательностей атомов по данным радиоспектроскопии молекул типа  $ЭН_4$ ,  $ЭН_3X$  и  $X_2$ . Исследование условий ядерного квадрупольного резонанса позволяет определить величину константы квадрупольной связи, которая оказалась линейно зависящей от разницы электроотрицательностей в молекулах указанных типов. Отсюда легко вычислить и сами значения электроотрицательностей атомов:  $C = 2,54$ ;  $Si = 1,99$ ;  $Ge = 2,03$ ;  $Sn = 1,92$ ;  $Cl = 3,15$ ;  $Bg = 2,95$ ;  $I = 2,65$ .

Интересно отметить, что все результаты Оллреда и Рохова находятся в противоречии с исходной системой Полинга в части относительного порядка электроотрицательностей элементов IV группы периодической таблицы. По этой причине в современной системе электроотрицательностей должны быть произведены некоторые исправления.

### 3. Геометрия атомов и молекул

Сродство атомов к электронам зависит, очевидно, от силы притяжения отрицательных зарядов положительными ядрами. Поэтому с точки зрения электростатики вполне естественно вычислять электроотрицательности атомов по их размерам.

Впервые понятие электроотрицательности было применено к расчету межатомных расстояний в работе Шомакера и Стивенсона [16], которые предложили вычислять длины связей атомов по формуле  $r_{AB} = r_A + r_B - 0,09(X_A - X_B)$ . Эта формула позволяет определять длины связей в удовлетворительном согласии с опытом и часто применяется для обработки экспериментальных данных [17, 18].

Из этой же работы вытекала возможность решения и обратной задачи — вычисления электроотрицательностей по величинам атомных радиусов.

Впервые расчет электроотрицательностей по атомным радиусам проделал Лиу [19]:  $X = 0,31 \frac{N+2,6}{r^{1/2}}$ , где  $N$  — число валентных оболочек и  $r$  — ковалентный радиус атома.

Несколько лет спустя Горди [20] предложил новую формулу для вычисления электроотрицательностей атомов:  $X = 0,31 \frac{n+1}{r} + 0,50$ , где  $n$  — число валентных электронов и  $r$  — ковалентный радиус. Электроотрицательности, вычисленные по этой формуле, достаточно близки к полученным методом Лиу. Следует указать, что метод Горди имеет существенный недостаток: в случае элементов, имеющих 18-электронную подкладку и вследствие этого большой ковалентный радиус, получаются чрезмерно низкие значения, хотя хорошо известно, что именно эти элементы имеют наиболее высокие значения электроотрицательностей. Для устранения указанного недостатка необходимо учесть экранировку положительного заряда ядра и вести расчет по эффективным зарядам атомов.

Метод Горди недавно был применен Вилмшурстом [21] для вычисления электроотрицательностей атомных радикалов. Однако, по нашему мнению, Вилмшурст излишне формально подошел к уравнению Горди. В этом уравнении число электронов отражает, по существу, заряд ядра, как нетрудно видеть из самого вывода Горди [20]. Вилмшурст же в связи, например, O—H, где избыток отрицательных зарядов находится на атоме кислорода (и формально  $n$  выше, чем в молекуле кислорода), получает  $X_0 = 3,89$ , т. е. выше  $X_0$  по данным для  $O_2$ . Кроме того, пользоваться стандартными значениями ковалентных радиусов для вычислений каких-либо характеристик сложных радикалов или их составных частей вряд ли допустимо. Несомненно, что размер атома  $X$  в связях  $X—X$  и  $X—Y$  различен и отождествление таких величин может лишь случайно привести к правильным результатам.

В том же, 1957, году Ли Ши-цзин [22] развил метод расчета, также очень близкий к методу Лиу и Горди; он предложил вычислять электроотрицательности по формуле  $X = 0,11 \frac{Z^*e^2}{r_n} + 0,64$ , где  $Z^*$  — эффективный заряд, равный атомному номеру минус константа экранирования, и  $r_n$  — ионный радиус. Эффективный заряд Ши-цзин рассчитывал по правилу Слэтера, а ионные радиусы брал из системы Полинга. Последнее обстоятельство является самым уязвимым в подобных расчетах, поскольку понятие ионного радиуса уже нельзя строго применять даже в случае двухвалентных ионов, а тем более многовалентных. Вследствие этого Ши-цзин в ряде случаев получил существенное расхождение с классическими величинами электроотрицательностей.

Указанный недостаток был преодолен в работе Оллреда и Рохова [23], которые рассчитывали электроотрицательности атомов по формуле  $X = 0,359 \frac{Z^*}{r^2} + 0,744$ , где  $Z^*$  также вычислялось по правилу Слэте-

ра, а  $r$  — ковалентный радиус. Сравнение данных Оллреда и Рохова с предыдущими системами электроотрицательностей сразу же убеждает в высоком качестве их процедуры.

Несколько особняком от рассмотренного направления в определении электроотрицательностей атомов по их геометрическим параметрам стоит целая серия статей Сандерсена [24—32]. Последний обнаружил, что электронная плотность атомов  $\text{ЭП} = \frac{N}{\sqrt[3]{\pi r^3}}$ , где  $N$  — атомный номер и  $r$  — ковалентный радиус, изменяется симбатно их электроотрицательностям. Чтобы привести ЭП различных атомов к единой шкале, Сандерсен предлагает делить их на ЭП изоэлектронных атомов инертных газов (реальных или линейно интерполированных между реальными значениями). Полученные таким образом величины он назвал отношениями стабильности атомов (ОС).

Вообще говоря, электроотрицательности Сандерсена отличаются по своим абсолютным величинам от стандартных величин, что служило некоторое время упреком в адрес описываемой теории. Однако Сандерсен [30] недавно установил простую связь между своими константами и электроотрицательностями Полинга:  $X^{1/2} = 0,21 \times \text{ОС} + 0,77$ .

#### 4. Потенциалы ионизации

Помимо перечисленных методов расчета электроотрицательностей, в физической химии большое распространение получили различные приемы вычислений, основанные на использовании потенциалов ионизации ( $P$ ) и величин энергий сродства к электрону ( $E$ ).

Первым шагом в этом направлении были статьи Малликена [34, 35], который показал, что среднее арифметическое первых потенциалов ионизации и сродства к электрону, т. е.  $1/2(P + E)$  атомов может служить мерой их электроотрицательности. Отсюда вытекает, что электроотрицательности атомов, образующих связи посредством электронов в различных квантовых состояниях, должны быть различными, так как существенно различны соответствующие потенциалы ионизации.

Позднее Малликен [36] использовал это обстоятельство для объяснения противоречия между истинным характером связи  $\overset{+}{C} - \overset{-}{I}$  и тем, что получается из первоначальной теории Полинга ( $X_I = 2,5$  и  $X_C = 2,4$ ), которая требовала противоположного знака полярности в такой связи. Учитывая легкость отрыва  $p$ -электронов по сравнению с  $s$ -электронами (значение электроотрицательности из системы Полинга для углерода является средним из величин  $X$  для  $s$ - и  $p$ -электронов) и предполагая, что связь углерода с йодом осуществляется главным образом за счет его  $p$ -электронов, легко видеть, что в данной связи отрицательный заряд должен быть именно на атоме йода.

Между значениями Малликена и Полинга можно установить численные соотношения, которые дают достаточно точные результаты для родственных элементов, но в меньшей степени удовлетворяют элементам, взятым из разных групп периодической системы. Наилучшее общее уравнение связи констант Малликена и Полинга, по Скиннеру и Притчарду [37], имеет вид  $X_M = 3,15 X_P$ .

В 1946 г. Некрасов [38] использовал потенциалы ионизации для вывода значений электросродства атомов, причем для характеристики последних использовались значения энергий присоединения первого электрона к законченному слою (например, 1-й потенциал ионизации

натрия и 7-й — фтора). Данные Некрасова также оказались приблизительно пропорциональны константам Полинга.

Различный подход Малликена и Некрасова, как уже сказано, дает в результате одинаково сходящиеся к системе Полинга величины, хотя у первого автора расчет ведется по первым потенциалам ионизации, а у второго — по последним. Причина заключается в том, что относительное изменение потенциалов ионизации всех элементов при изменении их валентности происходит совершенно одинаково [39]. Это и позволяет применять для характеристики электроотрицательностей атомов, вообще говоря, любые функции их потенциалов ионизации.

Так, Поваренных [40] предлагает использовать выражение  $\epsilon = \frac{P_n}{n} + E$ , где  $P_n$  — потенциал ионизации для  $n$ -ой валентности и  $E$  — сродство к электрону. Такое выражение дает систему величин, вполне соответствующую общим физико-химическим соображениям и легко могущую быть скоррелированной с системой Полинга.

В последнее время Скиннер и Самнер [41] проделали расчет электроотрицательностей меди и никеля методом Малликена. Оказалось, что  $X_{sm}$ , для  $s$ -состояния равняется 1,36 и для  $d$ -состояния — 3,32 ед. Отсюда вытекает, что термохимическое значение электроотрицательности меди соответствует в терминах  $sd$ -гибридизации ~ 23%  $d$ -характера. Аналогичные вычисления приводят к установлению факта гибридизации связей в случае никеля.

Этот прием может служить методом экспериментального определения характера и величины гибридизации связей. Однако надо иметь в виду, что потенциалы ионизации и сродство к электрону измеряются для изолированных атомов и механически переносить их на атомы в молекулярном состоянии неправомерно. Ниже будет показано, что эти группы величин существенно различаются между собой.

Кроме малликеновского подхода к электроотрицательностям, был предложен принципиально отличный метод, также основанный на энергетических свойствах электронов. Мы имеем в виду процедуру, базирующуюся на использовании работы выхода электрона ( $\phi$ ) из металлов [42]:

$$X = 0,44 \phi - 0,15.$$

Прежде чем закончить раздел, посвященный итогам развития методов расчета электроотрицательностей, следует остановиться на работах Капустинского [43, 44]. Последний разложил энергию кристаллической решетки на составные части, отнесенные к отдельным партнерам формульной единицы кристаллического вещества:  $U = \sum (\chi_A^2 - \chi_B^2)$ . Полученные величины, названные им «кристаллохимическими электроотрицательностями» ( $\chi$ ), в ряде случаев также пропорциональны константам Полинга и Малликена. Числа Капустинского позволяют очень точно вычислять энергии кристаллических решеток и поэтому имеют практический интерес. Но с точки зрения теории может быть сделан тот упрек, что существование поливалентных ионов сейчас многими ставится под сомнение и создание каких-либо характеристик на этой основе нежелательно. Кристаллохимические электроотрицательности, по нашему мнению [2], скорее отражают поляризующее действие ионов.

В заключение первой части работы приведем сводную систему электроотрицательностей, усредненную по всем методам расчета электроотрицательностей (см. табл.). Эта таблица близка к данной Горди и Томасом [42], но имеет ряд изменений, сделанных на основании последних работ.

Таблица

Система электроотрицательностей

Группа	1a	2a	3a	4a	5a	6a	7a	8a	1s	2s	3s	4s	5s	6s	7s										
Пер.															H 2,15										
I																									
II	Li 0,95	Be 1,5													F 3,9										
III	Na 0,9	Mg 1,2													Cl 3,1										
IV	K 0,8	Ca 1,0	Sc 1,3	Ti +1 0,9 +2 1,1 +3 1,3 +4 1,6	V +3 1,4 +4 1,7 +5 1,9	Cr +1 1,0 +2 1,4 +3 1,6 +4 2,2	Mn +2 1,4 +3 1,5 +4 2,1 +7 2,5	Fe +2 1,7 +3 1,8	Co 1,7	Ni 1,8	Cu +1 1,8 +2 2,0	Zn 1,5	Ga 1,5	Ge 2,0	As 2,0	Se 2,4	Br 2,9								
V	Rb 0,8	Sr 1,0	Y 1,2	Zr +1 0,9 +2 1,1 +3 1,3 +4 1,6	Nb 1,7	Mo +4 1,6 +6 2,3	Tc +5 1,9 +7 2,3	Ru 2,0	Rh 2,1	Pd 2,0	Ag 1,8	Cd 1,5	In 1,5	Sn +2 1,7 +4 1,9	Sb +3 1,8 +5 2,1	Te 2,1	I 2,6								
VI	Cs 0,75	Ba 0,9	La 1,1	Hf +3 1,3 +5 1,7	Ta 1,4	W +4 1,6 +6 2,0	Re +5 1,8 +6 2,1 +7 2,2	Os 2,0	Ir 2,1	Pt 2,1	Au 2,3	Hg 1,8	Tl +1 1,4 +3 1,9	Pb +2 1,6 +4 1,8	Bi 1,8	Po 2,0	At 2,2								
VII	Fr 0,7	Ra 0,9	Ac 1,1	Лантаниды										Ce 1,1	Pr 1,1	Nd 1,2	Pm 1,2	Sm 1,2	Eu 1,1	Gd 1,2	Tb 1,2	Tm 1,2	Yb 1,2	Cp 1,2	
				Актиниды										Th +2 1,0 +4 1,4	Pa +3 1,3 +5 1,7	U +4 1,4 +6 1,9	Np +4 1,4	Pu 1,3	Am 1,3	Cm 1,3	Er 1,2	Ho 1,2	Dy 1,2	Yb 1,1	Cf 1,3

### Применение электроотрицательностей

Все методы расчета электроотрицательностей из физико-химических характеристик атомов могут быть использованы для решения обратной задачи, и тогда рассмотренные процедуры будут служить методами применения электроотрицательностей в химии. В данном разделе будут обсуждены вопросы использования электроотрицательностей для изучения характера химических связей.

#### 1. Определение ионности связей

Первой работой, посвященной установлению зависимости между электроотрицательностями атомов и полярностью их химических связей, является классическое исследование Полинга [3]. Автор на основании изучения дипольных моментов ряда газообразных соединений вычертил кривую  $i = f(X)$ , аналитическое выражение которой имеет вид:  $i = 1 - e^{-c \Delta X^2}$ . В первоначальном варианте Полинг положил  $c = 0,25$ , однако после уточнения дипольного момента HF, положенного в основу кривой, Полинг изменил значение константы:  $c = 0,18$  [45].

Важно помнить, что формула Полинга выведена для молекулярного состояния. При переходе из газообразного в кристаллическое состояние происходит увеличение координационного числа и соответственно этому, по Полингу [3], увеличивается ионность связи. Для перехода от газообразных молекул типа NaCl к кристаллическому состоянию расчетная формула имеет вид  $100 - i_{кр} \% = \frac{10^{1 - i_{газ}(\%)}}{КЧ}$ . Если рассматривается соединение двухвалентных элементов, то расчетная формула имеет вид  $\frac{100 - i_{газ}}{КЧ/2}$  и в общем случае  $\frac{(100 - i_{газ}) \text{ валентность}}{КЧ}$ .

Формула Полинга была проверена нами на примере щелочных галогенидов путем сравнения межатомных расстояний в газообразном и кристаллическом состояниях [46].

Однако правило Полинга справедливо лишь для соединений благородногазовых элементов. Из общих физико-химических свойств соединений неблагородногазовых элементов вытекает, что ионность связей в них должна быть меньше, чем в случае благородногазовых элементов с теми же электроотрицательностями. В теории поляризации это обстоятельство объяснялось дополнительным эффектом деформации.

Оптические данные привели к утверждению [47], что наилучшее приближение к действительности выполняется, если предположить, что в пределах до КЧ-1 (тетраэдр) характер химической связи при изменении координационного числа существенно не изменяется. Теоретически это положение объясняется тем, что элементы *v*-подгрупп имеют свободные квантовые ячейки и, следовательно, могут давать большее число ковалентных связей, чем их формальная валентность. При этом соотношение в электроотрицательностях партнеров связи и, следовательно, ионность не будут изменяться. Для иллюстрации выдвинутого положения можно сослаться на тождественность тетраэдрических радиусов с нормальными ковалентными радиусами элементов и на неизменяемость валентных углов при изменении числа связей вплоть до тетраэдрического расположения [3].

Формула для подсчета ионности связи по электроотрицательностям для кристаллических соединений неблагородногазовых элементов выглядит теперь следующим образом:  $100 - i_{кр} = \frac{(100 - i_{газ})^4}{КЧ}$ . После

введения поправки на координационное число кривая ионности станет гораздо более крутой и практически совпадает с той, которую дает, например, Поваренных [40] для кристаллического состояния. Ханнэй и Смайс [48], исправившие значение дипольного момента HF, предложили простое уравнение для вычисления степени ионности из электроотрицательностей:  $i(\%) = 0,16(X_A - X_B) + 0,035(X_A - X_B)^2$ . Численные значения по этому уравнению представлены в графическом виде на рисунке.

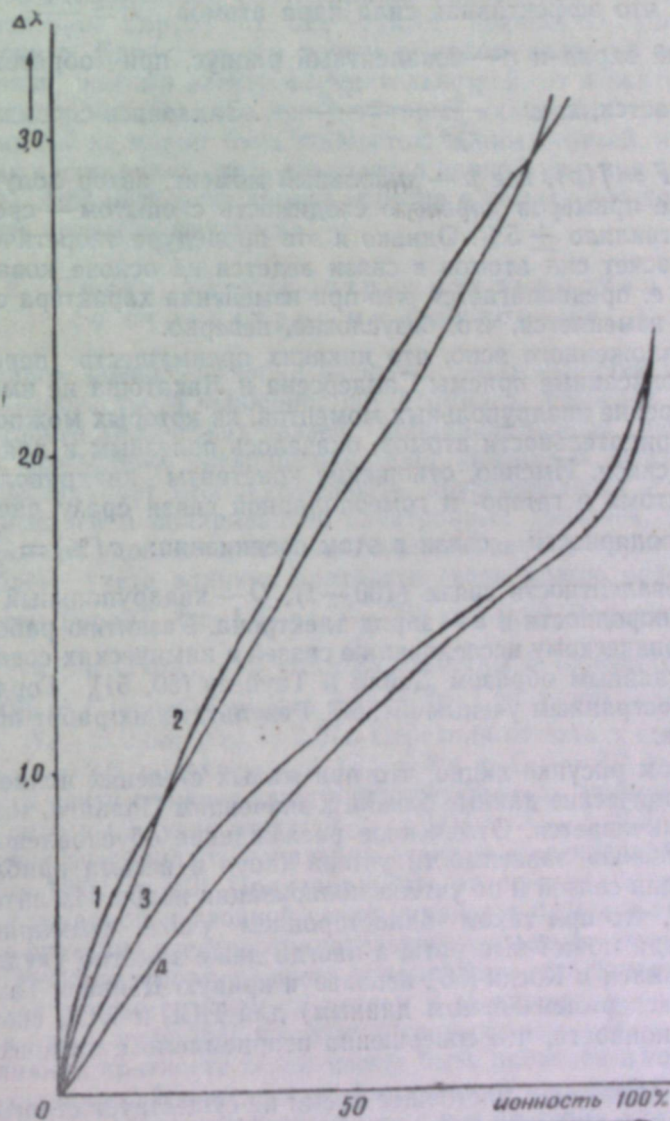


Рис. Зависимость полярностей связей от электроотрицательностей.

1 — по Полингу, 2 — по Ханнэй и Смайсу, 3 — по Дейли и Таунсенду, 4 — по Венкатесварлу.

Кроме перечисленных методов определения ионностей связей, в литературе описан прием, предложенный Сандерсеном [24—32]. Суть его состоит в том, что при образовании связи электроотрицательности атомов должны выравняться, т. е. по Сандерсену  $X_{AB} = \sqrt{X_A X_B}$ . Зная ве-



личины ковалентных и ионных электроотрицательностей можно из простых пропорций найти полярность связи в данном соединении. Однако при таких расчетах следует задаться хотя бы одним значением ионности связи в каком-либо соединении. Сандерсен постулирует 75% ионности в молекуле NaCl. Это допущение, конечно, снижает ценность его метода.

В последнее время Лакатош [49] развил метод вычисления дипольных моментов, близкий по идеям к методике Сандерсена. Автор предполагает, что эффективная сила ядра атомов  $F = \frac{Z^*e}{r^2}$ , где  $Z^*$  — эффективный заряд и  $r$  — ковалентный радиус, при образовании связи выравнивается, т. е.  $\frac{Z_A^{+\delta}}{r_A^{2+\delta}} = \frac{Z_B^{-\delta}}{r_B^{2-\delta}}$ . Задаваясь специальным видом

функции  $F = f(p)$ , где  $p$  — дипольный момент, автор получил на большом числе примеров хорошую сходимость с опытом — среднее отклонение составляло  $\pm 5\%$ . Однако и эта процедура теоретически небезупречна: расчет сил атомов в связи ведется на основе ковалентных радиусов, т. е. предполагается, что при изменении характера связи размер атома не изменится, что, безусловно, неверно.

Из изложенного ясно, что никаких преимуществ перед методом Полинга описанные приемы Сандерсена и Лакатоша не имеют.

Измерение квадрупольных моментов, из которых можно определить электроотрицательности атомов, оказалось полезным и для вычисления ионности связи. Именно, отношение константы квадрупольной связи данного атома в гетеро- и гомеоплярной связи сразу дает численное значение полярности связи в этом соединении:  $c(\%) = \frac{\text{молек. } eQq}{2\text{ атомн. } eQq}$ , где  $c$  — ковалентность связи ( $100 - i$ ),  $Q$  — квадрупольный момент,  $q$  — мера неоднородности и  $e$  — заряд электрона. Развитию работ по радиоспектроскопическому исследованию связей в химических соединениях мы обязаны главным образом Дэйли и Таунесу [50, 51], Горди [52, 53] и другим иностранным ученым [54, 55]. Результаты их работ представлены на рисунке.

На этом рисунке видно, что при малых степенях ионности радиоспектроскопические данные близки к значениям Полинга, затем расхождение увеличивается. Отмеченное расхождение обусловлено тем, что в «квадрупольной» зависимости учтена (хотя и весьма приблизительно) гибридизация связей и не учтена поляризация ионов. Из литературы известно [51], что при таком одностороннем учете суммарный результат не всегда может выиграть, а иногда даже заметно ухудшается. Например, Ханлен и Коски [56], используя кривую Дэйли и Таунеса, получили (по экспериментальным данным) для  $TiCl_4$  и  $WCl_6$  соответственно 87 и 77% ионности, что совершенно неприемлемо с химической точки зрения.

Таким образом, в настоящее время не существует строгой методики определения полярности связи из каких-либо физических характеристик молекул. Причина носит объективный характер — она заключается в принципиальной трудности отделения влияния на полярность связи электроотрицательностей атомов, гибридизации и поляризации электронных оболочек. Это затруднение может быть преодолено путем создания новых характеристик (например, спектроскопических [57]) ионностей связи и усреднения результатов, полученных независимыми методами.

Работа в указанном направлении находится пока в начальной ста-

дии, и за неимением лучшего позволительно пользоваться методом Полинга. Последний может быть обоснован ссылкой на квантово-механическое исследование Гамильтона [58], который показал, что метод молекулярных орбит приводит к распределению зарядов, соответствующему теории Полинга.

Рентгеновское [59] и электронографическое [60] изучение гидрида лития также дает полное соответствие с методом Полинга:  $\Delta X = 1,2$  (см. табл.) соответствует 25% ионности, экспериментально найдено 25%.

Квантово-механическое исследование проблемы гетерополярной связи, проведенное Барроу [61, 62], также полностью согласуется с идеями Полинга. Единственным новым выводом является зависимость ионности связи, помимо электроотрицательностей, от межатомных расстояний. Барроу показал, что при некоторых (коротких) расстояниях ни при каких  $\Delta X$  не может быть полностью ионных связей, и, наоборот, при больших расстояниях связь становится ионной уже при значительно меньших  $\Delta X$ . Этот результат вполне понятен с химической точки зрения и может быть проверен физически.

## 2. Связь электроотрицательностей со структурными факторами

Дальнейшее развитие теории электроотрицательностей требует более определенного учета особенностей атомного строения вещества: типа и кратности химических связей, координационных чисел, полиморфных и агрегатных превращений. Учет указанных факторов одновременно ликвидирует неопределенность, обусловленную перекрытием, гибридизацией и поляризацией электронных оболочек, которые до сих пор не имеют удовлетворительных количественных характеристик.

К проблеме учета влияния кратности связи можно подойти, пользуясь методом Горди:  $k = 1,67 n \left( \frac{X_A \cdot X_B}{d^2} \right)^{3/4} + 0,30$ . Рассматривая связи  $C-C$ ,  $C=C$  и  $C \equiv C$ , для которых известны  $k$  (соответственно 4,5; 9,4; 15,7; [20]) и  $d$  (соответственно 1,54; 1,35; 1,20 Å [20]), получаем, что  $X_{C-} = 2,85$ ,  $X_{C=} = 2,63$ ;  $X_{C \equiv} = 2,57$ . Переходя отсюда к стандартному значению  $X_{C-} = 2,6$ , получаем для  $X_{C=} = 2,4$  и  $X_{C \equiv} = 2,3$ , т. е. увеличение кратности связи снижает электроотрицательность атомов. Аналогично обстоит дело и в случае азота:  $X_{N-} = 3,03$  и  $X_{N=} = 2,87$ .

Измерение потенциалов ионизации этана и этилена дает соответственно 11,76 и 10,51 eV [63]. Получается, что отношение электроотрицательностей одинарной и двойной связи равняется 0,89 и в пересчете на стандартное значение электроотрицательности углерода имеем  $X_{C-} = 2,6$  и  $X_{C=} = 2,3$ . Вообще говоря, разница должна быть еще большей, так как этан обладает положительным сродством к электрону, а у этилена оно практически равно нулю [64], но точных данных здесь нет.

Учет влияния кратности связи может быть проведен и на основе геометрических данных. Известно, что межатомные расстояния в кратной связи короче, чем в одинарной, но вместе с тем известно, что при уменьшении координационного числа происходит уменьшение плотности заполнения пространства [65]. Электроны  $\pi$ -связей представляют собой диффузное облако, заполняющее все межатомное пространство, а не только непосредственно линию связи. Поэтому для вычисления эффективного радиуса правильнее брать в расчет весь объем, приходящийся на атом в простой и кратной связи. Тогда для  $V_{C-}$  имеем  $3,4 \text{ см}^3$  (алмаз) и для  $V_{C=} = 3,4 + 4,3$  (инкремент на двойную связь)  $= 7,7 \text{ см}^3$ . Отношение объемов равно 2,26, радиусов — 1,31. Таким образом, если  $r_{C-} = 0,77$ ,

то  $r_{C-}^0 = 1,01 \text{ \AA}$ . Подставляя последнее значение в формулу Горди, получаем, что  $X_{C-} = 2,03$ . Соответственно для  $X_{C-}$  получаем 1,85.

Суммируя результаты всех трех методов расчета, получаем для электроотрицательности одинарной, двойной и тройной связей соответственно 2,6; 2,2 и 2,1. Эти же различия можно приписать и электроотрицательности азота.

Проделанный расчет носит, конечно, предварительный характер и, безусловно, нуждается в уточнении и подтверждении другими методами.

Интересно отметить, что межатомные расстояния C—C между кратными связями значительно короче, чем обычное значение для одинарной связи [66]: радиус углерода получается равным 0,68 вместо стандартного значения 0,77 \text{ \AA}. Отсюда, по формуле Горди, получаем  $X_{=C-} = 2,8$ . Здесь интересно вернуться к спектроскопическому методу определения электроотрицательностей [15, 16], из которого видно, что  $X_{=C-}$  в бензоле равна 2,7, а в  $\equiv C-$  3,1. Следовательно, если с одной стороны у атома электроотрицательность уменьшается, то с другой — увеличивается.

Стремление к постоянству атомных электроотрицательностей объясняется тем, что притяжение электронов происходит во всех случаях одним и тем же эффективным зарядом ядра, и если его сродство не насыщается с одной стороны, то он компенсирует его с другой.

Общий результат, полученный выше, состоит в том, что по мере увеличения числа связей у данного атома его электроотрицательность падает. Естественно предположить поэтому, что изолированный атом должен иметь еще большую величину электроотрицательности.

В литературе довольно долго существовало мнение, отразившееся даже в учебниках [67], что потенциалы ионизации молекул больше, чем соответствующих изолированных атомов. Однако непосредственные измерения, выполненные в последние годы [68], показали, что это не так. Потенциалы ионизации ( $P$ ) молекул  $X_2$  и атомов  $X$  соответственно равны: Cl 11,48 и 13,01; Br 10,55 и 11,86; I 9,28 и 10,48; O 12,075 и 13,62.

Отношение  $\frac{P_x}{P_{x_2}}$  во всех случаях равно 1,13. Сродство к электрону ( $E$ )

известно всего для трех случаев — водорода (который мы рассмотрим ниже), кислорода и хлора [64]: O = 2,33 и O<sub>2</sub> = 0,867 eV, Cl = 3,75 и Cl<sub>2</sub> = 1,7 eV. Отношение  $P + E$  для этих атомов и молекул равно соответственно 1,23 и 1,27. В среднем электроотрицательность изолированного атома на 25% выше, чем в соответствующей молекуле:  $X_{O_2} = 3,5$ ,  $X_O = 4,4$  и  $X_{Cl_2} = 3,1$ ,  $X_{Cl} = 3,9$ . Поскольку относительное изменение потенциала ионизации и сродства к электрону у всех элементов данной группы периодической системы одинаково [33, 69], нет оснований сомневаться, что такое же положение будет и у остальных галогенов и халькогенов.

Химически это обстоятельство вполне понятно, ибо диссоциированные атомы галогенов, кислорода и даже азота являются сильными окислителями, тогда как в молекулярном состоянии они гораздо менее активны, а азот даже инертен.

Такое резкое несоответствие между химическим поведением окислителей на самом деле и укоренившейся точкой зрения, которая отражена в цитированной выше книге Кондратьева, требует специального рассмотрения.

Потенциалы ионизации молекул  $X_2$  определяются из уравнения  $D(X_2^+) + P(X_2) = D(X_2) + P(X)$ , где  $D$  и  $P$  — энергии диссоциации и

\* Эффективное значение.

потенциалы ионизации. По мнению Кондратьева,  $D(X_2^+)$  должно быть всегда меньше  $D(X_2)$ , так как в первом случае связь осуществляется меньшим числом электронов, чем в нейтральной молекуле. Однако это не так. Экспериментально было показано, что  $D(X_2^+) > D(X_2)$  [68]. Теоретическое объяснение заключается в следующем.

Исследование кратностей связей спектроскопическим методом [70] показало, что в молекулах NO и NO<sub>2</sub> кратности соответственно равны 2,0 и 1,5, тогда как в ионах NO<sup>+</sup> и NO<sub>2</sub><sup>+</sup> — 3,0 и 2,2, т. е. стали больше, несмотря на отрыв одного электрона. Аналогично обстоит дело в O<sub>2</sub> и O<sub>2</sub><sup>+</sup>, где кратности равны 1,5 и 2,0. По этим причинам прочности связи в молекулярных ионах  $X_2^+$  выше, чем в нейтральных молекулах. Требуются дополнительные исследования для проверки и установления общности отмеченной закономерности, но и в такой форме она уже достаточна для объяснения отмеченных фактов.

В заключение остановимся на рассмотрении водорода, который обычно фигурирует в научной и учебной литературе. Этот случай является исключением, так как здесь не может быть отмеченного выше эффекта. Потенциал ионизации H<sub>2</sub> равен 15,51 eV, атома H 13,54 eV, но сродство к электрону у молекулы равняется — 0,715 eV, а у атома + 0,76 [64]. Отношение  $\frac{(E + P)_H}{(E + P)_{H_2}} = 0,97$ , т. е. в пределах ошибки измерения равняется 1. Таким образом, даже в этом случае электроотрицательность молекулы не превышает атомную электроотрицательность.

Установленная выше закономерность позволяет преодолеть противоречия, встречающиеся при интерпретации опытных фактов с позиций теории электроотрицательностей.

Уже давно известно, что в связи C—I плюс находится на атоме углерода, а минус на йоде (см. выше), тогда как по первоначальной системе Полинга  $X_C = 2,5$  и  $X_I = 2,4$ . Если учесть, что образование связи C—I (по реакции C + 2I<sub>2</sub>) происходит при температуре, когда йод диссоциирован на атомы, то это распределение зарядов становится вполне понятно. В самом деле,  $X_I$  должна быть равна 3,2 (на 25% выше стандартного значения), т. е. значительно больше  $X_C$  (с алмазом при таких температурах ничего не происходит). Вообще говоря, после образования молекулы может произойти перераспределение зарядов, но вполне вероятно, что электроотрицательность йода в связи C—I будет отличаться от I<sub>2</sub> (см. стр. 11).

Рассмотренный пример со связью C—I имеет общее значение в ряде молекул, которые состоят из атомов с одинаковыми электроотрицательностями, но имеют дипольные моменты. Последние, возможно, обусловлены тем, что один из партнеров связи в момент реакции находится в диссоциированном состоянии.

Исходя из вышеизложенного, целесообразно разработать систему электроотрицательностей изолированных атомов. Тогда, имея значения атомных и молекулярных величин  $X$  и зная дипольный момент молекулы, можно было бы получить сведения о температуре образования данного вещества, т. е. мы получаем своего рода физико-химический термометр. И, наоборот, знание величин электроотрицательностей атомов и молекул и условий протекания химических реакций позволит точнее определить характер связи продуктов этих реакций.

Установление связи между электроотрицательностями атомов и молекул позволит также подойти к экспериментальному определению гибридизации связей на основе метода Скиннера и Притчарда, изложенного выше.

Фаянс [71] указывал еще на один случай, противоречащий классической теории электроотрицательностей, а именно: в связи  $\text{H}_3\text{C}-\text{Br}$  минус находится на атоме галогена, а в  $\text{RC}-\text{C}\equiv\text{Br}$  на атоме углерода. Выше было показано, что  $X_{\text{C}-}$  значительно выше стандартного значения  $X_{\text{C}-}$  и поэтому перемена знака вполне понятна.

Рассмотрение влияния структурных факторов на величины электроотрицательностей показывает, что в настоящее время электроотрицательность наилучшим образом может характеризовать природу химической связи.

Принцип причинности требует от исследователей умения предсказать на основе проделанных экспериментов свойства любых других веществ. Поэтому какие бы физические исследования природы химической связи не проводились, получающиеся функции обязаны включать в качестве аргумента электроотрицательности атомов или молекул.

Институт неорганической химии  
Сибирского отделения АН СССР

Поступила в редакцию  
28/IX 1959

#### ЛИТЕРАТУРА

1. L. Pauling, J. Amer. Chem. Soc., **54**, 3570 (1932).
2. С. С. Бацанов. ЖНХ, **2**, 1482 (1957).
3. Л. Паулинг, Природа химической связи. Госхимиздат, 1947.
4. M. Haissinsky, J. phys. radium, **7**, 7 (1946).
5. M. Huggins, J. Amer. Chem. Soc., **75**, 4123, (1953).
6. T. Allen, J. Chem. Phys. **26**, 1644 (1957).
7. A. Allred, E. Rochow, J. Inorg. Nucl. Chem., **5**, 296 (1958).
8. W. Gordy, J. Chem. Phys., **14**, 305 (1946).
9. A. Walsh, J. Chem. Soc., 1948, 398.
10. A. Walsh, Proc. Roy. Soc., **A207**, 13 (1951).
11. W. Moffit, Proc. Roy. Soc., **A202**, 548 (1950).
12. G. Samayaulu, J. Chem. Phys., **28**, 814 (1958).
13. J. Bell, J. Heisler, H. Tannenbaum, J. Goldensen, J. Amer. Chem. Soc., **76**, 5185, (1956).
14. J. Wilmshurst, Canad. J. Chem., **35**, 937 (1957).
15. B. Daily, J. Shooley, J. Amer. Chem. Soc., **77**, 3977 (1955).
16. V. Schomaker, D. Stevenson, J. Amer. Chem. Soc., **63**, 37 (1941).
17. M. Huggins, J. Amer. Chem. Soc., **75**, 4126 (1953).
18. П. А. Акишин, В. П. Спиридонов, Кристаллография, **2**, 475 (1957).
19. T. Liu, J. Chinese Chem. Soc., **9**, 119 (1942).
20. W. Gordy, Phys. Rev., **69**, 604 (1946).
21. J. Wilmshurst, J. Chem. Phys., **27**, 1129 (1957).
22. Li Shin-Tsin, Acta Chim. Sinica, **23**, 237 (1957).
23. A. Allred, E. Rochow, J. Inorg. Nucl. Chem., **5**, 264 (1958).
24. R. Sanderson, J. Amer. Chem. Soc., **74**, 272 (1952).
25. A. Allred, E. Rochow, J. Inorg. Nucl. Chem., **5**, 264 (1958).
26. R. Sanderson, J. Chem. Educat., **29**, 539 (1952).
27. R. Sanderson, J. Chem. Educat., **31**, 2 (1954).
28. R. Sanderson, J. Chem. Educat., **31**, 238 (1954).
29. R. Sanderson, J. Chem. Educat., **32**, 140 (1955).
30. R. Sanderson, J. Chem. Phys. **23**, 2467 (1955).
31. R. Sanderson, J. Chem., Phys., **24**, 166 (1956).
32. R. Sanderson, J. Chem. Educat., **33**, 443 (1956).
33. С. С. Бацанов. ЖФХ, **30**, 2640 (1956).
34. R. Mulliken, J. Chem. Phys., **2**, 782 (1934).
35. R. Mulliken, J. Chem. Phys., **3**, 573 (1935).
36. R. Mulliken, J. Phys. Chem., **41**, 318 (1937).
37. H. Skinner, H. Pritchard, Trans. Faraday Soc., **49**, 1254 (1953).
38. Б. В. Некрасов. ЖОХ, **16**, 1797 (1946).
39. С. С. Бацанов, Оптика и спектр, **6**, 412 (1959).
40. А. С. Поваренных. ЗВМО, **84**, 469 (1955).
41. H. Skinner, F. Sumner, J. Inorg. Nucl. Chem., **4**, 245 (1957).
42. W. Gordy, W. Thomas, J. Chem. Phys., **24**, 439 (1956).
43. А. Ф. Капустинский, ДАН СССР, **67**, 467 (1940).

44. А. Ф. Капустинский, ДАН СССР, **67**, 663 (1949).
45. L. Pauling, J. Phys. Chem., **56**, 361 (1952).
46. С. С. Бацанов, В. И. Пахомов, Кристаллография, **2**, 183 (1957).
47. С. С. Бацанов. ЖНХ, **3**, 241 (1958).
48. N. Hanna, C. Smyth, J. Amer. Chem. Soc., **68**, 171 (1946).
49. B. Lakatos, Z. Elektrochem., **61**, 944 (1957).
50. C. Townes, B. Dailey, Phys. Rev., **78**, 346 (1950).
51. B. Dailey, C. Townes, J. Chem. Phys., **23**, 118 (1955).
52. W. Gordy, J. Chem. Phys., **19**, 792 (1951).
53. W. Gordy, Discus. Faraday Soc., № 19, 14 (1955).
54. A. Honig, M. Mandel, M. Stich, C. Townes, Phys. Rev., **96**, 629 (1954).
55. P. Venkateswarlu, T. Jaseja, Proc. Indian Acad. Sci., **A44**, 72 (1956).
56. R. Hamlen, W. Koski, J. Chem. Phys., **25**, 360 (1956).
57. С. С. Бацанов, В. И. Дураков, Изв. СОАН СССР, № 1, 75 (1959).
58. W. Hamilton, J. Chem. Phys., **26**, 345 (1957).
59. M. Almed, Phil. Mag., **42**, 997 (1951).
60. З. Г. Пинскер, Р. Н. Курдюмов, Кристаллография, **3**, 501 (1958).
61. G. Vargow, J. Chem. Phys., **26**, 558 (1957).
62. G. Vargow, J. Chem. Phys., **28**, 485 (1958).
63. R. Honig, J. Chem. Phys., **16**, 105 (1948).
64. H. Pritchard, Chem. Rev., **52**, 529 (1953).
65. Г. С. Жданов, Вестник МГУ, № 4, 61 (1957).
66. L. Pauling, H. Springall, K. Palmer, J. Amer. Chem. Soc., **61**, 927 (1939).
67. В. Н. Кондратьев, Структура атомов и молекул. Изд. АН СССР, М., 1946.
68. K. Watanabe, J. Chem. Phys., **26**, 524 (1957).
69. I. Teegan, A. Walsh, J. Chem. Phys., **19**, 1070 (1951).
70. H. Siebert, Z. anorg. Chem., **275**, 210 (1954).
71. K. Fajans, J. Phys. Chem., **55**, 1108 (1951).

А. Д. СОЦКОВ

## ДИФFUЗИЯ В ГЕТЕРОГЕННЫХ СИСТЕМАХ

Проблема диффузии в гетерогенных системах представляет значительный интерес, однако изучена недостаточно полно. В частности, мало работ посвящено диффузии, сопровождающейся фазовыми превращениями, хотя явления подобного рода весьма часто встречаются в практике и имеют большое техническое значение (например, при химико-термической обработке металлов, при спекании порошков, при старении сплавов и в других процессах).

Построение теории этих процессов и вообще развитие теории твердого тела требуют изучения факторов, обуславливающих скорость фазовых превращений при реактивной диффузии. Важное значение имеет также выявление механизма перемещения границы раздела фаз.

Целью настоящего исследования явилась разработка чувствительной методики исследования реактивной диффузии и применения ее для изучения скорости перемещения границы раздела фаз при фазовых превращениях. Большое внимание было уделено изучению механизма перемещения границы раздела фаз.\*

### Метод изучения диффузии, сопровождающейся фазовыми превращениями, с помощью меченых атомов

Изучение диффузии с фазовыми превращениями по сравнению с обычной диффузией выдвигает следующие дополнительные требования. Так как скорость топохимических процессов включает как кинетическую, так и диффузионную стадии, методика должна позволить раздельно получить характеристики обеих ступеней процессов или, во всяком случае, отделить их друг от друга. Необходимо также, чтобы методика давала возможность определить такие важные характеристики процесса, как скорость роста или исчезновения фаз. Изучение диффузии с фазовыми превращениями, должно дать материал для расчета растворимостей и других характеристик диаграммы состояния.

Разработанная нами методика отвечает большинству поставленных требований. Рассмотрим ее сущность.

Предположим, что в соприкосновении находятся два элемента  $A$  и  $B$ , образующие между собой простую диаграмму состояния с ограниченной растворимостью друг в друге. Обозначим насыщенные растворы  $A$  в  $B$  и  $B$  в  $A$  соответственно через  $C_{II,I}$  (фаза  $\alpha$ ) и  $C_{I,II}$  (фаза  $\beta$ ). При этом примем, что слой компонента  $B$  достаточно тонок ( $1-2 \text{ мк}$ ), а компонент  $A$  имеет толщину порядка  $100-200 \text{ мк}$ . Процесс диффузии в таком случае будет протекать следующим образом.

Вначале происходит взаимная диффузия  $A$  в  $B$  и  $B$  в  $A$  до превра-

\* Экспериментальная часть работы была выполнена на кафедре физической химии Московского института стали при участии проф. Гао Ин-шань и студентки Ин-Шу.

щения вещества  $B$  (тонкий слой) в насыщенный раствор ( $\alpha$ ) (первая стадия). После образования насыщенного раствора  $A$  в  $B$  дальнейшая диффузия в него становится невозможной. Теперь имеет место только диффузия атомов  $B$  в  $A$  (вторая стадия). Этот процесс приводит к уменьшению толщины фазы  $\alpha$  и смещению в ее сторону границы раздела фаз. После исчезновения насыщенной фазы  $\alpha$  протекает обычная гетеродиффузия до выравнивания концентрации по всему образцу (третья стадия).

Нами была поставлена задача создать метод определения времени исчезновения насыщенной фазы и коэффициента диффузии в гомогенной области. Тогда, зная первоначальную толщину насыщенной фазы, можно определить скорость перемещения границы раздела фаз и выявить контролирующий фактор этого процесса. Решить эту задачу нам удалось, применив метод меченых атомов.

Теоретический расчет показал, что в момент перехода от второй стадии к третьей, т. е. от диффузии, сопровождающейся фазовыми превращениями, к гомогенной диффузии, на кинетических кривых абсорбционных методик должны наблюдаться изломы. Величина излома в случае измерения интенсивности излучения с активной стороны образца определяется следующим выражением:

$$\left. \frac{dI}{d\tau} \right|_{\tau=\tau_0-\xi} - \left. \frac{dI}{d\tau} \right|_{\tau=\tau_0+\xi} = K(C_{II,I} - C_{I,II}) \left. \frac{d\varepsilon}{d\tau} \right|_{\tau=\tau_0}, \quad (1)$$

где  $I$  — интенсивность счета со стороны образца, на которую нанесен радиоактивный слой,

$\frac{d\varepsilon}{d\tau}$  — скорость уменьшения насыщенной фазы в момент ее исчезновения ( $\tau_0$ ),

$\tau$  — время диффузионного отжига,

$C_{II,I}$  — концентрация насыщенного раствора  $A$  в  $B$ ,

$C_{I,II}$  — концентрация насыщенного раствора  $B$  в  $A$ ,

$\xi$  — весьма малая положительная величина.

В принципе по величине скачка в тангенсе угла наклона кинетических кривых можно определить скорость перемещения границы раздела фаз. Однако этот скачок трудно точно измерить, и поэтому рациональнее при определении скорости перемещения границы исходить из времени исчезновения насыщенной фазы и первоначальной ее толщины.

Для экспериментальной проверки проведенного нами теоретического расчета был выбран метод тонкого слоя [1]. Причиной выбора послужила возникающая при этом возможность определения на одном и том же образце времени исчезновения насыщенной фазы (момент излома), и коэффициента диффузии (из наклона кинетических кривых после излома).

Сущность метода тонкого слоя заключается в том, что на одну сторону тонкой пластинки наносят радиоактивный изотоп исследуемого элемента и измеряют интенсивность излучения с обеих сторон пластинки. Коэффициент диффузии рассчитывают из уравнения:

$$D = \frac{m^2}{\pi^2},$$

где  $l$  — толщина пластинки,

$m$  — тангенс угла наклона в координатах.

$$\ln I_1 - I_2 / I_1 + I_2 - \tau.$$

Здесь  $I_1$  — интенсивность излучения с активной стороны пластинки,  
 $I_2$  — интенсивность излучения с неактивной стороны пластинки,  
 $\tau$  — время диффузионного отжига.

Метод тонкого слоя был разработан для гомогенной диффузии, и поэтому к толщине наносимого радиоактивного слоя предъявлялось лишь одно требование: эта величина должна быть мала по сравнению с толщиной образца. Однако в случае реактивной диффузии тонкий слой мгновенно исчезает и в дальнейшем будет происходить обычная диффузия, т. е. выравнивание концентрации по образцу в гомогенной области.

При изучении диффузии с фазовыми превращениями нами на поверхность пластинки наносился достаточно толстый слой (1—2 мк), и, таким образом, становилось возможным исследование как начальной стадии процесса, так и последующей, гомогенной.

Определение скорости перемещения границы раздела фаз требовало знания толщины нанесенного слоя. Для экспериментального определения толщины покрытия нами была разработана следующая методика.

От сплава (элемент, со своим радиоактивным изотопом), которым проводилось покрытие образцов, отбиралась некоторая часть, взвешивалась и просчитывалась на  $\gamma$ -излучение. После этого на  $\gamma$ -излучение просчитывались образцы, покрытые этим сплавом, у которых требовалось определить толщину нанесенных слоев.

Таким образом, по образцу с равномерным распределением реактивного вещества устанавливалось соотношение между числом импульсов и весом вещества, а в исследуемом образце определялось количество импульсов. Отсюда, зная площадь образца и плотность нанесенного элемента, легко рассчитать толщину покрытия:

$$E_0 = \frac{I_1}{I_2} \cdot \frac{q}{s_p}$$

Данная методика позволяла определять толщину покрытия с точностью до тысячных долей микрона. Ошибка в определении времени исчезновения нанесенного слоя составляла примерно 10%.

На основе разработанного метода было проведено исследование диффузионных процессов в системах Ag—Cu (при 700, 725, 750, 800, 850°С), Fe—Cu (при 925, 1000, 1050°С), Ag—Zn (при 400°С), Sb—Ag (при 463°С).

Опыты при каждой из указанных температур проводились с тремя образцами. На два образца наносились толстые слои радиоактивного элемента (для взаимного контроля зависимости времени излома на кинетических кривых от толщины нанесенного слоя), а на третий образец — тонкий слой (для контроля правильности вычисленных по первым двум образцам коэффициентов диффузии).

На рис. 1 представлены некоторые типичные кривые, полученные в результате проведенных экспериментов. При этом каждая кривая объединяет результаты изменения активности во времени на двух различных счетных трубках. Расчетные и экспериментальные данные для этих кривых приведены в табл. 1.

На приведенном графике четко заметны изломы, характеризующие время исчезновения насыщенной фазы. Видно также, что с ростом толщины нанесенного слоя изломы смещаются в сторону больших времен отжига. Углы наклона вторых участков кинетических кривых для образцов с толстым слоем (кривые 1, 2) совпадают с углами наклона кривых для образцов с тонким слоем.

Данные, полученные в результате экспериментов, позволили определить диффузионные характеристики в указанных системах и контро-

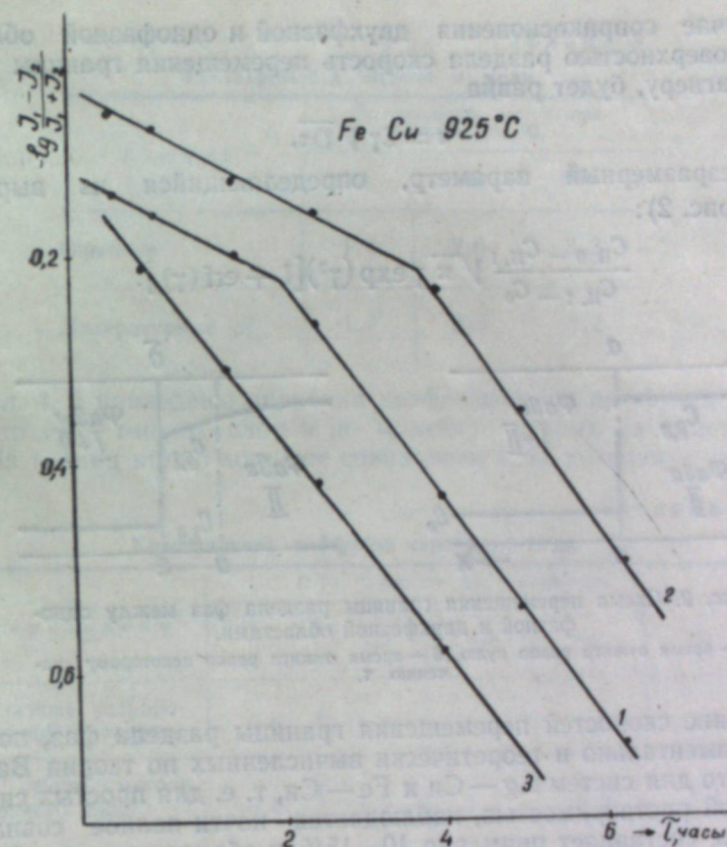


Рис. 1. Зависимость  $\lg \frac{I_1 - I_2}{I_1 + I_2}$  от времени для диффузии железа в медь.  $t = 925^\circ\text{C}$ . (Исходные и расчетные данные приведены в табл. 1).

Таблица 1

Система железо—медь,  $t = 925^\circ\text{C}$ 

№ образца	$I$ , мк (толщина образца)	$E_0$ , мк (толщина покрытия)	$D \cdot 10^{10}$ , см <sup>2</sup> /сек Fe→Cu	$t_{изл}$ , часы (момент излома)	
				эксперим. опред.	вычислено по теории Вагнера
1	64	0,29	3,0	2,2	2,1
2	64	0,42	2,9	3,7	4,3
3	64	>0,05	3,0	—	—

лирующий фактор скорости перемещения границы раздела фаз при фазовых превращениях.

Как известно, скорость любого процесса определяется скоростью его наиболее медленной стадии. В случае реактивной диффузии такой медленной стадией могут быть или скорость фазовых превращений, или диффузионный отвод атомов от границы раздела фаз.

Вагнер (см., [2, 3]), исходя из предположения, что скорость фазовых превращений определяется диффузией, для некоторых случаев вывел формулы, позволяющие рассчитывать скорости движения границы раздела фаз. Для подобных расчетов требуется знание соответственных диаграмм состояния и коэффициентов диффузии.

В случае соприкосновения двухфазной и однофазной областей с плоской поверхностью раздела скорость перемещения границы раздела фаз, по Вагнеру, будет равна

$$v = 2\gamma \sqrt{D\tau}, \quad (2)$$

где  $\gamma$  — безразмерный параметр, определяющийся из выражения (рис. 2):

$$\frac{C_{II,0} - C_{II,1}}{C_{II,1} - C_0} \sqrt{\pi} \gamma \exp(\gamma^2) [1 + \operatorname{erf}(\gamma)]. \quad (3)$$

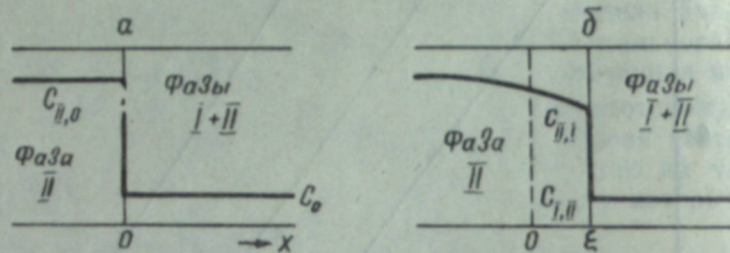


Рис. 2. Схема перемещения границы раздела фаз между однофазной и двухфазными областями.  
а — время отжига равно нулю, б — время отжига равно некоторому значению  $\tau$ .

Сравнение скоростей перемещения границы раздела фаз, полученных экспериментально и теоретически вычисленных по теории Вагнера, показало, что для систем Ag — Си и Fe — Си, т. е. для простых систем с ограниченной растворимостью, наблюдается почти полное совпадение их. Различие составляет примерно 10—15% и объясняется ошибкой эксперимента.

Следовательно, отсюда можно предположить, что в случае простых систем с ограниченной растворимостью скорость фазовых превращений лимитируется диффузией и перемещение границы раздела фаз можно вычислить теоретически, исходя из теории Вагнера.

С другой стороны, так как скорость перемещения границы раздела фаз при диффузионном механизме определяется значениями растворимостей и коэффициентов диффузии, возникает возможность определения этих характеристик из скорости перемещения границы раздела фаз.

В табл. 2, 3 даны значения растворимостей, полученные при определении моментов излома на кинетических кривых (т. е. определенные, исходя из скорости перемещения границы раздела фаз). Здесь же для сравнения приведены литературные данные [4]. Из сопоставления видно, что расхождение между нашими и литературными данными весьма незначительно.

Растворимость серебра в меди

Данные	Растворимость, вес. %, при температуре, °C				
	700	725	750	800	850
Опытные	5,6	6,3	7,0	7,8	7,6
Литературные [3]	4,4—6,0	5,5	6,8	8,3	8

Таблица 2

Таблица 3

Растворимость железа в меди

Данные	Растворимость, вес. %, при температуре, °C		
	925	1000	1050
Опытные	1,6	2,6	3,2
Литературные [3]	1,7	2,5	3,2

В табл. 4, 5 приведены значения коэффициентов диффузии, определенные методом тонкого слоя и по моменту излома на кинетических кривых. Из таблиц видно хорошее совпадение этих величин.

Таблица 4

Коэффициент диффузии серебра в меди

Определено	$D \cdot 10^{10}$ , см <sup>2</sup> /сек при температуре, °C				
	700	725	750	800	850
На основе разработанной методики	0,9	1,3	1,7	2,9	5,4
На основе метода тонкого слоя	0,8	1,2	1,7	3,2	5,4

Таблица 5

Коэффициент диффузии железа в меди

Определено	$D \cdot 10^{10}$ , см <sup>2</sup> /сек при температуре, °C		
	925	1000	1050
На основе разработанной методики	2,8	6,1	9,1
На основе метода тонкого слоя	3,0	6,0	9,1

Результаты сравнения показывают, что на основе данной методики можно определять растворимости или коэффициенты диффузии. Метод может применяться в тех случаях, когда существующие методики оказываются менее эффективными, в частности, для определения весьма малых значений растворимостей.

Совершенно иные результаты были получены при изучении перемещения границы раздела фаз в системах Ag — Sb и Ag — Zn, т. е. в сложных системах, состоящих из нескольких химических соединений. Здесь экспериментально определенные скорости перемещения границы раздела фаз были во много раз меньше, чем это следовало по диффузионной теории Вагнера.

В табл. 6 приведены значения смещения границы раздела фаз, определенные экспериментально и теоретически вычисленные для системы Ag — Sb.

Как видно из табл. 6, расхождение между расчетными и экспери-

Таблица 6  
Диффузия с фазовыми превращениями в системе серебро — сурьма,  $t = 465^\circ\text{C}$

Толщина нанесенного слоя, $\mu\text{м}$	Время исчезновения нанесенного слоя, $\tau_0$	
	теоретически вычисленное	экспериментально определенное
0,1	1 мин	5 час
0,3	9 мин	46 час

ментальными данными очень велико. Столь резкое различие говорит о том, что в этих случаях имеют место кинетические затруднения при осуществлении распространения фаз, т. е. что здесь наиболее медленной стадией, контролирующей весь процесс в целом, является не диффузионный отвод атомов от границы раздела фаз, а скорость самих фазовых превращений.

Интересно отметить, что в этих случаях, несмотря на то, что процесс проходит в кинетической области, скорость перемещения границы раздела фаз подчиняется параболическому закону.

Подобную зависимость можно объяснить, если принять, что на границе устанавливается некоторая эффективная стационарная концентрация значительно ниже равновесной и диффузионный отвод атомов осуществляется от этой концентрации. Но подобное утверждение требует экспериментальной проверки.

### О пластическом течении при фазовых превращениях

Большое внимание было уделено нами не только изучению скорости перемещения границы раздела фаз, но и механизму перемещения границы раздела фаз при фазовых превращениях.

Рассмотрим простейший случай исчезновения насыщенного раствора  $A$  и  $B$  (фаза  $\alpha$ ) при его соприкосновении с компонентом  $A$  (фаза  $\beta$ ). (Компоненты  $A$  и  $B$  образуют простую диаграмму состояния с ограниченной растворимостью друг в друге).

При перемещении границы раздела между указанными фазами, в результате диффузионных процессов, концентрация растворенного вещества должна изменяться скачкообразно. Атомы  $B$  должны переходить в фазу  $\beta$ .

При обычной диффузии на освобождающиеся места переходят атомы  $A$ , однако в случае насыщенного раствора такой процесс приведет к пересыщению фазы  $\alpha$ .

Можно представить два механизма превращения  $\alpha$ -фазы в  $\beta$ -фазу. При первом, соответствующем обычно принятой концепции, пересыщенная фаза распадается, образуя зародыши новой фазы. Однако для пластичных фаз возможен другой механизм. Переход атомов  $B$  в  $\beta$ -фазу из  $\alpha$ -фазы может не сопровождаться обратным переходом атомов  $A$ . Тогда фаза  $\beta$  окажется сжатой, а фаза  $\alpha$  растянутой. В результате может осуществиться пластическое течение, обеспечивающее передвижение границы в сторону исчезающей фазы.

Очевидно, что пластическое течение должно иметь место и в том случае, если компонент  $A$  находится в соприкосновении с двухфазной областью  $\alpha + \beta$ , но при этом скорость пластического течения должна быть меньше, так как уход атомов из фазы  $\beta$  может не сопровождаться пластическим течением, вследствие того, что в этой фазе возможна замена атомов  $A$  на  $B$ .

Рассматриваемое нами течение при фазовых превращениях родственно течению, имеющему место при так называемом эффекте Киркендалла. Однако в случае эффекта Киркендалла это течение возникает из-за различий в подвижности компонентов, а в рассматриваемом процессе течение всегда направлено в сторону исчезающей фазы, независимо от соотношения парциальных коэффициентов диффузии. Но су-

ществование такого эффекта можно проверить по той же методике, которую применяют при наблюдении эффекта Киркендалла. Сущность ее заключается в том, что в металле запрессовывают инертные метки (в частности, проволочки), по перемещению которых судят о существовании и скорости пластического течения.

Выявление предполагаемого нами пластического течения при фазовых превращениях было выполнено на системах  $\text{Ag} - \text{Cu}$ ,  $\text{Fe} - \text{Cu}$ ,  $\text{Fe} - \text{Sn}$ ,  $\text{Cu} - \text{Sn}$ ,  $\text{Pb} - \text{Sn}$ . Подготовка образцов для опытов и проведение самих опытов заключались в следующем.

В вакууме выплавлялись двухфазные сплавы различного состава, которые затем прокатывались на полосы толщиной порядка  $360 \mu\text{м}$ , и из этих полос вырезались прямоугольные пластинки ( $5 \times 4 \text{ мм}$ ). Пластинки подвергались рекристаллизационному отжигу, и после этого вдоль их боковых плоскостей с обеих сторон натягивались ряды тонких молибденовых проволочек и проводилось электролитическое покрытие одним из компонентов, входящим в двухфазный сплав.

В некоторых образцах в наращиваемом слое на расстоянии примерно  $200 - 300 \mu\text{м}$  от поверхности пластинок помещали второй ряд молибденовых проволочек, по перемещению которых можно было судить об общем изменении объема образца. Общая толщина покрытия пластинок составляла примерно  $500 \mu\text{м}$ . Покрытые пластинки подвергали предварительному отжигу в вакууме для удаления газов из электролитического слоя при температуре на  $150 - 200^\circ$  ниже той, при которой проводили исследования. После завершения обезгаживания с торцов пластинок снимали слой нанесенного элемента (до появления молибденовых проволочек). Такие образцы были готовы для проведения опытов.

Сущность самих опытов заключалась в диффузионном отжиге образцов и замере после каждого отжига расстояния между молибденовыми проволочками. Расстояние между проволочками измеряли на приборе ПМТ-3 с точностью  $0,5 \mu\text{м}$ .

Данные экспериментов показали, что во всех случаях ряды молибденовых проволочек, расположенные у границ двухфазных областей, после диффузионных отжигов смещались в направлении этих областей. При этом скорость смещения изменялась по параболическому закону, что обычно указывает на диффузионный характер перемещения.

На рис. 3 приведены некоторые из полученных нами типичных кривых зависимости смещения проволочек от времени. При этом каждая точка на этих кривых определялась как среднее из смещения примерно  $8 - 12$  пар молибденовых проволочек. Внешние проволочки, т. е. проволочки, расположенные вне диффузионной зоны, смещались в обратном направлении, показывая тем самым увеличение общего объема образца. Сдвиг их также приблизительно подчиняется параболическому закону (рис. 4).

Увеличение объема образца указывает на то, что возникающие в процессе фазовых превращений скопления вакансий на определенных атомных плоскостях могут объединяться и образовывать пустоты, т. е. что в результате фазовых превращений происходит образование пористости.

В табл. 7 приведены значения констант скоростей смещения проволочек, расположенных у границ раздела фаз.

Как видно из табл. 7, наличие пластического течения было установлено в различных системах и измерено при разных составах двухфазных областей.

Движение проволочек не является тривиальным, поскольку при первом из рассмотренных нами механизмов такие макроскопические

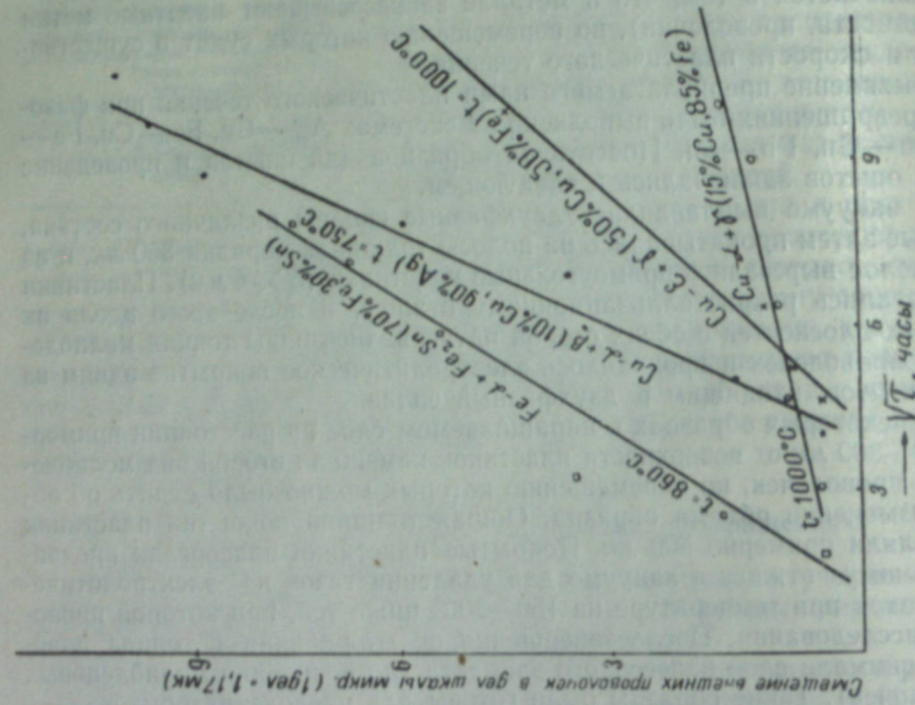
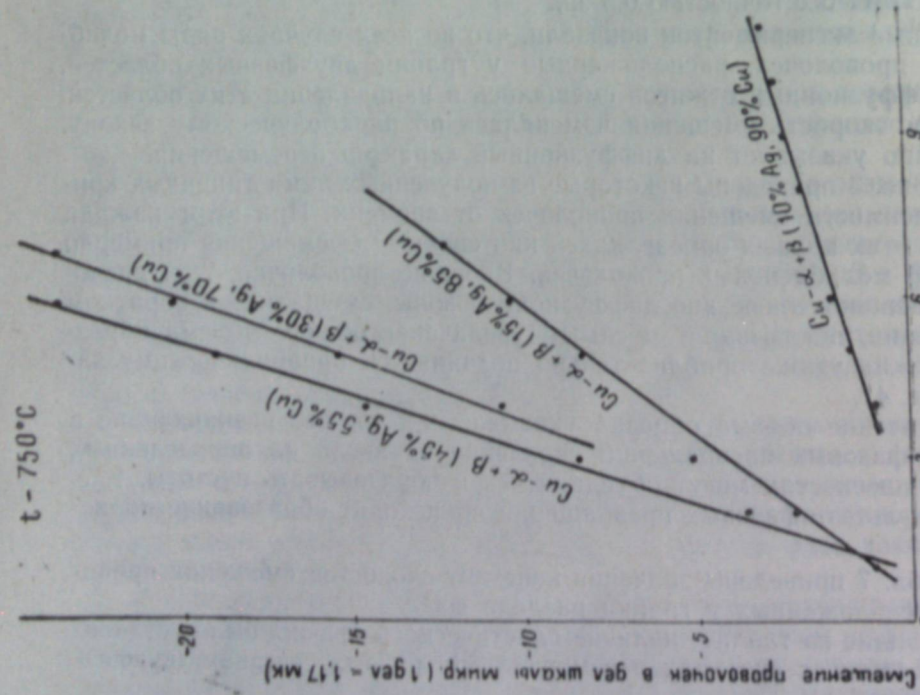
Рис. 4. Зависимость смещения внешних проволок от  $\sqrt{t}$ .Рис. 3. Зависимость смещения внутренних проволок от  $\sqrt{t}$ . (Смещение направлено в сторону двухфазных областей).

Таблица 7

## Константы скорости смещения проволок

Система (состав двухфазного сплава)	Наносимый элемент	Температура, °C	$K \cdot 10^6 \cdot \frac{1}{60}$ , см/сек <sup>1/2</sup> (смещение направлено в сторону двухфазной области)
10% Cu, 90% Ag	Cu	750	2,2
25% Cu, 75% Ag	"	750	4,4
40% Cu, 60% Ag	"	750	6,2
55% Cu, 45% Ag	"	750	7,3
70% Cu, 30% Ag	"	750	6,2
85% Cu, 15% Ag	"	750	3,2
90% Cu, 10% Ag	"	750	0,5
10% Ag, 90% Cu	Cu	750	2,4
30% Ag, 70% Cu	"	750	6,1
70% Ag, 30% Cu	"	750	5,3
90% Ag, 10% Cu	"	750	0,42
70% Sn, 30% Pb	Sn	172	2,1
90% Sn, 10% Pb	"	172	3,9
15% Cu, 85% Fe	Cu	1000	0,97
50% Cu, 50% Fe	"	1000	0,28
70% Fe, 3% Sn	Fe	860	1,5
84% Cu, 16% Fe	Cu	700	1,3
79% Cu, 21% Fe	"	"	2,3
84% Cu, 16% Fe	"	785	2,6
79% Cu, 21% Fe	"	"	7,2

тела, как проволочки, расположенные позади растущей фазы, должны были бы оставаться неподвижными.

Таким образом, наблюдаемое явление доказывает правильность второго механизма, т. е. наличие пластического течения при гетерогенных превращениях.

Наиболее детальное изучение скорости перемещения проволок в зависимости от состава двухфазных областей было выполнено на системе серебро — медь.

Рассмотрим на этой конкретной системе причину зависимости пластического течения от состава двухфазной области и попытаемся объяснить обнаруженное при ее исследовании неожиданное и интересное явление прохождения эффекта течения через максимум при некотором составе двухфазной области.

Эффект течения меди в системе  $\text{Cu} - \alpha + \beta$  ( $\text{Cu}, \text{Ag}$ ), наблюдаемый с помощью меток, вызван переходом в нее атомов серебра при отсутствии обратного диффузионного потока атомов меди. Очевидно, что в случае соприкосновения  $\text{Cu}$  и  $\alpha$ -насыщенной фазы, при отсутствии порообразования, скорость пластического течения должна почти совпадать с движением границы раздела фаз. Некоторое расхождение между этими скоростями будет вызвано тем, что серебро уходит как из  $\alpha$ -фазы, так и из  $\beta$ -фазы, которая образуется в результате распада  $\alpha$ -фазы. Уход же серебра из  $\beta$ -фазы сопровождается обратным переходом меди и, следовательно, не вызывает пластического течения.

По мере увеличения процентного содержания меди в сплаве возрастает доля серебра, содержащегося в  $\beta$ -фазе, и, следовательно, замедляется движение границы раздела фаз за счет пластического течения.

Таким образом, скорость пластического течения в зависимости от состава двухфазной области может меняться в пределах от величины, примерно равной скорости движения границы раздела фаз, до нуля.



Легко показать, что ее значение может быть определено из выражения:

$$\varepsilon_n = \frac{C_0 - C_{1, II}}{C_0} \varepsilon, \quad (4)$$

где  $\varepsilon_n$  — скорость пластического течения,  
 $C_0$  — концентрация диффундирующего компонента в двухфазной области,  
 $C_{1, II}$  — концентрация диффундирующего компонента в насыщенном растворе наносимого элемента.  
 $\varepsilon$  — скорость смещения границы раздела фаз.

В случае, если отсутствуют кинетические затруднения при фазовых превращениях, а это справедливо, как нами показано выше, для таких простых систем, как серебро — медь, скорость перемещения границ раздела фаз можно определить по формулам Вагнера (см. 2, 3). Тогда для скорости пластического течения получаем следующее выражение:

$$\varepsilon_n = \frac{C_0 - C_{1, II}}{C_0} 2\gamma \sqrt{D\tau}. \quad (5)$$

По этой формуле, зная коэффициент диффузии в гомогенной области и значения растворимостей, для любого состава двухфазной области можно вычислить скорость пластического течения.

В табл. 8 приведены значения теоретически рассчитанных констант скоростей пластического течения и экспериментально определенных констант смещения проволок.

Таблица 8

Расчетные и экспериментальные значения констант скорости пластического течения в системе  $\text{Cu} - \alpha + \beta$  ( $\text{Cu}, \text{Ag}$ ),  $t = 750^\circ\text{C}$

Содержание меди в сплаве, %	$K \cdot 10^9 \frac{1}{60} \text{ см/сек}^{1/2}$ (теоретически рассчитанная константа пластического течения)	Смещение границы раздела фаз за счет пластического течения за 100 час. диффузионного отжига, мк	$K \cdot 10^9 \frac{1}{60} \text{ см/сек}^{1/2}$ (константа перемещения проволок)	Смещение проволок за 100 час. диффузионного отжига, мк
10	5,8	21,1	2,2	8,0
25	5,7	20,7	4,4	16,0
40	5,6	20,1	6,2	22,5
55	5,3	19,2	7,3	27,5
70	4,5	16,2	6,2	22,5
85	2,6	9,5	3,2	11,5
90	1,7	6,2	0,5	2,0

Коэффициент диффузии серебра в электролитическую медь, необходимый для расчета, был определен экспериментально методом тонкого слоя. Его значение оказалось равным  $1,5 \cdot 10^{-9} \text{ см}^2/\text{сек}$  ( $t = 750^\circ\text{C}$ ).

Графическая зависимость скоростей смещения от состава двухфазных областей показана на рис. 5.

На рис. 5 видно, что, начиная с некоторого состава двухфазного сплава, опытные и теоретически вычисленные данные близки друг к другу. Расхождение между ними составляет примерно 30% и частично связано, видимо, с ошибкой в определении коэффициента диффузии.

Более медленное движение граничных меток, чем это следует из расчетов, для сплавов с большим содержанием серебра наиболее вероятно объясняется тем, что существует порообразование, зависящее от состава двухфазной области. Скорость движения меток, следовательно, не равна скорости движения границы раздела фаз. Порообразование наиболее значительно в случае чистой  $\alpha$ -фазы и уменьшается с

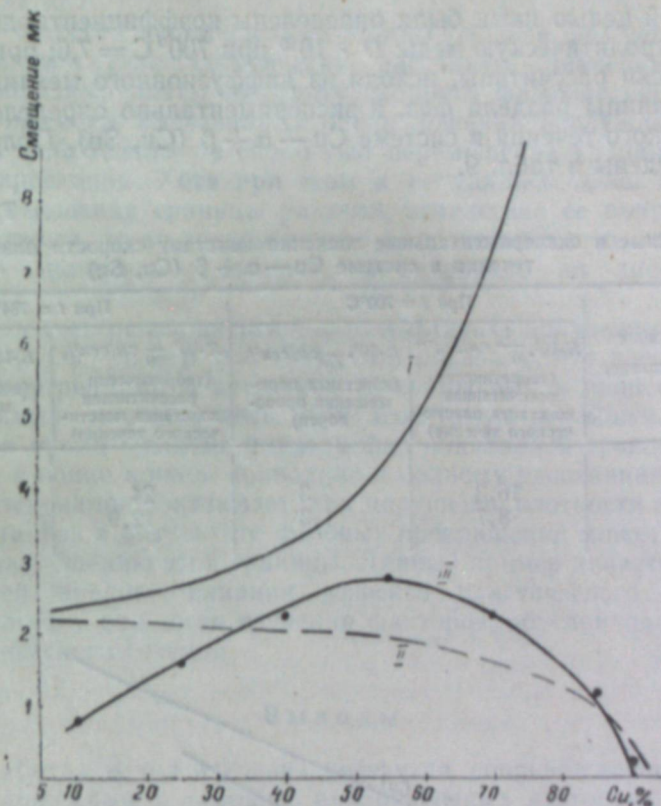


Рис. 5. Зависимость смещения границы раздела фаз и проволок от состава двухфазного сплава для системы  $\text{Cu} - \alpha + \beta$  ( $\text{Cu}, \text{Ag}$ ). (Смещение дано за 1 час диффузионного отжига).

1 — общее смещение границы раздела фаз, 2 — смещение границы раздела фаз за счет пластического течения, 3 — смещение проволок.

увеличением содержания  $\beta$ -фазы вследствие возникновения поперечной диффузии.

Это объяснение качественно было подтверждено экспериментами (см. рис. 4), показавшими, что внешние проволочки (т. е. проволочки, расположенные вне диффузионной зоны) смещались в сторону, противоположную движению внутренних проволок, указывая тем самым на общее увеличение объема образцов.

Подобная же зависимость скорости пластического течения от состава была получена и в системе  $\text{Ag} - \alpha + \beta$  ( $\text{Ag}, \text{Cu}$ ). Здесь также имело место прохождение эффекта течения через максимум при некотором составе двухфазной области. Теоретический же расчет скорости пластического течения в этой системе мы, к сожалению, произвести не смогли из-за отсутствия значения коэффициента диффузии меди в электролитическое серебро. Но близость коэффициентов диффузии серебра и меди в монокристаллических слоях позволяет предположить, что эти коэффициенты близки и в электролитических слоях. В таком случае для этой системы получается зависимость, аналогичная зависимости для системы  $\text{Cu} - \alpha + \beta$  ( $\text{Cu}, \text{Ag}$ ).

При диффузии, сопровождающейся химическими превращениями, как нами показано выше, существуют кинетические затруднения и вследствие этого уменьшается скорость перемещения границы раздела фаз. Интересно было проверить, уменьшается ли в связи с этим и скорость пластического течения.

С этой целью нами были определены коэффициенты диффузии олова в электролитическую медь:  $D \cdot 10^{10}$  при  $700^\circ\text{C} = 7,6$ ; при  $784^\circ\text{C} = 16$ , теоретически рассчитаны, исходя из диффузионного механизма перемещения границы раздела фаз, и экспериментально определены скорости пластического течения в системе  $\text{Cu} - \alpha + \beta$  ( $\text{Cu}, \text{Sn}$ ). Полученные данные приведены в табл. 9.

Таблица 9

Расчетные и экспериментальные значения констант скорости пластического течения в системе  $\text{Cu} - \alpha + \beta$  ( $\text{Cu}, \text{Sn}$ )

Содержание меди в сплаве, %	При $t = 700^\circ\text{C}$		При $t = 784^\circ\text{C}$	
	$K \cdot 10^6 \cdot \frac{1}{6} \text{ см/сек}^{1/2}$ (теоретически рассчитанная константа пластического течения)	$K \cdot 10^6 \cdot \frac{1}{60} \text{ см/сек}^{1/2}$ (константа перемещения проволочек)	$K \cdot 10^6 \cdot \frac{1}{60} \text{ см/сек}^{1/2}$ (теоретически рассчитанная константа пластического течения)	$K \cdot 10^6 \cdot \frac{1}{60} \text{ см/сек}^{1/2}$ (константа перемещения проволочек)
79	16,3	2,3	24	7,2
84	8,7	1,3	12,9	2,6

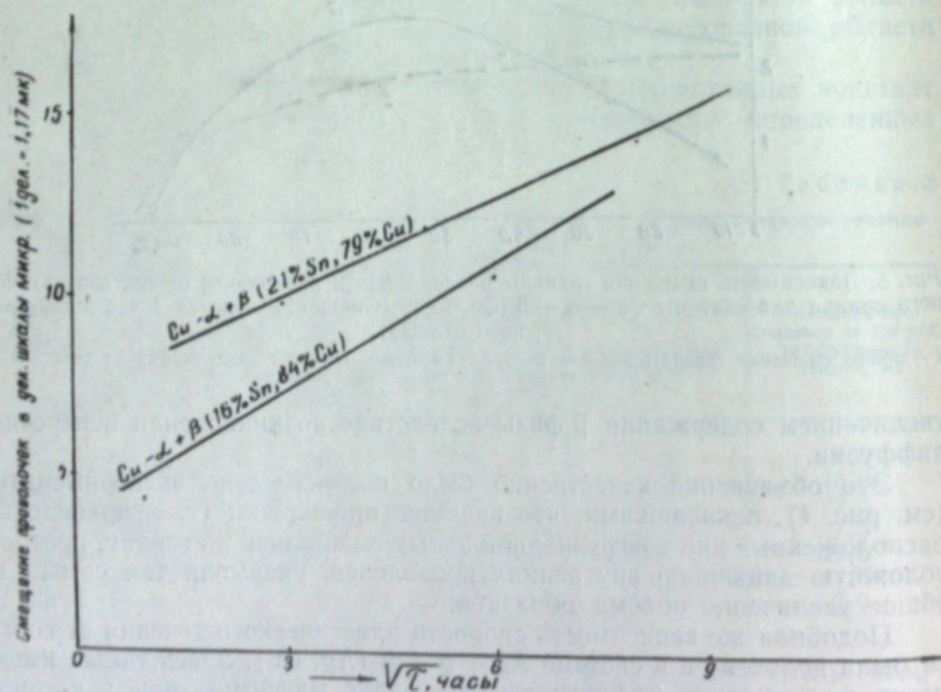


Рис. 6. Зависимость смещения внешних проволочек от  $\tau$ ,  $t = 700^\circ\text{C}$ .

Из табл. 9 видно, что в этом случае экспериментально определенные значения пластического течения значительно ниже теоретически вычисленных. Это различие, как показали исследования, нельзя объяснить, исходя лишь из образования пористости в результате фазовых превращений (рис. 6).

Причиной меньшего значения скорости пластического течения, определенного экспериментально, по нашему мнению, является наличие кинетических затруднений при химических превращениях. Вследствие этого уменьшается общая скорость перемещения границы раздела фаз и, следовательно, эффект пластического течения, который составляет некоторую часть от этой скорости. Для таких систем теория Вагнера для

определения скорости перемещения границы раздела фаз неприменима. Чтобы в данном случае теоретически рассчитать значения эффекта течения, необходимо знать константу скорости фазовых превращений.

Подтверждением высказанных предположений послужило и непосредственное наблюдение за скоростью перемещения границы раздела фаз под микроскопом. Хотя при этом и не удалось точно определить скорость перемещения границы раздела, вследствие ее вытравливания в процессе отжига, но во всяком случае было установлено, что скорость ее смещения значительно меньше, чем следовало по диффузионной теории.

Особо следует остановиться на результатах, полученных при изучении системы  $\text{Cu} - \alpha + \beta$  ( $\text{Cu}, \text{Sb}$ ). Они показали, что здесь расстояние между внутренними и внешними проволочками в процессе диффузионных отжигов увеличивалось. При этом визуально можно было наблюдать, как вдоль границы раздела фаз появлялись трещины, развитие которых в конце концов приводило к полному расслаиванию фаз.

Это исследование показывает, как нарушение плотности вблизи границы раздела фаз в результате фазовых превращений может приводить к полному разрушению этой границы. Данный пример является хорошей иллюстрацией вредного влияния эффекта пластического течения на сцепление слоев и важности изучения факторов, обуславливающих скорость пластического течения.

### Выводы

1. Разработан метод изучения диффузии, сопровождающейся фазовыми превращениями, с помощью радиоактивных изотопов.
2. На основе разработанной методики изучена скорость перемещения границы раздела фаз в бинарных системах  $\text{Ag} - \text{Cu}$ ,  $\text{Fe} - \text{Cu}$ ,  $\text{Ag} - \text{Sb}$ ,  $\text{Ag} - \text{Zn}$ .
3. Установлено, что в простых системах с ограниченной растворимостью ( $\text{Cu} - \text{Ag}$  и  $\text{Cu} - \text{Fe}$ ) скорость перемещения границы раздела фаз определяется диффузионными процессами, а в сложных системах с несколькими химическими соединениями ( $\text{Ag} - \text{Sb}$ ,  $\text{Ag} - \text{Zn}$ ) — скоростью фазовых превращений.
4. Изучен механизм перемещения границы раздела фаз в системах  $\text{Ag} - \text{Cu}$ ,  $\text{Fe} - \text{Cu}$ ,  $\text{Fe} - \text{Sn}$ ,  $\text{Pb} - \text{Sn}$ ,  $\text{Sn} - \text{Cu}$ ,  $\text{Cu} - \text{Sb}$ .
5. Установлено, что фазовые превращения сопровождаются пластическим течением, направленным в сторону исчезающей фазы.
6. Проведено детальное изучение и дана теоретическая трактовка скорости пластического течения в зависимости от состава двухфазной области.
7. Показано, что при фазовых превращениях имеет место порообразование.

Московский институт стали  
им. И. В. Сталина

Поступила в редакцию  
20/VII 1959

### ЛИТЕРАТУРА

1. А. А. Жуховицкий, С. Н. Крюков, В. А. Геодакян, Применение радиоактивных изотопов в металлургии. Металлургиздат, М., 1956.
2. W. Lost, Diffusion in solids, liquids, gases. Academic press, New-York, 1952.
3. В. Зайт, Диффузия в металлах. ИЛ., М., 1958.
4. М. Хансен, Структура бинарных сплавов. Металлургиздат, М., 1941.

А. В. КОРШУНОВ, А. А. КОЛОВСКИЙ

## СПЕКТРЫ КОМБИНАЦИОННОГО РАССЕЯНИЯ СВЕТА МАЛЫХ ЧАСТОТ КРИСТАЛЛОВ НЕКОТОРЫХ КВАСЦОВ

### Введение

В спектрах комбинационного рассеяния света многих кристаллов органических и неорганических веществ в области малых частот, расположенной около линии Релея, были обнаружены характерные линии [1]. Эти линии у кристаллов находятся в той области спектра, где у жидкостей наблюдается непрерывный спектр — «крылья линии Релея». Этот спектр вызывается междумолекулярными колебаниями относительно друг друга целых молекул органических веществ или ионов и более сложных образований в случае неорганических веществ в кристаллической структуре.

Как было показано [2], многие закономерности спектров комбинационного рассеяния света малых частот для кристаллов органических веществ могут быть подмечены и связаны с динамикой кристаллических решеток при сопоставлении спектров ряда изоморфных кристаллов. Последние имеют одинаковую пространственную группу симметрии и одинаковое число молекул в элементарной ячейке. Решетки изоморфных кристаллов достаточно близки по величине. По отношению к кристаллографическим осям молекулы в них расположены подобно и имеют одно и то же строение. Замещающие атомы в различных молекулах очень похожи в химическом отношении. Поэтому и силы, действующие в решетках ряда изоморфных кристаллов, для соответственных движений молекул в них, можно считать в некоторых случаях близкими как по величине и анизотропному распределению, так и по характеру междумолекулярной связи. Одинаковой структурой и динамикой решеток изоморфных кристаллов объясняется подобие их спектров комбинационного рассеяния света малых частот. Действительно, исследование спектров рассеяния света малых частот изоморфных кристаллов парадихлорбензола, парадибромбензола, их смешанных кристаллов, а также парабромхлорбензола показало большое подобие этих спектров по числу линий, их расположению в спектре, а также по интенсивности и состоянию поляризации соответственных линий [2—6]. Под соответственными линиями спектров комбинационного рассеяния света малых частот изоморфных кристаллов понимаются линии, вызываемые однотипными колебаниями в подобно построенных решетках этих кристаллов.

Согласно А. И. Китайгородскому [7], надо различать изоморфизм органических и изоморфизм неорганических соединений.

В случае органических соединений при изоморфизме одна молекула замещается другой. Однако строгого геометрического подобия молекул здесь ожидать нельзя, хотя это подобие и осуществляется в некоторых

пределах. Последнее определяется размером замещающих атомов в молекуле. Наиболее часто изоморфные кристаллы органических соединений образуются при замене в молекулах атома хлора на атом брома. Замена другими атомами к изоморфизму обычно не приводит.

В случае неорганических соединений изоморфизм возникает при замене одного иона другим, не очень отличающимся по своим геометрическим размерам, причем сферическая симметрия ионов в кристаллах обычно осуществляется весьма точно.

Вследствие изложенного выше изоморфизм сравнительно редко встречается среди органических веществ и весьма часто среди неорганических.

Учитывая плодотворность сопоставления спектров комбинационного рассеяния света малых частот изоморфных кристаллов органических веществ для изучения их динамики, интересно было исследовать и спектры ряда изоморфных кристаллов неорганических веществ.

### Описание опытов и их результатов

Нами, в первую очередь, были выбраны в качестве объектов исследования неорганические соединения типа  $\alpha$ -квасцов:  $KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$  и  $(NH_4)Al(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$ . Оба вещества имеют пространственную группу симметрии  $T_h^6$ . В элементарной ячейке имеются 4 формульные единицы. Был получен спектр комбинационного рассеяния смешанного кристалла этих веществ 50-процентного состава. Спектр комбинационного рассеяния света малых частот кристалла  $KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$  был впервые получен Е. Ф. Гроссом и В. И. Вальковым [8]. Исследований спектров  $(NH_4)Al(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$  и смешанных кристаллов нами в литературе не обнаружено.

Чтобы получить наиболее полные спектры смешанных кристаллов, необходимо было вырастить однородные монокристаллы исследуемых веществ, а также их смешанные кристаллы. В этом случае получается наименьшее количество паразитного рассеяния света, очень мешающего исследованию спектра малых частот, лежащего вблизи релеевской линии. Выращивание монокристаллов производилось из растворов по методу планетарного вращения [9]. Были выращены большие однородные монокристаллы как компонентов, так и смешанного кристалла 50-процентного состава. Из последних вырезались параллелепипеды размером  $6 \times 2 \times 2$  см, имеющие одну и ту же ориентацию по отношению к кристаллографическим осям в случае различных веществ. Съемка спектров производилась лишь для одной ориентации монокристаллов по отношению к направлению возбуждающего света и направлению наблюдения.

При выращивании смешанного кристалла встретились некоторые экспериментальные трудности. Наблюдалось натяжение в кристалле, в особенности на некоторых гранях, которые приводили к выкалыванию кусков, а также растрескиванию кристалла. Дальнейшие опыты показали, что такое растрескивание происходит при температурах раствора около 20—30° С. Нам удалось при температуре раствора 43° С получить оптически однородный смешанный кристалл 50-процентного состава.

Освещались объекты стандартным осветителем. Спектры были получены на спектрографе ИСП-51 со средней камерой и камерой УФ-84. Необходимо отметить слабую интенсивность линий спектра рассеяния малых частот изученных веществ по сравнению с интенсивностью большинства линий комбинационного рассеяния света больших частот. В

молекулярных кристаллах линии спектра малых частот обычно более интенсивны.

Результаты экспериментальных исследований приведены в таблице, а снимки спектров — на рисунке.

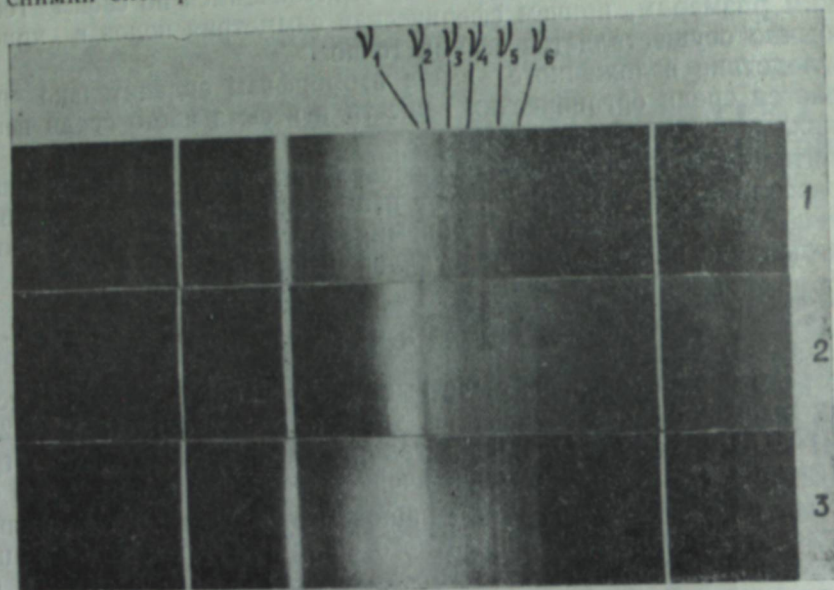


Рис.

1 — спектр малых частот алюмокалиевых квасцов, 2 — спектр малых частот смешанного кристалла 50-процентного состава, 3 — спектр малых частот алюмоаммиачных квасцов. (Возмущающей линией является линия ртути 4046 Å).

Таблица

Спектры комбинационного рассеяния света малых частот исследованных изоморфных кристаллов

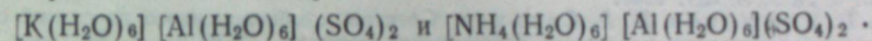
Вещество	Частоты в (см) <sup>-1</sup> (в скобках — относительные интенсивности)					
	ν <sub>1</sub>	ν <sub>2</sub>	ν <sub>3</sub>	ν <sub>4</sub>	ν <sub>5</sub>	ν <sub>6</sub>
KAl(SO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> ·12H <sub>2</sub> O	37 (10)	47 (8)	80 (10)	116 (8)	153 (8)	192 (9)
Смешанный кристалл: 50% KAl(SO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> ·12H <sub>2</sub> O + + 50% (NH <sub>4</sub> )Al(SO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> ·12H <sub>2</sub> O	37 (10)	47 (8)	79 (9)	116 (8)	153 (8)	192 (9)
(NH <sub>4</sub> )Al(SO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> ·12H <sub>2</sub> O	37 (10)	47 (8)	78 (8)	116 (8)	153 (8)	192 (9)
Характеристика линий	очень узкая	широкая	узкая	широкая	широкая	широкая

## Обсуждение результатов

Как видим из таблицы, спектры комбинационного рассеяния света малых частот кристаллов, KAl(SO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>·12H<sub>2</sub>O, (NH<sub>4</sub>)Al(SO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>·12H<sub>2</sub>O и смешанного кристалла этих веществ 50-процентного состава подобны друг другу по числу линий. Соответственные линии кристаллов имеют одну и ту же частоту и интенсивность, а также вид линий. Некоторые неболь-

шие изменения в частоте и интенсивности наблюдаются только у линий с частотой ν<sub>3</sub>.

Согласно [10], структурные формулы изученных квасцов могут быть представлены в следующем виде:



· K(H<sub>2</sub>O)<sub>6</sub>, Al(H<sub>2</sub>O)<sub>6</sub> и NH<sub>4</sub>(H<sub>2</sub>O)<sub>6</sub> представляют собой октаэдры, в центре которых находятся ионы Al, K или NH<sub>4</sub>, а в вершинах располагаются молекулы воды.

Надо думать, что размеры октаэдров для K и NH<sub>4</sub> несколько отличаются друг от друга, хотя и незначительно, ввиду некоторой разницы в геометрических размерах этих ионов. Так, по Л. Паулингу [11], радиус иона K<sup>+</sup> составляет 1,38 Å, иона NH<sub>4</sub><sup>+</sup> — 1,43 Å. Возможно, что некоторое различие частоты и интенсивности линий ν<sub>3</sub> для разных кристаллов связано с некоторым изменением размеров октаэдров с ионами K<sup>+</sup> и NH<sub>4</sub><sup>+</sup> или с изменениями их массы.

Сопоставление спектров изученных изоморфных кристаллов показывает, что, как и для органических соединений, они являются подобными. Это связано с подобным строением кристаллических структур и одинаковой динамикой решеток данных веществ.

Ввиду одинакового значения частот соответственных линий у различных кристаллов невозможно для интерпретации спектров применять метод, предложенный в работе [2—4]. Поэтому необходимо изучение степени деполяризации линий для различных ориентаций. Нам представляется, что полезные заключения по данному вопросу могут быть сделаны путем сопоставления спектров α-квасцов, к которым принадлежат изученные в данной работе кристаллы, со спектрами β- и γ-квасцов. β- и γ-квасцы, являясь изоморфными до некоторой степени с α-квасцами, имеют несколько иное расположение ионов SO<sub>4</sub>. Поэтому можно ожидать, что будет наблюдаться некоторое изменение спектров малых частот для α-, β- и γ-квасцов. Последнее даст возможность произвести интерпретацию спектра.

Результаты наших исследований показывают, что, как и в случае некоторых смешанных кристаллов органических соединений [5, 6], решетки смешанных кристаллов изученных нами неорганических соединений являются изоструктурными с решетками компонентов. Последнее осуществляется обычно только в том случае, если образуется ряд твердых растворов при любой концентрации компонентов. Замещение одной группы атомов другой происходит в среднем достаточно равномерно в соответствии с процентным содержанием замещающих компонентов.

Совпадение величин частот линий спектров для различных веществ говорит о том, что величина межмолекулярных сил, действующих в структурах смешанных кристаллов и в структурах компонентов, для одинаковых типов колебаний является одной и той же.

Институт физики  
Сибирского отделения АН СССР

Поступила в редакцию  
4/VI 1959

## ЛИТЕРАТУРА

1. E. Gross, M. Vuks, Sur le nouveau type du spectre de diffusion des cristaux et la structure des liquides. Journ. de physique et le radium, t. 7, № 3, 113, 1936.
2. E. Gross, A. Korshunov, The rotational vibrations of molecules in crystal lattices of organic substances and scattering spectra. Acta physicochimica URSS, vol. 20, № 3, p. 351, 1945.

3. М. Ф. Вукс, Некоторые простые соотношения в раман-спектрах сходных кристаллов и вращательные колебания молекул, ЖЭТФ, т. 16, вып. 3, стр. 410, 1946.
4. Е. Ф. Гросс, А. В. Коршунов, В. А. Селькин, Некоторые закономерности в спектрах комбинационного рассеяния малых частот изоморфных кристаллов дигаллодозамещенных бензола, ЖЭТФ, т. 22, вып. 5, стр. 579, 1952.
5. M. Vuks, Über die Streustrahlung der Mischkristalle. Acta physicochimica URSS, Bd. 6, № 3, S. 327, 1937.
6. А. В. Коршунов, В. А. Селькин, Спектры комбинационного рассеяния смешанных кристаллов некоторых органических веществ, ЖЭТФ, т. 23, вып. 5, стр. 576, 1952.
7. А. И. Китайгородский, Органическая кристаллохимия, Изд. АН СССР, М., 1955.
8. Е. Ф. Гросс, В. И. Вальков, Колебательный спектр водородной связи, ДАН СССР, т. 68, № 3, стр. 473, 1949.
9. В. А. Кузнецов, Кристаллы и кристаллизация, ГИТТЛ, М., 1954.
10. Б. Ф. Ормонт, Структуры неорганических веществ, ГИТТЛ, М., 1950.
11. Л. Паулинг, Природа химической связи, Госхимиздат, М., 1947.

В. П. МАРТЫНОВ

### НЕКОТОРЫЕ ДАННЫЕ О ПОЧВАХ БАЙКАЛЬСКИХ ГОРНЫХ СТЕПЕЙ

Еще первые исследователи Сибири [1] отмечали на байкальском о-ве Ольхон и северо-западном побережье оз. Байкал степные пространства. Эти степи, флористически очень близкие к степям Забайкалья [2—4], занимают здесь площадь около полутора тысяч квадратных километров. По строению поверхности они представляют собой сеть крутых гребневидных поднятий, разобленных понижениями котловинного типа. Абсолютные высоты колеблются в пределах от 500 до 950 м. Вдоль побережья оз. Байкал, к северо-востоку от юго-западной оконечности пролива Малое Море, степи располагаются полосой, ширина которой 1—4 км, на юго-восточных скатах Приморского хребта они встречаются пятнами.

По данным геологических исследований [5], вся территория, занятая степями, сложена древними кристаллическими породами архея и протерозоя. Климат ее, несмотря на близость обширного водоема, континентальный и засушливый. Среднегодовые температуры отрицательные. Лето в степях короткое и прохладное (июль  $+12$ — $+14^\circ$ ). Зима относительно мягкая (январь  $-28^\circ$ ). Годовая сумма осадков не превышает 300 мм, в отдельные годы снижаясь до 150 мм. Около 85% осадков выпадает летом (июль—август). Коэффициент увлажнения, вычисленный по Н. И. Иванову, около 0,25 [6]. Помимо отмеченного, для степей характерны сильные ветры, которые в зимнее время часто совершенно оголяют поверхность почвы, способствуя тем самым ее глубокому промерзанию. Особенно жесток северо-западный ветер «сарма», скорость которого достигает 40 м/сек.

Таким образом, почвенный покров в байкальских степях развивается в условиях сильно расчлененного рельефа, сухости климата, изреженности степной растительности и стабильности почвообразующих пород к выветриванию. Отмеченное указывает на значительную специфичность почвенного покрова этих степей. Не случайно поэтому, рассматривая отрывочные сведения Н. К. Тихомирова [3] о степных почвах о-ва Ольхон, И. В. Николаев [7] приходит к заключению о развитии на этом острове каштановых почв. Однако из-за недостатка сведений и отсутствия специальных исследований в литературе не сложилось определенного представления о почвах рассматриваемой территории. На почвенных картах И. В. Николаева [7], Н. Н. Розова [8] и К. П. Горшенниа [9] изображения почвенного покрова этой территории противоречивы и не во всех случаях точны.

В результате полевых маршрутных\* и лабораторных исследований

\* Маршрутные исследования проведены почвенным отрядом, в составе которого работали Б. В. Надеждин, В. А. Кузьмин и В. П. Мартынов; ботаническое описание степей выполнено сотрудником Вост.-Сиб. фил. СОАН СССР Г. А. Пешковой.

нами выяснено, что почвенный покров описываемых степей в основном слагают следующие почвы: 1) горно-каштановые короткопрофильные, 2) горно-каштановые глубоковскипающие, 3) горно-темно-каштановые глубоковскипающие (иногда солонцеватые), 4) горные черноземы, 5) черноземы глубоковскипающие и карбонатные, 6) почвы первичного почвообразования, 7) луговые и аллювиальные, 8) солончаки, 9) солонцы.

Почвообразующие породы, на которых развиваются указанные почвы, представлены почти повсеместно переотложенными продуктами выветривания кристаллических пород архея и протерозоя: гранитов, кварцитов сланцев, диоритов, гнейсов, кристаллических известняков, различных кристаллических сланцев и др.

В данной статье мы рассмотрим лишь первые три почвы, как наиболее распространенные в почвенном покрове байкальских степей (рис. 1).

Горно-каштановые короткопрофильные почвы развиваются на гребнях хребтов и на их крутых склонах под изреженной петрофильной растительностью. Среди растительных видов наиболее распространены *Oxytropis coerulea*, *Chamerodos trifida*, *Selaginella sibirica*, *Arenaria capillaris*, *Festuca lenensis*, *Patrinia sibirica* и др. Характерной морфологической особенностью этих почв, помимо каштановой окраски гумусовых горизонтов, является малая мощность их профиля. Поэтому такие почвы мы назвали «короткопрофильными». На наш взгляд, этот термин более удачен, чем названия, обычно применяемые в почвенной литературе — «малоразвитые», «слаборазвитые», «примитивные».

По механическому составу (табл. 1) горно-каштановые короткопрофильные почвы — супесчаные, часто сильнохрящеватые. Поверхностные горизонты этих почв несколько богаче физической глиной, чем нижележащие, что отчасти является следствием более интенсивного выветривания в этих горизонтах материнской породы. Содержание гумуса в дерновых горизонтах рассматриваемых почв колеблется от 1 до 5%.

Таблица 1

## Механический состав горно-каштановых короткопрофильных почв\*

(Аналитик В. П. Мартынов)

Горизонт	Глубина образца, см	Скелет > 1 мм	Содержание фракций, % (размер частиц в мм)					
			1—0,25	0,25—0,05	0,05—0,01	0,01—0,005	0,005—0,001	< 0,001

Разрез 12 ОЕ, о-в Ольхон, вершина горы близ д. Хадай

A	0—3	9	41	44	6	2	2	5	9
A/B	6—16	55	76	20	следы	1	1	2	4
C	> 16								

Дресва гранита

Разрез 15 ОЕ, сев.-зап. побережье Байкала, сев.-зап. склон близ д. Загалмай

A	0—4	3	23	49	8	3	7	10	20
A/B	6—16	7	32	47	4	2	5	10	17
C	> 16								

Делювий гранито-гнейса

Разрез 65 Т, юго-вост. скат Приморского хребта, близ с. Онгурен.

A	0—10	42	15	52	16	5	4	8	17
B <sub>к</sub>	11—19	43	28	46	12	4	4	6	14
B <sub>к</sub> /C	19—24	66	52	25	7	3	6	7	16
C	> 24								

Делювий хлоритовых сланцев и известняка

\* Определен по методу Н. А. Качинского.

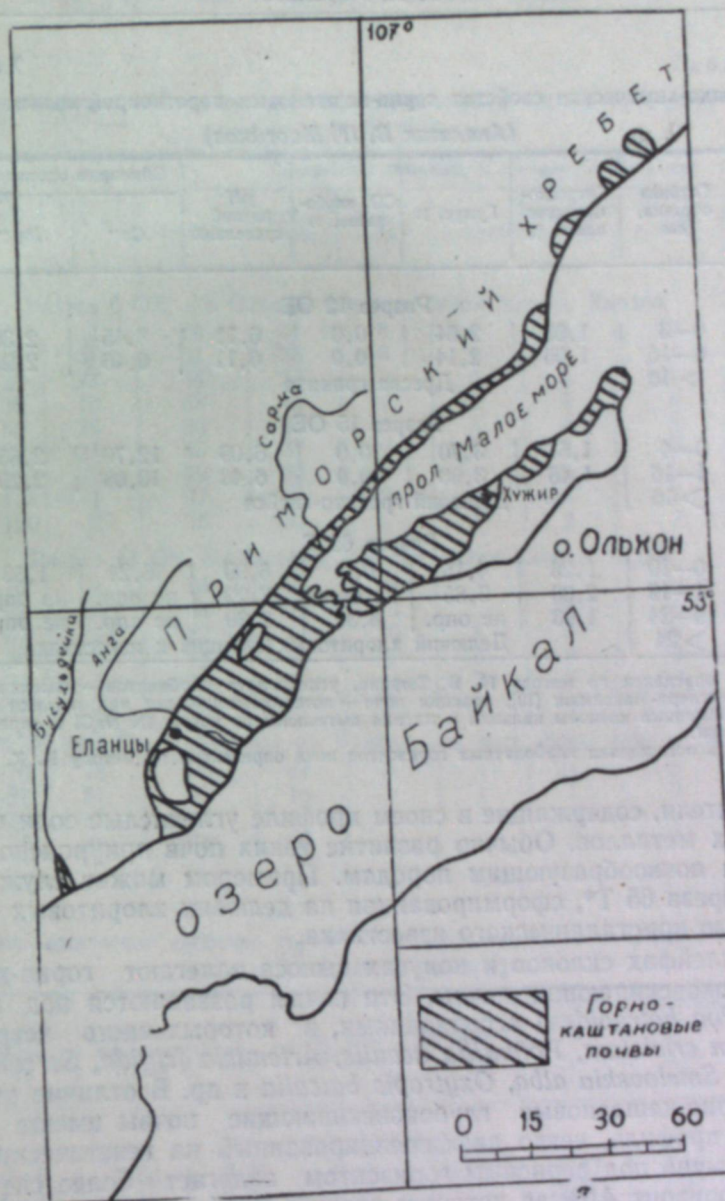


Рис. 1. Схема распространения горно-каштановых почв на северо-западном побережье оз. Байкал и о-ве Ольхон.

(табл. 2). Содержание обменных оснований невелико, причем наибольшее количество их обнаруживается в верхних горизонтах вследствие обогащения последних гумусом и физической глиной. Среди обменных оснований преобладают катионы кальция. Натрий в рассматриваемых почвах нами не обнаружен. Весьма характерной особенностью исследуемых почв является кислая реакция верхних горизонтов. На наш взгляд, это частично объясняется тем, что преобладающие почвообразующие породы — кислые [5]. Легкорастворимые соли присутствуют в почвах в очень небольших количествах и представлены главным образом бикарбонатами щелочно-земельных участков.

Помимо всего сказанного, следует отметить, что среди подавляющего большинства рассматриваемых бескарбонатных почв встречаются

Таблица 2  
Физико-химические свойства горно-каштановых короткопрофильных почв\*  
(Аналитик В. П. Мартынов)

Горизонт	Глубина образца, см	Гигроскопическая влага, %	Гумус, %	CO <sub>2</sub> карбонатов, %	pH водной суспензии	Обменные основания, мг-экв		
						Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	сумма
Разрез 12 OE								
A	0-3	1,03	2,64	0,0	6,11*	8,45	2,36	10,81
A/B	6-16	1,05	2,14	0,0	6,11*	6,46	2,24	8,70
C	>16							
Дресва гранита								
Разрез 15 OE								
A	0-4	1,51	3,70	0,0	6,09	12,70	2,65	15,35
A/B	4-16	1,46	3,03	0,0	6,48	10,08	2,29	12,37
C	>16							
Делювий гранито-гнейса								
Разрез 65 T								
A	0-10	1,26	4,15	0,0	6,99	16,21	1,53	17,74
B <sub>к</sub>	11-19	2,03	3,85	не опр.	7,22	не опр.	не опр.	8,26**
B <sub>к</sub> /C	19-24	1,93	не опр.	8,30	7,39	не опр.	не опр.	9,32**
C	>24							
Делювий хлоритовых сланцев и известняка								

\* Гумус определен по методу И. В. Тюрина, углекислота карбонатов — измененным кальциметром Гейслера-Максимюк [10], реакция почв — потенциометрически при помощи стеклянного электрода. Обменные катионы кальция и магния вытеснены из почвы 1N NaCl и определены трилонометрически.

\*\* Емкость поглощения карбонатных горизонтов почв определена по методу К. К. Гедройца.

представители, содержащие в своем профиле углекислые соли щелочно-земельных металлов. Обычно развитие таких почв приурочено к карбонатным почвообразующим породам. Примером может служить почва из разреза 65 T\*, сформированная на делювии хлоритовых сланцев, с примесью кристаллического известняка.

На шлейфах склонов и конусах выноса залегают горно-каштановые глубоковскипающие почвы. Эти почвы развиваются под мятликовыми (*Poa botryoides*) ассоциациями, в которых часто встречаются *Agropyrum cristatum*, *Potentilla acaulis*, *Artemisia frigida*, *Serratula centauroides*, *Smelovskia alba*, *Oxytropis baicalia* и др. В отличие от предыдущих горно-каштановые глубоковскипающие почвы имеют полный развитый профиль, четко дифференцированный на генетические горизонты. Обычно под дерновым горизонтом залегает более светлый по окраске горизонт A/B, за которым следует карбонатный горизонт или небольшой горизонт B. Для карбонатного горизонта этих почв характерно неравномерное распределение углесолей. Глубже карбонатного залегает неоднородный по окраске и механическому составу горизонт B<sub>к</sub>/C, который сменяется делювием пород различной степени сортированности. Часто в почвах, особенно в горизонтах B<sub>к</sub> и B<sub>к</sub>/C, встречаются крупные обломки почвообразующих пород, нижняя часть которых покрыта кремнево-карбонатной коркой. Так как рассматриваемые почвы залегают на довольно крутых склонах, толща их по механическому составу весьма неоднородна (табл. 3). В целом же эти почвы супесчаные или легкосуглинистые, обычно со значительным содержанием песка и хряща. Наибольшее содержание гумуса (2—3%), как правило, обнаруживается в верхних горизонтах (табл. 4). В более глубоких горизонтах количество гумуса значительно снижается. Углекислые соли

\* Разрез описан сотрудником Байкальской лимнологической станции АН СССР Л. Н. Тюлиной.

Таблица 3  
Механический состав горно-каштановых глубоковскипающих почв  
(Аналитик В. П. Мартынов)

Горизонт	Глубина образца, см	Скелет > 1 мм	Содержание фракций, % (размер частиц в мм)						сумма < 0,01
			1-0,25	0,25-0,05	0,05-0,01	0,01-0,005	0,005-0,001	< 0,001	
Разрез 6 OE, о-в Ольхон, сев.-зап. склон близ д. Ханхой									
A	0-6	2	26	41	8	4	9	12	25
A/B	6-16	37	51	36	3	2	2	6	10
B <sub>к</sub>	16-26	23	44	36	2	3	5	10	8
	26-36	19	68	18	2	2	4	6	12
	45-55	28	60	23	2	3	4	8	15
	70-80	21	45	37	2	2	5	9	16
	90-100	12	49	38	2	1	5	5	11
B <sub>к</sub> /C	115-125	1	37	46	3	2	5	7	14
	140-150	2	36	52	2	1	2	7	10
Разрез 14 OE, о-в Ольхон, юго-зап. склон близ д. Хадай									
A	0-10	1	15	54	9	5	5	12	22
A/B	16-22	20	33	47	5	2	3	10	15
	24-34	1	22	47	6	3	6	16	25
B <sub>к</sub>	45-55	1	13	44	9	6	8	20	34
	64-74	1	14	48	4	7	7	20	34
B <sub>к</sub> /C	90-100	1	14	35	18	4	8	21	33
Разрез 16 OE сев.-зап. побережье оз. Байкал, сев.-вост. склон близ д. Загалмай									
A	0-10	13	39	41	3	4	4	9	17
A/B	17-27	51	79	16	1	1	1	2	5
B	41-51	43	62	22	2	2	3	9	14
	70-80	46	74	15	2	2	2	5	9

Таблица 4  
Физико-химические свойства горно-каштановых глубоковскипающих почв  
(Аналитик В. П. Мартынов)

Горизонт	Глубина образца, см	Гигроскопическая влага, %	Гумус, %	CO <sub>2</sub> карбонатов, %	pH водной суспензии	Обменные основания, мг-экв.		
						Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	сумма
Разрез 6 OE								
A	0-6	2,33	2,97	0,0	6,65	18,47	4,09	22,56
	6-16	2,15	2,90	0,0	7,12	12,26	3,87	16,13
A/B	16-26	2,19	1,14	0,0	7,42	13,56	3,04	16,60
B <sub>к</sub>	26-36	1,51	0,92	2,67	7,15	не опр.	не опр.	12,54
	45-55	1,78	0,96	2,59	7,26	.	.	9,44
	70-80	1,89	0,60	3,79	7,38	.	.	7,74
	90-100	1,19	0,14	1,83	7,90	.	.	6,73
B <sub>к</sub> /C	115-125	0,77	нет	0,86	7,53	.	.	2,40
	140-150	1,07	нет	0,29	7,76	.	.	2,61
Разрез 14 OE								
A	0-10	2,08	2,49	0,0	6,02	10,02	4,87	14,89
A/B	16-22	1,52	1,44	0,0	6,23	7,86	6,30	14,16
	24-34	2,24	0,93	0,0	6,34	8,37	8,15	16,52
B <sub>к</sub>	45-55	2,00	0,84	4,70	7,90	не опр.	не опр.	9,22
	64-74	2,54	0,68	3,54	7,98	.	.	10,24
B <sub>к</sub> /C	90-100	2,26	0,55	2,75	7,63	.	.	7,29
Разрез 16 OE								
A	0-10	2,01	2,74	0,0	6,93	12,35	1,87	14,22
A/B	17-27	1,45	1,46	0,0	7,37	4,20	2,19	6,39
B	41-51	1,69	0,54	0,0	7,32	6,55	2,78	9,33
	79-80	1,21	0,12	0,0	7,23	4,10	1,89	5,99

щелочноземельных металлов вынесены на значительную глубину (40—50 см). На некоторой глубине от поверхности всегда обнаруживается максимум скопления этих солей. Гумусовые горизонты рассматриваемых почв содержат 15—25 мг-экв обменных оснований. В более глубоких горизонтах их количество значительно уменьшается. Иногда в составе обменных оснований обнаруживается повышенное содержание магния (например, разрез 14 ОЕ). Обменный натрий в исследуемых почвах нами не был обнаружен. Реакция верхних горизонтов этих почв слабощелочная или близкая к нейтральной. Нижележащие горизонты, особенно карбонатные, имеют щелочную реакцию. Судя по данным анализов водных вытяжек (табл. 5), исследуемые почвы не засолены. Небольшое количество легкорастворимых солей, находящихся в этих почвах, представлено бикарбонатами и хлоридами. Гипс в рассматриваемых почвах отсутствует.

Таблица 5

Данные анализа водных вытяжек горно-каштановых глубоковскипающих почв  
(Аналитик В. П. Мартынов)

Горизонт	Глубина образца, см	Сухой остаток, %	в мг-экв на 100 г почвы						Na по разности
			HCO <sub>3</sub>	Cl	SO <sub>4</sub>	Ca	Mg	Na	
Разрез 6 ОЕ									
A	0—6	0,055	0,36	0,06	следы	0,31	0,10	0,01	
	6—16	0,031	0,18	0,07	0,15	0,22	0,09	0,09	
A/B	16—26	0,041	0,20	0,11	следы	0,22	0,02	0,02	
B <sub>к</sub>	26—36	0,055	0,44	0,09	·	0,45	0,03	0,03	
	45—55	0,073	0,44	0,40	·	0,45	0,26	0,26	
	70—80	0,052	0,40	0,45	·	0,36	0,33	0,33	
	90—100	0,048	0,38	0,08	·	0,29	0,06	0,06	
B <sub>к</sub> /C	115—125	0,025	0,34	0,08	·	0,29	0,02	0,02	
	140—150	0,026	0,42	0,05	·	0,31	0,02	0,02	
Разрез 14 ОЕ									
A	0—10	0,088	0,22	0,25	следы	0,09	0,29	0,09	
A/B	16—22	0,065	0,20	0,04	·	0,20	0,01	0,03	
	24—34	0,071	0,28	0,05	0,06	0,13	0,13	0,14	
B <sub>к</sub>	45—55	0,115	0,70	0,07	0,21	0,18	0,40	0,40	
	64—74	0,141	0,94	1,04	0,46	0,26	0,77	1,41	
B <sub>к</sub> /C	90—100	0,157	0,64	2,40	0,23	0,41	1,37	1,58	
Разрез 16 ОЕ									
A	0—10	0,072	0,30	0,05	следы	0,22	0,09	0,04	
A/B	17—27	0,058	0,26	0,04	·	0,16	0,07	0,07	
B	41—51	0,051	0,20	0,05	·	0,14	0,07	0,04	
	70—80	0,058	0,16	0,10	·	0,14	0,09	0,03	

Горно-темно-каштановые глубоковскипающие почвы залегают обычно ниже рассмотренных выше почв, занимая нижние части склонов и днища сухих межгорных котловин. Степная растительность на них чаще всего представлена житняковыми или вострецовыми ассоциациями. Морфологически эти почвы отличаются от горно-каштановых более темной окраской гумусовых горизонтов. По другим морфологическим признакам горно-темно-каштановые глубоковскипающие почвы сходны с описанными выше горно-каштановыми. По механическому составу эти почвы супесчаные или легкосуглинистые (табл. 6). Распределение механических частиц по профилю неравномерное; преобладают частицы размером > 0,05 мм. Поверхностные горизонты описываемых почв содержат свыше 3% гумуса (табл. 7). С глубиной содержание

Таблица 6

Механический состав горно-темно-каштановых глубоковскипающих почв

(Аналитик В. П. Мартынов)

Горизонт	Глубина образца, см	Скелет > 1 мм	Содержание фракций, % (размер частиц в мм)						сумма < 0,01
			1—0,25	0,25—0,05	0,05—0,01	0,01—0,005	0,005—0,001	< 0,001	
Разрез 64 ОЕ, сев.-зап. побережье оз. Байкал, днище котловины									
A	0—6	7	32	40	7	2	7	12	21
A/B	6—12	15	64	26	1	1	3	5	9
B	25—35	29	39	39	4	2	3	13	18
B <sub>к</sub>	38—48	15	23	39	6	2	7	23	32
	50—60	14	25	38	5	3	6	23	32
Разрез 63 Т, юго-вост. скат Приморского хребта, конус выноса									
A	0—3	16	32	39	15	3	4	7	14
A/B	3—11	32	31	37	15	5	5	7	17
B	11—21	25	33	39	12	4	5	7	16
	22—32	63	45	36	9	3	3	4	10
	36—46	67	45	37	6	5	3	4	12
B <sub>к</sub>	52—62	70	36	40	9	2	6	7	15
Разрез 61 ОЕ, о-в Ольхон, днище котловины									
A	0—6	5	20	42	10	6	8	14	28
A/B	12—20	15	39	32	4	3	12	10	25
	20—30	8	24	28	6	4	7	31	42
B <sub>к</sub>	40—50	9	19	36	6	3	6	30	39
	60—70	7	15	29	14	5	8	29	42
B <sub>к</sub> /C	90—100	6	14	27	7	5	9	38	52

Таблица 7

Физико-химические свойства горно-темно-каштановых почв\*

(Аналитик В. П. Мартынов)

Горизонт	Глубина образца, см	Гигроскопическая влага, %	Гумус, %	СО <sub>2</sub> карбонатов, %	рН водной суспензии	Обменные основания, мг-экв. на 100 г почвы			
						Ca	Mg	Na	сумма
Разрез 64									
A*	0—6	1,96	3,77	0,0	7,02	13,77	2,20	0,07	16,04
A/B	6—12	1,75	2,82	0,0	7,00	8,13	2,42	0,06	10,61
B	25—35	2,06	1,06	0,0	7,23	7,46	5,53	0,08	13,07
B <sub>к</sub>	38—48	2,69	1,23	1,08	7,47	не опр.	не опр.	0,07	9,91
	50—60	2,66	1,10	5,40	7,71	·	·	0,74	11,14
Разрез 63 Т									
A	0—3	1,33	4,58	0,0	6,92	13,36	4,08	0,32	17,76
A/B	3—11	1,93	2,85	0,0	6,94	12,85	3,47	0,24	16,56
B	11—21	1,58	1,57	0,0	6,98	11,85	3,74	0,16	15,75
	22—32	1,15	0,75	0,0	6,97	7,65	3,60	0,16	11,41
	36—46	1,39	0,68	0,0	6,97	8,49	2,92	0,40	11,81
B <sub>к</sub>	52—62	1,54	0,64	4,77	7,53	не опр.	не опр.	не обн.	5,48
	66—76	1,03	0,88	2,30	7,60	·	·	·	8,19
Разрез 61 ОЕ									
A	0—6	2,14	3,18	0,0	7,82	12,68	5,61	1,44	19,73
A/B	12—20	3,21	1,52	0,0	7,54	13,15	5,35	1,02	19,52
	20—30	4,87	2,17	0,0	7,54	20,28	2,22	0,44	22,94
B <sub>к</sub>	40—50	4,58	1,78	3,28	7,76	не опр.	не опр.	0,78	не опр.
	60—70	4,93	1,20	2,15	7,94	·	·	1,77	28,59
B <sub>к</sub> /C	90—100	4,78	0,46	1,83	7,94	·	·	1,84	27,62

\* Обменный натрий в почвах определен по методу М. М. Годлина.



гумуса постепенно уменьшается. Обменные основания в горно-темно-каштановых почвах, даже в верхних горизонтах, более богатых гумусом и физической глиной, присутствуют в небольших количествах. Исключение составляют почвы, залегающие по днищам котловин и обогашенные гумусом и минеральными коллоидами. Примером может служить почва из разреза 61 ОЕ. В составе обменных оснований рассматриваемых почв наряду с кальцием присутствует поглощенный натрий. По наличию последнего, а также по морфологическим признакам почвы днищ котловин можно отнести к солонцеватым (разрез 61 ОЕ). Уровень карбонатов у горно-темно-каштановых почв находится довольно глубоко от поверхности (40—50 см). Реакция этих почв близка к нейтральной или слабощелочная. Водные вытяжки извлекают из темно-каштановых почв небольшое количество солей, представленных большей

Таблица 8

Данные анализа водных вытяжек из горно-темно-каштановых глубокоовскипающих почв (Аналитик В. П. Мартынов)

Горизонт	Глубина образца, см	Сухой остаток, %	HCO <sub>3</sub> <sup>'</sup>	Cl <sup>'</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>''</sup>	Ca <sup>''</sup>	Mg <sup>''</sup>	Na <sup>'</sup> по разности
			в м.г-эки. на 100 г почвы					
Разрез 64 ОЕ								
A	0—6	0,032	0,26	0,04	следы	0,20	0,09	0,01
A/B	6—12	0,030	0,18	0,03	0,06	0,18	0,07	0,02
B	25—35	0,027	0,22	0,05	0,06	0,16	0,09	0,08
B <sub>к</sub>	38—48	0,036	0,54	0,15	0,02	0,13	0,41	0,17
	50—60	0,047	0,54	0,13	0,12	0,22	0,27	0,30
Разрез 63 Т								
A	0—3	0,088	0,54	0,10	следы	0,24	0,12	0,28
A/B	3—11	0,064	0,38	0,08	нет	0,24	0,03	0,19
B	11—21	0,068	0,22	0,08	следы	0,24	0,04	0,02
	22—32	0,046	0,44	0,08	.	0,19	0,14	0,09
	36—42	0,073	0,34	0,09	.	0,22	0,12	0,07
B <sub>к</sub>	52—62	0,082	0,96	0,07	.	0,85	0,20	нет
Разрез 61 ОЕ								
A	0—6	0,054	0,32	0,14	0,08	0,25	0,18	0,11
A/B	12—20	0,055	0,21	0,07	0,15	0,11	0,11	0,21
	20—30	0,081	0,84	0,14	0,08	0,29	0,25	0,48
B <sub>к</sub>	40—50	0,095	0,76	0,29	следы	0,18	0,25	0,62
	60—70	0,102	1,00	0,43	0,10	0,18	0,18	1,17
B <sub>к</sub> /C	90—100	0,160	0,88	0,29	0,75	0,25	0,30	1,37

Таблица 9

Групповой состав гумуса горно-каштановых почв (по методу Тюрина-Кононовой, в % к общему С) (Аналитик В. П. Мартынов)

Глубина образца	Общий С в % к почве	С, веществ. извлеч. спирто-бензолом	С, извлекаем. при декальцировании	Гуминовые кислоты			Фульвокислоты			С остатка	C <sub>ГК</sub> / C <sub>ФК</sub>
				I	II	сумма	I	II	сумма		
Разрез 14 ОЕ											
0—10	1,42	4,9	12,0	21,8	4,9	26,7	19,7	3,5	23,2	31,0	1,2
Разрез 64 ОЕ											
0—6	2,15	3,7	6,5	19,5	5,6	25,1	16,3	3,3	19,6	46,0	1,3
Разрез 63 Т											
0—3	2,62	5,7	1,1	26,3	6,1	32,4	14,5	2,7	17,2	42,4	1,9

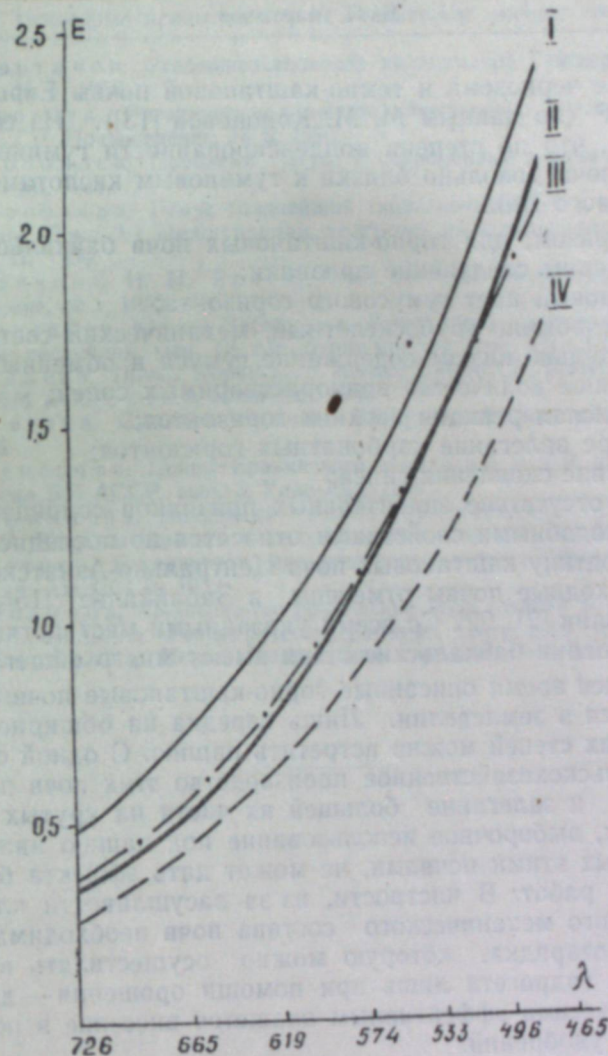


Рис. 2. Кривые ослабления света гуматами натрия.

I — чернозем (по данным М. М. Кононовой), II — горно-каштановая, разрез 14 ОЕ, III — темно-каштановая (по данным М. М. Кононовой), IV — горно-темно-каштановая, разрез 64 ОЕ.

частью бикарбонатами и хлоридами щелочноземельных металлов (табл. 8). Гипс, как и в предыдущих почвах, не обнаружен. Причину отсутствия гипсоносности в горно-каштановых почвах байкальских степей мы склонны искать не в специфике их водного режима, а главным образом в бедности почвообразующих пород серосодержащими соединениями.

С целью вскрытия детальных генетических признаков исследуемых почв нами был определен состав их гумуса (табл. 9).

Из табл. 9 видно, что для состава гумуса всех проанализированных почв характерно высокое содержание негидролизуемого остатка и преобладание гуминовых кислот над фульвокислотами. При этом по соотношению  $\frac{C_{ГК}}{C_{ФК}}$  наши почвы близки к каштановым почвам Европейской части СССР [11, 12]. На рис. 2 изображены кривые ослабления света гуматами натрия изучаемых байкальских почв (по нашим дан-

ным), а также чернозема и темно-каштановой почвы Европейской территории СССР (по данным М. М. Кононовой [13]). Из сопоставления кривых видно, что по степени конденсированности гуминовые кислоты байкальских почв довольно близки к гуминовым кислотам европейских почв каштанового типа.

Таким образом, для горно-каштановых почв байкальских горных степей характерны следующие признаки:

- 1) каштановый цвет гумусового горизонта;
- 2) легкий, обычно грубоскелетный, механический состав;
- 3) относительно низкое содержание гумуса и обменных оснований;
- 4) небольшое количество воднорастворимых солей;
- 5) слабокислая реакция верхних горизонтов;
- 6) глубокое залегание карбонатных горизонтов;
- 7) отсутствие скопления гипса;
- 8) частое отсутствие значительных признаков солонцеватости.

Почвы с подобными свойствами относятся по последней классификации [14] к подтипу каштановых почв Центрально-Азиатской фацальной группы. Сходные почвы отмечены в Забайкалье [15—19], в Туве [20] и в Монголии [21, 22]. Со всеми указанными местностями в климатическом отношении байкальские степи имеют много общего.

В настоящее время описанные горно-каштановые почвы очень слабо используются в земледелии. Лишь изредка на обширной территории байкальских степей можно встретить пашню. С одной стороны, вовлечению в сельскохозяйственное производство этих почв препятствует их скелетность и залегание большей их части на крутых склонах. С другой стороны, выборочное использование под пашню нижних частей склонов, занятых этими почвами, не может дать эффекта без крупных мелиоративных работ. В частности, из-за засушливости климата территории и легкого механического состава почв необходима весенняя почвенная влагозарядка, которую можно осуществлять в условиях плохо развитой гидросети лишь при помощи орошения — дождевания. Помимо этого, весьма эффективным окажется внесение в почву навозного и азотных удобрений.

Большую же часть степей с горно-каштановыми почвами рациональнее использовать под пастбища, орошаемые участки — для выращивания кормовых трав.

Восточно-Сибирский филиал  
Сибирского отделения АН СССР

Поступила в редакцию  
3/VIII 1959

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Г. И. Раддэ, Озеро Байкал. Вестник Русс. географ. об-ва, т. 21, 1859.
2. Я. П. Прейс, Материалы к флоре острова Ольхон на Байкале. Изв. Вост.-Сиб. отд. Русс. географ. об-ва, т. XXV, 1892.
3. Н. К. Тихомиров, Очерк растительности острова Ольхон на оз. Байкал. Тр. комиссии по изучению оз. Байкала, II, изд. АН СССР, Л., 1927.
4. М. Г. Попов, Степная и скальная флора западного побережья Байкала. Тр. Байкальской лимнологической станции АН СССР, вып. XV, изд. АН СССР, 1957.
5. Е. В. Павловский, А. И. Цветков, Докембрий Прибайкалья. Стратиграфия СССР, т. I, изд. АН СССР, 1939.
6. В. П. Шоцкий, Природные условия сельскохозяйственного производства и естественно-исторические районы Иркутской области. Иркутск, 1956.
7. И. В. Николаев, Почвы Иркутской области. Иркутск, 1949.
8. Н. Н. Розов, Почвенная карта СССР. Масштаб 1:4000000, изд. Гл. упр. геодезии и картографии МВД СССР, Почв. ин-т АН СССР, М., 1954.
9. К. П. Горшенец, Почвы южной части Сибири. Изд. АН СССР, 1955.

10. В. П. Мартынов, Усовершенствование кальциметра Гейслера-Максимюк. Почвоведение, № 5, 1958.
11. Т. В. Глотова, Органическое вещество каштановых и лиманных почв юго-востока СССР. Почвоведение, № 6, 1956.
12. М. М. Кононова, Проблема гумуса и современные задачи его изучения. Изд. АН СССР, М., 1951.
13. М. М. Кононова, Гумус главнейших типов почв СССР, его природа и пути образования. Докл. VI Международн. конгрессу почвоведов, вторая комиссия. Химия почв, II, 1956.
14. Е. Н. Иванова, Н. Н. Розов, Опыт систематики почв степной зоны СССР. Почвоведение, № 1, 1959.
15. Л. И. Прасолов, Южное Забайкалье. Матер. особ. комиссии по исслед. союзн. и автоном. республик, вып. 12, сер. бурят-монгол., изд. АН СССР, 1927.
16. О. В. Макеев, Почвы Хоринского аймака БМ АССР. Матер. по изуч. производ. сил БМ АССР, вып. 2, Улан-Удэ, 1955.
17. Н. А. Ногина, Сухостепные почвы Баргузинской котловины. Почвоведение, № 4, 1956.
18. О. Ф. Семенова, Почвы Еравинского аймака БМ АССР. Матер. по изуч. производ. сил БМ АССР, вып. 3, Улан-Удэ, 1956.
19. К. А. Уфимцева, Почвенный покров правобережья р. Селенги в пределах БМ АССР. Вопросы генезиса и географии почв, изд. АН СССР, М., 1957.
20. Б. Ф. Петров, К характеристике почвенного покрова Тувинской автономной области. Изд. АН СССР, 1952.
21. Б. Б. Полюнов, Почвенно-географические исследования в Северной Монголии. В кн. Б. Б. Полюнов «Географические работы», Географгиз, 1953.
22. Н. Д. Беспалов, Почвы Монгольской народной республики. Изд. АН СССР, М., 1953.

З. Д. КУЗНЕЦОВА

О ГРУППОВОМ СОСТАВЕ ЧАСТИЦ МЕНЕЕ 0,01 мм  
В ЛУГОВО-ЧЕРНОЗЕМНОЙ И СЕРЫХ ЛЕСНЫХ ПОЧВАХ  
ТОМСКОЙ ОБЛАСТИ

Групповому составу частиц менее 0,01 мм в различных почвах посвящено большое число работ известного советского почвовед-агрохимика А. Ф. Тюлина и его учеников. При изучении плодородия почв А. Ф. Тюлин большое внимание уделял вторичным частицам почвы, к которым он относил частицы менее 0,01 мм, а именно, монокристаллы или механические элементы до 0,01 мм, если их поверхность покрыта пленками гелями, а также тонкие микроагрегатки до 0,01 мм, т. е. пылеватые и илистые частицы, прочно сцементированные в одно целое, главным образом за счет самослипания своими поверхностными пленками-гелями (из гумата железа). Вторичные частицы в почвах сами по себе являются неоднородными. По содержанию несилкатных полуторных окислов и по качеству органических веществ они делятся на вторичные частицы I и II групп. Вторичные частицы I группы содержат меньше полуторных окислов, характеризуются низкой активностью, меньшей адсорбцией органических коллоидов, главным образом типа гуматов. II группа частиц отличается от I большим содержанием полуторных окислов, высокой активностью их, большой абсорбцией органических коллоидов, которые представлены не только гуматами, но и не вполне гумифицированным органическим веществом [1].

Почвы Томской области довольно подробно описаны в работах К. А. Кузнецова [2], Т. П. Славниной [3] и др. Однако групповой состав частиц менее 0,01 мм в почвах почти не изучался. Правда, имеется небольшая наша работа, посвященная вопросу соотношения вторичных частиц менее 0,01 мм в серых лесных почвах Томской области [4]. В ней обращается внимание в основном на изменение соотношения между частицами I и II групп в течение годового цикла.

В настоящей работе мы рассматриваем групповой состав частиц менее 0,01 мм лугово-черноземной и серых лесных почв (темно- и светло-серой), а также содержание во вторичных частицах валовых гумуса, фосфора и азота.

Образцы для анализа были взяты на целинных участках из горизонтов A<sub>1</sub> и A<sub>2</sub>. Почвы являются вполне типичными. Приводим краткую характеристику их.

1. Темно-серая лесная слабооподзоленная почва расположена в разреженном березовом лесу, занимает плоскую неглубокую микрозападину, характеризуется мощным гумусовым горизонтом — 35—50 см, зернисто-комковатой структурой и темно-серой окраской. Под гумусовым горизонтом расположен коричнево-бурый иллювиальный горизонт. По механическому составу эта почва представляет собой тяжелый суглинок. Подзолообразовательный процесс проявляется слабо. Это видно из того, что слабо развит процесс перемещения по профилю полуторных

окислов. Характерно накопление оснований в мощном гумусовом горизонте, к низу содержание их падает. Реакция верхнего горизонта (A<sub>1</sub>) слабокислая (рН солевое — 6,2).

2. Светло-серая лесная сильнооподзоленная почва расположена на ровном повышении под редким молодым березняком и скудным травяным покровом. По механическому составу она представляет собой тяжелый суглинок. Гумусовый горизонт незначительной мощности — 12—15 см, характеризуется светло-серой окраской и непрочной мелкокомковатой структурой. Валовое содержание гумуса незначительное. Процесс оподзоливания сильно развит, что видно из резкого выделения генетических горизонтов по профилю. Резко выделяется иллювиальный горизонт B<sub>1</sub> с бурой окраской от поливов полуторных окислов. Характерно отсутствие накопления поглощенных оснований в верхней части профиля, резкое увеличение степени выноса обменных оснований из верхней части профиля и накопление в иллювиальном горизонте. Реакция верхнего горизонта A<sub>1</sub> сильнокислая (рН солевое — 4,8).

3. Лугово-черноземная почва расположена в низине, покрытой луговой растительностью. По механическому составу данная почва представляет собой тяжелый суглинок. Горизонт A<sub>1</sub> (0—30 см) задернован, характеризуется прочнозернистой структурой и черной окраской. Горизонт A<sub>2</sub> (38—60 см) также имеет прочнозернистую структуру, но более светлой окраски, чем горизонт A<sub>1</sub>. К низу горизонт A<sub>2</sub> приобретает буроватый оттенок. Нижележащий горизонт отличается большим количеством железистых пятен, повышенной увлажненностью. По количеству гумуса и обменных оснований (в горизонте A) лугово-черноземная почва превосходит темно-серую лесную более чем в полтора раза.

При выделении группового состава частиц менее 0,01 мм был использован метод дробной пептизации [1]. Гумус определялся по Тюрину, азот — по Кьельдалю. Определение валовой фосфорной кислоты проводилось путем обработки почвы царской водкой с использованием метода Дениже в модификации Малюгина и Хреновой. Гумус, азот и фосфор определялись как в исходной почве, так и в выделенных вторичных частицах менее 0,01 мм I и II групп и в остатке.

Рассмотрим групповой состав частиц менее 0,01 мм в исследуемых почвах (табл. 1).

Таблица 1

Групповой состав частиц менее 0,01 мм (в % от веса почвы)

Почва	Горизонт	Глубина, см	Фракция почвы			Отношение групп I:II	
			частицы < 0,001 мм	I группа частиц	II группа частиц		остаток
Лугово-черноземная	A <sub>1</sub>	0—15	0,77	5,73	28,66	66,83	0,2
	A <sub>2</sub>	20—30	0,93	7,47	21,89	69,08	0,3
	A <sub>3</sub>	10—50	2,08	25,92	19,17	53,74	1,4
Темно-серая лесная слабооподзоленная	A <sub>1</sub>	0—10	0,61	7,26	22,57	69,56	0,3
	A <sub>2</sub>	35—45	0,62	9,82	21,81	68,64	0,4
Светло-серая лесная сильнооподзоленная	A <sub>1</sub>	0—7	0,45	12,60	10,25	75,65	1,2
	A <sub>2</sub>	10—17	0,62	12,94	10,06	75,04	1,2

Наиболее богата вторичными частицами лугово-черноземная почва. Наименьшее количество их приходится на светло-серую лесную сильнооподзоленную почву. Темно-серая лесная слабооподзоленная почва занимает промежуточное положение.

Лугово-черноземная и темно-серая почвы отличаются от светло-серой большим содержанием активной части. Остаток представляет собой

голые минеральные частицы, иногда с примесью грубого войлока из неразложившихся растительных остатков.

Таким образом, вполне понятно, что исследуемые почвы обладают различной биохимической активностью, на них по-разному развиваются растения, они по-разному ведут себя при внесении удобрений [5].

Для этих почв характерно преобладание II группы частиц над I, особенно в горизонте A<sub>1</sub> (несколько выделяется светло-серая лесная почва, где частиц II группы немного меньше, чем I).

Ряд работ, характеризующих групповой состав почв различных областей Советского Союза, показывает обратную картину. У большинства почв преобладает I группа вторичных частиц, и отношение I группы к II иногда может быть более 30 [1].

У рассматриваемых же почв, как видно из табл. 1, отношение I группы к II группе находится в пределах от 0,2 до 1,2. Таким узким отношением — от 0,29 до 0,73, по литературным данным [6], отличаются подзолистые почвы Московской и Костромской областей.

Темно- и светло-серые почвы лесостепных районов, по данным Н. А. Архангельской [7], имеют отношение I группы вторичных частиц к II (в верхних горизонтах) от 3,9 до 6,7.

Черноземы Северной Осетии и Барабы [8] характеризуются отношением частиц I и II групп, близким к отношению исследуемых нами почв.

Богатство наших почв частицами II группы следует объяснить особой активностью полуторных окислов, что связано с климатическими условиями, главным образом, с обилием осадков.

В указанной выше работе [4] мы определяли наличие вторичных частиц различных групп в весенний, летний и осенний периоды. Нам удалось подметить, что в условиях Томской области в летний период, когда в почве меньше влаги и преобладают окислительные процессы, количество частиц II группы падает, а количество частиц I группы возрастает.

В ряде работ, посвященных изучению группового состава частиц менее 0,01 мм, рассматривается качественное различие вторичных частиц I и II групп по содержанию в них органического вещества, фосфора, азота [1, 6, 9].

Исследуемые нами почвы, как показано в табл. 2, отличаются друг от друга содержанием органического вещества (гумуса) во вторичных частицах менее 0,01 мм.

Таблица 2

Содержание гумуса в исходной почве и вторичных частицах менее 0,01 мм (в % на абсолютно сухую почву)

Почва	Горизонт	Глубина, см	Гумус			
			в исходной почве	в I группе (в % от веса группы)	во II группе (в % от веса группы)	в остатке (в % от веса остатка)
Лугово-черноземная	A <sub>1</sub>	0—15	11,66	13,20	18,00	5,35
	A <sub>1</sub>	20—30	11,09	10,49	11,89	4,68
	A <sub>2</sub>	40—50	6,58	4,8	11,52	3,02
Темно-серая лесная слабооподзоленная	A <sub>1</sub>	0—10	7,36	7,83	13,52	1,90
	A <sub>2</sub>	35—45	6,33	6,51	12,67	1,64
Светло-серая лесная сильнооподзоленная	A <sub>1</sub>	0—7	4,63	5,29	9,57	1,45
	A <sub>2</sub>	10—17	1,12	5,00	6,07	0,56

Наиболее богатой гумусом является лугово-черноземная почва. Даже на глубине 40—50 см гумуса содержится в ней 6,58%. Светло-серая и сильнооподзоленная почва характеризуется низким содержанием

гумуса и резким падением его вниз по профилю. На глубине 0—7 см гумуса содержится около 5%, на глубине 10—17 см количество его снижается почти до 1%.

Темно-серая лесная почва довольно богата гумусом; распределяется он в горизонте A более или менее равномерно. Как видно из табл. 2, органическое вещество находится, главным образом, в более активной части почвы — во вторичных частицах. Остаток содержит незначительное количество гумуса. Несколько выделяется по содержанию гумуса в остатке лугово-черноземная почва. Здесь его количество в самом верхнем слое достигает 5,35%. Содержание гумуса в остатке следует объяснить наличием грубого войлока из неразложившихся корешков растений.

Вторичные частицы II группы исследуемых почв значительно богаче органическим веществом, чем частицы I группы. Это вполне согласуется с литературными данными [9]. Большой процент гумуса во II группе частиц менее 0,01 мм объясняется природой этих частиц. Они содержат в своих пленках-гелях повышенное количество несиликатных полуторных окислов. Гидраты окиси железа, алюминия как базонды адсорбируют большое количество органических веществ как ацидодов [10].

Количество гумуса во вторичных частицах II группы превосходит содержание его в исходной почве в большинстве случаев в полтора-два раза. Особенно выделяются большим содержанием гумуса частицы II группы светло-серой лесной почвы, несмотря на довольно светлую окраску. Объяснить это можно качественным составом гумуса, а именно наличием фульвокислот.

Перейдем к обсуждению результатов определения азота в исследуемых почвах (табл. 3).

Таблица 3

Содержание валового азота в исходной почве и вторичных частицах менее 0,01 мм (в % на абсолютно сухую почву)

Почва	Горизонт	Глубина, см	Валовой азот			
			в исходной почве	в I группе (в % от веса группы)	во II группе (в % от веса группы)	в остатке (в % от веса остатка)
Лугово-черноземная	A <sub>1</sub>	0—15	0,69	0,12	0,96	0,25
	A <sub>1</sub>	20—30	0,51	0,10	0,78	0,24
	A <sub>2</sub>	40—50	0,24	0,27	0,24	0,23
Темно-серая лесная слабооподзоленная	A <sub>1</sub>	0—10	0,15	0,44	0,47	0,065
	A <sub>2</sub>	35—45	0,07	0,37	0,45	0,061
Светло-серая сильнооподзоленная	A <sub>1</sub>	0—7	0,10	0,36	0,41	0,061
	A <sub>2</sub>	10—17	0,04	0,32	0,39	0,059

Вторичные частицы I группы лугово-черноземной почвы отличаются малым содержанием валового азота, по сравнению с темно-серой и светло-серой лесными почвами.

Вторичные частицы II группы лугово-черноземной почвы содержат общего азота вдвое больше, чем эти же частицы серых почв. Закрепление большого количества азота в частицах II группы связано с наличием полуторных окислов, большой их активностью, а также большим количеством не вполне гумифицированного органического вещества.

Сравнивая изменение количества азота по горизонтам в исходных серых лесных почвах с изменением его в групповом составе, можно

заметить более постепенное падение его в частицах I и II групп, чем в исходной почве.

Зная, что вторичные частицы II группы менее 0,01 мм богаты полуторными окислами, гумусом, следует ожидать и наибольшего наличия в них фосфорной кислоты. Это подтверждается данными, приведенными в табл. 4.

Таблица 4

Содержание валовой фосфорной кислоты в исходной почве и вторичных частицах < 0,01 мм (в % на абсолютно сухую почву)

Почва	Горизонт	Глубина, см	Валовая фосфорная кислота			
			в исходной почве	в I группе (в % от веса группы)	во II группе (в % от веса группы)	в остатке (в % от веса остатка)
Лугово-черноземная	A <sub>1</sub>	0-15	0,31	0,40	0,42	0,26
	A <sub>1</sub>	20-30	0,24	0,20	0,22	0,20
	A <sub>2</sub>	40-50	0,23	0,18	0,24	0,22
Темно-серая лесная слабооподзоленная	A <sub>1</sub>	0-10	0,16	0,21	0,28	0,07
	A <sub>2</sub>	35-45	0,12	0,24	0,29	0,08
Светло-серая лесная сильнооподзоленная	A <sub>1</sub>	0-7	0,09	0,10	0,17	0,06
	A <sub>2</sub>	10-17	0,07	0,13	0,16	0,04

Из исследуемых почв лугово-черноземная является наиболее богатой валовым фосфором; светло-серая характеризуется наименьшим содержанием его. Вторичные частицы II группы рассматриваемых почв более богаты валовым фосфором, по сравнению с частицами I группы. Это опять-таки связано с повышенным содержанием во II группе частиц несиликатного железа и гумуса. В распределении фосфорной кислоты вниз по профилю во вторичных частицах исследуемых почв не наблюдается какой-либо строгой закономерности.

Известно, что фосфорная кислота вносимых в почву фосфатов не только поглощается почвами, но нередко прочно закрепляется в ней. В поглощении и «зажиме» фосфатов в почве существенную роль играют почвенные коллоидные частицы, в том числе органоминеральные гели и свободные гумусовые вещества.

А. Ф. Тюлин считает причиной «зажима» фосфора II группу частиц и содержащиеся в ней полуторные окислы [11]. Это подтверждается также работами А. Г. Марковского и В. А. Пономаревой [6].

По литературным данным [12], минеральные коллоиды поглощают фосфорной кислоты в 3 раза больше, чем органические.

### Выводы

Групповой состав исследуемых нами почв отличается от группового состава многих почв близких типов, но других районов, преобладанием частиц II группы. Это связано с климатическими условиями, главным образом с большим количеством осадков, преобладанием восстановительных процессов над окислительными, развитием анаэробных микроорганизмов. Все это способствует накоплению большого количества органического вещества, чем и отличаются рассматриваемые почвы (например, серые лесные) от близких к ним типов почв других районов.

Более детальное исследование вторичных частиц менее 0,01 мм показало, что частицы I и II групп отличаются друг от друга содержанием валовых гумуса, азота и фосфора. Наиболее богатыми являются

частицы II группы, что связано с повышенным содержанием в них полуторных окислов. Из них богаче гумусом, азотом и фосфором частицы II группы лугово-черноземной почвы, беднее — частицы светло-серой сильнооподзоленной почвы.

Томский  
государственный университет

Поступила в редакцию  
18/VII 1959

### ЛИТЕРАТУРА

1. А. Ф. Тюлин, Коллоидно-химическое изучение почв в агрономических целях. Тр. ВУУАА, вып. 27, 1946.
2. К. А. Кузнецов, Почвы юго-восточной части Западно-Сибирской равнины. Тр. Томск. гос. ун-та, т. 106, 1949.
3. Т. П. Славиниз, Азот, фосфор и калий в лесостепных оподзоленных почвах Томской области. Тр. Томск. гос. ун-та, т. 109, 1949.
4. З. Д. Кузнецова, Соотношение вторичных частиц менее 0,01 мм в серых лесных почвах Томской области. Уч. зап. Томск. гос. ун-та, № 18, 1952.
5. Н. Ф. Тюменцев, Роль удобрений в земледелии нечерноземной полосы Приобья. Дисс., Томск. гос. ун-т, Томск, 1952.
6. А. Г. Марковский, В. А. Пономарева, Групповой состав частиц почвы менее 0,01 мм и его значение в поглощении почвами фосфорной кислоты. Почвоведение, № 8, 1955.
7. Н. А. Архангельская, Коллоидно-химическая характеристика лесостепных почв. Почвоведение, № 10, 1946.
8. А. Ф. Тюлин, О перспективах дальнейшего развития коллоидно-химического изучения почв. Почвоведение, № 10, 1946.
9. М. А. Винокуров, Коллоидно-химический состав почв Предволжской части Татарской АССР и приемы повышения их плодородия. Изв. Казанского фил. АН СССР, № 3, 1952.
10. А. Ф. Тюлин, Неоднородность почвенных органоминеральных коллоидов в зависимости от различного количественного и качественного содержания в них полуторных окислов. Почвоведение, № 7, 1939.
11. А. Ф. Тюлин, Органоминеральные гели в почве, их классификация и свойства. Тр. Саратов. конф. по почвоведению и физиол., т. 1, 1937.
12. П. Г. Адерихин, Роль коллоидов в поглощении фосфорной кислоты почвами. Почвоведение, № 9, 1946.

К. М. МАЛЫШЕВА

## О ФИЗИОЛОГИЧЕСКОМ ДЕЙСТВИИ ВВЕДЕННЫХ В ЛИСТ РАСТВОРОВ МИНЕРАЛЬНЫХ ВЕЩЕСТВ

К настоящему времени в отечественной и зарубежной литературе накоплен довольно значительный материал о влиянии внекорневого внесения минеральных веществ на ускорение роста и развития растений, повышение зимостойкости и устойчивости к заболеваниям, удлинение срока жизнедеятельности листьев, на качественное и количественное повышение урожайности зерновых, овощных, технических и плодовых культур [1—5].

Многие авторы наряду с положительным действием внекорневых подкормок на комплекс физиолого-биохимических процессов листового аппарата одновременно наблюдали случаи неопределенных и даже отрицательных результатов от внекорневого применения удобрений. По указанию акад. И. В. Якушкина [6], случаи неопределенного действия внекорневых подкормок на урожай в производственных условиях составили около 20—25%. М. М. Эдельштейн [7] наблюдал повышение сахаристости у свеклы от внесения фосфорных и калийных подкормок только на высоком агрофоне, при обильном внесении органических и минеральных удобрений в почву. Внекорневые азотные подкормки, проводимые А. Ф. Калининским [8] на кукурузе и гречихе, вызывали ожоги листьев, распад хлорофилла и снижение фотосинтеза. При инъекции листьев или погружении черешков в растворы хлористого калия снижение интенсивности ассимиляции отмечал Г. П. Устенко [9]. По данным В. В. Пиневича [10], внекорневое питание азотом не увеличивало урожая зерна ячменя и пшеницы. В результате опытов, проведенных рядом зарубежных ученых, по опрыскиванию фруктовых деревьев и виноградных лоз не было отмечено ни увеличения роста и развития этих растений, ни повышения их урожайности (см. [5]). Браше, Витлей, Огле (см. [5]) не обнаружили повышения урожайности в результате опрыскивания мочевиной томатов, фасоли, картофеля, дынь и огурцов на хорошем агрофоне. Однако экспериментально установлено (с помощью меченых атомов, радиоавтографии и обычными количественными методами), что при внекорневой подкормке минеральные вещества поступают через лист во все органы растения и активно усваиваются ими, включаясь в общее русло обмена веществ.

Все изложенные выше факты говорят о том, что теоретические основы внекорневого питания растений еще недостаточно ясны. В ряде случаев, по-видимому, действие минеральных веществ, поступающих через лист, не сводится лишь к роли дополнительного питания. Опыты П. К. Урсуленико [11] с опрыскиванием плодовых на высоком агрофоне показали увеличение интенсивности фотосинтеза под действием всех испытываемых солей на одну и ту же величину. Автор приходит к выводу, что при опрыскивании солями произошло какое-то общее раздражение протоплазмы, вызвавшее однообразную ответную реакцию. В

опытах С. С. Сербина [12] опрыскивание водопроводной водой, содержащей следы минеральных веществ, приводило к повышению интенсивности фотосинтеза и веса корней.

Работами Е. И. Ермакова, Н. М. Сичкарь, М. И. Айзиной [13], Ф. Ф. Мацкова и Т. К. Иконенко [14], Н. И. Шереверя [15] отчетливо показано увеличение поглощения минеральных элементов из почвы под влиянием внекорневого внесения удобрений. Вероятно, на подобное действие внекорневой подкормки указывают и результаты опытов Фишера (см. [5]), Т. И. Федотовой [16]; Монтеларо, Налля, Джемисона (см. [17]). Федотова считает, что 4—8—20 кг удобрений на 1 га сами по себе не могут обеспечить прибавку урожая в 2—4—8 ц/га и более. Очевидно, заключает автор, внекорневое внесение удобрений дает возможность растению в большей степени использовать то, что ему предоставляется условиями среды.

Специфичность действия минеральных веществ, поступающих через лист, вполне понятна. Несмотря на то, что лист является только звеном в целостном организме, где функции одних органов могут выполнять другие, все же эта замена не может быть и не является абсолютной, поскольку отдельные органы растения анатомически и физиологически приспособлены к выполнению определенных функций. Корневая система, обладая весьма значительной поверхностью, избирательностью и суточной периодичностью в поглощении элементов, к тому же и анатомически приспособлена к гораздо большему поглощению солей, чем листья.

Кроме количественных возможностей, корень обладает специфическими ферментными системами, участвующими в превращениях минеральных веществ, т. е. обладает качественно отличными реакциями преобразования минеральных элементов в органические соединения.

Иную картину мы видим в случае подкормки растения минеральными веществами через лист. Первый этап поступления минеральных веществ через лист сходен с таковым корня (и там и здесь адсорбция ионов обменного характера), дальнейшие же этапы поглощения, превращения и механизм общего их воздействия, несомненно, отличаются от корневого. Лист быстро поглощает вещества, находящиеся на его поверхности. Минеральные соли, минуя первичные превращения в корне, а следовательно, обладая более резким воздействием на протоплазму, являются по существу раздражителем, как всякое инородное тело. Вторгаясь в сложный и стройный цикл листового обмена веществ, они, безусловно, изменяют его направленность. В результате, как было обнаружено многими авторами, повышается фотосинтез, дыхание, ферментативная активность [1].

Таким образом, минеральные вещества, поступающие непосредственно через лист, оказывают, очевидно, общее раздражающее действие на протоплазму, вызывая соответственные ответные реакции. В тех случаях, когда растение страдает от недостатка минеральных солей (например, в условиях холодных, а также обедненных питательными веществами почв), внекорневые подкормки могут вместе с тем служить фактором дополнительного питания.

Характер реакции, как известно, зависит в значительной степени от концентрации вещества, когда в качестве раздражителя выступает химическое соединение.

Рядом авторов показана прямая зависимость положительного действия подкормки от концентрации нанесенных на лист веществ [5, 18, 19]. Кроме того, ответная реакция на раздражение отличается обычно крат-

ковременностью, т. е. по прекращении реакции происходит возвращение к первоначальному состоянию [20].

В опытах ряда исследователей, испытывавших действие внекорневой подкормки на некоторые стороны обмена веществ растительного организма, обнаруживается вспышка того или иного процесса после опрыскивания, сменяющаяся затем постепенным спадом [1].

В задачу нашего исследования входит проследить влияние внекорневой подкормки на основной процесс создания органического вещества — фотосинтез, весьма чувствительный к действию ионов минеральных веществ [21, 22]. Исследование выполнялось в плане работ по внекорневому питанию растений лаборатории физиологии растений, биохимии и биофизики Биологического института СОАН СССР под руководством В. Ф. Альтергота.

Эксперименты проводились в Новосибирском теплично-парниковом комбинате на огурцах сорта «клинские» весенне-летнего и осенне-зимнего культурооборота 1958 г. при обильном внесении органических и минеральных удобрений в черноземную почву как перед посевом, так и в подкормках. Интенсивность фотосинтеза определялась с помощью прибора для определения фотосинтеза в полевых условиях по прописи, предложенной А. А. Ничипоровичем. Газометрическая установка позволяла работать с листьями, не отделенными от растения. Опыты проводились на 3-м листе, считая от верхушки, в двухкратной повторности в листообразование, цветение и плодоношение. Несколько определений сделано на рассаде в возрасте 4—5 листочков. Опытные растения опрыскивались смесью, содержащей 1-процентный двузамещенный фосфорнокислый калий, 1-процентный однозамещенный углекислый аммоний и 0,5-процентный борнокислый натрий. Контрольные экземпляры опрыскивались дистиллированной водой. Фотосинтез определялся через 24, 48, 72, 96 и 120 часов после опрыскивания и рассчитывался в  $\text{мг CO}_2$  на  $1 \text{ дм}^2$  площади листа за 1 час.

Результаты полученных данных приведены в табл. 1 и на рис. 1, А и Б.

Поступающие через лист соли вызывают явное увеличение интенсивности фотосинтеза. В этом отношении наши данные хорошо согласуются с результатами опытов других авторов, исследовавших непосредственное действие внекорневого внесения удобрений на ассимиляционную активность [23—25].

На второй и третий день после опрыскивания интенсивность фотосинтеза увеличилась у наших подопытных растений в 2—2,5 раза. Однако на четвертый и особенно пятый день после опрыскивания она уже снижалась почти до прежнего уровня (см. табл. 1).

Если мы попытаемся графически изобразить реакцию фотосинтетического аппарата на поступление ионов солей через лист, то получим одновершинную кривую, максимум которой придется на дни, следующие сразу после подкормки. Наблюдаемая временная «вспышка» фотосинтеза сменяется постепенным, но довольно быстрым снижением (нисходящие части кривых рис. 1, А и Б).

Следует сказать, что многие авторы, испытывавшие действие внекорневой подкормки на световое питание растений, констатировали увеличение процесса, не останавливая внимания на его динамике. Между тем их данные показывают явное увеличение интенсивности фотосинтеза от подкормки с последующим снижением. Например, в опытах А. А. Рихтера и Н. Г. Васильевой [26] двойное увеличение интенсивности фотосинтеза листьев уже через неделю сменялось снижением до уровня контроля. Явление временной вспышки фотосинтеза

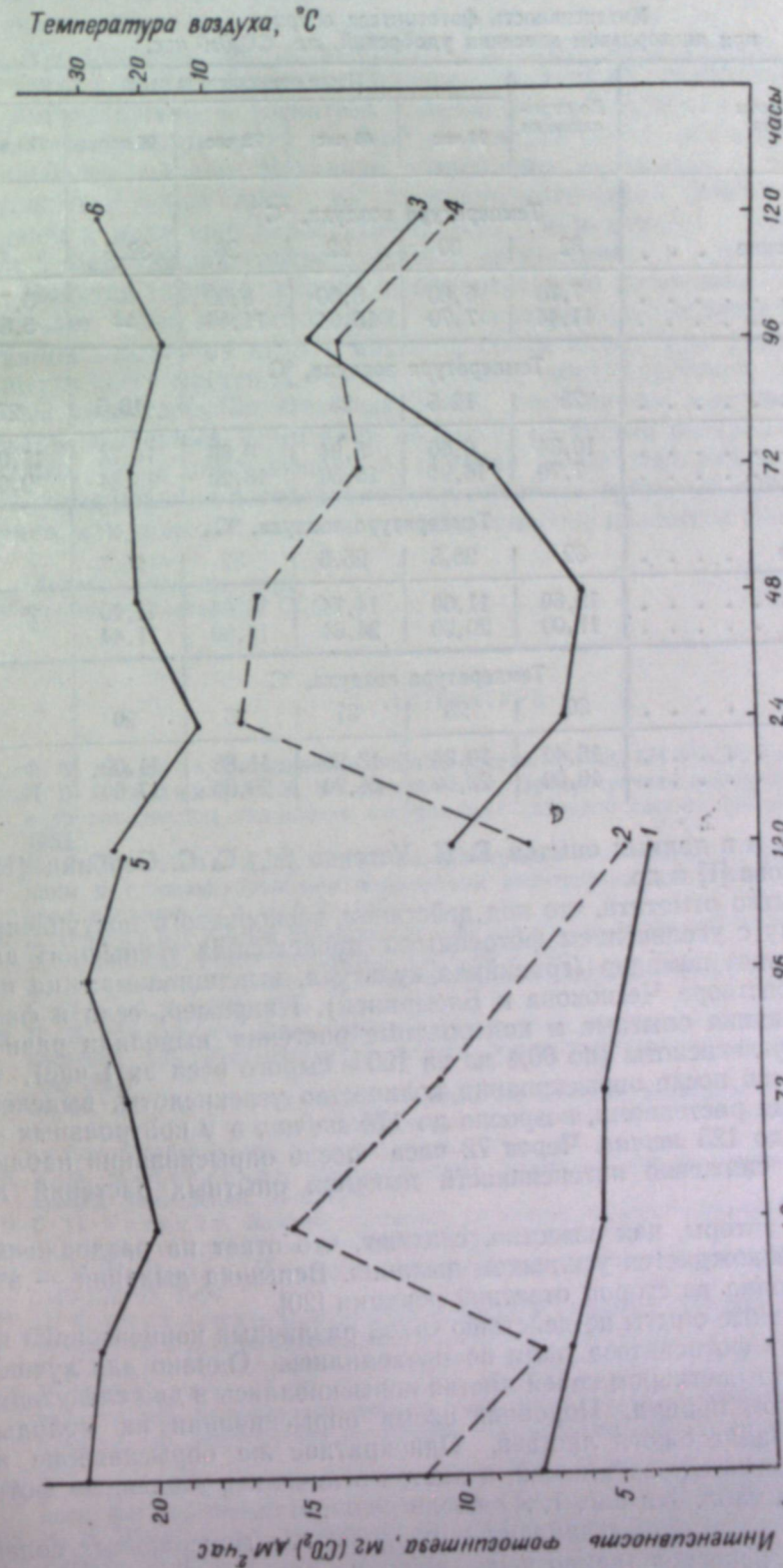


Рис. 1. Влияние внекорневого внесения минеральных веществ на интенсивность фотосинтеза листьев огурцов. 1, 3 — контроль, 2, 4 — опыт, 5, 6 — температура воздуха.

Таблица 1

Интенсивность фотосинтеза огурцов  
при внекорневом внесении удобрений, мг СО<sub>2</sub>/дм<sup>2</sup> час.

Варианты опыта	До опрыскивания	После опрыскивания через				
		24 час	48 час	72 час	96 час	120 час
Температура воздуха, °С						
Листообразование . . . . .	32	30	22	26	32,5	26
Контроль . . . . .	7,70	6,60	5,50	5,50	—	3,74
Опыт . . . . .	11,44	7,70	15,84	11,44	—	5,50
Температура воздуха, °С						
Цветение . . . . .	25	12,5	23	23	18,5	27
Контроль . . . . .	10,34	6,60	5,94	8,80	14,74	11,00
Опыт . . . . .	7,70	16,94	16,50	13,20	13,64	9,00
Температура воздуха, °С						
Плодоношение . . . . .	32	26,5	25,5	32	26,5	
Контроль . . . . .	19,80	11,00	14,74	13,64	11,10	
Опыт . . . . .	11,00	20,90	24,64	19,80	11,44	
Температура воздуха, °С						
Плодоношение . . . . .	30	28	31	35	20	
Контроль . . . . .	15,40	10,34	13,20	11,88	11,00	
Опыт . . . . .	16,50	22,00	24,20	20,90	17,60	

находим мы и в данных опытов Г. П. Устенко [9], С. С. Сербина [12], Ф. Ф. Мацкова [1] и др.

Любопытно отметить, что под действием внекорневого поступления солей наряду с увеличением фотосинтеза происходила «вспышка» дыхания у листьев помидор (гравийная культура, выращиваемая на питательном растворе Чеснокова и Базыриной). Например, если в фазу листообразования опытные и контрольные растения выделяли равное количество углекислоты (по 86,4 мг на 100 г сырого веса за 1 час), то через 48 часов после опрыскивания количество углекислоты, выделенное опытными растениями, возросло до 174 мг/час, а у контрольных — всего лишь до 125 мг/час. Через 72 часа после опрыскивания наблюдалось уже снижение интенсивности дыхания опытных растений до 100,8 мг/час.

Многие авторы, как известно, считают, что ответ на раздражение вообще сопровождается усилением дыхания. Вспышка дыхания — это в сущности одна из сторон ответной реакции [20].

Специальные опыты по действию солей различных концентраций на интенсивность фотосинтеза нами не проводились. Однако для лучшей смачиваемости раствором солей листья опрыскивались в два следующие друг за другом приема. Подобная схема опрыскивания на молодых огурцах вызывала ожоги листьев. Однократное же опрыскивание не вызывало видимых повреждений, а листья отличались усиленным фотосинтезом (см. табл. 1 и рис. 1, А) после подкормки.

Подведем итог нашим наблюдениям. Действие минеральных солей, поступающих непосредственно через лист, на интенсивность ассимиляции исследовалось на тепличных растениях, заведомо не испытывавших

недостатка ни в почвенном, ни в углеродном питании. Рост и развитие их были нормальными для условий тепличной культуры.

Мы считаем, что внекорневое внесение удобрений в указанных условиях оказало общераздражающее действие на протоплазму. Вспышка интенсивности фотосинтеза и дыхания, наблюдаемая в наших опытах, очевидно, относится к одной из реакций организма в ответ на раздражающее начало. Механизм воздействия минеральных веществ, поступающих через лист, на протоплазматический комплекс весьма сложен и пока еще недостаточно ясен. По-видимому, сфера действия солей, миновавших соответственные превращения в корневой системе, не сводится только к роли дополнительного источника питания, а включает более многостороннее, общераздражающее воздействие, приводящее в конечном итоге к многообразным изменениям реакций обмена веществ всего растения. В тех случаях, когда растения испытывают явный недостаток питательных солей, поступление минеральных элементов, введенных через лист, вызывает не только раздражение протоплазмы, но и последующее включение ионов минеральных солей в обменные реакции растительного организма. Первичный эффект раздражения, как известно, включает в себя усиление процессов обмена [20].

Биологический институт  
Сибирского отделения АН СССР

Поступила в редакцию  
10/VI 1959

## ЛИТЕРАТУРА

1. Ф. Ф. Мацков, Внекорневое питание растений. Изд. АН УССР, Киев, 1957.
2. И. В. Якушкин, М. М. Эдельштейн, Предуборочная внекорневая подкормка и другие способы повышения сахаристости сахарной свеклы. Пищепромиздат, М., 1952.
3. Н. С. Петин, А. Н. Павлов, Повышение белковистости зерна яровой пшеницы в условиях орошения посредством внекорневых азотистых подкормок. Физиол. растений, т. 2, вып. 2, 1955.
4. A. Buchner, Neuere Erfahrungen über die Blattdüngung mit Stickstoff Phosphorsäure und Kali. Pflanzenschutzber, Bd. 7, № 2, 1955.
5. D. Boynton, Nutrition by foliar application. Ann. Rev. Plant Physiol. (Stanford, Calif.), vol. 5, p. 31, 1954.
6. И. В. Якушкин, Предуборочная внекорневая подкормка сельскохозяйственных растений. Сб. Внекорневая подкормка сельскохозяйственных растений. Сельхозгиз, 1955.
7. М. М. Эдельштейн, Предуборочная внекорневая подкормка сахарной свеклы в опытах ТСХА и в производственных испытаниях. Сб. Внекорневая подкормка сельскохозяйственных растений. Сельхозгиз, 1955.
8. А. Ф. Калинин, Формы азотных удобрений при внекорневом питании растений. Земледелие, № 6, 1954.
9. Г. П. Устенко, Влияние основных элементов корневого питания на фотосинтез и дыхание сахарной свеклы. ДАН СССР, 32, 658, 1941.
10. В. В. Пиневич, Некоторые вопросы питания растений через листья. Вестник ЛГУ, № 15, 1956.
11. П. К. Урсуденко, Внекорневая подкормка плодовых растений. Сб. Внекорневая подкормка сельскохозяйственных растений. Сельхозгиз, 1955.
12. С. С. Сербин, Внекорневая подкормка сахарной свеклы. Земледелие, № 6, 1953.
13. Е. И. Ермаков, Н. М. Сичкар, М. И. Айзина, Применение минеральных веществ для внекорневого питания некоторых зерновых, масличных и овощных культур. Сб. Внекорневая подкормка сельскохозяйственных растений. Сельхозгиз, 1955.
14. Ф. Ф. Мацков, Т. К. Иконенко, О взаимосвязи между внекорневым питанием, фотосинтезом и корневым питанием растений. ДАН СССР, 118, 3, 1958.
15. Н. И. Шереверя, О взаимосвязи минерального питания растений через листья и корни. Физиол. растений, т. 6, вып. 1, 1959.
16. Т. И. Федотова, О значении внекорневого питания растений. Сб. Внекорневая подкормка сельскохозяйственных растений. Сельхозгиз, 1955.



17. G. N. Thorne, Absorption of nitrogen, phosphorus and potassium from nutrient sprays by leaves. Journ. Exper. Bot., vol. 5, № 13, p. 37, 1954.
18. Я. А. Меднис, Внекорневая подкормка растений. Сов. агрономия, № 7, 1952.
19. Ли Цзя-шен, Чень Чжень-вэнь, Хуан Чжен-фу, Влияние внекорневой подкормки микроэлементами на урожай и качество помидоров. Реф. журн. (биология), № 4 (13757), 1956.
20. L. V. Heilbrunn, The dynamics of living protoplasm. Acad. Press inc. publ. New-York, 1956.
21. G. Gassner, G. Goeze, Assimilationsverhalten, Chlorophylgehalt und Transpirationsgrosse von Getreideblättern mit besonderer Berücksichtigung der Kalium und stickstoffernährung. Z. Pflanzenernähr., Düng., Bodenkunde, Bd. 27, S. 257, 1934.
22. Д. А. Комиссаров, Влияние катионов и анионов минеральных солей на фотосинтез у высших растений. Тр. Ин-та физиологии растений, т. 1, № 2, Изд. АН СССР, М., 1937.
23. В. В. Гриненко, В. Ф. Щеголева, Внекорневая подкормка как фактор повышения физиологической деятельности и продуктивности хлопчатника. Физиол. растений, т. 4, вып. 2, 1957.
24. В. Л. Дорохов, Влияние внекорневых подкормок на интенсивность фотосинтеза. Физиол. растений, т. 4, вып. 2, 1957.
25. C. N. Hinsvark, et al., The metabolism of foliar-applied urea. I. Relative rates of  $C^{14}O_2$  production by certain vegetable plants treated with labelled. urea. Plant Physiol., vol. 28, p. 70, 1953.
26. А. А. Рихтер, Н. Г. Васильева, Повышение фотосинтеза опрыскиванием микроэлементами. ДАН СССР, т. 30, № 7, 1941.

И. П. ЩЕРБАКОВ, Р. В. ЧУГУНОВА

### О КЛАССИФИКАЦИИ ГАРЕЙ В ЮГО-ЗАПАДНОЙ И ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЯКУТИИ

В лесах Якутии ежегодно повреждаются огнем большие площади. Образующиеся гари разбросаны пятнами или полосами неправильной формы среди бескрайних просторов тайги, а иногда тянутся сплошными массивами на много километров, захватывая и речные долины и водораздельные пространства.

На выгоревших участках изменяются условия произрастания. Растительный покров, катастрофически поврежденный или уничтоженный, восстанавливается в течение многих лет или развивается с образованием новых типов растительности. Ценность участков резко снижается как для лесного хозяйства, так и для пушно-промыслового. Поэтому современное хозяйство заинтересовано в скорейшем лесовозобновлении гарей или в изыскании других путей их использования (например, в качестве пастбищ).

Растительный покров первых стадий зарастания гарей совершенно своеобразен. Если до пожара мы относили участок к какому-либо определенному типу леса, то после пожара находим уничтоженными или сильно измененными все основные компоненты леса: не только древесной и другие ярусы растительности, но и почвенные условия. Связи с предыдущим типом леса нарушаются в большей или меньшей степени в зависимости от интенсивности пожара. Если растительный покров уничтожен или лишь поврежден, к такому участку еще подходим как к участку леса. А в том случае, когда растительность уничтожена пожаром полностью, участок нельзя считать лесом. К какому-либо другому типу растительности в течение некоторого срока он также не может быть отнесен; его необходимо считать производным от леса явлением — гарью, или горельником.

Измененные почвенные условия, наличие послепожарных остатков в виде сухостоя и валежа, специфически развивающаяся растительность заставляют подходить к вопросу классификации гарей с учетом этого своеобразия. По существу классификация гарей — это особая задача в работе лесотиполога, причем не менее сложная, чем классификация типов леса.

Большая сложность анализа типов гарей определяется тем, что, помимо обычно учитываемых при лесотипологическом анализе характеристик растительности и условий местопроизрастания, необходимо учесть и другие характеристики, определяющие дальнейшее развитие растительности на гаях и возможности хозяйственного вмешательства в этот процесс. К таким характеристикам относятся допожарный тип леса, степень повреждения огнем и захламленности послепожарными остатками, естественный ход смен в растительном покрове.

Попытки классификации гарей предпринимались издавна. В основу классификации различными исследователями были положены совер-

шенно различные признаки. Так, экспедицией Поволжского лесотехнического института (1926) при изучении горельников Марийской области была предложена классификация гарей по классам «добротности», в зависимости от количества сухостоя на них [1]. С точки зрения зараженности энтомофагами классифицировали гари С. С. Прозоров [2] в лесах Западной Сибири и В. Н. Старк [3, 4] в лесах Кольского полуострова, Брянской и Ленинградской областей.

И. С. Мелеховым [5] для северных лесов европейской части СССР, К. П. Соловьевым и Е. Д. Солодухиным [6], развившим и дополнившим классификацию Мелехова в применении к кедрово-широколиственным лесам Дальнего Востока, в основу классификации положено состояние оставшейся на корню части древостоя.

Различия в подходе к классификации и трудности распределения гарей по основным признакам, используемым в классификациях, из-за большого разнообразия гарей, привели к тому, что общей, установившейся, классификации гарей до настоящего времени нет.

Мы столкнулись с необходимостью классифицировать гари при изучении их типологического состава и лесовозобновления в юго-западных приленских районах Якутии (Ленском и Олекминском), а также в одном из районов центральной Якутии — Кобяйском.

Прежде чем перейти к детальному разбору основных положений классификации гарей в наших условиях необходимо определить само понятие — гарь.

Под гарью, или горельником, мы понимаем участки леса, подвергшиеся воздействию огня и поврежденные им в самой различной степени, в зависимости от интенсивности пожара. Таким образом, к гарям мы относим как участки, пройденные беглым низовым пожаром, с почти нетронутым древостоем, так и участки, поврежденные верховыми пожарами, с полностью уничтоженной растительностью.

Применение понятия «гарь» в отношении лесных участков, пройденных слабыми низовыми пожарами иногда встречает возражения, поскольку при этом древостой почти весь остается живым. Но мы считаем, что вызываемые даже беглым низовым пожаром изменения в других полах растительности (кустарниковом, травяном, моховом), уничтожение подроста младших возрастов, изменения в режиме минерального состава почвенных растворов делают необходимым отнесение таких участков к гарям.

Хозяйственные мероприятия, необходимые для этих участков, могут лишь немного отличаться от тех мероприятий, какие намечаются для данного типа леса в допозарном состоянии. Может потребоваться, например, при назначении рубки главного пользования, задержка срока рубки на 5—7 лет, в течение которых возникнет предварительное возобновление главных пород, или уборка поврежденного до засыхания подроста и тонкомера, иначе значительно увеличивается опасность вторичного, более сильного, лесного пожара. Наконец, в неэксплуатационных лесах такие участки вообще могут остаться без назначения специальных мероприятий и постепенно оправятся до уровня нормального пожарного типа, но это не снимает необходимости отнесения и этих участков к гарям.

Пройденные беглым низовым пожаром участки следует считать гарью до возникновения травяного покрова, близкого к нормальному для данного типа леса, а после устойчивых низовых и верховых пожаров, вызвавших уничтожение или сильное повреждение древостоя, — до возникновения молодняков древесных пород со степенью сомкнутости 0,3 и более.

Необходимое для этого время, конечно, весьма различно в зависимости от степени нарушений, вызванных пожаром: в условиях Якутии 3—5 лет после слабых низовых пожаров и 15—30 лет после пожаров, уничтоживших древостой. В некоторых случаях в результате пожаров возможны необратимые смены лесной растительности на нелесную (заросли кустарниковой березки — ерники или веяниковые, в разной степени заболоченные луговые участки в долинах рек).

Чтобы выяснить, к какой типологической разности относится данный участок гарей, исследователь должен определить следующее: тип леса, к которому относился изучаемый участок до пожара; вид пожара, каким он поврежден; степень повреждения, выражающаяся в том, какова оставшаяся живая часть древостоя и других ярусов растительности, а также в том, насколько захламлена гарь и каково это захламенение (сухостой, валежник, количество мертвой древесины, проходимость участка); стадию зарастания или лесовозобновления, в которой находится участок в данное время, и направление, по которому идет развитие зарастания или возобновления.

Определение типа леса, существовавшего на участке до пожара, важно со следующих точек зрения. Прежде всего, в большинстве случаев мы можем рассчитывать на возвращение гари к допозарному или близкому к нему типу леса, через больший или меньший промежуток времени, в течение которого последствия пожара будут изжиты. Кроме того, допозарный тип леса, если он правильно определен, дает возможность оценить изменения в условиях произрастания, в частности, почвенных (влажность, состав и количество обменных оснований, кислотность). В зависимости от того, насколько глубоки эти изменения, происходят процессы лесовозобновления гари.

Вид пожара оказывает сильнейшее влияние на гарь. Мы различаем следующие виды пожаров, широко известные в литературе: беглый низовой, устойчивый низовой и верховой. Беглые низовые пожары характерны для сосняков мертвopoкрово-лишайниковых, мертвopoкрово-толокнянковых, лишайниковых и толокнянковых, а также для листвягов лишайникового и толокнянкового ряда. Эти типы леса приурочены к относительно сухим местопроизрастаниям по мезоповышениям (гривам, релкам) в крупных долинах рек, по склонам долин и увалов и вершинам увалов. Опасность возникновения пожаров в них высокая, но благодаря относительно небольшому количеству горючих материалов интенсивность пожаров в спелых насаждениях, как правило, невелика и возникающие здесь пожары чаще всего относятся к беглым низовым. При этом выгорает верхний слой подстилки, крупные частицы древесного опада (ветви, шишки), валеж, имеющийся обычно в небольшом количестве большая часть травяного покрова и молодой подрост. У более крупного подроста (60—80 см и выше) часто сгорает хвоя и обжигается кора, в результате чего он погибает, оставаясь на корню в течение нескольких лет. Почти все деревья в спелых древостоях остаются живыми, но часто получают ожоги над корневой шейкой.

К устойчивым низовым пожарам мы относим такие, которые, не переходя в верховые, имеют большую интенсивность огня, почти полностью уничтожают кустарниковый полог, травяной покров и подрост до размеров жердняка, выжигают лесную подстилку и торфянистые отложения, часто повреждают поверхностно расположенную корневую систему даже крупных деревьев и приводят к сильным ожогам коры деревьев. После этих пожаров на гарях выживает только часть древостоя, располагающаяся куртинами и отдельными деревьями, а поврежденная часть отмирает на корню и затем вываливается в течение нескольких

лет (3—7 лет), приводя к захламлению гари. Через 3—4 года после такого пожара мертвые древостой, остающиеся еще на корню, имеют своеобразный вид: деревья стоят с отвалившейся корой и частично отпавшими ветвями, но еще не вываливаются. Вывал происходит в течение указанного выше срока, но отдельные обгоревшие и отмершие стволы сохраняются и более длительное время. В это время гари могут пройти стадию травяных и кустарниковых, становясь еще более труднопроходимыми. Накопление валежа и сухостоя, отмерших трав резко увеличивает пожароопасность таких участков в осеннее и ранневесеннее время (рис. 1 и 2).

Устойчивыми низовыми пожарами преимущественно поражаются типы леса средневлажных местопроизрастаний: сосняки, листвяги и кедрячи брусничные, бруснично-моховые, разнотравно-брусничные и травяные. Несколько реже ими повреждаются типы леса более влажных местопроизрастаний: листвяги багульниково-моховые, разнотравно-вейниковые и т. п. Эти леса, как правило, приурочены к платообразным водораздельным пространствам, обширным пологим склонам, склонам северных экспозиций и долинным местоположениям.

При верховых пожарах огонь действует не только в приземных ярусах растительности, но и в кронах деревьев первого яруса. Степень повреждения, наносимого лесу таким пожаром, наибольшая. Уничтожается не только растительность всех ярусов и лесная подстилка, но иногда выжигается и верхний слой почвы, богатый органическими веществами, до сильно минерализованных горизонтов.

Участки, подвергшиеся верховому пожару, в первые годы полностью опустошены. Поверхность их покрыта угольками, золой, обуглившимися остатками стволов. Иногда остаются обгоревшие безвершинные стволы групп деревьев и отдельных деревьев, стоящие на корню. В течение многих лет они являются памятниками верхового пожара. По сравнению с устойчивыми низовыми пожарами, верховые оставляют незначительное количество послепожарных остатков, и гари бывают чистыми.

Верховые пожары в наших лесах — относительно редкое явление, так как светлохвойная лиственничная и сосново-лиственничная тайга обычно имеет небольшую сомкнутость крон, к тому же менее подверженных горению, чем у темнохвойной тайги. Поэтому верховые пожары развиваются у нас обычно после предварительного повреждения участков низовыми пожарами, увеличивающими количество горючих материалов, в листвягах средневлажных и влажных местопроизрастаний: брусничных, бруснично-моховых, разнотравно-вейниковых и в елово-лиственничных насаждениях.

В юго-западных приленских районах Якутии наибольшее количество пожаров относится к категории устойчивых низовых. На втором месте по поражаемым площадям стоят беглые низовые пожары, верховые бывают редко. В центральных районах Якутии в связи с увеличивающейся сухостью климата усиливается роль беглых низовых пожаров, в некоторых районах они преобладают над устойчивыми низовыми; верховые же пожары в центральной Якутии почти не наблюдаются, за исключением вторичного выгорания сильно захламленных гарей после устойчивых низовых пожаров.

Большие площади гарей, как правило, образованы пожарами разных видов.

По шкале пожарной опасности В. Г. Нестерова, используемой лесхозами [7], около 70% лесов юго-западной и центральной Якутии относит-



Рис. 1. Четырехлетняя гарь устойчивого низового пожара в сосняке разнотравно-брусничном. Урочище Бесъ-Урях, на правом берегу р. Чона.

ся к I классу (высокая пожарная опасность) и в основном к группе В этого класса — леса с расстояниями до ближайших населенных пунктов более 10 км. К II классу пожарной опасности (средняя опасность) относится 25% лесов, и к III (малая опасность) — не более 5%. Для определения хозяйственных мер, проведение которых целесообразно на гарях, большое значение имеет степень повреждения древо-



Рис. 2. Трехлетняя гарь устойчивого низового пожара в листвяге бруснично-моховом.

Левобережье Вилюя в устье р. Чона.

стоя пожаром и захламленность гари сухостоем и валежом. Например, при слабом повреждении древостоев снимаются такие задачи, как изыскание источников и способов осеменения гарей, но может возникнуть необходимость ухода за оставшейся частью древостоя. Захламленность гарей в очень сильной степени определяет, во-первых, опасность повторных пожаров и развития вредителей и, во-вторых, доступность гарей

для уборки сухостоя и валежа, для лесокультурных работ или для работ по переводу этих угодий в другие категории пользования, например, пастбища. Последнее для Якутской АССР часто представляет большой хозяйственный интерес. Поврежденность древостоев и захламленность гарей зависят от общих причин: допозарного типа леса и вида пожара (интенсивности огня).

С учетом этих соображений мы выделяем по степени повреждения допозарных древостоев и захламленности следующие виды гарей:

1. Гари после беглых низовых пожаров с сохранившимся или незначительно поврежденным древостоем и небольшим количеством сухостоя и валежа — до  $10 \text{ м}^3/\text{га}$ .

2. Гари после устойчивых низовых пожаров со средней сомкнутостью крон оставшейся части древостоя не ниже 0,3 и с количеством сухостоя и валежа до  $40 \text{ м}^3/\text{га}$ .

3. Гари после устойчивых низовых пожаров с почти полностью погибшим древостоем, с сомкнутостью оставшейся части древостоя меньше 0,3 и количеством сухостоя и валежа более  $40 \text{ м}^3/\text{га}$ .

4. Гари после верховых пожаров с полностью уничтоженным древостоем и небольшим количеством обожженного сухостоя и валежа, обычно до  $30 \text{ м}^3/\text{га}$ .

Восстановление лесной растительности на гарях, естественно, проходит совершенно различно, в зависимости от допозарного типа леса, от интенсивности пожара и вновь возникшей комбинации условий произрастания, от возможностей осеменения гари травяными, кустарниковыми и древесными видами.

Следует особо отметить, что полного восстановления допозарного типа леса на выгоревших участках, очевидно, не происходит даже после слабых низовых лесопожаров, как это отмечает А. А. Корчагин [8]. Это тем более верно в наших лесах, в большинстве случаев подвергающихся действию пожаров неоднократно за время существования одного поколения главной породы. При слабой степени повреждения огнем участок относительно быстро восстанавливается в тип леса, близкий к допозарному, или даже может быть отнесен к нему. При больших степенях повреждения восстановление лесной растительности проходит медленно, в течение нескольких десятилетий или даже поколений лесных пород, и приводит к типу леса, более или менее отличающемуся от допозарного.

В условиях юго-западной и центральной Якутии мы различаем следующие типы восстановления лесной растительности на гарях.

Быстрое восстановление происходит после беглых низовых пожаров со слабым повреждением древостоев. Древостой при этом почти не изменяется. Восстанавливаются травяной и мохово-лишайниковый покров, кустарники, наблюдается возобновление главных пород. Срок, необходимый для этого, относительно невелик — 3—7 лет, исключение составляют незначительные проявления влияния пожара в исключающем составе травяном покрове, которые могут наблюдаться в течение значительного большего времени (участие послепожарных видов — Иван-чай, вейника Лангсдорфа, некоторых мхов за счет ослабления других видов).

Стадий восстановления мы при этом не выделяем.

Замедленное восстановление наблюдается после устойчивых низовых пожаров со средней степенью повреждения древостоев (второй вид гарей). Поскольку при этом участки сохраняют характер лесных со значительно поврежденными ярусами подроста, подлеска и напочвенного покрова и расстроенным древостоем, ликвидация последствий пожара происходит значительно медленнее, в течение 20—30 лет,

и приводит к созданию разновозрастных древостоев с куртинным расположением элементов древостоя или с двухъярусным его строением. Но лесная растительность восстанавливается при этом, как правило, без смены главных пород первого яруса.

В таких случаях могут быть установлены стадии зарастания гари, приближающиеся к тем, какие наблюдаются при более интенсивных пожарах (черная, травяная, кустарниковая гарь). Мы считаем необходимым выделять две стадии: стадию невозобновившейся гари, когда подрост древесных пород еще не образует надежного возобновления, и стадию возобновившейся гари.

Длительное восстановление имеет место после устойчивых низовых пожаров с большой степенью повреждения древостоя (третий вид гарей) и после верховых пожаров (четвертый вид).

Вследствие почти полного или полного уничтожения всех ярусов растительности и больших изменений условий произрастания восстановление лесной растительности происходит, как правило, со сменой пород и в течение длительных сроков.

В этих случаях выделяются следующие стадии восстановления: черная гарь, травяная гарь, травяно-кустарниковая гарь, затем — молодняки лиственных пород (чаще всего березовые, реже — осиновые и смешанные осиново-березовые), березняки с подростом коренных хвойных пород, вытесняющих впоследствии березу. Из этих стадий первые три соответствуют понятию «гарь», а начиная со стадии молодняков березы или осины, площади должны переводиться в категорию лесопокрытых.

При небольших размерах таких гарей в сухих местоположениях (сосняки толокнянковые и мертвопокровно-толокнянковые), как исключение из общего правила, возможно лесовозобновление за счет главной породы, без смены ее, по травяной или кустарниковой стадии.

Время прохождения гарью отдельных стадий может значительно различаться в зависимости от конкретных условий, а в среднем в районах наших работ составляет для черной гари — от 2 месяцев до 2 лет, для травяной — от 2 до 5 (7) лет, для травяно-кустарниковой — от 5 до 15 (20) лет.

В травяной стадии, в свою очередь, можно выделить время доминирования отдельных видов растений: Иван-чая, вейника Лангсдорфа, смешанных травостоев — вейниково-иванчаевых, осоково-иванчаевых. Вейниковая стадия обычно приходит на смену иванчаевой на суглинистых и супесчаных хорошо увлажненных почвах. На боровых песчаных почвах вейник Лангсдорфа по гарям наблюдается редко, в небольшой примеси; там на смену Иван-чаю чаще всего приходят осоки типа стоповидной (*Carex pediformis*). А. В. Куминова [9] отмечает приуроченность вейниковой стадии к бескарбонатным и хорошо увлажненным почвам. Л. Н. Тюлина (1951 г., отчет о полевых работах) на сухих почвах, на известняках отмечает вместо осоково-иванчаевой ассоциации лимнасово-иванчаевую. В первые годы развития травяной гари на заболачивающихся суглинках часто бывает хорошо выражен моховой покров из *Marschandia polymorpha*, *Funaria hygrometrica* и *Polytrichum* sp.

Восстановления лесной растительности не происходит. В ряде случаев, до настоящего времени плохо изученных, после неоднократных лесных пожаров на водораздельных пространствах возникают кустарниковые заросли из березки тощей (ерники), что отмечал еще Р. И. Аболин [10]. Они обычно развиваются по старым гарям в небольших понижениях среди тайги, в расширениях верхней части распадков, в верховьях так называемых «травяных речек» или по неглу-

боким замкнутым понижениям. Но, кроме того, нам встречались ерники и на супесчаных почвах по повышенным местоположениям, занятым ранее сосной.

На пожарное происхождение этих ерников указывают отдельно стоящие, уцелевшие после пожара деревья лиственницы или сосны, крупные обгорелые пни. Ерники весьма устойчиво сохраняют свое положение в этих случаях; возобновление древесных пород в них бывает скудным или отсутствует. Возврат к лесной растительности, если и возможен, то через большие сроки — свыше 100—150 лет.

В. П. Дробов [11] относил к лугам пожарного происхождения вейниковые луга (*Calamagrostis Langsdorffii*) в долинах рек, благодаря тому, что участки леса на относительно богатых и увлажненных долинных почвах после пожара чрезвычайно быстро, в течение первого года, зарастают вейником, который в дальнейшем препятствует возобновлению не только древесных, но и кустарниковых пород.

Вообще говоря, такие участки немногочисленны и невелики по площади; во многих случаях сомнительно их пожарное происхождение. Ерники же пожарного происхождения вместе с коренными составляют характерный элемент ландшафта якутской тайги и занимают довольно большие площади.

Выше рассмотрены основные природные и исторические данные, которые необходимо учитывать при классификации гарей. При выборе системы названий гарей, естественно, должны быть учтены главнейшие из них, чтобы название гари в возможной степени отражало ее особенности.

В название гарей мы включаем следующие данные: стадию зарастания или лесовозобновления гари; степень захламливаемости гари послепожарными остатками; вид пожара; тип допожарного древостоя; почвенно-грунтовые и другие особенности условий произрастания, если их указание обусловлено особой целесообразностью, помимо общего представления о них, заключающегося в указании допожарного типа леса.

Приводим примеры названий гарей: гарь беглого низового пожара с отсутствующим лесовозобновлением в сосняке толокнянково-мертвопокровном; гарь устойчивого низового пожара со средним повреждением древостоя и восстановившимся подростом главной породы в листовяге брусничном; травяная (вейниково-иванчаевая) сильно захламливаемая гарь устойчивого низового пожара в листовяге бруснично-моховом; слабо-заболоченная захламливаемая травяно-кустарниковая гарь листовяга багульниково-мохового на суглинках по водораздельному плато; возобновляющаяся сосной разнотравная слабозахламливаемая гарь устойчивого низового пожара в сосняке толокнянково-брусничном на легких суглинках по южному склону; чистая травяно-кустарниковая возобновляющаяся березой гарь верхового пожара в листовяге бруснично-моховом на суглинках по пологому северному склону.

Мы не пытаемся пока строить обобщенных схем типов гарей, так как для этого необходимы более полные материалы о гарях Якутии; кроме того, такая задача представляется более сложной, чем разработка обобщенных типов лесов, также еще не выполненная для лесов Якутии.

В заключение необходимо сказать, что наши исследования были направлены лишь на борьбу с последствиями лесных пожаров, как стихийных бедствий в лесу. Но все более в нашей и зарубежной лесоводческой литературе накапливаются сведения о сознательном применении огня как могучего и дешевого средства регулирования процессов возоб-

новления в хвойных лесах, а также как средства ухода за лесом и улучшения условий произрастания.

Наступило время всестороннего специального изучения такого известного хозяйственного применения огня, особенно в сосновых лесах и в зоне восточносибирских светлохвойных лесов. Это одна из городских задач ближайшего будущего в советском лесоводстве.

Якутский филиал  
Сибирского отделения АН СССР

Поступила в редакцию  
20/IV 1959

#### ЛИТЕРАТУРА

1. А. А. Юницкий, Лесоводственная характеристика Марийских горельников и восстановительные процессы на гарях 1921 г. по данным Марийской экспедиции 1926 г. Изв. Поволжского лесотехнич. ин-та, вып. I (23), Йошкар-Ола, 1933.
2. С. С. Прозоров, Гари в сосновых лесах как очаги заражения. Тр. Сибирского ин-та сельск. хоз. и лесоводства, т. XII, Омск, 1929.
3. В. Н. Старк, Значение пожаров в образовании короедных очагов в Брянской губернии. Защита растений от вредителей, № 2, 1925.
4. В. Н. Старк, Руководство к учету повреждений леса. Сельхозгиз, М.—Л., 1930.
5. И. С. Мелехов, Влияние пожаров на лес. Гослестехиздат, М.—Л., 1948.
6. К. П. Соловьев, Е. Д. Солодухин, Классификация гарей на Дальнем Востоке. Лесное хозяйство, № 2, 1953.
7. С. П. Анцышкин, Противопожарная охрана леса. Учебник для лесных техникумов. Гослесбумиздат, М.—Л., 1952.
8. А. А. Корчагин, Влияние пожаров на лесную растительность и восстановление ее после пожара на Европейском Севере. Тр. Бот. ин-та им. В. Л. Комарова АН СССР, сер. III. Геоботаника, вып. IX, М.—Л., 1954.
9. А. В. Куминова, Очерк растительности Алданского района ЯАССР, Тр. Томского гос. ун-та, т. 90, Томск, 1936.
10. Р. И. Аболин, Геоботаническое и почвенное описание Лено-Вилюйской равнины. Тр. по изуч. производ. сил ЯАССР. Изд. АН СССР, Л., 1929.
11. В. П. Дробов, Общий очерк растительности в бассейне рек Нижней Тунгуски и Вилюя. Предварительный отчет о ботанических исследованиях в Сибири и Туркестане в 1914 г., Пб, 1916.

#### КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

Г. Ф. ТАГИН, В. В. КАМЕНСКИЙ

#### ПОЛУЧЕНИЕ ГРАФИКА ДВИЖЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ КИНОСЪЕМОЧНОЙ КАМЕРЫ СКС-1М

В Институте горного дела Сибирского отделения АН СССР проводятся исследования, связанные с динамикой погружных пневматических молотков.

Для записи кривых движения корпуса пневматического молотка и инструмента в функции времени нами была использована скоростная киносъемочная камера СКС-1М, предназначенная для киносъемки на 16-миллиметровую пленку со скоростью до 4000 кадров в секунду.

При съемке движущейся детали на пленке получают кадры, последовательно изображающие исследуемый процесс.

Чтобы получить график движения, необходимо определить последовательные положения движущейся детали относительно какой-то условной отметки. Затем по полученным данным строится график движения детали в функции времени. Далее, как обычно, путем последовательного графического дифференцирования получают графики скорости и ускорения. Заметим, что процесс такой обработки киноплёнки весьма трудоемкий, так как из-за мелкого масштаба все измерения проводятся под микроскопом и отнимают много времени.

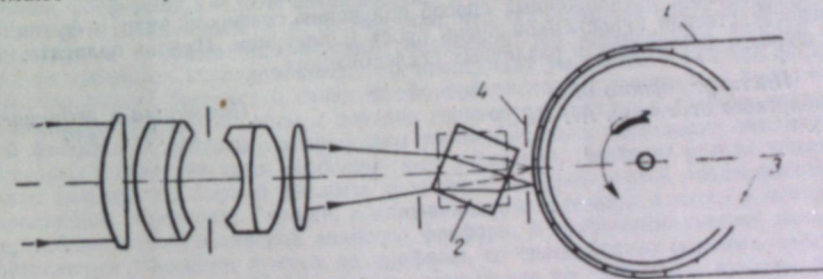


Рис. 1. Оптическая схема кинокамеры СКС-1М.

С целью исключения этого процесса был предложен и испытан новый метод регистрации движения детали. Сущность его заключается в том, что на пленке регистрируются не последовательные положения детали, а график движения последней. Для получения такого графика в камере были произведены некоторые очень незначительные переделки. На рис. 1 представлена оптическая схема серийной кинокамеры СКС-1М. Экспонируемая пленка 1 движется равномерно (после разгона, в период установившегося движения) с заданной скоростью. Чтобы изображение не смазывалось, имеется специальная компенсационная призма — 2, вращение которой увязано с вращением лентопротяжного барабана — 3. С помощью этой призмы изображение перемещается в кадровом окне 4 со скоростью, равной скорости перемещения пленки, т. е. изображение как бы останавливается на пленке.

При переделке компенсационная призма была снята. В кадровом окне устанавливалась специальная щелевая диафрагма. Теперь вместо нормального кадра на пленке экспонировалась лишь узкая полоса, причем в момент движения пленки полоса оставалась неподвижной. Если на детали, которая помещается перед объективом, отметить какую-то контрастную точку, то световой луч от этой точки «прочертит» на движущейся пленке линию. А если эта точка будет перемещаться в направлении, перпендикулярном движению пленки, то прочерчиваемая линия будет изображать график пути точки в функции времени. Для определения масштаба времени на пленку дается отметка от неоновой лампы, установленной в аппарате.



Таблица 2

Групповой состав фосфатов в серых лесных и черноземно-луговых почвах, %  
(по методу Ф. В. Чирикова)

Название почвы, культурное состояние	Глубина образца, см	растворитель				фосфаты, не рас- творимые в указан- ных рас- творителях	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , % от валовой P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	
		H <sub>2</sub> O+ CO <sub>2</sub>	0,5 л C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> O <sub>2</sub>	0,5 л HCl	3л NH <sub>4</sub> OH		орга- ниче- ской	ми- нераль- ной
Серая лесная, целина	0-15	0,0005	0,0021	0,0094	0,0470	0,0010	62	38
	27-37	сл.	0,0047	0,0115	0,0095	0,0202	21	79
	40-50	0,0015	0,0062	0,0126	0,0064	0,0204	14	86
Серая лесная, пашня	0-20	0,0012	0,0035	0,0184	0,0210	0,0169	34	66
	20-40	0,0008	0,0038	0,0206	0,0183	0,0146	32	68
	53-63	0,0005	0,0210	0,0210	0,0061	0,0050	16	84
Черноземно-луговая, це- лина	0-10	сл.	0,0031	0,0106	0,1020	0,0243	73	27
	10-20	сл.	0,0035	0,0109	0,0770	0,0456	56	44
	22-32	0,0006	0,0060	0,0114	0,0540	0,0460	30	70
40-50	0,0006	0,0084	0,0300	0,0250	0,0370	25	75	
Черноземно-луговая, пашня	0-10	0,0018	0,0068	0,0156	0,0710	0,0298	57	43
	18-28	0,0008	0,0068	0,0195	0,0621	0,0388	49	51
	32-42	0,0005	0,0070	0,0180	0,0393	0,0432	36	64
48-58	0,0004	0,0077	0,0276	0,0270	0,0303	29	71	

лю серых лесных почв подвижность фосфорной кислоты нарастает гораздо быстрее, чем в черноземно-луговой почве, вместе с относительным увеличением в них минерального фосфора. Абсолютное же содержание подвижного фосфора в серой лесной почве, несмотря на более высокую его подвижность, меньше, чем в черноземно-луговой почве, что связано со значительно более низким содержанием в них валового фосфора. Однако нередко, как будет видно в дальнейшем, содержание подвижного фосфора в отдельные сроки вегетационного периода становится выше в серых лесных почвах. В черноземно-луговых почвах фосфаты, очевидно, более прочно закреплены в органическом веществе.

Данные табл. 2 показывают, что в исследованных почвах среди различных групп фосфорной кислоты легкодоступные фосфаты I и II групп находятся в небольших количествах. В распаханых почвах их содержится несколько больше, чем в целинных почвах, однако также недостаточно, чтобы полностью обеспечить растения фосфорным питанием. Несколько больше в исследованных почвах содержится минеральных форм фосфатов, относящихся к III группе, выделенной 0,5л HCl. Количество этих фосфатов также возрастает вниз по профилю исследованных почв и при распашке.

Ф. В. Чириков в ряде работ (6, 7) показал, что основными источниками снабжения растений фосфором являются первые три группы фосфатов. Причем углекислорастворимые фосфаты I группы черноземных и подзолистых почв используются полностью. Фосфор уксуснорастворимых фосфатов различных почв усваивается различными растениями по-разному. III группа фосфатов почв, преимущественно фосфатов полуторных окислов, усваивается растениями плохо.

По нашим данным, содержание наиболее доступных форм фосфатов в исследованных почвах невелико. Как серые лесные, так и черноземно-луговые почвы, должны быть отнесены к почвам, нуждающимся в фосфорнокислых удобрениях.

Большое количество органических фосфатов в почвах является в основном недоступной формой фосфорной кислоты для растений, хотя в то же время является резервом доступного фосфора. Часть фосфора, отмечает Д. М. Хейфец [8], связанная с органическим веществом, в результате минерализации может служить источником питания растений. По мнению Ф. В. Чирикова, большинство фосфоорганических соединений почв представлено соединениями, растворимыми в щелочах. Эта группа фосфатов может стать доступной для растений также только в процессе минерализации. Однако степень минерализации органического вещества и высвобождение фосфора зависит от целого ряда факторов и не является чем-то стабильным в течение вегетации.

Некоторые данные по динамике подвижной фосфорной кислоты в течение вегетационного периода приведены в табл. 3.

Эти данные характеризуют динамику подвижной фосфорной кислоты под расте-

Таблица 3

Динамика подвижной фосфорной кислоты в серых лесных и черноземно-луговых почвах  
(в мг на 100 г почвы)

Глубина образца, см	Дата наблюдений											
	май	июнь		июль		август		сентябрь				
	28	6	15	27	6	16	24	5	15	25	5	15
Серая лесная почва, целина, 1955 г.												
0-20	—	—	—	2,50	2,50	2,50	3,75	4,75	5,0 <sup>1</sup>	5,60	6,25	—
20-40	—	—	—	3,00	3,75	3,75	3,75	5,00	6,25	6,25	7,50	—
Серая лесная почва, пашня, 1955 г.												
0-20	—	—	—	3,50	2,75	3,75	6,25	6,25	7,50	7,50	7,50	—
20-40	—	—	—	3,75	2,50	5,00	7,50	7,50	7,50	7,50	7,50	—
Черноземно-луговая почва, целина, 1955 г.												
0-20	—	—	—	2,75	2,75	3,75	6,25	6,25	7,5 <sup>1</sup>	7,50	8,75	—
20-40	—	—	—	2,75	2,75	3,17	5,00	5,00	5,00	6,25	6,25	—
Черноземно-луговая почва, пашня, 1956 г.												
0-20	3,85	3,50	4,37	4,37	3,37	3,85	4,75	4,35	4,35	4,37	4,75	6,25
20-40	3,75	3,12	3,75	3,17	3,75	3,75	4,35	4,35	4,00	3,75	3,85	5,00

ниями и не отличаются большой изменчивостью по отдельным срокам вегетационного периода. Наиболее низкое содержание подвижной фосфорной кислоты отмечается в периоды интенсивного роста и развития растений и к концу вегетации обычно возрастает.

Увеличению подвижной фосфорной кислоты в почвах в отдельные сроки вегетационного периода способствовало усиление биологической активности почв и в частности развитие процесса нитрификации. Это хорошо прослеживается в пару, особенно в серых лесных оподзоленных почвах (табл. 4).

Приведенные в этой таблице данные ясно показывают, что между накоплением в почвах нитратного азота и подвижной фосфорной кислоты нет антагонизма. Наоборот, увеличение нитратов в почве сопровождается повышенным содержанием подвижной фосфорной кислоты.

В пару черноземно-луговой почвы, несмотря на более интенсивный процесс нитрификации, накопление подвижной фосфорной кислоты идет менее резко. Причина такого различия в динамике подвижной фосфорной кислоты, вероятно, кроется в самих почвах, в их свойствах, и зависит от того, в каких формах представлены в них фосфаты. Как отмечалось выше, в черноземно-луговой почве основная масса фосфатов закреплена в органическом веществе, тогда как в серой лесной почве большая доля фосфатов приходится на минеральные соединения, причем подвижность фосфорных соединений в серых лесных почвах сравнительно выше.

В литературе по вопросу динамики подвижного фосфора и ее закономерностей встречается много противоречивых мнений. Имеется много фактов, например в работах С. И. Бунтякова [9], Ф. С. Соболева и С. И. Драчева [10] и других авторов, когда увеличению в почве нитратов соответствовало уменьшение доступного фосфора. Однако встречаются и противоположные данные, когда накопление нитратов и подвижного фосфора идет параллельно [11]. П. А. Дмитренко ссылается на целый ряд авторов, которые отмечали подобные явления, и считает, что причиной такой закономерности может быть обогащение почвенного раствора углекислыми солями или солями органических кислот, которые действуют стабилизирующе на почвенные коллоиды и уменьшают их способность поглощать фосфор. П. А. Дмитренко считает, что такая возможность скорее всего имеет место в подзолистых почвах, где коллоиды скоагулированы в большинстве случаев обратимо. Подобное объяснение возможно и для исследованных почв, если принять во внимание, что наибольший параллелизм в накоплении нитратов и подвижного фосфора отмечается в серых лесных почвах, значительно более оподзоленных по сравнению с черноземно-луговыми почвами.



Таблица 4

## Динамика подвижной фосфорной кислоты и нитратов в пару серой лесной и черноземно-луговой почв.

Определения	Глубина образца, см	Дата наблюдений						
		июнь		июль			август	
		28	7	16	26	5	16	26
Серая лесная почва, пар, 1955 г.								
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> в мг на 100 г почвы	0-20	6,25	6,25	7,50	15,00	12,50	20,00	18,00
	20-40	7,50	7,50	8,75	20,00	17,50	17,50	17,50
Серая лесная почва, пар, 1955 г.								
NO <sub>3</sub> в мг на 100 г	0-20	14,15	20,10	65,90	105,20	0,1	150,00	66,02
	20-40	1,69	3,61	11,36	29,70	0,3	15,20	9,05
Черноземно-луговая почва, пар, 1955 г.								
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> в мг на 100 г почвы	0-20	7,50	6,25	8,25	12,50	10,00	12,50	10,00
	20-40	5,00	4,75	7,75	12,50	8,75	8,70	9,37
NO <sub>3</sub> в мг на 100 г почвы	0-20	34,48	38,30	75,18	154,50	31,81	205,00	89,50
	20-40	1,90	6,68	26,54	87,90	0,80	46,00	13,21

## Выводы

1. Серые лесные и черноземно-луговые почвы характеризуются различным содержанием в них валового фосфора, распределение которого по профилям исследованных почв четко отражает их генетические особенности.

2. Определение группового состава фосфатов по методу Чирикова показало, что в исследованных почвах значительная часть всей фосфорной кислоты связана с органическим веществом. Наиболее доступные формы минеральных фосфатов I, II, III групп, по Чирикову, содержатся в сравнительно небольших количествах.

3. Из целинных исследованных почв наиболее богаты минеральными формами фосфатов (в % от валового их содержания) целинные серые лесные почвы, за счет чего содержание фосфорной кислоты в них сравнительно более высокое.

В распаханых исследованных почвах доля минеральных форм фосфорной кислоты становится выше, однако содержание их недостаточно для полного удовлетворения потребности питания культурных растений. Как серые лесные, так и черноземно-луговые почвы должны быть отнесены к почвам, нуждающимся в фосфорнокислых удобрениях.

4. В течение вегетационного периода в исследованных почвах происходят заметные изменения в содержании подвижной фосфорной кислоты. Причем наблюдается довольно четкий параллелизм в накоплении в них подвижной фосфорной кислоты и нитратного азота.

По-видимому, стимулирование биологической активности исследованных почв, в частности усиление процесса нитрификации, будет способствовать улучшению и их фосфатного режима.

Томский  
государственный университет

Поступила в редакцию  
16/VI 1959

## ЛИТЕРАТУРА

1. Т. П. Славина, Азот, фосфор и калий в лесостепных оподзоленных почвах Томской области. Томск, 1949.
2. Т. П. Славина, Запасы и формы фосфора в почвах Томской области. Тр. Томского гос. ун-та, т. 130, 1954.

3. А. П. Душечкин, Формы фосфора в почве и отзывчивость почв на фосфатные удобрения. Тр. НИУ, Удобрение и урожай, 4, 1929.
4. Н. П. Карпинский, В. Б. Замятина, Фосфорная кислота, связанная с органическим веществом почвы. Тр. ВИУАА, вып. 2, 1933.
5. Г. В. Геммерлинг, К характеристике соединений фосфора в почвах разного типа. Почвоведение, № 6, 1941.
6. Ф. В. Чириков, В. В. Волкова, Усвоение растениями фосфорной кислоты разных форм фосфатов почвы. Вестник с.-х. науки. Удобрение, агротехника и агропочвоведение, вып. 3, 1941.
7. Ф. В. Чириков, Агрохимия калия и фосфора. Сельхозгиз, М., 1956.
8. Д. М. Хейфец, Запасы фосфора в различных почвах Советского Союза, Тр. Почвенного ин-та, т. 33, 1950.
9. С. И. Бунтяков, Динамика физико-химических процессов в почве. Опытная агрономия юго-востока, т. III, вып. 2, 1927.
10. Ф. С. Соболев, С. М. Драчев, Влияние обработки и удобрения на динамику почвенного раствора и поглощенных оснований почвы. Научно-агрономич. журнал, № 2, 1926.
11. П. А. Дмитренко, Фосфатный режим почв Украинской ССР и приемы улучшения. Тр. Почвенного ин-та им. В. В. Докучаева, т. L, Агрохимические работы, 1957.

## КРИТИКА И БИБЛИОГРАФИЯ

### АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ РАЗВИТИЯ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА СРЕДНЕГО ПРИАНГАРЬЯ\*

С каждым годом увеличиваются темпы индустриального строительства Братского промышленного комплекса, расположенного на обширных таежных пространствах Среднего Приангарья Иркутской области. В таежных районах области — Братском, Тайшетском, Нижне-Илимском в ближайшие годы возникнут крупные промышленные очаги с большой концентрацией городского населения. Поэтому развитие сельского хозяйства является одной из важнейших проблем в Среднем Приангарье. Основной круг вопросов этой актуальной проблемы рассматривается в книге В. П. Комаревской «Развитие и специализация сельского хозяйства Ангаро-Илимской подзоны, Иркутской области».

Ангаро-Илимская сельскохозяйственная подзона, на которой акцентировано внимание автора, занимает восточную и центральную части территории Среднего Приангарья в пределах Братского, Нижне-Илимского и Усть-Кутского административных районов Иркутской области. В пяти разделах рецензируемой книги последовательно изложены основные особенности природных условий, дана характеристика земельного фонда и его использования, показаны современное состояние и специализация сельского хозяйства, трудовые ресурсы и механизация основных отраслей сельскохозяйственного производства, перспективы развития сельского хозяйства в связи с промышленным и гидроэнергетическим строительством.

Природные условия развития сельского хозяйства изложены В. П. Комаревской весьма кратко. Сельскохозяйственная оценка основных физико-географических компонентов дана главным образом по материалам других исследователей. Эти материалы весьма ограничены и часть из них явно устарела. Поэтому в первом разделе книги содержатся отдельные ошибки и неточности. Например, оценивая рельеф, автор придерживается неправильных суждений некоторых природоведов о слабой расчлененности Приангарья, тогда как новейшие данные (Н. Н. Соколова, С. С. Воскресенского и др.) свидетельствуют как раз об обратном. В характеристике рельефа нет ни слова об Ангарском кряже, пересекающем район исследования с юго-запада на северо-восток и накладывающем отпечаток на геоморфологическое строение района. В связи с тем, что природные условия района до сих пор изучались недостаточно, а развернувшееся гидроэнергетическое строительство вносит существенные изменения в природно-экономическую обстановку, автор правильно подчеркивает необходимость проведения здесь специальных исследований рельефа, климата, почв, растительности, особенно на водораздельных пространствах (стр. 11).

Более подробно рассматриваются земельные фонды сельскохозяйственных предприятий района. Этому посвящена вторая глава книги. В ней читатель найдет характеристику современного использования сельскохозяйственных угодий, типы сочетаний различных угодий в колхозах района, анализ причин нерационального их использования, возможности дальнейшего расширения фонда сельскохозяйственных угодий. Актуальность рассмотрения этих вопросов очевидна, так как сооружение Братской гидроэлектростанции (а впоследствии и Усть-Илимской) изымает большие площади земель из сельскохозяйственного производства.

Автор останавливается и на вопросах переустройства сельского хозяйства в зоне затопления Братской ГЭС, критически рассматривая проектные материалы по этому вопросу соответствующих организаций. В результате такого рассмотрения автор приходит к очень важному выводу о том, что «бурное развитие энергетики и промышленности в Ангаро-Илимских районах вступает в противоречие с планом сельскохозяйственного освоения их территорий» (стр. 49). В связи с этим заслуживает внимания призыв В. П. Комаревской к созданию сельскохозяйственных очагов на Ангаро-Лен-

ском водоразделе, который, по мнению автора, в рассматриваемой подзоне должен стать «...главным резервом расширения площади сельскохозяйственных земель».

Однако следует заметить, что последнее утверждение автора вызывает сомнение и нуждается в проверке. На Ангаро-Ленском водоразделе несомненно имеются отдельные ареалы, пригодные для освоения под сельскохозяйственные угодья. Их, конечно, необходимо использовать для создания пригородного хозяйства, обслуживающего возникающие здесь промышленные центры (Железногорск, Рудногорск, Усть-Кут и др.). В то же время крупнейшие индустриальные узлы исследуемого района, такие как Братск или Усть-Илимск (в более отдаленной перспективе) следует ориентировать на более благоприятные для сельскохозяйственного освоения ареалы, расположенные на Ийской покати или Ангаро-Ковинском междуречье. Автор сам понимает недостаточность аргументации в пользу Ангаро-Ленского водораздела как главного резерва расширения сельскохозяйственных угодий подзоны и правильно замечает в конце главы, что «...необходимо в ближайшее время начать комплексное изучение природных условий Ангаро-Ленского водораздела с той целью, чтобы дать верное и научно-обоснованное суждение о пригодности той или иной территории для сельского хозяйства» (стр. 54). С этим следует вполне согласиться.

Как уже отмечено, общая изученность Среднего Приангарья далеко недостаточна. Природная обстановка здесь весьма осложнена целым рядом специфических процессов и явлений, учет которых необходим при организации местного сельскохозяйственного производства. Поэтому здесь особенно важно не только наметить и выбрать ареалы для нового сельскохозяйственного освоения, но и провести крупномасштабные исследования: геоморфологические и микроклиматические, почвенные и ботанические, гидрологические и т. п. На все это нужно время.

Центральное место в книге (3 и 4 главы) занимает рассмотрение современного состояния сельскохозяйственного производства, сопровождаемое оценкой экономической эффективности основных отраслей сельского хозяйства Ангаро-Илимской подзоны. В настоящее время большинство колхозов специализируется на производстве зерна и животноводстве мясо-молочного направления. Несмотря на большие различия в природно-экономической обстановке подзоны, производственное направление колхозов, распыленных по обширной территории, до сих пор характеризуется однородностью. Отмечается, что производственное направление колхозов в настоящее время ни в какой мере не соответствует новым экономическим условиям, складывающимся в связи с развертыванием здесь индустриального строительства.

На основании подробного рассмотрения экономики сельскохозяйственных предприятий Ангаро-Илимской подзоны автор приходит к важным выводам о дальнейших путях развития специализации колхозов, которые можно свести к следующим: 1) претворение сельхозартелей, расположенных вблизи промышленных и транспортных центров, в хозяйства пригородного типа, специализирующиеся на производстве молока, овощей, картофеля, отчасти мяса; 2) создание, наряду с развитием земледелия и про-дуктивного животноводства, постоянных охотничьих и рыболовецких бригад в сельхозартелях, удаленных от городов; 3) организация промысловых колхозов (стр. 112, 113). Нельзя не согласиться с правильностью и своевременностью отмеченных выше рекомендаций, которые должны быть учтены при планировании дальнейшего развития хозяйства колхозов Ангаро-Илимской подзоны.

При этом необходимо обратить особое внимание на проблему трудовых ресурсов и механизацию основных отраслей. Автор подробно рассматривает современный уровень механизации работ в колхозах, который значительно ниже уровня, достигнутого в лесостепных районах Иркутской области. В то же время почти во всех колхозах подзоны имеется недостаток рабочей силы. Автор не показывает, что за последние два десятилетия здесь наблюдалось резкое сокращение численности сельскохозяйственного населения. А между тем это сокращение мало покрывалось эффективностью механизации в силу специфических особенностей территориальной организации местного сельского хозяйства (раздробленность землепользования, мелкоучастковость угодий, бездорожье и т. д.) и поздней организацией МТС в пределах подзоны. Поэтому сомнительно утверждение автора, что имеющийся контингент трудоспособных в колхозах почти полностью покрывает потребности в рабочей силе сегодня и даже на ближайшую перспективу. Приведенные расчеты (стр. 114—115) базируются на примерных затратах на возделывание различных культур, разработанных для Восточной Сибири СОПС АН СССР. Эти средние показатели для Восточной Сибири, которым является Ангаро-Ленский край. В перспективе положение с трудовыми ресурсами сельского хозяйства Ангаро-Илимской подзоны еще более осложнится тем, что в период переселения колхозов из зоны затопления здесь неизбежен отток колхозников в новые города и рабочие поселки. Автор понимает это и отмечает, что трудовые ресурсы сельского хозяйства рай-она в будущем должны пополняться «за счет новых контингентов населения» (стр. 152).

Книга заканчивается специальным разделом, в котором акцентируется внимание на перспективах дальнейшего развития сельского хозяйства Ангаро-Илимской подзоны.

\* В. П. Комаревская, Развитие и специализация сельского хозяйства Ангаро-Илимской подзоны Иркутской области. Изд. Вост.-Сиб. фил. СОАН СССР, Чита, 1958.

Отмечается, что по производственному направлению, в соответствии с особенностями природно-экономических условий, колхозы подзоны должны подразделяться на три группы: пригородные, животноводческо-зерновые и промысловые (охотничьи и рыбо-ловецкие).

Особенно важно создание пригородных зон (у автора — баз) вокруг новых индустриальных центров и прежде всего вокруг Братского промышленного узла.

Проектирование и осуществление строительства Братского промышленного комплекса должно быть согласовано со всеми частными вопросами хозяйственного освоения территории, с использованием и учетом всех местных особенностей района. Организация пригородных баз в перспективе неизбежно потребует проведения лесомелиоративных работ, особенно на междуречных пространствах. Для всестороннего освещения сельскохозяйственных возможностей водораздельных пространств Приангарья, выработки конкретных способов и приемов трансформации таежных земель в сельскохозяйственные угодья, а также наиболее рациональных методов ведения хозяйства в сложных местных природных условиях подчеркивается назревшая необходимость организации специальной опытной сельскохозяйственной станции на Ангаро-Ленском междуречье.

В настоящее время научные сельскохозяйственные организации Сибири уделяют крайне недостаточное внимание опытной работе по освоению таежных массивов под сельскохозяйственные угодья.

Первоочередными задачами станции должны быть, по мнению автора, следующие: 1) подбор самых холодостойких и скороспелых сортов зерновых, кормовых и овощных культур (включая картофель), 2) разработка методов улучшения природных лугов, а также подбор наиболее пригодных видов луговых растений для создания искусственных сеяных лугов; 3) разработка местной агротехники; 4) селекция главных сельскохозяйственных культур; 5) учет местного опыта (стр. 153).

По нашему мнению, в программу работ станции следовало бы дополнительно включить: а) разработку наиболее производительных способов трансформации лесных массивов в сельскохозяйственные угодья с обоснованием необходимой для этого системы машин, б) микроклиматические исследования, сопровождаемые опытами возделывания культур на различных элементах рельефа и на различных почвенных разностях. Ценные практические выводы и рекомендации, полученные на такой опытной станции, могли бы использоваться в аналогичных природных условиях на обширных пространствах южной таежной части Восточной Сибири, хозяйственное освоение которых особенно активно развернется в ближайшие 15—20 лет.

Рецензируемая книга поднимает актуальные вопросы развития сельского хозяйства одного из первоочередных районов нового индустриального строительства Восточной Сибири. Она выгодно выделяется среди прочих подобных местных изданий тем, что почерпнутые из местной практики разнообразные сведения позволили автору раскрыть специфические особенности сельскохозяйственного производства района. Чувствуется, что автор не только тщательно изучил материалы сельскохозяйственной статистики, обширные литературные и рукописные материалы (в хорошо подобранном списке использованной литературы числится более 200 источников), но и широко познакомился с производственной деятельностью колхозов этого обширного таежного края. Читатель убеждается, что автор разобрался в сложной природно-экономической обстановке, в которой развивается сельское хозяйство Ангаро-Илимского района. Отдельные частные недостатки, спорные положения, которые имеются в рецензируемой книге, не снижают общего хорошего впечатления от этого в целом весьма актуального и ценного научного исследования.

Книга В. П. Комаревской представляет большой интерес для специалистов сельского хозяйства, многочисленных плановых работников и проектировщиков, занимающихся проблемами хозяйственного строительства не только Братского промышленного района, но и других районов нового индустриального строительства Восточной Сибири.

*Н. Н. Казанский*

## ХРОНИКА

### ПЕРВОЕ НАУЧНОЕ СОВЕЩАНИЕ ГЕОГРАФОВ СИБИРИ И ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА

С 18 по 24 сентября 1959 г. в Иркутске проходило совещание географов Сибири и Дальнего Востока, созданное Сибирским отделением АН СССР и Географическим обществом СССР.

Совещание рассмотрело проблемы изучения природных условий и ресурсов, их технико-экономической оценки и разработки эффективных путей использования, а также рационального размещения производительных сил, специализации и комплексного развития экономических районов. В работе совещания приняли участие 320 человек, на восьми пленарных заседаниях и двух секциях (физической и экономической географии) было заслушано 56 докладов.

Открывая совещание, акад. И. П. Герасимов сказал, что для советских географических наук обширная территория Сибири и Дальнего Востока представляет собой первоочередной плацдарм для развертывания научных исследований.

С докладом «Пути развития производительных сил Сибири и Дальнего Востока» выступил председатель Сибирского совета экспедиционных исследований СОАН СССР чл.-корр. АН СССР Н. Н. Некрасов. Докладчик обосновал особое значение для развития производительных сил рассматриваемой территории высокой степени концентрации природных ресурсов и поставил вопрос о разработке научной системы комплексной эксплуатации природных богатств.

Директор Института географии Сибири и Дальнего Востока чл.-корр. АН СССР В. Б. Сочава в докладе «Задачи в области физической географии Сибири и Дальнего Востока» отметил, что дальнейшее хозяйственное освоение восточных районов страны выдвигает необходимость усиления отраслевых и комплексных физико-географических исследований, особенно в тех местах, где проводится или проектируется новое строительство.

Физико-географическому районированию и характеристике отдельных районов были посвящены выступления проф. Г. Д. Рихтера, Ю. П. Пармузина, Ю. А. Щербатова и М. В. Кириллова. Совещание обсудило схемы природного районирования Г. Д. Рихтера и Ю. П. Пармузина и пришло к выводу, что они могут быть положены в основу единого и более дробного районирования.

С докладом «Принципы и методы комплексного картографирования природы» выступила И. П. Заруцкая. Проблемы картирования природы и хозяйства освещались и в докладе В. П. Шоцкого «Опыт составления комплексных и специальных атласов на территории административных экономических районов Восточной Сибири».

Совещание обсудило также направления работы по отраслевым физико-географическим дисциплинам: геоморфологии, гидрологии, климатологии, гляциологии, зоогеографии, геоботанике, почвоведению, фенологии, палеогеографии. Были рассмотрены вопросы медицинской географии, топонимии и охраны природы.

\*\*\*

В центре внимания экономгеографов были наиболее актуальные проблемы развития экономики восточных районов СССР.

Проф. В. А. Кротов выделил следующие первоочередные задачи экономической географии Сибири и Дальнего Востока: экономическое районирование; формирование крупных промышленных узлов и комплексов; территориальное разделение труда и создание системы межрайонных экономических связей; исследования природно-географических условий и создание предпосылок размещения производства в районах интенсивного хозяйственного освоения; изучение особенностей размещения главных отраслей промышленности, сельского хозяйства и транспорта в условиях Сибири и Дальнего Востока.

Особым вниманием участников совещания пользовались вопросы экономического районирования, которым были посвящены доклады М. И. Помуса и А. А. Цымека.

В соответствии с пожеланиями большинства участников совещание признало необходимым созвать специальную конференцию по экономическому районированию Сибири и Дальнего Востока.

Участники совещания рассмотрели вопросы развития Братско-Тайшетского промышленного узла и Иркутского административного экономического района. Обсуждались также вопросы географии населения, транспорта, сельского хозяйства, экономической оценки энергетических и минеральных ресурсов различных районов Сибири.

Специальное заседание совещания было посвящено обсуждению работы организации Географического общества СССР в Сибири и на Дальнем Востоке и решению организационных вопросов. Совещание учредило объединение сибирских географов. — Бюро сибирских и дальневосточных филиалов и отделов Географического общества СССР с местопребыванием в Иркутске. Председателем Бюро избран чл.-корр. АН СССР В. Б. Сочава.

Участники совещания заслушали сообщения о научно-исследовательских работах по физической и экономической географии, проводимых Московским, Томским, Иркутским университетами, Институтом географии и Восточно-Сибирским филиалом СОАН СССР. Обсуждались также вопросы подготовки кадров географов-исследователей, вопросы координации научно-исследовательских работ, географического образования в средней и высшей школе в связи с развитием восточных районов страны.

В результате обмена мнениями была разработана и принята обширная резолюция, намечающая конкретные задачи предстоящих географических исследований в районах Сибири и Дальнего Востока. Второе совещание географов Сибири и Дальнего Востока намечено созвать в 1961 г. в Хабаровске или Владивостоке.

*В. В. Воробьев, К. П. Космачев*

Художественный редактор В. А. Смолин.

Технический редактор О. А. Локшина. Корректоры: Е. А. Смирнова, Р. П. Ефимова.

МН 02046. Подписано к печати 3 февраля 1960 г. Формат бумаги 70×108/16=4,625 бум. л. 12,67 печ. л. 13 изд. л. Тираж 1300 экз. Заказ № 11616.

Издательство Сибирского отделения АН СССР, Новосибирск, Советская, 20. Типография № 1 Полиграфиздата, Новосибирск, Красный проспект, 20. Цена 7 руб.

# ОПЕЧАТКИ

Страница	Строка	Напечатано	Следует читать
27	7 снизу, в формуле (5)	$= \frac{D}{b} (c - c_n) f$	$f' = \frac{D}{b} (c - c_n) f$
48	11 сверху, в формуле (13)	$= \frac{P}{AkF_0(1 + \Phi)^s h kH}$	$= \frac{P}{AkF_0(1 + \Phi) \operatorname{sh} kH}$
55	6 сверху	Институт радиофизики и электроники	Институт гидродинамики
61	5 снизу, в формуле (1)	$I(p) = - [X'_d(p) + X(p)]$	$I(p) = - [x'_d(p) + X(p)]$
73	18 снизу	$(X_I = 2,5 \text{ и } X_J = 1,4)$	$(X_c = 2,5 \text{ и } X_I = 2,4)$
82	19 >	23. A. Allred, E. Rochow. <i>J. Inorg. Nucl. Chem.</i> 5, 264 (1958).	25. R. Sanderson. <i>J. Amer. Chem. Soc.</i> , 74, 4792 (1952)
92	В подписях к рис. 3 и 4	проволочек от $\tau$	проволочек от $\sqrt{\tau}$
93	Табл. 7, графа 1, строка 5 снизу	3 % Sn	30% Sn
96	Табл. 9, в головке	$K \cdot 10^8 \cdot \frac{1}{6} \text{ см/сек}^{1/2}$	$K \cdot 10^8 \cdot \frac{1}{60}, \text{ см/сек}^{1/2}$
96	В подписи к рис. 6	проволочек от $\tau$	проволочек от $\sqrt{\tau}$

В № 12 за 1959 г. на стр. 4, строка 8 снизу, напечатано «...длины отрезка АВ...», следует читать «...длины отрезка АВ...».

# ПРОВОДИТСЯ ПОДПИСКА

на ежемесячный научный журнал  
Сибирского отделения АН СССР

## ГЕОЛОГИЯ И ГЕОФИЗИКА

В журнале публикуются общие теоретические и методические статьи по всем вопросам геологии и геофизики, результаты региональных исследований геологического и геофизического строения территории Сибири, Дальнего Востока и сопредельных стран Азии, работы по закономерностям распространения полезных ископаемых вообще и на названных территориях в особенности, исследования в области разработки и применения геологических, геофизических, геохимических и других методов познания и выявления полезных ископаемых.

Журнал печатает также материалы критико-библиографического характера.

В журнале имеется отдел хроники, в котором освещаются наиболее важные события в жизни геологических учреждений Сибирского отделения АН СССР.

---

### ПОДПИСНАЯ ЦЕНА ЖУРНАЛА

на 12 месяцев — 84 руб.

на 6 месяцев — 42 руб.

на 3 месяца — 21 руб.

Цена отдельного номера 7 руб.

---

Подписка принимается всеми городскими и районными отделами Союзпечати, отделениями и агентствами связи. Журнал можно приобрести также в магазинах «Академкнига».

Отдельные номера журнала могут быть высланы наложенным платежом. Заказы направлять в редакцию журнала (Новосибирск, Советская, 20, комн. 428).