

Ск. № 10 4/2
АКАДЕМИЯ НАУК СССР

ИЗВЕСТИЯ
СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ
АКАДЕМИИ НАУК
СССР

10

НОВОСИБИРСК

1959

ЦЕНТРАЛЬНОМУ СОВЕТУ ОБЩЕСТВА
КИТАЙСКО-СОВЕТСКОЙ ДРУЖБЫ,
КИТАЙСКАЯ НАРОДНАЯ РЕСПУБЛИКА, ПЕКИН

Дорогие товарищи! Мы, ученые Сибирского отделения Академии наук СССР, собравшиеся на торжественное заседание, посвященное десятой годовщине Китайской Народной Республики, шлем вам пламенный привет и горячие поздравления с этой славной годовщиной.

Мы с восхищением следим за быстрым ростом производительных сил Китайской Народной Республики, за героической деятельностью трудолюбивого китайского народа, уверенно идущего под руководством мудрой Коммунистической партии Китая по пути построения социалистического общества.

Большие достижения вы имеете и в развитии науки. Уже сейчас Академия наук Китайской Народной Республики объединяет тысячи крупнейших ученых, ведущих широкие научные исследования в самых различных отраслях науки.

План совместных научных исследований Академии наук СССР и Академии наук Китайской Народной Республики открывает новые перспективы в нашей общей работе. Мы приложим максимум усилий к тому, чтобы этот план не только выполнить, но и перевыполнить.

Коллективы научных сотрудников учреждений Сибирского отделения АН СССР работают на территории Сибири и Дальнего Востока, непосредственно соприкасающейся с северными районами Китайской Народной Республики. У нас уже имеется положительный опыт совместной работы с китайскими учеными и инженерами по проблеме комплексного использования реки Амура, и мы надеемся, что в ближайшее время подобные совместные исследования будут значительно расширены.

Дорогие товарищи! За прошедшие десять лет в жизни вашего народа произошли огромные изменения, а ведь в истории это весьма небольшой срок. Мы не сомневаемся в том, что в последующие десятилетия вы достигнете еще более замечательных успехов в развитии производительных сил Китайской Народной Республики, науки, культуры и росте благосостояния китайского народа.

От всей души желаем вам новых больших успехов в работе.

Да здравствует X годовщина Китайской Народной Республики!

Да здравствует нерушимая дружба советского и китайского народов!

Принято Общим собранием Сибирского отделения АН СССР

24 сентября 1959 г.

г. Новосибирск.



РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Д-р хим. наук В. Т. Быков, член-корр. Т. Ф. Горбачев (зам. главного редактора), член-корр. Н. П. Дубинин, 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.

Н. Н. НЕКРАСОВ, В. А. ШЕЛЕСТ

СОВЕТСКО-КИТАЙСКИЕ НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ БАССЕЙНА АМУРА

18 августа 1956 г. Правительства СССР и Китайской Народной Республики заключили Соглашение о совместном проведении научно-исследовательских и проектно-изыскательских работ в бассейне Амура с целью изучения условий и перспектив развития производительных сил на советской и китайской территориях бассейна. Этим Соглашением положено начало широким совместным работам, которые являются вкладом в дело дружбы и взаимопомощи двух великих народов — советского и китайского.

В соответствии с Соглашением научно-исследовательские работы выполняются Амурской комплексной экспедицией Совета по изучению производительных сил при Президиуме Академии наук СССР и Хэйлуцзянской (Амурской) комплексной экспедицией Комиссии экспедиционных исследований при Президиуме Академии наук КНР.

Работы советской и китайской амурских экспедиций направляются и координируются Объединенным ученым советом по проблеме Амура, в котором на паритетных началах представлены с советской и китайской сторон основные руководители исследовательских работ и представители местных государственных органов.

Проектно-изыскательские работы в бассейне Амура совместно выполняются Ленинградским отделением Гидроэнергопроекта Министерства строительства электростанций СССР и Северо-Восточным отделением (г. Чанчунь) Гидроэнергопроекта Министерства водного хозяйства и электроэнергетики КНР. Проектные организации в настоящее время уже заканчивают составление схемы использования тока верхнего Амура с выбором первоочередных объектов гидротехнического строительства. Проектными организациями выполняются работы по составлению схем использования притоков Амура отдельно на территориях СССР и КНР.

В работах по проблеме Амура принимают участие различные научно-исследовательские и проектные организации СССР и КНР. Большой объем исследований выполняется Дальневосточным филиалом Академии наук СССР.

Советско-китайские комплексные исследования по проблеме Амура, проводимые на основе принципов интернационализма и братской взаимопомощи по единому плану и под единым научным руководством, являются ярким свидетельством больших возможностей и преимуществ социалистической науки.

* * *

Проблема Амура — одна из крупных экономических проблем международного значения. Она включает широкий комплекс вопросов, связанных с развитием производительных сил советского Дальнего Востока и

Забайкалья и Северо-Востока (Дунбея) Китайской Народной Республики.

Решение проблемы предполагает изучение природных условий и различных видов природных ресурсов (минерально-сырьевых, энергетических, лесных, рыбных, сельскохозяйственных); выявление и технико-экономическую оценку условий и направлений их использования; характеристику наводнений и ущербов ими приносимых; разработку принципиальной схемы регулирования стока Амура и его притоков; установление принципиальной схемы и перспектив создания единой электроэнергетической системы в бассейне Амура; разработку принципиальной схемы транспортного освоения бассейна Амура; анализ современного состояния и разработку гипотезы развития народного хозяйства в районах советского и китайского Приамурья; установление возможностей и оценку народнохозяйственной эффективности будущих экономических связей между территориями Северо-Востока КНР и советского Дальнего Востока и Забайкалья.

Площадь бассейна Амура достигает 1,9 млн. км² и равна территории, занимаемой такими государствами, как Англия, Франция, ФРГ, Италия, Испания, Швейцария.

Немногим более половины площади бассейна находится на территории СССР, 48% — в пределах Китайской Народной Республики и около 1,5% — на территории Монгольской Народной Республики. Реки бассейна Амура (Аргунь, верхнее и среднее течения Амура, Уссури) на протяжении свыше 3 тыс. км служат естественной границей между Советским Союзом и Китайской Народной Республикой.

Бассейн Амура имеет гористую поверхность, разрезанную широкими речными долинами. Обширные, пригодные для сельскохозяйственного использования равнины расположены в верховьях Аргуни на территории Читинской области и Внутренней Монголии, в Зее-Буренском и Сунгарри-Уссурийском междуречьях, в долинах Сунгари и Нонни. Амур от истока Онона до впадения в Татарский пролив является первой по длине рекой СССР, протяжением 4354 км, из них 2846 км — длина собственно Амура. Амур условно разделяется на три примерно равных по протяженности участка: верхний Амур — от места слияния Шилки с Аргунью до устья р. Зея, средний Амур — от устья Зеи до устья р. Уссури, у г. Хабаровска, нижний Амур — от Хабаровска до Амурского лимана.

По величине стока Амур находится на четвертом месте среди рек СССР и на восьмом в мире. Годовой сток реки оценивается ориентировочно в среднем в 350 км³ воды.

Сток Амура и его притоков отличается резкой сезонной и многолетней неравномерностью. Длительные периоды маловодий сменяются периодами высоких летне-осенних дождевых паводков. Так, в верхнем течении Амура у с. Покровка расходы воды колеблются в пределах от 1,5 до 12000 м³/сек, у г. Хабаровска — от 150 до 41000 м³/сек.

Дождевые паводки служат причиной часто повторяющихся наводнений на Амуре и его притоках. Возникающие время от времени большие и катастрофические наводнения приносят огромный, исчисляемый сотнями миллионов рублей и юаней ущерб народному хозяйству советских и китайских территорий Приамурья, нарушают транспортные связи, затопляют города и селения, тормозят развитие экономики обширного края. Катастрофические наводнения происходили здесь прежде в среднем один раз в 7—8 лет, их повторяемость в последние годы заметно возрастает. Очень крупные наводнения в отдельных районах бассейна Амура наблюдались в 1872, 1897, 1928, 1950, 1953, 1956, 1958 гг. Наиболее

страдают от разливов рек долины Зеи, Уссури, Сунгари, среднего и нижнего Амура.

Разработка и осуществление эффективных мероприятий по борьбе с наводнениями — важнейшая народнохозяйственная задача, с решением которой связано комплексное использование водной энергии Амура и его крупных притоков, освоение богатых природных ресурсов приамурских территорий СССР и КНР.

Районы бассейна Амура, несмотря на их недостаточную геологическую изученность, располагают уже сейчас значительными запасами полезных ископаемых. Очевидно, что в дальнейшем не только увеличатся ресурсы известных видов полезных ископаемых, но и могут быть обнаружены новые виды минерального сырья.

В Приаргунском районе Читинской области известны месторождения сидеритово-лимонитовых и магнетитовых руд. Запасы наиболее крупного, Березовского месторождения определяются в 0,5 млрд. т. В Амурской области расположена группа железорудных месторождений с общими запасами около 1 млрд. т. В наиболее крупном, Гарьском месторождении запасы руды оцениваются около 0,5 млрд. т (содержание железа — 42%). В Мало-Хинганском районе ЕАО Хабаровского края известно более 30 месторождений железистых кварцитов с общими геологическими запасами около 1 млрд. т, в том числе на Кимканокме и Костангинском месторождениях запасы определяются примерно в 0,5 млрд. т (содержание железа — 35,5%). На севере к бассейну Амура примыкает Алданский (Южно-Якутский) железорудный бассейн с огромными запасами высококачественных железных руд. Здесь же расположен мощный каменноугольный бассейн с хорошими коксующимися углями.

Районы советского Приамурья обладают обширными зонами концентрации месторождений полиметаллических руд, меди, вольфрама, молибдена, олова. Многочисленные месторождения Читинской области, Хабаровского края и Приморья в будущем могут служить мощной сырьевой базой для развития многоотраслевой промышленности цветных и других ценных металлов. Велики запасы строительных материалов.

Лесные ресурсы советской части бассейна весьма значительны. Лесопокрытая площадь советской части бассейна (без Читинской области) составляет более 120 млн. га. Общий запас древесины 9 млрд. м³. Заготовка древесины ведется пока в небольших размерах.

Советская часть бассейна Амура характеризуется сравнительно небольшой заселенностью территории и еще слабым развитием сельского хозяйства.

Общая численность населения составляет около 4 млн. человек. Средняя плотность населения составляет 2,4 человека на 1 км² (по СССР — в среднем 9 человек на 1 км²). Особо низка плотность населения в Амурской области — 2 человека на 1 км², в Хабаровском крае — 1,4 человека на 1 км².

В сельскохозяйственном производстве используется лишь около половины имеющихся сельскохозяйственных земельных фондов. В 1957 г. в Амурской области, Хабаровском и Приморском краях под сельским хозяйством использовалось 4,6 млн. га угодий. Общая посевная площадь составляла 1,8 млн. га, в том числе под зерновыми культурами — 1 млн. га.

Велики природные богатства приамурских территорий Северо-Востока Китая. Месторождения железных руд обнаружены в районах Нуньцзян, Ичунь, Чжаохэ, Аньшань-Бэньси и др., меди — в районах Яньцзи,

Хуадьянь, Айгунь, сырье для алюминиевой промышленности — в районах Бэньси, Фучжоуван, Аньдунь. В ряде мест известны месторождения и проявления полиметаллических руд, крупные запасы древесины.

Советские и китайские районы бассейна Амура располагают весьма значительными энергетическими ресурсами.

Общегеологические запасы углей в бассейне Амура в целом на настоящей стадии изученности превышают 200 млрд. т, в том числе на советской территории свыше 40 млрд. т, на китайской — свыше 160 млрд. т. Разведанные запасы углей в советской части бассейна учитываются на 1/1 1958 г. в количестве 11,6 млрд. т, в том числе каменных — 6,8 млрд. т, бурых — 4,8 млрд. т.

Для технологических нужд могут быть использованы после соответствующего обогащения угли Бурейского каменноугольного бассейна в Хабаровском крае и Букачачинского месторождения в Читинской области. Геологические запасы углей Бурейского бассейна оцениваются в 25 млрд. т. Угли относятся к марке газовых коксующихся, средне- и труднообогатимых. Представляет интерес переработка углей с получением кокса, смол, аммиачной воды и др. Основная же часть ресурсов углей может быть использована лишь для энергетических целей. Для нужд стационарной энергетики (электростанции) особого внимания заслуживают буроголистые месторождения: Харанорское — в Читинской области, Райчихинское — в Амурской области, Бикинское — на границе Хабаровского и Приморского краев, добыча угля на которых может проводиться открытым способом — разрезами.

Значительны перспективы освоения Харанорского месторождения. Ученные на 1/1 1958 г. запасы составляют 0,8 млрд. т, перспективные — 2—3 млрд. т. В будущем возможно довести добычу угля здесь до 15—20 млн. т в год с себестоимостью 6—8 руб. за 1 тонну. Харанорское месторождение по запасам углей и возможностям их освоения является в настоящее время единственной разведанной базой для весьма мощных (свыше 1 млн. квт) тепловых электростанций в районах Забайкалья.

Наиболее крупным и изученным месторождением Амурской области является Райчихинское буроголистое месторождение (0,5 млрд. т). Райчихинский уголь, добываемый открытым способом, может иметь себестоимость 18—20 руб. за 1 тонну.

Большой интерес для энергетики представляет разведываемое Бикинское месторождение бурых углей на территории Пожарского района Приморского края. Геологические запасы углей месторождения предварительно оцениваются в 2—3 млрд. т.

Большие запасы высококачественных бурых углей месторождения, его благоприятное расположение относительно крупных промышленных центров и источников водоснабжения, возможность организации добычи открытым способом — все это может превратить Бикинское месторождение в основную базу энергетики Хабаровского и Приморского краев.

Перспективные запасы углей в китайской части бассейна также весьма значительны.

Наиболее крупными месторождениями каменных углей (большей частью коксующихся) являются Хэган, Цзиси, Шуньяшань, Боли и Мишань и др. В южной части Дунбея известны месторождения Фушунь, Бэньси, Фусинь, Бэйпяо и др. В крае значительны запасы бурых энергетических углей, в основном (90%) размещенных в северной части Дунбея. Здесь известны месторождения Чжалайнор, Бэйань, Шулань. В южной части края на территории провинции Ляонин также имеются крупные месторождения бурых углей — Юаньбаошань и Яньци.

Наиболее крупные месторождения бурых углей в советской и китайской частях бассейна Амура могут служить топливной базой для будущих мощных тепловых электростанций.

Весьма велики потенциальные ресурсы гидроэнергии на реках бассейна Амура. По данным Академии наук СССР и Академии наук КНР, среднегодовая мощность водотока на реках бассейна превышает 45 млн. квт (400 млрд. квт-ч потенциальной энергии в год), из которых 12,2 млн. квт приходится на основные притоки Амура на территории КНР, около 12,0 млн. квт на пограничные участки Амура, Аргуни и Уссури и около 21 млн. квт на нижний Амур и притоки Амура на территории СССР. Мощность по рекам распределяется: Амур — 14,3 млн. квт (по всей реке), Зея — 7,1 млн. квт, Уссури — 4,6 млн. квт, Бурей — 4,3 млн. квт, Шилка — 2,7 млн. квт, Сунгари — 2,4 млн. квт, Амгунь — 1,9 млн. квт, Вторая Сунгари — 1,8 млн. квт, Нонни — 1,5 млн. квт, Аргунь — 1,1 млн. квт.

В бассейне Амура имеется возможность получить электроэнергию в массовых количествах при весьма благоприятных технико-экономических показателях ее производства на тепловых и гидроэлектрических станциях.

Из изложенного выше с очевидностью следует, что уже при современной степени изученности экономические районы, расположенные в советской и китайской частях бассейна Амура, обладают значительными минерально-сырьевыми, лесными, сельскохозяйственными и энергетическими ресурсами, народнохозяйственное использование которых может резко поднять производительные силы советского Дальнего Востока, Забайкалья и Северо-Востока Китайской Народной Республики. Рациональное использование природных ресурсов бассейна Амура предполагает необходимость определенной кооперации в будущем экономических районов советского и китайского Приамурья для достижения максимального для обеих стран экономического эффекта.

Дальнейшее систематическое изучение природных богатств бассейна Амура позволит расширить сырьевую базу промышленности и создать новые промышленные центры.

* * *

Программа научных исследований Амурской комплексной экспедиции АН СССР и Хэйлуцзянской комплексной экспедиции АН КНР предусматривает разработку научной гипотезы развития производительных сил на территории бассейна Амура.

За истекшее время амурскими комплексными экспедициями при поддержке центральных и местных партийных и государственных органов достигнуты определенные успехи. Исследованиями охвачены многие малонаселенные и малоизученные районы, проведен большой объем полевых экспедиционных и камеральных работ, собран и обобщается обширный материал.

В проблеме Амура условно могут быть выделены вопросы геолого-географического, гидротехнического, сельскохозяйственного, промышленно-энергетического и транспортного характера.

Геолого-географический комплекс проблемы Амура заключается в исследовании природных условий бассейна, в выявлении и технико-экономической оценке его полезных ископаемых.

Геологическое строение бассейна Амура прежде было изучено лишь на советской территории. Китайская часть бассейна в геологическом отношении была изучена крайне слабо.

Геологические отряды амурских экспедиций составляют схемы геологического строения и прогнозы для поисков полезных ископаемых на участках бассейна, еще не имеющих полноценных геологических карт. Отрядами экспедиций проведены исследования в обширных горных районах северо-западных склонов Большого Хингана, на Малом Хингане, Ваньдашане, Лаоелине, Чжангуаньцайлине, а также в средней и восточной частях провинции Гирин.

В основном выяснены стратиграфия, петрография, тектоника, геологическая история и некоторые закономерности размещения полезных ископаемых, составлены геологические карты.

Проведены в большом объеме исследования климата, гидрологии и геоморфологии бассейна.

Изучение климатических, гидрологических, геоморфологических и геологических особенностей Приамурья позволит более правильно установить возможности развития отдельных отраслей народного хозяйства, размещения отдельных производств.

Гидротехнический комплекс — один из ведущих элементов проблемы Амура. Он включает регулирование стока бассейна Амура для его комплексного народнохозяйственного использования: борьбы с наводнениями, производства гидроэнергии, улучшения условий судоходства, проведения гидромелиоративных мероприятий.

Борьба с наводнениями в бассейне Амура — наиболее неотложная задача, без решения которой широкое хозяйственное освоение природных богатств районов советского и китайского Приамурья невозможно. Наиболее эффективным мероприятием по борьбе с наводнениями следует признать регулирование стока путем создания емких водохранилищ на реках Зея, Бурея, верхний Амур, Нонни, Вторая Сунгари, некоторых притоках Уссури.

Строительство плотин в бассейне Амура одновременно предполагает сооружение и гидроэлектрических станций. Исследованиями Амурской и Хэйлуцзянской комплексных экспедиций и Гидроэнергопроектов КНР и СССР выявлены возможности размещения большого количества гидроэлектрических станций на крупных и средних реках бассейна Амура.

Самые крупные и экономичные ГЭС могут быть созданы на Амуре (на верхнем 4—5 ГЭС, на среднем — одна, на нижнем — 2 ГЭС), на Зее (2—3 ГЭС), на Бурее (2—4 ГЭС), на Второй Сунгари (3 ГЭС). Менее крупные и экономичные гидростанции могут быть сооружены на Селемдже, Аргунн, Шилке, Нонни и ее притоках, на истоках и притоках Уссури.

Наиболее крупные ГЭС на Амуре (Кузнецовская или Сухотинская, Амазарская, Зее (Зейская), Бурее (Тырменская, Желундинская), на Второй Сунгари (Лунванмяо и др.) дадут электроэнергию себестоимостью в пределах 0,5—1,2 коп. за 1 квт-ч при капиталовложениях на 1 квт-ч годовой выработки 30—50 коп., включая ущербы от затоплений, даже если все расходы по строительству будут отнесены на энергетику.

Создание водохранилищ позволит повысить горизонты воды в реках в маловодные сезоны, что улучшит условия судоходства. Маловодье будет устранено попусками воды из водохранилищ, а впоследствии, при сооружении каскада гидростанций — созданием непрерывных бьефов и шлюзованием.

Для дальнейшего воднотранспортного освоения бассейна Амура помимо зарегулирования стока и улучшения условий судоходства на труднопроходимых участках его рек может быть осуществлен ряд водных соединений:

а) нижнего Амура с бухтой Табо Татарского пролива через озера Большое и Малое Кизи и р. Табо;

б) среднего Амура через р. Уссури, оз. Хайка и р. Суйфун с заливом Петра Великого в районе Владивостока;

в) Амура с Желтым морем через Сунгари и Ляохэ.

Большое внимание должно быть уделено вопросам мелиорации земель. Помимо избавления приамурских территорий от затоплений паводками очень важно проведение мероприятий по снижению уровня грунтовых вод в заболоченных районах, а также орошению земель, страдающих от засухи.

Регулирование стока положительно отразится на рыбном хозяйстве бассейна. В крупных искусственных водохранилищах должно быть налажено разведение ценных пород пресноводных рыб, при плотинах должны быть предусмотрены рыбопропускные сооружения.

Сельскохозяйственный комплекс проблемы Амура состоит в дальнейшем развитии сельского хозяйства, в улучшении использования уже освоенных земель, вовлечении в сельскохозяйственное производство новых пахотных и луговых площадей. Увеличение объема сельскохозяйственного производства необходимо для расширения продовольственной базы районов Приамурья. Для полного обеспечения населения сельскохозяйственной продукцией необходимо в будущем увеличить валовое производство растениеводства в 3—4 раза, животноводства — в 6—8 раз.

Решение сельскохозяйственного комплекса проблемы Амура требует осуществления широких мелиоративных работ, применения необходимых видов удобрений, рационального подбора сельскохозяйственных культур и пород скота, широкой механизации и электрификации трудоемких процессов в сельском хозяйстве.

Промышленно-энергетический комплекс проблемы Амура включает создание мощной и экономичной энергетической базы, полностью и надежно обеспечивающей потребности в энергии народного хозяйства, развитие имеющихся и создание новых отраслей промышленности, производств и производственных комплексов в бассейне Амура.

Одним из неперемennых условий успешного развития народного хозяйства в бассейне Амура является рациональная организация энергетической базы, соответствующая требованиям целесообразного размещения и достижения высокого уровня развития производительных сил.

Относительно равномерное распределение энергетических ресурсов по территории бассейна позволяет в каждом районе Приамурья создать в будущем мощную энергетическую базу, не прибегая к передаче электроэнергии на большие расстояния. Однако при решении перспективных схем электроснабжения районов Приамурья следует с самого начала ориентироваться на параллельную работу электростанций, на создание электротехнических систем.

В советской части бассейна Амура необходимость создания энергетических систем усугубляется ожидаемым появлением протяженных по территории потребителей электроэнергии (электрифицируемая железная дорога, нефте- и продуктопроводы).

Освоение энергетических (и в особенности гидроэнергетических) ресурсов в советской и китайской частях бассейна, естественно, вызовет необходимость объединения электротехнических систем в этих районах в единую электротехническую систему (ЕЭС) бассейна Амура. Ее связующими звеньями могут явиться мощные гидростанции совместного пользования на Амуре: Сухотинская или Кузнецовская, Амазарская, Хинганская, а также районные конденсационные электростанции: Харанорская и Бикинская — на территории СССР, Чжалайнорская и Яньцзи — на территории КНР.

Объединение электроэнергетических систем Северо-Востока КНР и советского Дальнего Востока в ЕЭС бассейна Амура абсолютно эффективно и приведет к сокращению электрогенерирующих мощностей (за счет сокращения совмещенного максимума электрической нагрузки и снижения необходимых резервных мощностей), повышению мощностей агрегатов на станциях, улучшению режима работы электрических станций, экономии топлива, разгрузке транспорта, сокращению численности персонала на станциях и др.

Природные ресурсы бассейна Амура позволяют в настоящее время наметить некоторые общие контуры развития основных отраслей промышленности в районах советского и китайского Приамурья.

Советом по изучению производительных сил при Президиуме АН СССР выдвигается в качестве варианта для научной разработки создание в будущем электрометаллургического завода в Амурской области с производством электроугуна, стали и проката с использованием руд Гарьского месторождения и электроэнергии Зейской ГЭС. Этот завод будет составной частью системы предприятий черной металлургии восточнее оз. Байкал (Нерчинский металлургический завод в Читинской области и Чульманский — в Южной Якутии).

В юго-восточных районах Читинской области может быть организовано в крупных масштабах производство полиметаллов и многих металлов, необходимых для народного хозяйства.

Приморский и Хабаровский края по своей специализации представляют крупную сырьевую базу для различных отраслей производства цветных и легких металлов.

Сырьевой базой для производства в районах советского Приамурья различных синтетических материалов (синтетический каучук, пластмассы, синтетические волокна и др.) станет служить нефть, которая может быть получена по трубопроводу, ведущемуся в настоящее время в направлении Башкирия — Новосибирск — Иркутск.

Организация крупных металлургических производств потребует создания коксохимических заводов, последние расширят сырьевые ресурсы для химической промышленности и особенно для производства синтетических материалов.

Широко должны использоваться для химических производств ресурсы древесины. Большое значение приобретает создание в этих районах производства азотных и фосфорных удобрений.

Значительное развитие в советской части бассейна Амура должны получить промышленность строительных материалов, машиностроение, деревопереработка, легкая и пищевая промышленность.

Формирование новых производственных баз и комплексов в бассейне Амура представляет весьма сложную техническую и экономическую проблему.

Предположительно, с учетом современных данных о природных ресурсах советской части бассейна р. Амур, можно наметить следующую схему формирования новых производственных баз и их размещение:

а) Амазарско-Нерчинский промышленный комплекс. Энергетической базой для него могут быть мощная конденсационная электростанция на харанорских углях и Амазарская ГЭС. Основные производства комплекса могут состоять из полиметаллического комбината (выплавка свинца, цинка и т. д.), заводов легких металлов, минеральных (фосфорных) удобрений и других химических продуктов. В отдаленной перспективе здесь может быть создано титановое и медеплавильное производство. К этому промышленному комплексу тяготеет и выдвигаемый к строительству Нерчинский металлургический завод;

б) Зейско-Свободненский промышленный комплекс. Источником электроснабжения может быть Зейская ГЭС (800 тыс. квт), строительство которой настоятельно необходимо для устранения катастрофических наводнений в долинах Зей и среднего Амура. Кроме того, в этот район может передаваться некоторая часть электроэнергии от других амурских тепловых и гидроэлектрических станций (Кузнецовской или Сухотинской ГЭС, Райчихинской ТЭЦ).

Зейско-Свободненский промышленный комплекс в своей производственной специализации определяется наличием в районе железных руд, древесины и дешевой электроэнергии. Основными промышленными предприятиями здесь могут быть электрометаллургический завод, заводы металлостроения, азотноудобные предприятия, деревообрабатывающие и лесохимические заводы;

в) Благовещенско-Райчихинский промышленный комплекс. Энергетической базой этого промышленного комплекса являются теплоэлектростанция на райчихинском буром угле и мощная гидроэлектростанция (Сухотинская или Кузнецовская створ). В этом районе целесообразно создание мощного нефтеперерабатывающего и нефтехимического комбинатов. Нефтехимические продукты являются сырьем для производства пластмасс, синтетического каучука, синтетических волокон, моющих средств и др. Здесь могут быть созданы заводы по производству резины и при необходимости предприятия по производству аммиака и аммиачной селитры.

В среднем течении р. Амур в настоящее время формируется Хабаровский промышленный комплекс. В основном это центр различных отраслей машиностроения. Строительство в будущем Бикинской ГРЭС и мощной Хинганской ГЭС окажет огромное влияние на экономику Хабаровского края. Возможно, в районе Малого Хингана будет целесообразно создание специализированного комбината по производству цветных металлов. Заслуживает изучения вопрос о создании углехимического комбината на базе буренских углей.

В нижнем течении р. Амур развивается крупный промышленный узел в районе г. Комсомольск-на-Амуре. Здесь создается в больших масштабах машиностроение и химическая переработка древесины.

В Приморском крае в будущем получит дальнейшее развитие машиностроение и цветная металлургия.

Быстрыми темпами будет развиваться народное хозяйство в китайских районах бассейна Амура. Северо-Восток Китая уже сейчас занимает первое место в Китайской Народной Республике по выпуску основных видов промышленной продукции (черные и цветные металлы, станки, энергооборудование, химпродукты, древесина и др.), по развитию транспортной сети и энергетики. В условиях осуществления начавшегося в 1958 г. большого скачка в развитии народного хозяйства Китая резко возрастает объем промышленного и сельскохозяйственного производства в Дунбее, Харбине, Цицикаре, Чанчуне и другие города превратились в крупные центры тяжелого машиностроения. Гиринь стал центром химической промышленности, а Хэган, Шуаньяшань, Цзинь, Ляоюань, Чжаолайнонь сформировались как центры угледобывающей промышленности. Различные отрасли промышленности создаются в Муданьцзяне, Цзямуси, Гунчжулине и других городах.

Хэйлуницзянской комплексной экспедицией АН КНР подготовлены научно обоснованные предложения по перспективному развитию различных отраслей народного хозяйства на китайской территории бассейна р. Амур.

В работах по комплексному изучению бассейна Амура весьма важное значение имеет проблема развития экономического сотрудничества

СССР и КНР. Распределение природных ресурсов в двух частях бассейна Амура — советской и китайской — имеет в отдельных случаях свои специфические особенности, благодаря которым создаются благоприятные условия для широкого экономического сотрудничества, для более рационального территориального разделения труда. В будущем совместными усилиями КНР и СССР должны быть осуществлены мероприятия по борьбе с наводнениями в бассейне Амура, создана Единая советско-китайская электроэнергетическая система бассейна Амура. Развитие металлургии в обеих частях бассейна может быть осуществлено с использованием коксующихся углей китайской части бассейна и советских железных руд. Получат дальнейшее развитие транспортные связи между Северо-Востоком Китая и советским Дальним Востоком.

Советско-китайское сотрудничество будет способствовать ускоренному развитию производительных сил на обеих территориях бассейна р. Амур.

Между советскими и китайскими учеными и инженерами возникла тесная, искренняя дружба на почве совместной работы по разрешению проблемы Амура. Советские ученые, как и весь советский народ, желают великому китайскому народу, отмечающему славное десятилетие провозглашения Китайской Народной Республики, дальнейших успехов на пути построения в своей стране социализма.

СОПС АН СССР

Поступила в редакцию
18/VIII 1959

Ю. Г. РЕШЕТНЯК

ИССЛЕДОВАНИЕ МНОГООБРАЗИИ
ОГРАНИЧЕННОЙ КРИВИЗНЫ
ПОСРЕДСТВОМ ИЗОТЕРМИЧЕСКИХ КООРДИНАТ

Нами было установлено [1], что во всяком двумерном многообразии ограниченной кривизны можно ввести изотермические координаты.

Понятие двумерного многообразия ограниченной кривизны введено А. Д. Александровым [2—4]. Теория этих многообразий, основанная на использовании синтетических методов, в настоящее время разрабатывается А. Д. Александровым совместно с сотрудником ЛОМИ АН СССР В. А. Залгаллером. Многообразия ограниченной кривизны представляют собой обобщение двумерных римановых многообразий. Для них действительны следующие понятия двумерной римановой геометрии: длины кривой, геодезической, интегральной кривизны кривой, а также интегральной кривизны и площади множества. Двумерное риманово многообразие является частным случаем многообразия ограниченной кривизны. Другим интересным частным случаем многообразий ограниченной кривизны являются многогранники. Римановы многообразия характеризуются непрерывным распределением кривизны, а на многогранниках кривизна распределена совершенно дискретно.

Многообразия ограниченной кривизны в теории А. Д. Александрова определяются аксиоматически. Как показал А. Д. Александров, они могут определяться как многообразия, допускающие приближение римановыми многообразиями с ограниченными в совокупности интегралами от модуля гауссовой кривизны по площади. Это аппроксимационное определение и было взято за основу в нашей работе [1]. Ее результат открывал возможность построения теории многообразия ограниченной кривизны чисто аналитическими средствами. Такое построение было осуществлено впоследствии, и его результаты приведены в настоящей работе.

1. Сформулируем сначала определения некоторых понятий.

Пусть M — ограниченная связная область на плоскости комплексной переменной $z = x + iy$ и $\lambda(z) \geq 0$ — произвольная неотрицательная измеримая по Берелю функция в M . Для произвольной ломаной $L \subset M$ положим

$$s_\lambda(L) = \int_L \sqrt{\lambda(z)} ds, \quad (1)$$

где ds — элемент длины, $ds = |dz|$. Если z_1 и z_2 — произвольные точки из M , то пусть

$$\rho_\lambda(z_1, z_2) = \inf_{z_1 \in L, z_2 \in L} s_\lambda(L),$$

где нижняя грань берется по всем ломаным $L \subset M$, соединяющим точки z_1 и z_2 . Очевидно, что $\rho_\lambda(z_1, z_2) \geq 0$, $\rho_\lambda(z, z) = 0$, $\rho_\lambda(z_1, z_2) = \rho_\lambda(z_2, z_1)$.

$$\text{и } \rho_\lambda(z_1, z_2) + \rho_\lambda(z_2, z_3) \geq \rho_\lambda(z_1, z_3).$$

Величина $\rho_\lambda(z, \zeta)$ называется метрикой и определяется линейным элементом

$$ds^2 = \lambda(z) |dz|^2.$$

Пусть на плоскости задана вполне аддитивная функция множества $\omega(E)$ с компактным носителем.

Положим

$$\lambda(z) = \exp \left\{ \frac{1}{\pi} \iint_M \ln \frac{1}{|z-\zeta|} \omega(dE_\zeta) + h(z) \right\}, \quad (2)$$

где $z = x + iy$, $h(z)$ — гармоническая функция, интеграл понимается как интеграл Лебега — Стильтьеса.

Будем называть метрику $\rho_\lambda(z, \zeta)$ субгармонической, если функция $\lambda(z)$ может быть представлена в виде (2). Функция $\omega(E)$ называется кривизной метрики $\rho_\lambda(z, \zeta)$.

Основной результат работы [1] состоит в доказательстве того, что в многообразии ограниченной кривизны в окрестности каждой точки можно ввести координаты так, что в этих координатах метрика многообразия будет субгармонической.

Доказательство основывается на некоторой теореме о сходимости метрик. В работе [1] эта теорема представлена в недостаточно общей форме. Дадим более полную формулировку.

Теорема 1. Пусть в ограниченной плоской области M , граница которой состоит из конечного числа простых замкнутых кривых с ограниченной вариацией поворота, задана последовательность функций множества.

$$\omega_n(E) = \omega_n^1(E) - \omega_n^2(E),$$

где $\omega_n^1(E)$ и $\omega_n^2(E)$ — неотрицательные, вполне аддитивные функции множества, определенные в M , причем при $n \rightarrow \infty$ $\omega_n^1(E)$ и $\omega_n^2(E)$ слабо сходятся к функциям множества $\omega_0^1(E)$ и $\omega_0^2(E)$, соответственно. Положим

$$\omega_0(E) = \omega_0^1(E) - \omega_0^2(E);$$

$$\lambda_n(z) = \exp \left\{ \frac{1}{\pi} \iint_M \ln \frac{1}{|z-\zeta|} \omega(dE_\zeta) \right\}, \quad n = 0, 1, 2, \dots$$

Тогда при $n \rightarrow \infty$ метрики $\rho_{\lambda_n}(z, \zeta)$ сходятся к метрике $\rho_{\lambda_0}(z, \zeta)$ равномерно на всяком замкнутом множестве F , не содержащем точек z с $\omega_0^1(z) \geq 2\pi$.

Из теоремы 1 непосредственно вытекает следующая.

Теорема 2. Всякая субгармоническая метрика в плоской области является метрикой ограниченной кривизны по определению А. Д. Александрова.

Доказательство теоремы 1 работы [1] впоследствии нам удалось несколько упростить. Трудность состояла в том, чтобы для функции $\lambda_n(z)$, соответствующей римановой метрике, приближающейся к данной метрике ограниченной кривизны, получить представление вида (2), не содержащее гармонической функции $h(z)$. Эту трудность оказывается возможным преодолеть, не переходя к бесконечным многообразиям, как это делалось в [1], а выражая $h(z)$ через геодезический поворот границы многообразия. Функция $h(z)$ равна логарифмическому потен-

циалу, масса которого сосредоточена на границе и допускает простое выражение через поворот границы и функцию $\omega(E)$.

2. Исследование локальных свойств субгармонической метрики опирается на следующие теоремы.

Теорема 3. Пусть метрика $\rho_\lambda(z_1, z_2)$ в области M субгармоническая. Тогда во всяком замкнутом круге Q с центром $z \in M$, лежащем внутри M , функция $\lambda(z)$ может быть представлена в виде

$$\lambda(z) = \exp \left\{ \frac{1}{\pi} \iint_M \ln \left| \frac{1}{z-\zeta} \right| \tilde{\omega}(dE_\zeta) \right\},$$

где $\tilde{\omega}(E)$ совпадает с кривизной для множеств $E \subset Q$, не пересекающих границу Q .

В случае произвольного $\lambda(z) \geq 0$ метрика ρ_λ может определять в плоскости топологию, отличную от ее естественной топологии (хотя бы потому, что $\rho_\lambda(z_1, z_2)$ может обращаться в нуль для $z_1 \neq z_2$). Для совпадения топологий необходимо и достаточно выполнить следующие условия:

- 1) $\rho_\lambda(z_1, z_2) > 0$ при $z_1 \neq z_2$,
- 2) если $|z_{1n} - z_1| \rightarrow 0, |z_{2n} - z_2| \rightarrow 0$,
то $\rho_\lambda(z_{1n}, z_{2n}) \rightarrow \rho_\lambda(z_1, z_2)$.

Для субгармонической метрики выполнение второго условия на компактном множестве F , не содержащем точек с $\omega^+(z) \geq 2\pi$, гарантируется теоремой 1. Выполнение первого условия обеспечивается следующей леммой.

Лемма 1. Пусть $\lambda(z)$ может быть представлена в виде (2) и $E(\sigma)$ — множество всех z , где $\lambda(z) \leq \sigma$. Тогда для всякого $\varepsilon > 0$ найдется $\sigma > 0$ такое, что ортогональная проекция множества $E(\sigma)$ на любую прямую в плоскости будет иметь линейную меру Лебега, меньшую ε .

3. **Теорема 4.** Пусть $z_0 \in M$ — произвольная точка области M с субгармонической метрикой $\rho_\lambda(z, \zeta)$.

Положим

$$\lambda_h(z) = k_h \lambda(hz + z_0), \quad h > 0,$$

где $k_h = \text{const}$ определяется из условия, что для окружности C радиуса, равного единице, с центром $z = 0$

$$s_{\lambda_h}(C) = 2\pi.$$

Тогда при $h \rightarrow 0$ метрики $\rho_{\lambda_h}(z_1, z_2)$ сходятся к метрике $\rho_{\lambda_0}(z_1, z_2)$;

$$\lambda_0(z) = \frac{1}{|z|^\alpha}, \quad \alpha = \frac{\omega(z_0)}{\pi}.$$

Сходимость равномерна на любом компактном множестве F , не содержащем $z = 0$ в случае, если $\omega(z_0) \geq 2\pi$.

Метрика ρ_{λ_h} представляет собой, так сказать, результат подобного растяжения метрики ρ_λ . Теорема 4 показывает, что субгармоническая метрика имеет в каждой точке, в некотором смысле, касательный конус.

Теорема 5. Всякая субгармоническая метрика является внутренней метрикой.

4. Теорема 6. Пусть M_1 и M_2 — области с субгармоническими метриками ρ_1 и ρ_2 . Если области M_1 и M_2 с этими метриками изометричны, то одну можно преобразовать в другую конформным отображением, совмещающим точки областей, соответствующие по изометрии.

Доказательство теоремы основывается на использовании некоторых результатов исследований Д. Е. Меньшова [5].

5. Геодезические субгармонической метрики. Сначала определим некоторый класс плоских кривых.

Пусть $K(z(u); 0 \leq u \leq 1)$ — плоская кривая. Кривая K называется одностороннегладкой, если в каждой точке K существуют левый и правый касательные орты

$$t_l(u) = \lim_{h \rightarrow -0} \frac{z(t) - z(t+h)}{|z(t) - z(t+h)|},$$

$$t_r(u) = \lim_{h \rightarrow +0} \frac{z(t+h) - z(t)}{|z(t+h) - z(t)|},$$

причем при $v \rightarrow u + 0$

$$t_l(v) \rightarrow t_r(u), \quad t_r(v) \rightarrow t_r(u),$$

а при $v \rightarrow u - 0$

$$t_l(v) \rightarrow t_l(u), \quad t_r(v) \rightarrow t_l(u).$$

Всякая одностороннегладкая кривая спрямляема. Множество точек кривой, где угол $\Rightarrow |t_l(u), t_r(u)| > \alpha > 0$, конечно, и, следовательно, множество всех угловых точек кривой не более чем счетно.

Пусть K — плоская кривая с непрерывной касательной, A и B — ее начало и конец. Поворотом кривой K называется величина $\kappa(K)$, обладающая следующими свойствами:

$$1) \kappa(K) = \Rightarrow (t_A, t_B) + 2\pi N,$$

где t_A и t_B — касательные орты в точках A и B , N — целое число;

2) для дуг $L \subset K$ $\kappa(L)$ как функция дуги непрерывно зависит от ее концов, причем $\kappa(L) \rightarrow 0$, когда дуга стягивается в точку. Этими условиями $\kappa(K)$ определяется однозначно.

Пусть K — произвольная одностороннегладкая кривая без кратных точек, A и B — соответственно ее начало и конец. Построим гладкую кривую L без кратных точек, соединяющую концевые точки A и B , не имеющую с K других общих точек и лежащую целиком по правую сторону K .

Полагаем

$$\kappa(K) = 2\pi - \kappa(L) - \alpha - \beta,$$

где α и β — углы между касательными ортами кривых K и L в точках A и B .

Величина $\kappa(K)$ не зависит от выбора кривой L и в случае гладкой кривой совпадает с поворотом, мы будем называть $\kappa(K)$ поворотом K .

Пусть AB — одностороннегладкая простая дуга, C — произвольная ее внутренняя точка. При этих условиях

$$\kappa(AB) = \kappa(AC) + \kappa(CB) + \Rightarrow (t_l(C), t_r(C)).$$

Дуга AB называется кривой ограниченной вариации поворота, если величина $\kappa(AX)$, где $X \in AB$ как функция X есть функция ограниченной вариации. Вариация $\kappa(AX)$ называется абсолютным поворотом кривой K и обозначается через $|\kappa|(K)$.

Пусть K — произвольная простая дуга на плоскости z , $\varphi(z, K)$ — угол, под которым кривая K видна из точки z , не лежащей на K^* . Для каждой внутренней точки z_0 кривой K $\varphi(z, K)$ стремится к некоторому пределу, когда $z \rightarrow z_0$, оставаясь по одну сторону кривой K . Предел $\varphi(z, K)$, когда $z \rightarrow z_0$, справа или слева относительно K обозначим соответственно через $\varphi^+(z_0, K)$ и $\varphi^-(z_0, K)$. При этом $\varphi^+(z_0, K) - \varphi^-(z_0, K) = 2\pi$.

Пусть z_0 — концевая точка кривой K . Тогда если в точке z_0 существует касательная, то существует предел $\lim_{n \rightarrow \infty} \varphi(z_0, K_n)$, где K_n — дуга кривой K , сходящаяся к K при $n \rightarrow \infty$ и не содержащая точки z_0 . Этот предел примем за $\varphi(z_0, K)$. Функции $\varphi^+(z, K)$ и $\varphi^-(z, K)$ распространим на всю плоскость, полагая

$$\varphi^+(z, K) = \varphi^-(z, K) = \varphi(z, K)$$

для точек z , не являющихся внутренними точками кривой K .

Определение. Пусть L — одностороннегладкая кривая в области M , где задана функция $\lambda(z)$, определенная формулой (2). Величины

$$k_r(L) = \kappa(L) - \frac{1}{2\pi} \iint_M \varphi^-(z, L) \omega(dE_z) \pi$$

$$k_l(L) = -\kappa(L) + \frac{1}{2\pi} \iint_M \varphi^+(z, L) \omega(dE_z)$$

называются соответственно левым и правым геодезическими поворотами кривой L в метрике $\rho_\lambda(z, \zeta)$.

Теорема 7. Если кривая L с концами z_1 и z_2 кратчайшая в метрике $\rho_\lambda(z, \zeta)$, причем $\omega(z_1) < 2\pi$, $\omega(z_2) < 2\pi$, то она является в изотермических координатах плоской кривой ограниченного поворота и ее геодезические повороты слева и справа неположительны.

Теорема 8. Всякая кривая L в многообразии ограниченной кривизны, имеющая поворот ограниченной вариации, по определению А. Д. Александрова [3], в изотермических координатах является плоской кривой ограниченного поворота. При этом введенные выше формально геодезические повороты слева и справа совпадают с поворотами кривой слева и справа, определенными А. Д. Александровым.

Доказательства теорем 7, 8 основываются на использовании предельного перехода и оценок плоского поворота кривой в изотермических координатах через ее поворот в римановой метрике.

Заметим, что условия $\omega(z_1) \neq 2\pi$, $\omega(z_2) \neq 2\pi$ в теореме 7 не могут быть отброшены. Можно указать пример точки z с $\omega(z) = 2\pi$, из которой исходят две кратчайшие L и K , причем при любом топологическом отображении окрестности точки z в плоскость, по крайней мере, одна из кривых L и K переходит в кривую с бесконечным поворотом.

Из теоремы 8 вытекает следующая.

Теорема 9. Функция множества $\omega(E)$ формулы (2) совпадает на всех борелевских множествах E с кривизной, как она определяется А. Д. Александровым.

В качестве приложения теоремы 8 получаем следующую.

* Т. е. $\varphi(z, K)$ — измеренный со знаком угол, зачерчиваемый переменным лучом zX , когда точка X пробегает кривую K .

Теорема 10. Если поверхность $\bar{x} = \bar{x}(u, v)$ в E^3 имеет внутреннюю метрику ограниченной кривизны, и частные производные вектор-функции $\bar{x}(u, v)$ функции \bar{x}_u и \bar{x}_v удовлетворяют условию Гельдера с показателем α , $0 < \alpha < 1$ (причем \bar{x}_u и \bar{x}_v не коллинеарны при всех u, v), то всякая кратчайшая на поверхности $\bar{x}(u, v)$ является гладкой кривой в пространстве.

Доказательство теоремы основано на использовании теоремы 8 и известных результатов Лихтенштейна относительно изотермических координат в римановой метрике с коэффициентами основной квадратичной формы, удовлетворяющими условию Гельдера (см. [6]).

6. В этом разделе доказываются теоремы, которые могут быть полезны при решении разного рода экстремальных задач.

Выпуклым конусом будем называть область D на конусе Q с неотрицательной кривизной в вершине, такую, что поворот любой дуги границы Γ области D со стороны D неотрицателен.

Теорема 11. Пусть R — произвольная гомеоморфная кругу область в многообразии ограниченной кривизны, причем ее граница G имеет поворот ограниченной вариации и $\omega^+(R^0) < 2\pi$, где R^0 — множество внутренних точек R . Тогда существует такой выпуклый конус D , что $\omega(D) \leq \omega^+(R^0)$, и D допускает отображение φ на область R , при котором граница Γ конуса D отображается на G топологически; каждая дуга Γ переходит в дугу кривой G , имеющую ту же длину, и для любых точек $X, Y \in D$.

$$\rho_D(X, Y) \geq \rho_R(\varphi(X), \varphi(Y)),$$

где $X' = \varphi(X)$, $Y' = \varphi(Y)$, ρ_D — расстояние в D , ρ_R — расстояние в R .

Теорема 12. Площадь конуса D из теоремы 11 не меньше площади области R , для любой дуги $K \subset \Gamma$

$$k_g^+(K) \leq k_g^+(K'), \quad k_g^-(K) = 0, \quad k' = \varphi(K),$$

где $k_g^+(K)$ — поворот дуги K со стороны D , $k_g^+(K)$;

$k_g^-(K)$ — его верхняя и нижняя вариации. Если некоторая дуга кривой G кратчайшая в метрике области R , то соответствующая дуга кривой Γ также кратчайшая.

Для доказательства теоремы 11 поступаем следующим образом. В области R вводим изотермические координаты (x, y) так, чтобы областью изменения координат служил единичный круг Q ($|z| \leq 1$). В этих координатах

$$\lambda(z) = \exp \left\{ \frac{1}{\pi} \iint_Q \ln \frac{1}{|z-\zeta|} \omega(dE_\zeta) + h(z) \right\}.$$

Пусть $G(z, \zeta)$ — функция Грина для круга $\{|z| \leq 1\}$. $G(z, \zeta) = 0$ при $|z|=1$. Положим

$$u(z) = \frac{1}{\pi} \iint_Q G(z, \zeta) \omega^-(dE_\zeta).$$

Тогда $u(z) = 0$ при $|z|=1$ и $u(z) \geq 0$ при $|z| < 1$. Положим

$$\lambda^*(z) = [\exp u(z)] \lambda(z).$$

Тогда очевидно, что $\lambda^*(z) = \lambda(z)$ при $|z|=1$ и $\lambda^*(z) \geq \lambda(z)$ внутри круга R . Кривизна метрики $ds^2 = \lambda^*(z) |dz|^2$ равна $\omega^+(E)$.

Действительно,

$$u(z) = \frac{1}{\pi} \iint_Q G(z, \zeta) \omega^-(dE_\zeta) = \frac{1}{\pi} \iint_Q \ln \frac{1}{|z-\zeta|} \omega^-(dE_\zeta) + \\ + \frac{1}{\pi} \iint_Q h(z, \zeta) \omega^-(dE_\zeta) = \frac{1}{\pi} \iint_Q \ln \frac{1}{|z-\zeta|} \omega^-(dE_\zeta) + H(z),$$

где $H(z) = \frac{1}{\pi} \iint_Q h(z, \zeta) \omega^-(dE_\zeta)$ — гармоническая функция.

Значит

$$\ln \lambda^*(z) = \frac{1}{\pi} \iint_Q \ln \frac{1}{|z-\zeta|} \omega^+(dE_\zeta) - \frac{1}{\pi} \iint_Q \ln \frac{1}{|z-\zeta|} \times \\ \times \omega^-(dE_\zeta) + u(z) + h(z) = \frac{1}{\pi} \iint_Q \ln \frac{1}{|z-\zeta|} \omega^+(dE_\zeta) + H(z) + h(z),$$

что и требовалось доказать.

Очевидно, что $\rho_{\lambda^*}(z_1, z_2) \geq \rho_\lambda(z_1, z_2)$, и доказательство сводится, как вытекает из предыдущего, к случаю метрики неотрицательной кривизны. Для последнего случая доказательство осуществляется посредством приближения многогранными метриками неотрицательной кривизны.

Теоремы предыдущего раздела допускают следующее обобщение. Кривизной относительно K , где $K = \text{const}$, в многообразии ограниченной кривизны назовем величину

$$\omega_K(E) = \omega(E) - K\sigma(E),$$

где $\sigma(E)$ — площадь множества E .

Если $\omega_K(E)$ неположительна, многообразие называется многообразием кривизны, не большей K .

Теорема 13. Пусть D — гомеоморфная кругу область в многообразии кривизны, не большей K , причем в случае $K > 0$ периметр D не превосходит $\frac{2\pi}{\sqrt{K}}$, а диаметр не превосходит $\frac{\pi}{\sqrt{K}}$. Тогда существует

выпуклая область Q на плоскости постоянной кривизны, равной K , допускающая отображение φ на D , такое, что при этом каждая дуга границы Q переходит в дугу той же длины границы D и для любых $X, Y \in Q$ $\rho(X, Y) \geq \rho[\varphi(X), \varphi(Y)]$.

Пусть $K < 0$. Назовем выпуклым K -конусом полное метрическое пространство R , гомеоморфное либо замкнутому кругу, либо замкнутому кругу с выколотым центром, такое, что: 1) в окрестности каждой внутренней точки, кроме, может быть, одной — вершины конуса, когда R компактно, метрика R риманова и имеет постоянную кривизну, равную K ; 2) поворот любой дуги границы R со стороны K не отрицателен; 3) полный угол Θ при вершине конуса не превосходит 2π . В случае, если выпуклый конус конечен, он изометричен боковой поверхности некоторого конуса в пространстве Лобачевского. Положим

$$\omega_K^0(R) = 2\pi - k(\Gamma),$$

где $k(\Gamma)$ — поворот границы конуса R .

В случае, когда конус конечен,

$$\omega_K^0(R) = K\sigma(R) - \omega_0,$$

где $\sigma(R)$ — площадь конуса;

ω_0 — кривизна при его вершине.

Теорема 14. Положим для произвольного пространства ограниченной кривизны

$$\omega_K^0(E) = \omega^+(E) - K\sigma(E),$$

где $\sigma(E)$ — площадь.

Пусть D такая гомеоморфная кругу область в многообразии ограниченной кривизны, что

$$\omega_K(D^0) < 2\pi - K\sigma(E),$$

где D^0 — внутренность D .

Тогда существует выпуклый K -конус R , допускающий отображение φ на D такое, что при этом граница R отображается на границу D топологически, причем каждая дуга границы переходит в дугу той же длины и для любых $X, Y \in R$

$$\rho_R(X, Y) \geq \rho_D[\varphi(X), \varphi(Y)].$$

Многообразие кривизны, не большей K , обладает следующим изопериметрическим свойством [7]. Область в таком многообразии, ограниченная кривой длины l , имеет площадь, не превосходящую площади круга с тем же периметром на поверхности постоянной кривизны, равной K .

Если какое-либо многообразие, для которого определены длина кривой и площадь плоской области, обладает данным свойством, мы будем говорить, что в этом пространстве имеет место изопериметрия с постоянной K .

Пусть M — область на плоскости переменной z , в которой задана такая измеримая по Борелю функция $\lambda(z) \geq 0$, что множество всех z , где $\lambda(z) = 0$, имеет нулевую меру Лебега. Область M с функцией $\lambda(z)$ будем обозначать через (M, λ) . В (M, λ) определим длину кривой по формуле (1), которую в данном случае можно применить к любой спрямляемой кривой. Площадь множества определим по формуле:

$$\sigma(E) = \iint_E \lambda(z) dx dy.$$

Теорема 15. Пусть многообразие (M, λ) таково, что для всякого компактного множества $F \subset M$ существует такое $\varepsilon > 0$, что для всякого круга $\{|z - z_0| \leq r\}$, где $z_0 \in F$, а $r < \varepsilon$, имеет место изопериметрия с постоянной K . Тогда многообразие (M, λ) представляет собой двумерное многообразие ограниченной кривизны, причем для любого E

$$\omega(E) \leq K\sigma(E),$$

где $\omega(E)$ — кривизна.

7. Для исследования двумерных многообразий ограниченной кривизны в некоторых случаях оказывается полезным уметь формулировать теоремы о приближении такого многообразия двумерными римановыми многообразиями при менее ограничительных условиях, чем в формулировке, которая использовалась в работе [1] при доказательстве основной теоремы о существовании изотермических координат. Приводим некоторые теоремы.

Теорема 16. Пусть в круге R ($|z| \leq 1$) задана такая последовательность функций

$$\lambda_n(z) = \exp\left\{\frac{1}{\pi} \iint_R \ln \frac{1}{|z-\zeta|} \omega_n(dE_\zeta) + h(z)\right\} \quad (1)$$

что для всех n

$$\iint_R \lambda_n(z) dx dy \leq A_1, \quad \omega_n^+(R) \leq A_2,$$

где $A_1 < \infty$ и $A_2 < \infty$ — постоянные, причем для каждого $\varepsilon > 0$ существует такое $\delta > 0$, что

$$\iint_{K_\delta \cap R} \lambda_n(z) dx dy > \varepsilon$$

при всех n , где K_δ — произвольный круг радиуса δ . Тогда найдется конечная неубывающая функция $A(t)$, такая, что при всех n $\omega_n^-(Q_t) < A(t)$, (здесь Q_t — круг $\{|z| \leq t\}$, $0 < t < 1$). При этом вариация поворота окружности $\{|z| = t\}$ в метрике ρ_{λ_n} при всех n не превосходит некоторой конечной функции $B(t)$ при $0 < t < 1$. Опираясь на эту теорему, можно доказать следующую.

Теорема 17. Пусть в круге R ($|z| \leq 1$) заданы метрики $\rho_{\lambda_n}(z, \zeta)$, где $\lambda_n(z)$ определяется формулой (2), причем выполняются следующие условия:

$$1) \iint_R \lambda_n(z) dx dy \leq A_1 < \infty \quad \text{при всех } n;$$

$$2) \omega_n^+(R) \leq A_2 \quad \text{при всех } n;$$

3) метрики $\rho_{\lambda_n}(z_1, z_2)$ топологически равномерно эквивалентны естественной метрике круга. Тогда существуют функции $A(t)$ и $k(t)$, $0 < t < 1$, такие, что при всех n и t

$$\omega_n^-(R_t) < A(t) < \infty, \quad |k_{g,n}|(C_t) < k(t),$$

где R_t — круг $\{|z| \leq t\}$,
 C_t — окружность $|z| = t$.

8. Рассмотрим вопрос об изотермических координатах в двумерных многообразиях, гомеоморфных сфере.

Пусть S — сфера радиуса, равного единице, в обычном евклидовом пространстве. Будем рассматривать на сфере дифференциальные формы вида $\lambda(x)|dx|^2$,

где x — точка сферы,

$|dx|$ — линейный элемент сферы;

$\lambda(x) \geq 0$ — произвольная измеримая функция на сфере.

Метрика $\rho_\lambda(x_1, x_2)$ на сфере определяется аналогично тому, как это делалось для плоских областей. Вместо плоских ломаных нужно брать сферические. Метрику $\rho_\lambda(x_1, x_2)$ назовем субгармонической, если функция $\lambda(x)$ обладает следующим свойством. На сфере S существует вполне аддитивная функция множества $\omega(E)$, такая, что в окрестности U каждой точки $x \in S$ функцию $\lambda(x)$ можно представить в виде

$$\lambda_x = \exp\left\{\frac{1}{\pi} \iint_V \ln \frac{1}{|z-\zeta|} \omega(dE_\zeta) + h(z)\right\},$$

где $z = u + iv$, u, v — изотермические координаты сферы в окрестности U .

Теорема 18. Всякая субгармоническая метрика на сфере является метрикой ограниченной кривизны, и функция $\omega(E)$ совпадает с ее кривизной, определенной А. Д. Александровым.

Чтобы произвольно заданная функция $\omega(E)$ могла служить кривизной произвольной субгармонической метрики, необходимо и достаточно, чтобы выполнялось равенство

$$\omega(S) = 4\pi.$$

В случае, если носитель $\omega(E)$ состоит из конечного числа точек и $\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_m$ — значения $\omega(E)$ в этих точках, причем $\omega_j < 2\pi, j = 1, 2, \dots, m$, то сфера S с метрикой ρ_λ изометрична замкнутому многограннику, гомеоморфному сфере. Всякое двумерное многообразие ограниченной кривизны, гомеоморфное сфере, изометрично сфере S с некоторой субгармонической метрикой.

Для субгармонических метрик на сфере справедлива теорема о сходимости метрик, рассмотренная выше для случая метрик на плоскости, и некоторые другие теоремы.

9. Сформулируем одно обобщение теоремы о сходимости метрик на случай метрики, заданной на всей плоскости.

Пусть K_r означает внешность круга радиуса r с центром в начале координат.

Теорема 19. Пусть $\omega_1(E), \omega_2(E), \dots, \omega_n(E), \dots$ — вполне аддитивные функции на плоскости, такие, что выполняется следующее условие:

$$\int_R^\infty \frac{\omega_n(K_r)}{r} dr < A$$

для всех n . Положим

$$\lambda_n(z) = \exp \left\{ \frac{1}{n} \iint \ln \frac{1}{|z-\zeta|} \omega_n(dE_\zeta) \right\}.$$

Тогда если

$$\omega_n(E) = \omega_n^1(E) - \omega_n^2(E),$$

где $\omega_n^1(E)$ — неотрицательные функции множества, слабо сходящиеся при $n \rightarrow \infty$ к некоторым функциям $\omega_0^1(E)$ и $\omega_0^2(E)$, то метрики $\rho_{\lambda_n}(z_1, z_2)$ при $n \rightarrow \infty$ сходятся к метрике $\rho_\lambda(z_1, z_2)$ равномерно на каждом компактном множестве F , не содержащем точек z и $\omega(z) \geq 2\pi$.

10. Условия непрерывности $\lambda(z)$. Здесь рассматривается следующая задача: указать достаточные условия, которым должна удовлетворять метрика многообразия ограниченной кривизны, чтобы функция $\lambda(z)$ в изотермическом задании многообразия обладала теми или иными функциональными свойствами.

Предварительно рассматриваются некоторые свойства логарифмического потенциала.

Пусть $\mu(E)$ — вполне аддитивная функция множества, определенная в ограниченной плоской области M . Положим

$$\rho_k(z, \mu) = \iint_M \left| \frac{1}{z-\zeta} \right|^k \mu(dE_\zeta) \text{ при } k > 0, \rho_0(z, \mu) = \iint_M \ln \frac{1}{|z-\zeta|} \cdot \mu(dE_\zeta),$$

где интеграл понимается как интеграл Лебега—Стилтьеса. Пусть $K_r(z_0)$ — круг $\{|z - z_0| \leq r\}$, $C_r(z_0)$ — окружность $\{|z - z_0| = r\}$. Полагаем

$$\mu(r, z_0) = \mu[K_r(z_0)].$$

Теорема 20. Пусть $\mu(E) \geq 0$ при всех E . Тогда, чтобы функция $\rho_k(z, \mu), k \geq 0$ была ограниченной в точках замкнутого множества $A \subset M$, необходимо и достаточно, чтобы существовали постоянные $h > 0$ и $A < \infty$, такие, что при любом $z \in A$

$$\int_0^h \frac{\mu(r, z)}{r^{k+1}} dr < A.$$

Чтобы $\rho_k(z, \mu)$ была непрерывна в точках множества A , необходимо и достаточно, чтобы при $h \rightarrow 0$

$$\int_0^h \frac{\mu(r, z)}{r^{k+1}} dr \rightarrow 0$$

равномерно для $z \in A$.

Теорема 21. Функция $\rho_0(z, \mu)$ имеет обобщенные (по С. Л. Соболеву [8]) первые производные

$$\frac{\partial \rho_0(z, \mu)}{\partial x} \text{ и } \frac{\partial \rho_0(z, \mu)}{\partial y},$$

суммируемые на M с любой степенью $q < 2$. Если при этом функция $\rho_0(z, \mu)$ ограничена на M ,

$$|\rho_0(z, \mu)| \leq H,$$

то ее производные суммируемы с квадратом, причем

$$\left\{ \iint_M \left(\left[\frac{\partial \rho_0(z, \mu)}{\partial x} \right]^2 + \left[\frac{\partial \rho_0(z, \mu)}{\partial y} \right]^2 \right) dx dy \right\}^{\frac{1}{2}} \leq 4\pi H |\mu|(M),$$

где $|\mu|(M)$ — полная вариация функции $\mu(E)$.

В случае, если функция $\mu(E)$ является интегралом функции $f(z)$, суммируемой со степенью $q > 1$, то функция $\rho_0(z, \mu)$, как известно [4], имеет суммируемые со степенью q обобщенные вторые производные. В случае, если $f(z)$ ограничена, вторые производные потенциала $\rho_0(z, \mu)$ суммируемы с любой степенью $q < \infty$, однако не являются ограниченными функциями.

Используя теоремы вложения С. Л. Соболева [8], нетрудно установить некоторые функциональные свойства первых производных потенциала $\rho_0(z, \mu)$, справедливые, когда $\mu(E)$ есть интеграл функции $f(z)$. Те же функциональные свойства первых производных имеют место, однако, если $\mu(E)$ удовлетворяет менее ограниченным условиям.

Теорема 22. Если $\mu(E) \geq 0$ такова, что

$$\int_0^h \frac{\mu(r, z)}{r^{1+\alpha}} dr < A < \infty, 0 < \alpha \leq 1, h = \text{const}$$

для всех $z \in M$, то функция $\rho_0(z, \mu)$ удовлетворяет условию Гельдера с показателем α . Первые производные функции $\rho_0(z, \mu)$ суммируемы с любой степенью $q < \frac{2-\alpha}{1-\alpha}$ во всяком ограниченном плоском множе-

стве A . При $\alpha = 1$ первые производные функции $\rho_0(z, \mu)$ ограничены и $\rho_0(z, \mu)$ удовлетворяет условию Липшица.

Теорема 23. Если $\mu(E) > 0$ такова, что

$$\int_0^h \frac{\mu(r, z)}{r^{2+\alpha}} dr < A < \infty, \quad 0 < \alpha < 1, \quad h = \text{const}$$

для всех $z \in M$, то первые производные функции $f(z)$ непрерывны и удовлетворяют условию Гельдера с показателем α .

Применение приведенных теорем к исследованию вопроса, какие свойства функции $\lambda(z)$ обеспечиваются теми или иными геометрическими свойствами метрики, основывается на следующей лемме.

Лемма. Пусть в ограниченной плоской области M задана метрика $\rho_\lambda(z_1, z_2)$, где $\lambda(z)$ может быть представлена в виде (2).

Пусть $K_g(r, z)$ — совокупность всех точек $\xi \in M$, таких, что $\rho_\lambda(z, \xi) \leq r$. Предположим, что в M задана неотрицательная, вполне аддитивная функция множества $\mu(E)$, и пусть $\mu_g(r, z) = \mu[K_g(r, z)]$. Тогда, чтобы функция

$$\varphi_h(z) = \int_0^h \frac{\mu(r, z)}{r^k} dr, \quad h > 0$$

была ограниченной на множестве F , не содержащем точек z с $\omega(z) \geq 2\pi$, необходимо и достаточно, чтобы на F была ограниченной функция

$$\psi_h(z) = \int_0^h \frac{\mu_g(r, z)}{r^k} dr.$$

Чтобы при $h \rightarrow 0$ функция $\varphi_h(z)$ сходилась к нулю равномерно на F , необходимо и достаточно, чтобы $\psi_h(z)$ сходилась к нулю равномерно на F .

Теорема 24. Для всякого $p > 0$ существует также множество $E_1(p)$, состоящее из конечного числа точек, что $\lambda(z)$ суммируема со степенью p на любом компактном множестве F , не пересекающем $E_1(p)$. Для всякого q , если $1 \leq q < 2$, найдется конечное множество $E_2(q)$, такое, что функция $\lambda(z)$ будет иметь обобщенные первые производные, суммируемые со степенью q на всяком компактном множестве F , не пересекающем $E_2(q)$. Если функция $\lambda(z)$ такова, что при всех z $0 < \lambda_0 < \lambda(z) < \lambda_1$, где λ_0, λ_1 — постоянные, то $\lambda(z)$ имеет в M обобщенные первые производные, суммируемые с квадратом.

Теорема 25. Пусть $\omega(E)$ — кривизна метрики $\rho_\lambda(z_1, z_2)$, $\mu(E) = |\omega|(E)$, причем для всех $z \in F$

$$\varphi_h(z) = \int_0^h \frac{\mu_g(r, z)}{r^k} dr < A,$$

где $h > 0$ и $A < \infty$ — постоянные, а F — компактное множество.

Тогда если $k = 1$, существуют постоянные λ_0 и λ_1 такие, что $0 < \lambda_0 < \lambda(z) < \lambda_1$ для всех $z \in F$. При этом, если $\varphi_h(z) \rightarrow 0$ при $h \rightarrow 0$ равномерно на F , то $\lambda(z)$ на F непрерывна.

При $1 < k \leq 2$ функция $\lambda(z)$ непрерывна и удовлетворяет на F ус-

ловию Гельдера с показателем α , а ее первые производные суммируемы с любой степенью $q < \frac{3-k}{2-k}$ при $k < 2$ и ограничены на F при $k = 2$.

Наконец, при $2 < k < 3$ первые производные функции $\lambda(z)$ удовлетворяют условию Гельдера с показателем $\alpha = k - 2$.

Теорема 26. Пусть функция

$$\omega(E) = \iint_E K(z) d_2\sigma, \quad d_2\sigma = \lambda(z) dx dy,$$

где $K(z)$ — гауссова кривизна метрики $\rho_\lambda(z_1, z_2)$.

Тогда, если

$$\iint_M |K(z)| \rho d_2\sigma < A < \infty,$$

где $\rho > 1$, то функция $\lambda(z)$ имеет обобщенные вторые производные, суммируемые со степенью ρ в области M .

11. В этой части работы устанавливаются некоторые общие условия, которым должно удовлетворять двумерное многообразие с внутренней метрикой, чтобы в нем можно было ввести изометрические координаты.

Пусть в круге R ($|z| \leq 1$) задано семейство метрик $\rho^\alpha(z, \zeta)$. Будем называть метрики ρ^α равностепенно эквивалентными, если: 1) каждая из них порождает в R топологию, совпадающую с естественной топологией круга; 2) для всякого $\varepsilon > 0$ найдется $\delta > 0$ такое, что если $|z_1 - z_2| < \delta$, то $\rho^\alpha(z_1, z_2) < \varepsilon$ для любых α и $z_1, z_2 \in R$; 3) для всякого $\varepsilon > 0$ найдется $\delta > 0$ такое, что если, хотя бы для одного α $\rho^\alpha(z_1, z_2) < \delta$, то $|z_1 - z_2| < \varepsilon$.

Теорема 27. Пусть в круге R задано семейство равностепенно эквивалентных многогранных метрик, такое, что площади R в этих метриках не превосходят некоторой постоянной $A < \infty$. Пусть Q — круг ($|\zeta| \leq 1$) на плоскости переменной ζ ; a, b, c — три точки на границе Q ; A, B, C — точки на границе R . Построим для каждого α отображение $f_\alpha(z)$ круга Q на R , конформное в метрике $\rho^\alpha(z_1, z_2)$ и такое, что

$$f_\alpha(a) = A, \quad f_\alpha(b) = B, \quad f_\alpha(c) = C.$$

Семейство отображений $f_\alpha(\zeta)$ равностепенно непрерывно. Если метрики $\rho^\alpha(z, \zeta)$ таковы, что площадь геодезического круга радиуса r в любой из метрик ρ^α не превосходит $B r^2$, $B = \text{const} < \infty$, то семейство отображений $g_\alpha(z)$, обратных $f_\alpha(z)$, также равностепенно непрерывно.

Пусть R — двумерное многообразие с внутренней метрикой. Полагаем, что в точке $X \in R$ существует касательный конус $Q(X)$, если для всякого $\varepsilon > 0$, $\varepsilon < 1$ найдется окрестность U_ε точки X такая, что существует отображение $\varphi(X)$ этой окрестности на окрестность вершины конуса $Q(X)$, для которого

$$1 - \varepsilon < \frac{\rho_R(X, Y)}{\rho_Q(X', Y')} < \frac{1}{1 - \varepsilon},$$

где $X' = \varphi(X)$, $Y' = \varphi(Y)$ для любых $X, Y \in U_\varepsilon$.

Теорема 28. Если R — многообразие ограниченной кривизны, то в каждой его точке X , кривизна которой отлична от 2π , существует касательный конус.

Пусть R — двумерное многообразие с внутренней метрикой $\rho(X, Y)$ и $\rho_1(X, Y), \rho_2(X, Y), \dots, \rho_n(X, Y), \dots$, — последовательность метрик в R .

Метрики ρ_n назовем пропорционально сходящимися к метрике $\rho_n(X, Y)$, если отношение

$$\frac{\rho_n(X, Y)}{\rho(X, Y)} \rightarrow 1$$

равномерно в R при $n \rightarrow \infty$.

Теорема 29. Если в каждой точке многообразия R существует касательный конус, то существует последовательность многогранных метрик $\rho_n(X, Y)$, пропорционально сходящихся к метрике многообразия.

Теорема 30. Если в каждой точке многообразия R существует касательный конус, то метрика всякой гомеоморфной кругу области $M \subset R$ может быть определена изотермическим линейным элементом

$$ds^2 = \lambda z(dx^2 + dy^2).$$

Ограниченность кривизны многообразия в теоремах 29 и 30 не требуется.

Институт математики
Сибирского отделения АН СССР

Поступила в редакцию
6/VI 1959

ЛИТЕРАТУРА

1. Ю. Г. Решетняк, Изотермические координаты в многообразиях ограниченной кривизны. ДАН СССР, т. 94, № 4, 1954.
2. А. Д. Александров, Основы внутренней геометрии поверхностей. ДАН СССР, т. 60, № 9, 1948.
3. А. Д. Александров, Кривые в двумерных многообразиях с метрикой ограниченной кривизны. ДАН СССР, т. 63, № 4, 1948.
4. A. D. Aleksandrow, Die innere Geometrie der konvexen Flächen. Berlin, 1955.
5. D. E. Menchoff, Sur une généralisation d'un théorème de M. H. Bohr. Матем. сб., т. 2(44), вып. 2, 1937.
6. L. Lichtenstein, Zur Theorie der konformen Abbildung. Konforme Abbildung nicht analytischer singularitätenfreien Flächenstücke auf ebene Gebiete. Bull. de l'Acad. des Sci. de Cracovie, Ser. A, 1916.
7. А. Д. Александров, Одна теорема о треугольниках в метрическом пространстве и некоторые ее применения. Тр. матем. ин-та им. В. А. Стеклова, т. 38, 1951.
8. С. Л. Соболев, Некоторые применения функционального анализа в математической физике. Изд. ЛГУ, Л., 1950.

Л. А. КРУММ

ДВЕ ФОРМЫ БОЛЕЕ ОБЩИХ УРАВНЕНИЙ ЭКОНОМИЧНОГО РЕЖИМА ОБЪЕДИНЕННЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Существующие методы определения экономичных режимов энергетических систем основываются обычно на весьма грубых упрощениях при учете уравнений стационарного режима электрической системы. Такие упрощения допустимы только для небольших концентрированных систем с незначительной разницей в характеристиках относительных приростов стоимости топлива отдельных станций с однообразным изменением нагрузок узловых точек и с относительно короткими и жесткими электрическими связями.

Для будущих объединенных энергосистем и ЕЭС СССР с большой разницей в характеристиках относительных приростов стоимости топлива в отдельных концентрированных системах, с весьма разнообразным характером изменения нагрузок отдельных концентрированных систем (в частности, в результате большой разницы в местном времени) и с относительно разветвленными длинными и мощными межсистемными связями (эти условия особенно характерны для единой энергетической системы Сибири) обычно принятые упрощения не являются уже достаточно правильными. Поэтому в случае будущих объединенных энергосистем и ЕЭС использование существующих упрощенных методов расчетов может привести к значительному увеличению суммарной стоимости расхода топлива.

Отсюда следует, что в настоящее время становится особенно актуальной задача разработки более общей методики определения экономичных режимов объединенных энергосистем. Такую методику можно использовать, во-первых, для анализа точности и, следовательно, для определения областей использования различных существующих упрощенных методов; во-вторых, для разработки новых упрощенных методов в зависимости от конкретных параметров отдельных частей ЕЭС, когда существующие методы являются недостаточно точными; в-третьих, для определения экономичных режимов в более общей форме, когда упрощенные методы недостаточно точны (в частности, для определения экономичных режимов параллельной работы отдельных концентрированных систем, внутри которых экономичный режим определяется на основе упрощенных методов).

В данной статье приводятся две возможные формы более общих, по сравнению с существующими, уравнений экономичного режима, даются основные принципиальные положения решения этих уравнений и намечаются задачи дальнейшей исследовательской работы в указанном направлении.

Принято, что объединенная система любой сложности состоит из m узловых точек (с номером $i = 1, \dots, m$), к которым могут быть подключены как генерируемые, так и нагрузочные мощности. Предполагается,

что фиктивная станция, регулирующая частоту и напряжение узла № 1, находится в том же узле. Фиктивной эта станция будет с точки зрения определения экономических значений генерируемых активных и реактивных мощностей.

Более общая задача определения экономического режима объединенных энергосистем и ЕЭС заключается в определении экономических значений регулируемых параметров. Такими параметрами будут генерируемые активные мощности узловых точек P_{r2}, \dots, P_{rm} или взаимные углы между векторами напряжения узловых точек $\delta_{12}, \dots, \delta_{1m}$; генерируемые реактивные мощности узловых точек Q_{r2}, \dots, Q_{rm} или напряжения узловых точек U_1, \dots, U_m и комплексные коэффициенты трансформации регулируемых трансформаторов:

$$K_1 = K_1 e^{j\theta_1}, \dots, K_r = K_r e^{j\theta_r}$$

Экономичными значениями регулируемых параметров называются такие их значения, при которых суммарная стоимость расхода топлива

$$T = \sum_{j=1}^m T_j = T \left(\left\{ P_{r2}, \dots, P_{rm} \right\} \left\{ Q_{r2}, \dots, Q_{rm} \right\}, K_1, \dots, K_r, \theta_1, \dots, \theta_r \right) \quad (1)$$

в рассматриваемый промежуток времени будет иметь минимум. Этот минимум определяется с учетом условий, ограничивающих регулируемые параметры с точки зрения обеспечения необходимого качества энергии (ограничения относительно U_1, \dots, U_m) и надежности режима. Последняя заключается в предотвращении перегрузки отдельных элементов, снижения необходимых резервов активной и реактивной мощностей (ограничения относительно $P_{r1}, \dots, P_{rm}, Q_{r1}, \dots, Q_{rm}$) и обеспечении заданных запасов статической устойчивости (ограничения относительно $\delta_{12}, \dots, \delta_{1m}$ и U_1, \dots, U_m).

Более общую задачу определения экономического режима можно решить на основе двух форм более общих уравнений экономического режима и соответственных способов их решения, разработанных на базе более общей методики расчета стационарных режимов с учетом статических характеристик нагрузок и генераторов при автоматическом регулировании режима [1—4].

Первая форма более общих уравнений (см. [4]) позволяет определить экономичный режим непосредственно, без дополнительных условий, вытекающих из метода неопределенных множителей Лагранжа, в виде балансов мощностей по всей системе или же по узловым точкам.

Предположим, что в узле № 1 находится частоторегулирующая станция, а все остальные генерируемые активные мощности узлов и напряжения всех узлов поддерживаются неизменными при помощи автоматического регулирования.

При этом вектор параметров режима имеет вид:

$$X = (P_{r1}, Q_{r1}, \dots, Q_{rm}, \delta_{12}, \dots, \delta_{1m}). \quad (2)$$

Регулируемые параметры, экономичные значения которых необходимо определить, можно рассматривать как факторы возмущения:

$$\lambda = P_{r2}, \dots, P_{rm}, U_1, \dots, U_m, K_1, \dots, K_r, \theta_1, \dots, \theta_r, \quad (3)$$

где r — число регулируемых трансформаторов.

При этом регулируемым параметром не является то напряжение узла № k которое из предварительных экономических соображений при-

нимается наибольшим по сравнению с напряжениями остальных узлов. Это напряжение U_k фиксируется на максимально допустимом верхнем пределе.

Экономичное значение генерируемой активной мощности узла № i определяется условием:

$$\frac{\partial T}{\partial P_{ri}} = \sum_{j=1}^m \frac{\partial T_j}{\partial P_{ri}} = \frac{\partial T_i}{\partial P_{ri}} + \frac{\partial T_1}{\partial P_{ri}} = \frac{\partial T_i}{\partial P_{ri}} + \frac{\partial T_1}{\partial P_{ri}} \frac{dP_{r1}}{dP_{ri}} = \varepsilon_i + \varepsilon_1 \frac{dP_{r1}}{dP_{ri}} = 0, \quad (4)$$

где $i = 2, \dots, m$;

ε_i и ε_1 — относительные приросты соответственно узлов i и 1.

Экономичное напряжение узла № i определяется условием:

$$\frac{\partial T}{\partial U_i} = \sum_{j=1}^m \frac{\partial T_j}{\partial U_i} = \frac{\partial T_i}{\partial U_i} = \frac{\partial T_1}{\partial P_{r1}} \frac{dP_{r1}}{dU_i} = 0 \text{ или } \frac{dP_{r1}}{dU_i} = 0, \quad (5)$$

где $i = 1, \dots, m$,
 $i \neq k$.

Аналогично экономичные значения модуля и аргумента комплексного коэффициента трансформации регулируемого трансформатора № s определяются условиями:

$$\frac{dP_{r1}}{dK_s} = 0; \quad \frac{dP_{r1}}{d\theta_s} = 0, \quad (6)$$

где $s = 1, \dots, r$.

В уравнении (4) относительные приросты выражаются в функции от генерируемой активной мощности соответственного узла:

$$\varepsilon_j = \varepsilon_j(P_{rj}), \quad (7)$$

а генерируемая активная мощность через активные нагрузочную и сетевую узловую мощности представляется в функции от регулируемых параметров:

$$P_{rj} = P_{nj}(U_j) + P_j(\delta_{12}, \dots, \delta_{1m}, U_1, \dots, U_m, K_1, \dots, K_r, \theta_1, \dots, \theta_r). \quad (8)$$

В уравнениях (4), (5) и (6) производные генерируемой активной мощности узла № 1 $\frac{dP_{r1}}{dP_{ri}}$, $\frac{dP_{r1}}{dU_i}$, $\frac{dP_{r1}}{dK_s}$ и $\frac{dP_{r1}}{d\theta_s}$ можно также определить как функции регулируемых параметров (3) на основе усовершенствованного метода последовательных интервалов [3].

Ограничения относительно регулируемых параметров (3) обуславливают уменьшение числа неизвестных переменных и, следовательно, числа уравнений, что упрощает определение экономического режима тем больше, чем больше число ограничений.

Ограничение генерируемой реактивной мощности какого-либо узла означает, что напряжение этого узла становится новым параметром режима вместо генерируемой реактивной мощности. При этом уменьшается также число неизвестных регулируемых параметров и, следовательно, определение экономического режима упрощается.

Таким образом, всякие ограничивающие условия в случае первой формы более общих уравнений упрощают определение экономического режима.

Более общая задача определения экономического режима требует совместного решения уравнений (4), (5) и (6).

Вторая форма более общих уравнений, вытекающая из первой, в случае системы, состоящей из двух узловых точек с дальнейшим распространением на общий случай, позволяет представить суммарную стоимость расхода топлива

$$T = \sum_{i=1}^m T_j(P_{rj}) \quad (9)$$

непосредственно в функции регулируемых параметров:

$$x = \delta_{12}, \dots, \delta_{1m}, U_1, \dots, U_m, K_1, \dots, K_r, \theta_1, \dots, \theta_r \quad (10)$$

При этом генерируемая активная мощность P_{rj} определяется формулой (8).

Ограничивающие условия относительно регулируемых параметров можно учесть фиксацией этих параметров.

Ограничивающие условия, заданные в виде предельных значений генерируемых мощностей, можно учесть как дополнительные условия равенства нулю функций небалансов мощностей соответствующих узловых точек:

$$\left. \begin{aligned} P_{n6rl} &= P_{n6rl}(\delta_{12}, \dots, \delta_{1m}, U_1, \dots, U_m, K_1, \dots, K_r, \theta_1, \dots, \theta_r) = \\ &= P_{rj} - P_{nl} - P_l = 0 \\ Q_{n6rl} &= Q_{n6rl}(\delta_{12}, \dots, \delta_{1m}, U_1, \dots, U_m, K_1, \dots, K_r, \theta_1, \dots, \theta_r) = \\ &= Q_{rj} - Q_{nl} - Q_l = 0 \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

где $i = 1, \dots, n$ — порядковый номер узловой точки с фиксированной активной генерируемой мощностью;

$l = 1, \dots, L$ — порядковый номер узловой точки с фиксированной реактивной генерируемой мощностью;

P_{rj} и Q_{rj} — фиксированные значения генерируемых мощностей соответствующих узлов i и l ; в случае, когда в данных узлах нет генераторов, фиксированные значения $P_{rj} = 0$ и $Q_{rj} = 0$.

Экономические значения регулируемых параметров определяются на основе метода неопределенных множителей Лагранжа следующей системой уравнений:

$$\left. \begin{aligned} \sum_{j=1}^m \varepsilon_j \frac{\partial P_{rj}}{\partial x} + \sum_{l=1}^n \lambda_l \frac{\partial P_{n6rl}}{\partial x} + \sum_{l=1}^L \lambda_l \frac{\partial Q_{n6rl}}{\partial x} &= 0 \\ P_{n6rl} &= 0; \quad Q_{n6rl} = 0 \end{aligned} \right\} \quad (12)$$

где $i = 1, \dots, n$;

$l = 1, \dots, L$;

ε_j определяется на основе (7) и (8);

x определяется на основе (10);

$\frac{\partial P_{rj}}{\partial x}$ определяется на основе (8);

$\frac{\partial P_{n6rl}}{\partial x}$ и $\frac{\partial Q_{n6rl}}{\partial x}$ определяется дифференцированием соответственных функций небалансов мощностей.

Ограничения относительно генерируемых мощностей обуславливают увеличение числа неизвестных и, следовательно, увеличение числа уравнений, что усложняет определение экономического режима тем больше, чем больше число таких ограничений.

Преимущество второй формы уравнений по сравнению с первой при прочих равных условиях — более простые выражения урав-

нений экономического режима в зависимости от регулируемых параметров.

Недостатки второй формы уравнений:

1) увеличение числа неизвестных и уравнений за счет ограничивающих условий относительно генерируемых мощностей;

2) значительное увеличение числа сложных выражений относительных приростов ε_j при числе узловых точек больше двух;

3) невозможность вести параллельно с определением экономических режимов другие режимные расчеты.

Поэтому при большем числе ограничивающих условий первая форма уравнений, несомненно, лучше.

Для решения более общих уравнений экономического режима первой и второй формы можно использовать комбинированно простой и усовершенствованный методы последовательных интервалов и метод последовательных приближений Ньютона — Рафсона.

Однако трудоемкость расчета можно весьма значительно снизить, если весь вычислительный процесс решения более общих уравнений разделить на отдельные этапы при помощи соответственных итеративных вычислительных процессов, а внутри отдельных этапов вычислений комбинированно использовать указанные выше методы последовательных интервалов и последовательных приближений.

При этом вычислительный процесс решения более общих уравнений экономического режима можно в общем виде представить следующей схемой:

1. Основной итеративный вычислительный процесс позволяет разделить весь процесс вычислений на два основных этапа:

а) определение неизвестных взаимных углов $\delta_{12} \dots \delta_{1m}$ при постоянных значениях напряжений U_1, \dots, U_m и коэффициентов трансформации $K_1, \dots, K_r, \theta_1, \dots$ с учетом сложных зависимостей относительных приростов ε_j от взаимных углов;

б) определение неизвестных напряжений U_1, \dots, U_m и коэффициентов трансформации $K_1, \dots, K_r, \theta_1, \dots, \theta_r$ при постоянных значениях взаимных углов $\delta_{12}, \dots, \delta_{1m}$ и относительных приростов.

Основной итеративный вычислительный процесс имеет следующую схему:

1) задается исходное приближение напряжений и коэффициентов трансформации;

2) при этом заданном приближении на первом этапе определяется первое приближение взаимных углов;

3) на основании первого приближения взаимных углов на втором этапе определяется первое приближение напряжений и коэффициентов трансформации;

4) путем замены в основных уравнениях исходного приближения напряжений и коэффициентов трансформации на первое приближение повторяется расчет и т. д.

Сходимость такого основного итеративного вычислительного процесса очень быстрая и обеспечивается практически только при одном или двух приближениях. Объясняется это тем, что генерируемые активные мощности (при достаточных запасах статической устойчивости межсистемных связей) и, следовательно, суммарная стоимость расхода топлива зависят главным образом от взаимных углов между векторами напряжений и в меньшей степени от напряжений и коэффициентов трансформации.

Разделение всего вычислительного процесса на два этапа значительно уменьшает трудоемкость расчета, поскольку вместо решения сразу всех сложных уравнений с учетом изменения относительных приростов можно решить их только на первом этапе и только относительно взаимных углов. На втором этапе вычисление значительно проще, так как относительные приросты можно считать неизменными, а сами уравнения являются линейными относительно напряжений и более сложными лишь относительно коэффициентов трансформации $K_1, \dots, K_r, \theta_1, \dots, \theta_r$ (относительно K_1, \dots, K_r зависимость выражается как линейными членами, так и членами более высокой степени, относительно $\theta_1, \dots, \theta_r$ зависимость выражается через тригонометрические функции).

2. Решение более общих уравнений на первом основном этапе вычислений относительно взаимных углов можно осуществить на основе комбинированного использования простого и усовершенствованного методов последовательных интервалов и метода последовательных приближений Ньютона—Рафсона.

Сходимость такого вычислительного процесса очень быстрая, практически только при одном или двух интервалах и приближениях.

Если относительные приросты незначительно зависят от генерируемых активных мощностей (мощные и экономичные тепловые и гидростанции с достаточными резервами мощностей), то вычислительный процесс можно значительно упростить, принимая относительные приросты неизменными и равными их значениям при взаимных углах предыдущего интервала или приближения. При большой зависимости относительных приростов от генерируемых мощностей такой способ нерационален из-за слишком медленной сходимости или расходимости вычислительного процесса.

3. Решение более общих уравнений на втором основном этапе вычислений относительно напряжений и коэффициентов трансформации можно осуществить совершенно аналогично первому основному этапу. Однако, как указано выше, вычисления здесь значительно проще, чем на первом этапе.

Если $\theta_1, \dots, \theta_r$ фиксированы, то зависимость уравнений от K_1, \dots, K_r может быть линейной, квадратичной или более высокой степени.

Наконец, если комплексные коэффициенты трансформации фиксированы, то уравнения экономического режима второго основного этапа вычислений являются линейными относительно напряжений и, следовательно, их решение более просто.

При этом на основе усовершенствованного метода последовательных интервалов можно вычислить изменения экономических значений регулируемых параметров в зависимости от изменения нагрузок узловых точек и других параметров отдельных элементов электрической системы (например, числа генераторов, трансформаторов, параметров электрических связей и т. д.).

На основе этой методики можно одновременно вести расчет изменения ограничивающих условий, связанных с качеством энергии и надежностью режима.

Однако переход от существующей упрощенной методики определения экономических режимов к более точной будет оправдан только при значительной дополнительной экономии $\Delta V_{эк}$, выраженной в виде снижения суммарной стоимости расхода топлива всего объединения при использовании более точной методики.

Как показал анализ, при переходе от методики, используемой в настоящее время в СССР [5, 6], к более точной методике для будущих объединенных систем дополнительная экономия может быть весьма зна-

чительной (в предельных случаях до 3—10%). Это может полностью оправдывать разработку более общей методики определения экономических режимов.

Кроме того, нужно учесть, что при дальнейшем быстром развитии вычислительной техники и автоматики расходы, связанные с реализацией более точных и общих методов, постоянно и весьма быстро снижаются. В дальнейшем это будет все больше оправдывать использование более точных методов.

Из сказанного вытекают следующие задачи дальнейших исследований:

1) исследование точности некоторых существующих методов и определение областей их использования;

2) разработка новых упрощенных методов;

3) разработка инженерных методов решения более общих уравнений экономического режима на первом основном этапе вычислений — определение экономических значений взаимных углов между векторами напряжений основных узлов объединенных систем ЭЭС (экономическое распределение активных мощностей между концентрированными системами);

4) разработка инженерных методов решения более общих уравнений экономического режима на втором основном этапе вычислений — определение экономических значений напряжений основных узлов и комплексных коэффициентов трансформации основных регулируемых трансформаторов объединенных систем и ЭЭС;

5) разработка инженерных методов для определения изменения граничных условий регулируемых параметров в зависимости от изменения параметров отдельных элементов системы;

6) разработка способов комбинированного использования более общей методики (для определения экономической параллельной работы отдельных концентрированных систем) и упрощенных методов (для определения экономического режима внутри отдельных концентрированных систем);

7) распространение более общей методики на случай гидростанций с регулируемым бассейнами;

8) разработка более общей методики для экономического распределения резервов активной и реактивной мощностей;

9) максимальная автоматизация соответствующих вычислительных процессов.

Транспортно-энергетический ин-т
Сибирского отделения АН СССР

Поступила в редакцию
2/VII 1959

ЛИТЕРАТУРА

1. Л. А. Крумм, Уравнения стационарного режима электрической системы с учетом статических характеристик нагрузок и генераторов при автоматическом регулировании частоты, напряжения и мощности. Тр. Таллинского политехнич. ин-та, № 123, 1957.
2. Л. А. Крумм, Методы решения общих уравнений стационарного режима электрической системы с учетом статических характеристик нагрузок и генераторов при автоматическом регулировании частоты, напряжения и мощности. Тр. Таллинского политехнич. ин-та, № 124, 1957.
3. Л. А. Крумм, Усовершенствованный метод последовательных интервалов для определения изменения стационарного режима электрической системы при любых возмущениях симметричного характера с учетом статических характеристик нагрузок и генераторов и автоматизации регулирования, частоты, напряжения и мощности. Тр. Таллинского политехнич. ин-та, № 125, 1957.

4. Л. А. Крумм, Использование, трудоемкость и автоматизация вычислительного процесса методов расчета стационарных режимов электрических систем с учетом статистических характеристик нагрузок и генераторов при автоматическом регулировании частоты, напряжения и мощности. Тр. Таллинского политехнич. ин-та, № 126, 1957.
5. В. М. Горштейн, Навыгоднейшее распределение нагрузок между параллельно работающими электростанциями. Госэнергоиздат, М., 1949.
6. МЭС СССР, Информационные материалы. Руководящие указания по выбору невыгоднейшего распределения активной нагрузки между тепловыми электростанциями. Госэнергоиздат, М., 1958.

И. К. ХРУСТАЛЕВ

АВТОМАТИЧЕСКИЙ СКИПОВОЙ ПОДЪЕМ

Принцип автоматизации

На шахте им. Димитрова треста «Куйбышевуголь» комбината «Кузбассуголь» внедрена схема автоматизации скипового подъема, основанная на принципе непрерывного регулирования скорости подъемного электродвигателя в периоды ускоренного и замедленного движения.

В качестве привода подъемной машины здесь применен асинхронный трехфазный электродвигатель с фазным ротором, в качестве пуско-регулирующего реостата — жидкостный реостат с неподвижными электродами.

Принципиальная схема автоматизации этого подъема показана на рис. 1. Сущность ее заключается в следующем.

Из сточной ванны при помощи насоса № 1 в электродный бак подается электролит, а из последнего насосом № 2 электролит откачивается обратно в сточную ванну. Уровень его в электродном баке, а следовательно, и дополнительное сопротивление в цепи ротора, очевидно, будут зависеть от разности производительностей насосов.

Насос № 1 приводится в движение двигателем постоянного тока, и его скорость, а значит, и производительность задаются исходя из необходимости выполнить заданную диаграмму скорости движения скипов. Насос же № 2 при помощи ременной передачи соединен непосредственно с валом подъемного электродвигателя, и его производительность зависит от действительной скорости подъемной машины. Таким образом, насос № 1 в каждой точке движения подъемных сосудов отмечает заданную скорость, а насос № 2 — действительную.

Отклонение действительной скорости машины от заданной в данный момент ведет к отклонению действительной величины сопротивления ротора от расчетной, что, в свою очередь, приводит в конечном счете к выравниванию действительной и заданной скоростей. На самом деле, если действительная скорость в данный момент больше заданной, то насос № 2 имеет большую скорость и производительность, чем это обусловлено заданной скоростью. Это ведет к снижению уровня электролита в электродном баке, а следовательно, и к увеличению сопротивления в цепи ротора подъемного электродвигателя. Последнее приводит к снижению действительной скорости до заданной. При снижении действительной скорости ниже заданной происходит обратное действие.

Таким образом, в данной схеме автоматизации жидкостный реостат является универсальным регулятором хода, который выполняет функции звена сравнения действительной и заданной скоростей и исполнительного звена, устраняющего отклонение действительной скорости от заданной. Ввиду совмещения этих звеньев в одном органе и устранения усиливающих и промежуточных звеньев, характерных для многих регуляторов хода, данный регулятор обладает малой инерцией и большой чувствительностью.

В приведенной схеме автоматизации регулирование скорости подъемного электродвигателя производится только в периоды ускоренного и замедленного движения. В период работы с максимальной скоростью ротор замкнут накоротко и работает на естественной характеристике.

Электродный бак и сточная ванна

Важным элементом в данной схеме автоматизации привода является электродный бак, поэтому на его конструкцию нужно обращать особое внимание.

Объем бака должен быть рассчитан с учетом размеров электродов для данных электролита и электродвигателя и производительности насосов. Нами на автоматизированном подъеме применен электродный бак

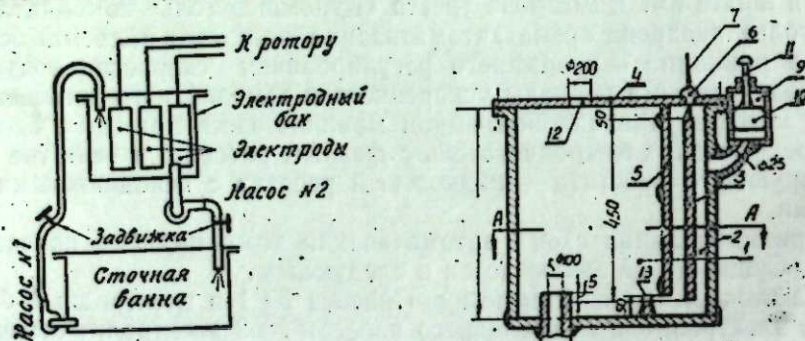


Рис. 1. Принципиальная схема автоматизации скипового подъема.

(рис. 2), представляющий собой сварную конструкцию из трехмиллиметрового листового железа, состоящую из двух отделений — рабочей и электродной камер. Выделение в баке отдельной электродной камеры вызывается, во-первых, необходимостью плавного, спокойного изменения уровня электролита при работе насосов (в рабочей камере электролит «бурлит»), и, во-вторых, оно необходимо для достижения наиболее благоприятных условий токопрохождения между электродами и стенками бака (в нашем случае бак является звездой реостата). При такой конструкции электродного бака асимметрия токов в фазах ротора при пуске, остановке и регулировании скорости исключена.

С электродной камерой при помощи трубки связана поплачковая камера с поплавком. При заполнении электродного бака электролитом (когда электроды полностью залиты электролитом) поплавок своим стержнем замыкает цепь короткозамыкающего контактора и ротор оказывается замкнутым накоротко.

Электроды выполнены из листовой меди. Их конструкция ясна из рис. 2.

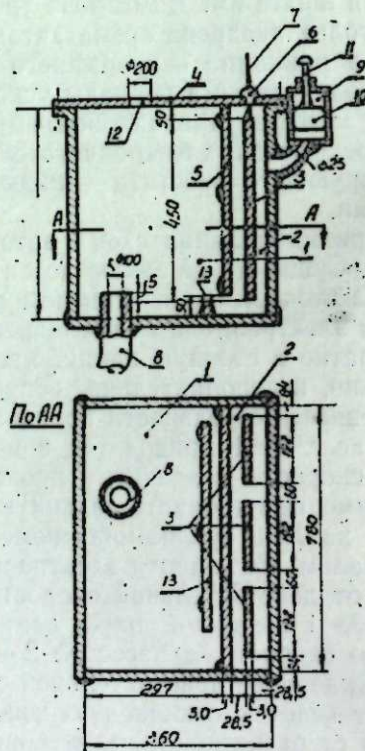


Рис. 2. Электродный бак.

1 — рабочая камера, 2 — электродная камера, 3 — электрод, 4 — крышка бака, 5 — перегородка, 6 — проходной изолятор, 7 — стержень для присоединения к кольцу ротора, 8 — отсасывающая труба, 9 — поплачковая камера, 10 — поплавок, 11 — стержень поплавка для замыкания контактов «В», 12 — отверстие для накачивающей трубы, 13 — ребро для устранения завихрения в электродной камере.

Сточная ванна (см. рис. 1) представляет собой сварной бак из листового железа. Его размеры принимаются конструктивно. Очевидно, чтобы иметь определенный запас электролита и улучшить условия охлаждения последнего, объем сточной ванны должен составлять не менее двух объемов электродного бака. Нами при рабочем объеме электродного бака 124 л принят объем сточной ванны 300 л.

Присоединение насосов к электродному баку и сточной ванне осуществлено таким образом, что оба насоса все время находятся под заливкой. Это необходимо для безотказной работы насосов в любой момент. Всасывающий трубопровод насоса № 2 выходит в электродный бак на 5 мм выше нижних концов электродов. Это обуславливает определенный (расчетное) начальное дополнительное сопротивление ротора в период пуска. У трубопроводов насосов предусмотрены задвижки (см. рис. 1) для установочного регулирования.

В качестве насосов № 1 и 2 в схеме приняты насосы «Улитка» Прокопьевского машиностроительного завода.

Электрическая схема

Электрическая схема автоматизированного подъема (рис. 3) состоит из следующих основных элементов (цепей):

1) цепи главного тока подъемного электродвигателя, в цепи статора которой включены автомат А и реверсирующие контакторы В и Н, а в цепи ротора — реостат R и короткозамыкающий контактор КЗ;

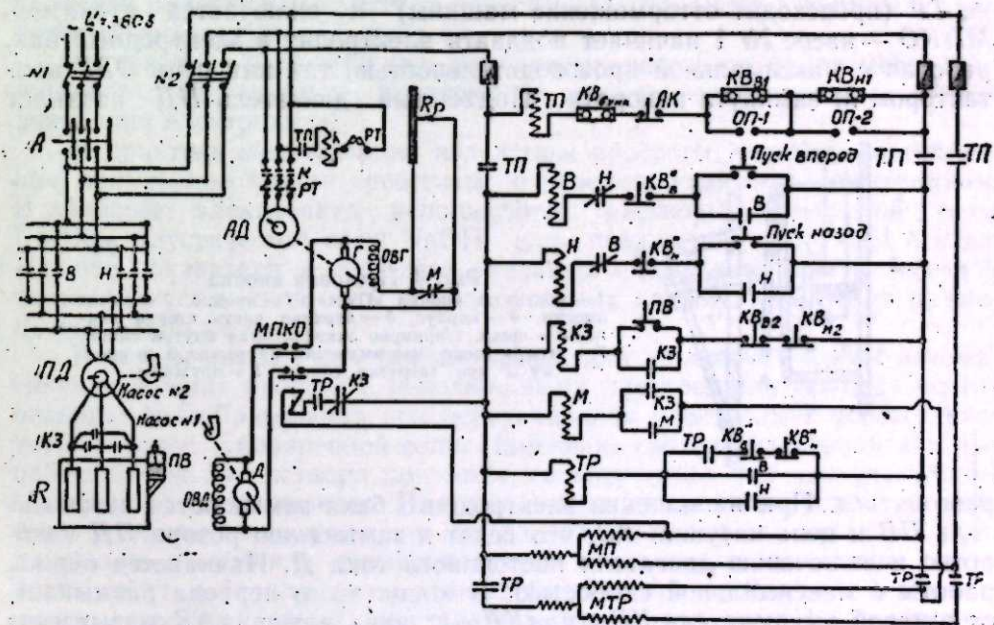


Рис. 3. Электрическая схема автоматизированного подъема.

2) цепи защиты, или цепи катушки ТП, в которой заключены конечные выключатели $KB_{В1}$ и $KB_{Н1}$ на разгрузочных кривых (на случай переподъема), аварийная кнопка АК и конечный выключатель $KB_{В}$, выключающийся при полном заполнении верхнего бункера;

3) цепи катушек реверсирующих контакторов В и Н, в которой

включены пусковые кнопки и конечные выключатели KV_B^* и KV_H^* , выключающиеся в конце подъемной операции;

4) цепи катушки короткозамыкающего контактора $KЗ$, в которой включены поплавковый выключатель $ПВ$ и путевые выключатели KV_{B2} и KV_{H2} , выключающиеся в конце периода работы с максимальной скоростью;

5) цепи катушки контактора M ;

6) цепи катушки $ТР$;

7) цепи электромагнитов-тормозов — рабочего $МТР$ и предохранительного $МП$;

8) цепи приводного двигателя генератора $АД$, в которой включен пускатель $П-322$;

9) силовой цепи постоянного тока $Г-Д$ ($ПН-68-ПН-45$), в которой включен магнитный пускатель $МПКО$;

10) цепи возбуждения генератора, в которой включено регулируемое сопротивление R_p (на указателе глубины) и короткозамыкающий контактор M .

Проследим работу схемы за подъемную операцию.

При включении выключателей № 1 и 2 и автомата A цепь защиты будет обтекаться током. При этом замыкаются контакты $ТП$ в цепи управления и пусковой цепи пускателя $П$, включается электродвигатель $АД$ и электромагнит $МТП$.

При загрузке скипа замыкается кнопка «Пуск вперед» или «Пуск назад» (конструкция кнопки показана на рис. 4). Замыкается цепь катушки B или H , в статор $ПД$ подается напряжение, включается катушка $ТР$ (происходит отторжение машины) и включается пускатель $МПКО$ — насос № 1 начинает подавать электролит в электродный бак, работая с максимальной производительностью, так как цепь $ОВГ$ контактором M замкнута накоротко. Подъемный двигатель $ПД$ начинает

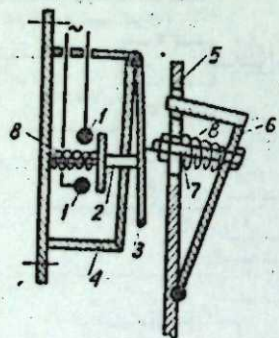


Рис. 4. Пусковая кнопка.
1 — контакты кнопки «Пуск», 2 — кнопка, 3 — рычаг кнопки, 4 — корпус, 5 — верхняя часть стенки скипа, 6 — щека, шарнирно закрепленная внутри скипа, 7 — щека, шарнирно закрепленная внутри скипа, 8 — пружины.

разгоняться. При наполнении электродного бака замыкаются выключатель $ПВ$ и цепь катушки $KЗ$, что ведет к замыканию ротора $ПД$ накоротко и включению двигателя постоянного тока $Д$. Начинается период работы с максимальной скоростью. В конце этого периода размыкается путевой выключатель KV_{B2} (или KV_{H2}), цепь катушки $KЗ$ оказывается обесточенной, $KЗ$ размыкается, в цепь ротора $ПД$ при этом включено максимальное сопротивление. Одновременно с этим замыкается пускатель $МПКО$ и к двигателю $Д$ подводится пониженное напряжение, так как еще в начале равномерного хода короткозамыкатель M разомкнулся и в цепь $ОВГ$ оказалось включенным дополнительное сопротивление R_p . Таким образом, в период замедленного движения требуемая подача электролита в электродный бак устанавливается подбором сопротивления R_p при помощи стрелок указателя глубины.

В конце движения скипов размыкается конечный выключатель KV_B^* или KV_H^* (с двумя парами контактов). При этом оказываются обесточенными цепи катушек реверсирующего контактора B или H электромагнита рабочего тормоза $ТР$, двигатель $ПД$ выключается, а машина тормозится рабочим тормозом.

Следующий цикл совершается аналогично. Одновременное включение контакторов B и H невозможно из-за наличия блокконтактов в цепях их катушек. Неправильное включение этих контакторов в начале подъемной операции (на переподъеме) также невозможно, так как один из конечных выключателей KV_B^* или KV_H^* был разомкнут в конце нормального пути подъема. Пониженная скорость движения подъемных сосудов при осмотре ствола или канатов устанавливается регулированием задвижки трубопровода насоса № 1.

Расчет жидкостного реостата

Несмотря на то, что жидкостные реостаты довольно широко применяются как в Кузбассе, так и в других бассейнах в качестве пускорегулирующих сопротивлений асинхронных подъемных электродвигателей, их изучению, выбору и расчету до сих пор почти не уделялось внимания. Наиболее ценной работой в этой области является работа акад. В. С. Кулебакина [1]. В ней дается теория нагревания и охлаждения жидкостного реостата и способ его расчета, основанный на использовании упрощенной круговой диаграммы электродвигателя — диаграммы Гейланда. Этот метод расчета сложен, в нем не учитывается режим работы электродвигателя в периоды пуска и замедления, кроме того, для построения круговой диаграммы не всегда известны все параметры двигателя, для которого рассчитывается реостат.

В практике эксплуатации жидкостных реостатов их размеры принимаются конструктивно. Практически так же устанавливается и концентрация электролита.

В практике эксплуатации вследствие простоты устройства наибольшее применение нашли реостаты с перемещающимися электродами. В качестве электролита используются растворы углекислой соды Na_2CO_3 , каустической соды $NaOH$ или поваренной соли $NaCl$ в воде. Лучшие показатели в реостатах указанного типа дает 3—7% весовой раствор каустической соды в воде, поэтому данный электролит применяется наиболее часто.

В нашем случае, как указано выше, для упрощения схемы автоматизации принят реостат с неподвижными электродами, поэтому во избежание пенообразования при перекачивании электролита берется раствор не соды, а поваренной соли. Изменение свойств электролита и выпадение соли из раствора при этом маловероятны, так как электролит все время перемешивается. Практика эксплуатации жидкостных реостатов в Кузбассе показывает, что для их надежной работы сила тока, приходящаяся на единицу токопроводящей поверхности электродов (плотность тока), в начале пуска должна быть не более 10 а/см^2 и в конце пуска — не более 1 а/см^2 ; расстояние между электродами фаз и электродами и корпусом реостата должно быть не менее 1 см на 150 в напряжения.

Начальное пусковое сопротивление рекомендуется принимать таким, чтобы пусковой момент двигателя при этом составлял 20—40% от номинального. При большем сопротивлении может возникнуть перенапряжение в обмотках ротора и пробой их изоляции при включении статора. При меньшем сопротивлении получаются большие первоначальные толчки тока и момента, что отрицательно сказывается на работе как:

механической части установки, так и двигателя. Кроме того, при таком сопротивлении затрудняется управление подъемным двигателем в период замедленного движения и в период движения сосудов с пониженной скоростью, например, при выполнении ремонтных операций в стволе и осмотре канатов, когда требуемые от двигателя движущие моменты незначительны.

Поскольку при пуске мощных электродвигателей напряжение сети падает на 5—7%, а максимальный (опрокидывающий) момент двигателя снижается на 10—14%, максимальный пусковой момент должен быть не менее чем на 15—20% меньше опрокидывающего. Это позволит избежать больших толчков тока при пуске и обеспечит работу двигателя на прямолинейной части характеристик.

Большое значение при устройстве жидкостного реостата имеют расчет и выполнение охлаждающего устройства, так как сопротивление электролита в большой степени зависит от его температуры. Кроме того, концентрация электролита наиболее устойчива в интервале температур $20 \div 60^\circ \text{C}$. Однако в нашем случае из-за непрерывного движения и перемешивания электролита охлаждение будет интенсивным. Поэтому дополнительные охлаждающие устройства не предусмотрены, а расчет охлаждения не приводится.

Перейдем к расчету реостата. Необходимые для этого данные приведены в табл. 1.

Таблица 1

Наименование	Тип и величина	Единица измерения	К-во
Подъемная установка	двухскиповая	угол наклона в градусах	70
Высота подъема	наклонная	м	135
Скип	опрокидывающий	Т	1,5
Подъемная машина	2БЛ-1600	—	—
Загрузочное устройство	барabanного типа с кареткой углового перемещения	шт.	2
Максимальная скорость скипов	—	м/сек	2,76
Электродвигатель	АМ-6-125-8	квт	95
Напряжение статора	—	в	380
Ток статора	—	а	185
Напряжение ротора	—	в	260
Ток ротора	—	а	230
Перегрузочная способность двигателя	$\frac{M_{\max}}{M_n}$	%	210
к. п. д. двигателя	—	%	91
Сос ф двигателя	—	%	86
Маховой момент двигателя	GD_p^2	кгм ²	45
Число оборотов двигателя	n_n	об/мин.	730

Номинальное скольжение электродвигателя

$$S_n = \frac{n_0 - n_n}{n_n} = \frac{750 - 730}{730} = 0,027.$$

Номинальное сопротивление роторной цепи

$$R_{н.р} = \frac{U_p}{\sqrt{3} \cdot I_p} = \frac{260}{\sqrt{3} \cdot 230} = 0,654 \text{ ом.}$$

Собственное активное сопротивление ротора

$$r_2 = R_{н.р} \cdot S_n = 0,654 \cdot 0,027 = 0,0176 \text{ ом.}$$

Начальное сопротивление электролита (см. расчетные характеристики, рис. 5)

$$r_{э.н} = R_{н.р} \frac{S_{\text{нач.}}}{M_{\text{нач.}}} - r_2 = 0,654 \frac{100}{30} - 0,0176 = 2,16 \text{ ом.}$$

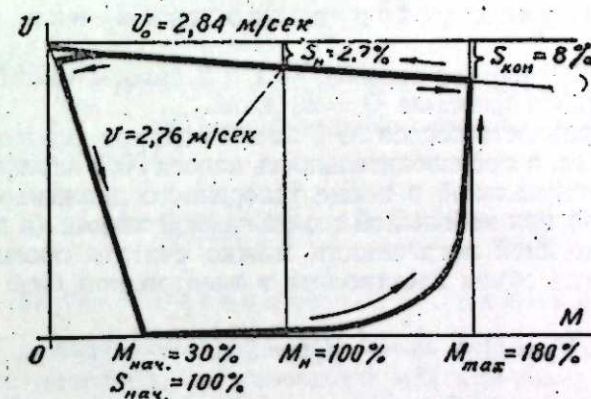


Рис. 5. Естественная и реостатные характеристики при пуске и остановке.

Конечное сопротивление электролита перед выходом на естественную характеристику

$$r_{э.к} = R_{н.р} \frac{S_{\text{кон.}}}{M_{\text{кон.}}} - r_2 = 0,654 \frac{8}{180} - 0,0176 = 0,0116 \text{ ом.}$$

С другой стороны, сопротивление электролита может быть определено из следующего выражения:

$$r_{э} = \rho_{э\lambda} \frac{l}{F},$$

где $\rho_{э\lambda}$ — удельное сопротивление электролита,
 l — расстояние от электродов до стенок бака,
 F — токопроводящая поверхность электрода.

Принимаем, что четырехпроцентный весовой раствор поваренной соли в воде при 20°C имеет удельное сопротивление $\rho_{э\lambda} = 700 \frac{\text{ом} \cdot \text{см}^2}{\text{м}}$ и $l = 0,0285 \text{ м}$, тогда начальная токопроводящая площадь электрода

$$F_{\text{нач}} = \frac{\rho_{э\lambda} l}{r_{э.н}} = 700 \frac{0,0285}{2,16} = 9,3 \text{ см}^2$$

и конечная

$$F_{\text{кон}} = 700 \frac{0,0285}{0,0116} = 1730 \text{ см}^2.$$

Из $F_{\text{кон}}$, имея в виду, что обе стороны электрода являются токопроводящими, находим размеры электродов. Нами принята высота электрода 45 см и ширина 19,2 см, таким образом, $F_{\text{кон}} = 45 \cdot 19,2 \cdot 2 = 1730 \text{ см}^2$. Начальная высота, на которую электроды заливают электролитом,

$$h_{\text{нач}} = \frac{F_{\text{нач}}}{a} = \frac{9,3}{19,2} \approx 0,5 \text{ см.}$$

Ввиду ухудшения условий начального токопрохождения в качестве токопроводящей поверхности электрода здесь принята одна сторона.

Остальные размеры электродного бака принимаем конструктивно, как показано на рис. 2.

Рабочий объем бака (по электродам) $V_6 = 124 \text{ л}$.

Режим работы подъемной установки

Период ускоренного движения

Принимаем в качестве насосов № 1 и 2 насосы «Улитка» с максимальной производительностью $Q = 20 \text{ л/сек}$.

Производительность насоса № 1 за весь период ускоренного движения максимальная, а производительность насоса № 2 изменяется от нуля в начале до максимальной в конце ускоренного движения. Производительность насосов при небольшой геодезической высоте (в нашем случае $1 \div 2 \text{ м}$) без большой погрешности можно считать пропорциональной их скорости. Тогда объем электролита в электродном баке в любой момент времени

$$V_t = \left(1 - \frac{1}{2} \cdot \frac{t}{t_y}\right) Q t = 20 \left(1 - \frac{t}{2t_y}\right) t \quad (2)$$

и высота электролита (в дм)

$$h_t = \frac{20 \left(1 - \frac{t}{2t_y}\right)}{F_6} \cdot t = 0,73 \left(1 - \frac{t}{2t_y}\right) t, \quad (3)$$

где $F_6 = 27,5 \text{ дм}^2$ — площадь дна электродного бака.

Фазное сопротивление в любой момент времени периода ускорения

$$r_t = R_{эл} \frac{l}{h_t 2a} = \frac{0,071}{\left(1 - \frac{t}{2t_y}\right) t} \quad (4)$$

В конце пускового периода $t = t_y$; тогда $V_t = V_6 = \frac{1}{2} \cdot 20 \cdot t_y$ и время ускоренного движения $t_y = 12,4 \text{ сек}$.

Из выражения

$$r_t = R_{н-р} \frac{S, \%}{M, \%} = R_{н-р} \frac{M_n}{M} \cdot S \quad (5)$$

момент двигателя

$$M = M_n \frac{R_{н-р}}{r_t} \cdot S \quad (6)$$

С другой стороны,

$$M = M_c + mR_6 \frac{dV}{dt} = M_c - mR_6 V_0 \frac{dS}{dt} \quad (7)$$

Приравняв уравнения (6) и (7), получим

$$\frac{dS}{M_c - M_n \cdot \frac{R_{н-р}}{r_t} \cdot S} = \frac{dt}{mR_6 V_0} \quad (8)$$

где M_c — момент статических сопротивлений; так как за период ускоренного движения он изменяется незначительно, можно считать $M_c = \text{const}$;

$M_n = 975 \frac{P_n}{n_n} \cdot i \eta_{ред}$ — номинальный момент двигателя кгм;

m — масса движущихся частей подъемной установки, приведенная к окружности барабана, $\text{кг} \cdot \text{м}^{-1} \cdot \text{сек}^2$;

R_6 — радиус барабана, м;

V — скорость сосудов, соответствующая синхронной скорости двигателя, м/сек.

Решение уравнения (8) дает

$$S = \frac{M_c r_t}{M_n R_{н-р}} \left(1 - e^{-\frac{t}{T}}\right) + e^{-\frac{t}{T}}, \quad (9)$$

где $T = \frac{mR_6 V_0}{M_n} \cdot \frac{r_t}{R_{н-р}}$ — электромеханическая постоянная электродвигателя в период непрерывного регулирования.

Из уравнения (9) находим

$$V = V_0 \left\{ 1 - \left[\frac{M_c r_t}{M_n R_{н-р}} \left(1 - e^{-\frac{t}{T}}\right) + e^{-\frac{t}{T}} \right] \right\} \quad (10)$$

Период равномерного движения

В период равномерного движения ротор подъемного электродвигателя замкнут накоротко, он работает с максимальной скоростью на естественной характеристике.

В это время насос № 1 не работает, а насос № 2 откачивает электролит из электродного бака, готовя максимальное сопротивление электролита к началу замедления.

Период равномерного движения заканчивается в момент выключения короткозамыкателя КЗ путевыми выключателями (см. выше).

Период замедленного движения

В период замедленного движения двигатель практически работает с максимальным сопротивлением в цепи ротора.

Момент двигателя для этого периода может быть определен из следующего выражения:

$$M = M_c + mR_6 \frac{dV}{dt} = M_c - mR_6 V_0 \frac{dS}{dt} \quad (11)$$

Статический момент M_c за период замедления изменяется незначительно, поэтому его можно считать постоянным. Выразив M и M_c через номинальный момент M_n и скольжение (рис. 6), получим

$$M - M_c = \frac{M_n}{S_{н-н}} \left(S - \frac{S_c \cdot S_{н-н}}{S_n} \right) = -mR_6 V_0 \frac{dS}{dt} \quad (12)$$

Решение уравнения (12) приводит к следующему выражению:

$$S - S_c \frac{S_{н-н}}{S_n} = \kappa \cdot e^{-\frac{t}{T}}$$

При $t = 0, S = S_c$ и $\kappa = S_c \left(1 - \frac{S_{н-н}}{S_n}\right)$; тогда окончательно имеем

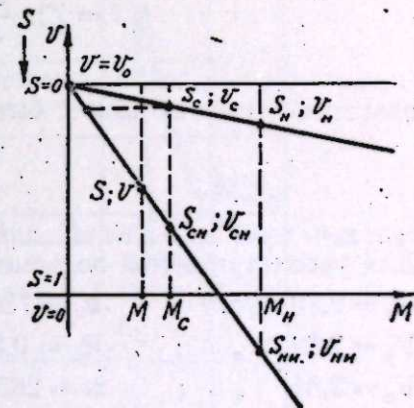


Рис. 6. Характеристики электродвигателя для определения скольжения и скорости в период замедления.

$$S = S_c \left[\frac{S_{н.н}}{S_n} + \left(1 - \frac{S_{н.н}}{S_n} \right) e^{-\frac{t}{T}} \right], \quad (13)$$

где S_c — скольжение на естественной характеристике, соответствующее началу замедления;

S_n — номинальное скольжение электродвигателя;

$S_{н.н}$ — скольжение двигателя, соответствующее номинальному моменту на искусственной характеристике;

$$T = \frac{mR_0V_0}{M_n} \cdot S_{н.н} = \frac{mR_0V_0}{M_n} \cdot \frac{r_t}{R_{н.р}} \quad \text{— электромеханическая постоянная.}$$

Подставляя в уравнение (13) вместо скольжений их значения, выраженные через скорости сосудов, после преобразований получим

$$V = V_0 - \frac{V_0 - V_c}{V_0 - V_{н.н}} \left[V_0 - V_{н.н} + (V_{н.н} - V_n) e^{-\frac{t}{T}} \right], \quad (14)$$

где V_c — скорость сосудов, с которой началось замедление;

$V_{н.н}$ — скорость на искусственной характеристике, соответствующая номинальному моменту.

Время замедления может быть определено из выражений (13) или (14). В самом деле, после преобразования уравнения (13) получим

$$t = T \ln \frac{S_c S_n - S_c S_{н.н}}{S \cdot S_n - S_{н.н} S_c}. \quad (15)$$

Однако для упрощения расчетов время замедления с достаточной для практики точностью может быть определено из выражения

$$t_3 = \frac{2x_3}{V_c}, \quad (16)$$

где x_3 — путь замедления, для данной установки величина известная. Для рассматриваемой подъемной установки

$$\begin{aligned} V_n &= 2,76 \text{ м/сек}; & n_n &= 730 \text{ об/мин.}; & P_n &= 95 \text{ квт}; \\ V_0 &= 2,84 \text{ "}; & R_0 &= 0,8 \text{ м}; & R_{н.р} &= 0,654 \text{ ом}; \\ V_c &= 2,81 \text{ "}; & m &= 2850 \text{ кг/м} \cdot \text{сек}^2; & r_{\max} &= 2,18 \text{ ом}; \\ V_{н.н} &= -6,5 \text{ "}; & i_{\text{ред}} &= 22; & \eta_{\text{ред}} &= 0,92. \end{aligned}$$

Номинальный момент двигателя на валу барабана

$$M_n = \frac{975 P_n}{n_n} \cdot i_{\text{ред}} \eta_{\text{ред}} = \frac{975 \cdot 95 \cdot 22 \cdot 0,92}{730} = 2560 \text{ кгм.}$$

Электромеханическая постоянная времени

$$T = \frac{V_0 R_0 m}{M_n R_{н.р}} \cdot r_t = \frac{2,84 \cdot 0,8 \cdot 850}{2560 \cdot 0,654} r_t = 3,85 r_t \text{ сек.}$$

При равенстве номинального момента и статического уравнение (10) запишется так:

$$V = 2,84 \left\{ 1 - \left[1,52 r_t \left(1 - e^{-0,26 \frac{t}{r_t}} \right) + e^{-0,26 \frac{t}{r_t}} \right] \right\} \quad (17)$$

и уравнение (14) после преобразований примет вид

$$V = -0,66 + 3,47 e^{-\frac{t}{8,4}} = -0,66 + \frac{3,47}{e^{0,119t}}. \quad (18)$$

Из уравнения (17) находим величину ускорения:

$$\frac{dV}{dt} = \frac{0,735}{r_t} \left(1 - 1,52 r_t \right) e^{-0,26 \frac{t}{r_t}}, \quad (19)$$

а из (18) — замедление:

$$\frac{dV}{dt} = -0,413 e^{-0,119t} \quad (20)$$

Из (17) получим, что при достижении сосудами номинальной скорости $t_y = 12,4$ сек., а из (18) — что при остановке сосудов в период замедленного движения $t_3 = 13,9$ сек.

Подставляя в указанные формулы промежуточные значения t и r ,

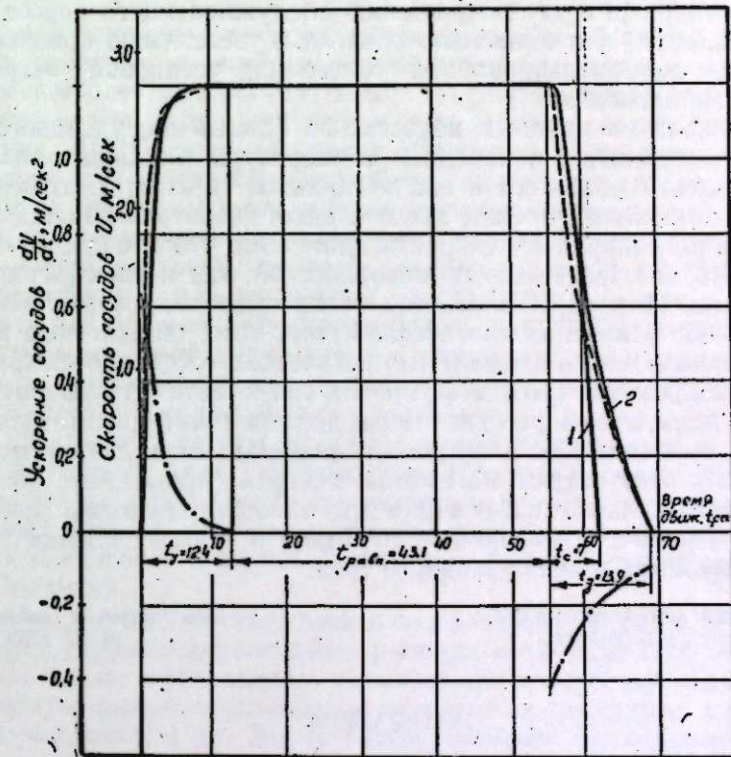


Рис. 7. Диаграммы скорости и ускорений сосудов.

— расчетная диаграмма скорости сосудов, — — — расчетные ускорения и замедления сосудов, — — — действительная диаграмма скорости, зарегистрированная самопишущим вольтметром (1 — свободный выбег, 2 — реостатное замедление).

получим промежуточные значения скоростей в периоды ускоренного и замедленного движений. Расчетное изменение этих скоростей показано на рис. 7 (пунктирными линиями). Там же (штрихпунктирными линиями) показано изменение ускорений и замедлений сосудов, подсчитанных по формулам (19) и (20). Сплошной линией на этом рисунке изображена действительная диаграмма скорости, зарегистрированная самопишущим вольтметром.

На рис. 7 видно, что действительная диаграмма скорости движения сосудов несколько отличается от расчетной. Это, по-видимому, вызвано погрешностями расчета, инерцией прибора и некоторым отклонением действительных производительностей насосов от принятых в расчете при изменении скорости. Практического значения это отклонение не имеет.

Выводы

1. Описанные принципы и схема автоматизации просты, и применение их обеспечивает надежную работу. Здесь нет промежуточных звеньев, присущих существующим регуляторам хода и релейной аппаратуре, что упрощает внедрение данной схемы и уход за установкой силами шахты или рудника.

2. Отсутствие промежуточных звеньев при регулировании хода машины обуславливает незначительную инерцию, что позволяет легко выполнить заданную диаграмму скорости сосудов. Регулируя производительность насосов в периоды ускоренного и замедленного движений, здесь можно выполнить любую диаграмму скорости.

3. Благодаря резкому сокращению обслуживающего персонала, более рациональному расходованию энергии и увеличению производительности данная автоматизированная подъемная установка экономичнее неавтоматизированной.

4. При наличии крупных недостатков (изменение удельного сопротивления электролита с изменением температуры и концентрации) жидкостные реостаты обладают и значительными преимуществами перед металлическими. Здесь прежде всего следует указать на плавность пуска, остановки и регулирования скорости двигателя, что способствует увеличению сроков эксплуатации как механической, так и электрической частей установки. Плановое изменение сопротивления позволяет иметь также большие ускорения двигателя. Кроме того, жидкостные реостаты малогабаритны и много дешевле металлических (особенно фехралевых). Применяя жидкостные реостаты, привод легче автоматизировать.

5. Как жидкостный реостат, так и данная схема автоматизации могут быть применены для электроприводов подъемов любой мощности, так как здесь отсутствуют магнитная станция (применение металлического реостата и магнитной станции для однодвигательного асинхронного привода оправдано мощностью 1000 квт) и другие сложные переключающие устройства в цепях главного тока.

Сибирский металлургический институт (г. Сталиноск)

Поступила в редакцию 16/III 1969

ЛИТЕРАТУРА

А. В. С. Кулебкин, Пусковые и регулировочные реостаты НКТИ СССР, Госэнергоизд., М., 1932.

Д. М. ЛИСИН

К ВОПРОСУ О ЗАКОНОМЕРНОСТЯХ ПРОЦЕССА
КОКСОВАНИЯ УГЛЕЙ*

В связи с быстрым развитием в наступившем семилетии черной металлургии, особенно на востоке страны, проблема коксования газовых углей, как наиболее распространенных, но слабо используемых в технологии производства кока, приобрела еще большее народнохозяйственное значение. Для решения ее наряду с широким экспериментированием и испытанием новых технологических схем получения качественного доменного кока необходима разработка научных основ процесса коксования углей. Одной из главных задач здесь является установление общих закономерностей реального процесса коксования и его частных особенностей, специфичных для различных типов углей и режимов процесса. В целом эту задачу можно сформулировать так: найти количественную зависимость между свойствами кока и процессами его образования.

На этом пути встречаются весьма серьезные трудности, обусловленные сложностью и неизвестностью химического состава органической массы углей, разнообразием их свойств, неизотермичностью процесса, спецификой газовых углей, сложностью и разнообразием соотношений между основными и побочными процессами и т. п. Эти трудности делают невозможным прямое использование для процесса коксования методов органической химии и химической кинетики, разработанных для индивидуальных реакций.

Известно, что коксование углей в своей основе является химическим процессом со сложными реакциями распада и синтеза. При этом такие реакции протекают в сочетании с физическими процессами передачи тепла и вещества, физико-химическими процессами диффузии, процессами гидродинамическими и др. Эти побочные явления, накладываясь на основные химические процессы, вуализируют их, закрывают доступ к непосредственному изучению химических реакций.

Такие сложные процессы принято изучать в комплексе, т. е. с учетом всех побочных явлений. Поэтому нами в поисках методических путей к решению поставленной задачи сделана попытка использовать при изучении процесса коксования углей:

а) методы статистического исследования, в частности, определение и применение обобщенных характеристик процесса;

б) методы теории подобия, особенно интегрального, которая указывает, как нужно ставить эксперименты и обрабатывать данные опытов;

в) методы макроскопической кинетики, задачей которой является изучение химических процессов в реальных условиях с учетом физических и физико-химических процессов тепло- и массопередачи, диффузии и др.

* Данная статья написана на основе доклада, прочитанного на VIII Менделеевском съезде (см. [1]).

В настоящей статье освещаются лишь некоторые данные наших исследований в этом указанном направлении, касающиеся выбора общей схемы процесса коксования, описания свойств кокса, расчета прибора и лабораторной установки и некоторых общих результатов исследования.

О схеме процесса коксования и свойствах кокса

Нами принята общая схема процесса коксования углей как комплекса тепловых, химических и физико-химических процессов [2]. Она позволила оттенить специфику процесса коксования в общей схеме пиролиза углей, усмотреть все возможное на ее основе разнообразие технологических процессов, обобщить их в четыре группы принципиальных технологических схем процесса по четырем признакам и записать процесс общим функциональным уравнением

$$K = F(\tau, T, V, U), \quad (1)$$

где K — кокс, его свойства;

τ — время;

T — тепловые процессы;

V — химические и диффузионные процессы по степени превращения угля, т. е. по летучим, смоле, газу, пирогенетической воде;

U — физические и физико-химические изменения коксуемого слоя (реагирующей среды);

Левая часть уравнения является определяемым состоянием, функцией, правая — определяющим состоянием, аргументом.

Раскрытие этого уравнения, установление вида функции является сложной конечной задачей. Прежде необходимо исследовать частные задачи — раздельно рассмотреть левую и правую части этого уравнения.

Для выражения левой части конкретной величиной были исследованы [3] свойства кокса (крупность, прочность, характер кусков — форма, трещиноватость, пористость, удельные веса, межкусковое пространство). В результате получены частные характеристики кокса и найдены уравнения, описывающие комплекс его свойств как металлургического топлива.

Позже результаты этих исследований были уточнены и расширены. Ниже приводятся уточненные основное общее и частные уравнения, описывающие свойства металлургического кокса (крупнее 25 мм), которые выражают собой левую часть уравнения (1), как определяемого состояния.

На основе ситового анализа металлургического кокса, исходного и подвергнутого механическому разрушению любым способом (барабан, сбрасывание и др.), найдено, что комплекс его свойств — крупность кусков, их характер (форма, трещиноватость, пористость, плотность) и прочность (дробимость) — описываются на любой стадии разрушения следующим обобщенным уравнением:

$$u = \frac{A \cdot F_m}{x} = \frac{A \cdot F_m}{\gamma_t \cdot \gamma_v \cdot (1 - \mu)}, \quad (2)$$

где u — теоретическая поверхность среднего куска кокса на единицу его фактического веса (удельная теоретическая),

$$u = \frac{u_\phi}{\gamma_s} = \frac{\pi d^2}{g_\phi} \text{ см}^2/\text{г}; \quad (3)$$

здесь u_ϕ — удельная фактическая поверхность куска кокса;

γ_s — коэффициент поверхности кусков (отступления от шаровой поверхности);

g_ϕ — фактический вес куска кокса в граммах;

d — средний диаметр кусков кокса в сантиметрах;

A — постоянная для данного кокса размерная величина, характеризующая крупность кусков кокса,

$$A = \frac{6}{B_0 d_3} \cdot \frac{1}{\text{см}} \quad (4)$$

здесь B_0 — относительная величина, выражающая крупность кокса [3];

d_3 — диаметр в сантиметрах масштабного класса кокса, а именно: 40—25 мм;

F_m — сумма относительных условных поверхностей трех классов металлургического кокса на любой стадии его разрушения [3], содержащая в себе прочностные характеристики кокса;

$$F_m = (F_1 + F_2 + F_3) = 1 + \frac{1}{\beta} F_R^e \quad (5)$$

или

$$\lg(F_m - 1) = \lg\left(\frac{1}{\beta}\right) + e \lg F_R; \quad (6)$$

здесь $\lg\left(\frac{1}{\beta}\right)$ — начальный коэффициент прочности кокса (уровень, на котором происходит процесс разрушения, перегруппировки классов кокса);

e — тангенс угла наклона прямой, коэффициент прочности (дробимости) кокса;

$F_R = (F_3 - 1)$ — вновь образующаяся относительная условная поверхность масштабного (третьего) класса кокса [3];

x — комплексная размерная величина в $\text{г}/\text{см}^3$, выражающая собой характер кусков кокса (исходного и на любой стадии его разрушения);

$$x = \gamma_t \cdot \gamma_v (1 - \mu) \text{ г}/\text{см}^3; \quad (7)$$

здесь γ_t — удельный вес пористого тела кокса (кажущийся удельный вес) в $\text{г}/\text{см}^3$;

γ_v — коэффициент формы кокса (объема кусков), отражающий степень отступления фактической формы от шарового объема;

μ — коэффициент трещиноватости металлургического кокса.

Характеристики u ; d ; g_ϕ ; B_0 ; d_3 ; F_m ; F_1 ; F_2 ; F_3 ; F_R уравнений (5) — (7) находят непосредственно из опыта при ситовом анализе, характеристику γ_t — по общеизвестной методике (может быть принята для упрощения и за единицу) и только две характеристики, γ_v и μ , подлежат определению. Если одна из них будет определена расчетным или опытным путем, тогда вторую легко найти из уравнения (2). Например, при разработке методики определения удельного веса кусков кокса γ_k , включающего и поры и трещины, легко определяется и коэффициент трещиноватости μ по уравнению

$$\gamma_k = \gamma_t (1 - \mu) [3].$$

Если признать уравнение (5), описывающее процесс разрушения кокса как процесс перегруппировки соотношений классов внутри суммы классов металлургического кокса, сложным, тогда вместо него можно пользоваться уравнением

$$F_m = F_1 + F_2 + F_3 = 1 + \frac{1}{\varphi} F_R, \quad (5')$$

где φ — переменный коэффициент прочности кокса [3].

Прибор и установка

На основе теории подобия, в частности геометрической аффинности, математически рассчитан прибор для термического изучения углей (ПТУ-4) с загрузкой до 1—1,5 кг угля.

Он позволяет рассматривать слой загрузки угля как бесконечную плиту и снимать в конечном и динамическом виде характеристики определяющих состояний процесса: тепловые, химические — по степени превращения угля, т. е. по летучим, смоле, газу, пирогенетической воде, физические и физико-химические — по изменению удельного объема и внутренней напряженности коксуемого слоя, а также и по вязкости пластической массы этого слоя. Прибор изображен на рис. 1.

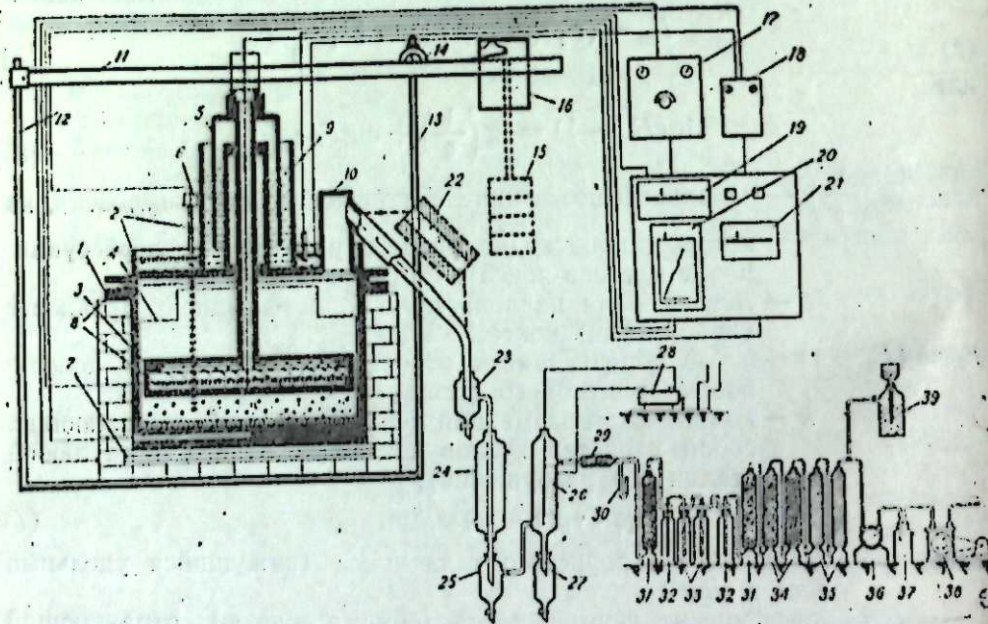


Рис. 1. Прибор ПТУ-4 для термического изучения углей и схема его установки.

1 — стакан прибора, 2 — крышка прибора, 3 — штемпель, 4 — вкладыш стакана, 5 — коiled гидродетратора, 6 — КИП (термометр, вязкозиметр и др.), 7 — нагреватель прибора (силитовые стержни), 8 — нагреватели стержни и крышки, 9 — масло, 10 — стойка для вывода летучих, 11 — рычаг, 12 — стойка рычага, 13 — стойка динамометра, 14 — динамометр, 15 — груз, 16 — барабан для графика, 17 — трансформатор 1, 18 — трансформатор 2, 19 — МРЦПр-54, 20 — МСЦПр-654, 21 — МПЦПр-54, 22 — печь пиролизная, 23 — сборник тяжелой смолы, 24 — холодильник подяной, 25 — сборник конденсата, 26 — электрофильтр, 27 — сборник смолы электрофильтра, 28 — индуктор высоковольтный ИВ-100, 29 — фильтр латинный, 30 — манометр, 31 — колонки с CaCl_2 , 32 — буферные склянки, 33 — дрексель с H_2SO_4 , 34 — колонки с NaOH , 35 — колонки с активированным углем, 36 — часы газометра, 37 — буферная склянка, 38 — насос вакуумный, 39 — газометр.

Все продукты, получаемые на установке, особенно кокс, подвергаются анализу и исследованию. Толщину коксуемого слоя как бесконечной плиты можно принимать различной — от 15—10 мм и менее, когда температуру по слою можно считать одинаковой в каждый данный момент времени, и до 60—70 мм, когда температуры в слое распределяются по изохронам.

Один или два из температурных режимов прогрева слоя загрузки моделируются на основе теории подобия как производственные режимы. При этом нижняя плоскость нагрева слоя соответствует стенке печной камеры, а верхняя — осевой плоскости печной загрузки. Другие режимы выбираются или определяются в соответствии с задачами исследования. Следовательно, одни опыты ставятся на основе геометрического и тепло-

вого моделирования, другие — по специальному заданию для изучения принципиально иных режимов коксования.

Разработанный и испытанный прибор-реторта (см. рис. 1) позволяет задавать не только различные температурные режимы процесса, но и ряд определенных его условий. Возможно вести прогрев загруженного слоя угля при его свободном расширении, когда рычаг штемпеля не нагружен, при стесненном для расширения слое положении, когда рычаг штемпеля нагружен, и при постоянном объеме слоя, когда штемпель неподвижен (рычаг закреплен). Возможно также загружать прибор предварительно подготовленным углем, например, при любой плотности и зернистости слоя (брикеты) или после предварительной термической обработки угля, или после его обработки и уплотнения (формования).

При деформациях нагреваемого слоя они фиксируются на диаграмме. При постоянном объеме (закрепленном рычаге) с помощью динамометра фиксируются внутренние напряжения в нагреваемом слое.

Для того, чтобы был свободный выход газа (летучих) от горячей поверхности нагреваемого слоя и от его боковой периферии в газосборник и далее в химическую аппаратуру, внутрь прибора вставляется специальный полый вкладыш с щелевыми отверстиями снизу на высоту запружаемого слоя. Это обеспечивает при температурном режиме, моделирующем производственный режим, приближенное моделирование и движения паров и газов внутри нагреваемого слоя на горячую и холодную стороны.

Так как прибор изготовлен из металла (чугуна), то максимальная температура нагрева слоя ограничивается 800°C . Для завершения вторичных реакций между прибором и улавливающей аппаратурой при надобности (по заданию) ставится пиролизная печь для пиролиза летучих, выходящих из прибора, что позволяет получать ароматические химические продукты коксохимии независимо от режима прогрева угольного слоя в реторте.

Для улавливания химических продуктов процесса также предусмотрена аппаратура (см. рис. 1).

Некоторые результаты исследований

Рассмотрим некоторые результаты исследований правой части уравнения (1) по экспериментальным данным, полученным на установке ПТУ-4, а именно: тепловых (T) и химических (V) процессов, фиксируемых динамикой выделения летучих веществ и некоторыми кинетическими данными, а также физико-химических превращений коксуемого слоя (U) по некоторым характеристикам этого слоя — изменению удельного объема и напряженности.

1. Путем анализа, на основе теории подобия, теплообмена в загрузке коксовой камеры, выполненного по литературным данным, и такого же анализа, выполненного по опытным данным, полученным в нашем приборе (ПТУ-4), показано, что повышение относительной средней интегральной температуры слоя загрузки в нашем приборе для моделирующих режимов происходит аналогично повышению такой же температуры для промышленной коксовой камеры и подчиняется приближенно экспоненциальной закономерности регулярного теплового режима Г. М. Кондратьева. При этом критерий гомохронности Фурье вводится в интегральном виде, так как коэффициент температуропроводности прогреваемого слоя изменяется в процессе по температуре и времени.

2. Известно, что образование первичных летучих веществ при пиро-

лизе углей есть результат комплекса сложных химических превращений органической массы угля. Этот комплекс складывается из множества разнообразных и взаимосвязанных частных химических реакций, для каждой из которых, очевидно, справедливо распределение энергии по закону Больцмана. Поэтому для процесса в целом или для его отдельных периодов можно предположить существование обобщенных эффективных энергий активации.

Обработка многих опытных данных, полученных в нашем приборе, по уравнению, в котором выражена пропорциональность относительного удельного количества летучих веществ обобщенному значению фактора Больцмана —

$$\frac{\alpha}{1-\alpha} = P_* \cdot e^{-\frac{E_*}{RT}}, \quad (8)$$

подтвердила справедливость такой зависимости.

В этом уравнении обозначения следующие:

α — относительное количество образующихся летучих веществ, выражающее степень химического превращения органической массы угля;

P_* — коэффициент пропорциональности;

E_* — обобщенная эффективная энергия активации процесса;

R — газовая постоянная;

T — абсолютная температура процесса.

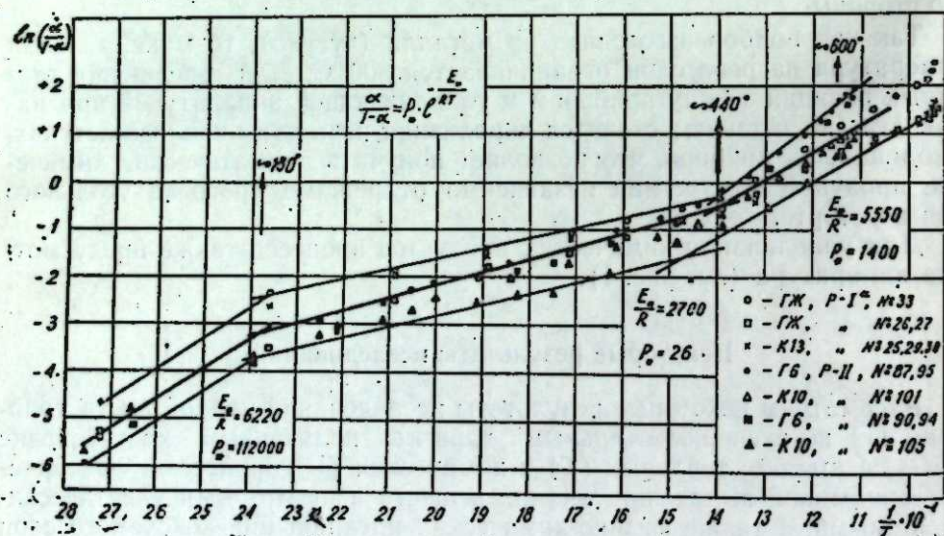


Рис. 2. Экспоненциальная зависимость относительного количества выхода летучих веществ при пирогенетическом превращении углей до 700°C.

На представленном графике (рис. 2) в координатах: натуральный логарифм от относительного количества образующихся летучих веществ и обратная величина абсолютной температуры процесса — показано, что в процессе прогрева коксуемого слоя от его начала до 600—700° выявляются три периода, для которых характерны постоянные, но различные по величине обобщенные эффективные энергии активации. Особого внимания заслуживают два периода: один от 180—210° до 400—450° и второй от 400—450° до 600—700°. Они различны по величинам обобщенных энергий активации, отражающим различие характера химических реакций.

3. Определяя изменения процесса превращения угля в кокс (полукокс) по относительному количеству образующихся летучих продуктов

за бесконечно малый промежуток времени, мы составили кинетическое уравнение

$$\frac{d\alpha}{d\tau} = M_* \cdot e^{-\frac{E_*}{RT(\tau)}} \cdot f(1-\alpha), \quad (9)$$

в котором коэффициент пропорциональности M_* является переменным коэффициентом скорости коллективного процесса, т. е. усредненным от множества значений констант скорости всех частных реакций.

Затем это уравнение ввиду невозможности его аналитического решения было преобразовано на основе теории интегрального подобия, разработанной В. М. Брейтманом [4, 5], в уравнение функциональной — критериальной связи:

$$\alpha = \Psi(B_*) = \Psi \left\{ \int_{\tau_0}^{\tau_k} \omega_* [T(\tau)] d\tau \right\} = \Psi \left\{ \int_{\tau_0}^{\tau_k} M_* \cdot e^{-\frac{E_*}{RT(\tau)}} \cdot d\tau \right\}. \quad (10)$$

В нем правая часть, обозначенная через B_* , является определяющим процесс обобщенным интегральным кинетическим критерием, включающим в себя определенное сочетание времени, температур, обобщенной энергии активации и коэффициента частоты.

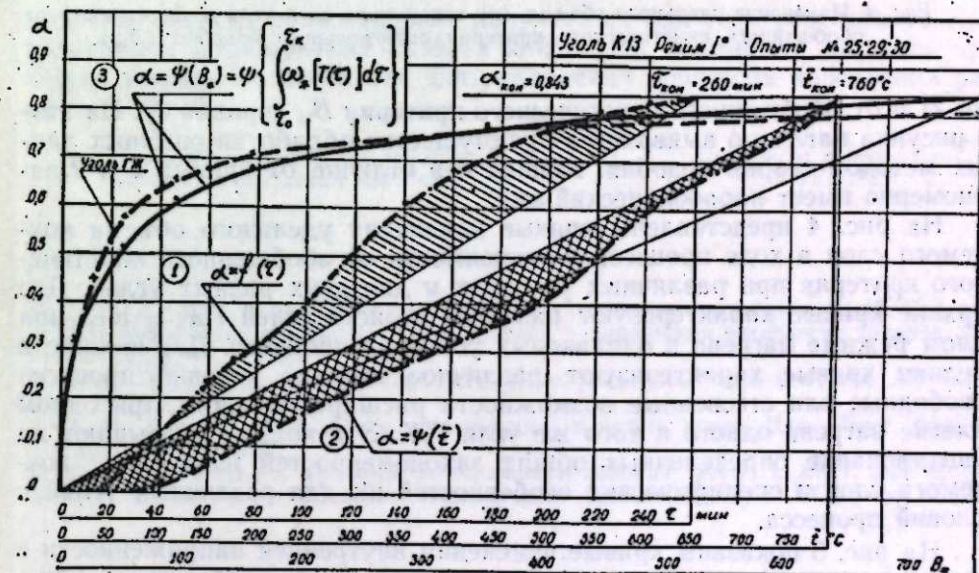


Рис. 3. Интегральные кривые изменения степени пирогенетического превращения углей α как функций:

1 — от времени τ , 2 — от средней интегральной температуры слоя t , 3 — от обобщенного кинетического критерия интегрального подобия B_* .

Обработка опытных данных и рассмотрение их в зависимости от этого кинетического критерия приводят к закономерным зависимостям основных результатов процесса коксования. Рассмотрим некоторые из них, а именно: 1) ход процесса по летучим продуктам (α); 2) ход процесса по изменению удельного объема нагреваемого слоя (v , г/см³) и 3) ход процесса по изменению внутренней напряженности нагреваемого слоя (q , кг/см²).

На рис. 3 приведены интегральные кривые изменения степени превращения угля в кокс (полукокс) по летучим продуктам α в зависимости от времени τ (кривая 1), от средней интегральной температуры t (кри-

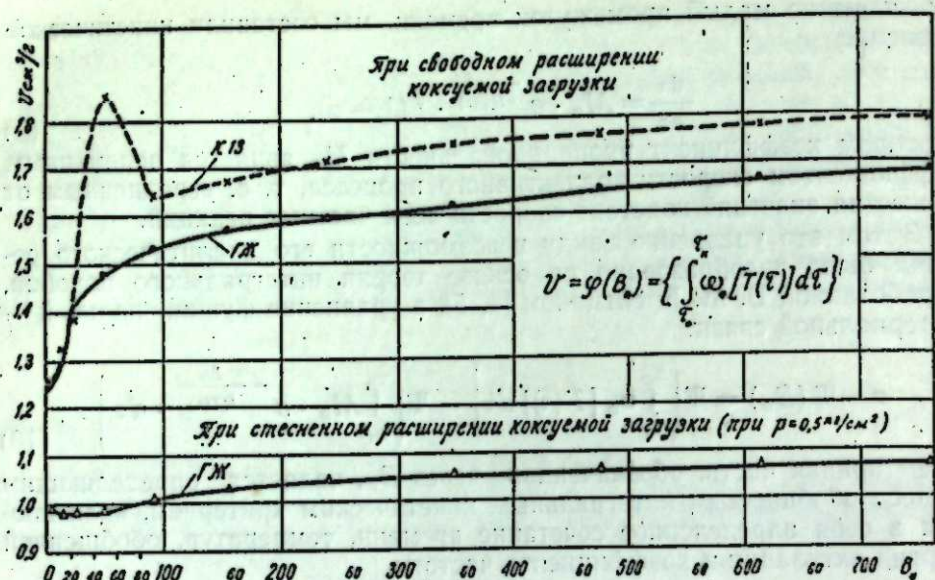


Рис. 4. Изменение удельного объема (v) коксующего слоя угля в зависимости от обобщенного кинетического критерия интегрального подобия (B_*).

вая 2) и от обобщенного кинетического критерия B_* (кривая 3). Из этого рисунка наглядно выявляется преимущество обработки опытных данных методом теории подобия. Кривая 3 в отличие от кривых 1 и 2 закономерно имеет параболический вид.

На рис. 4 представлены кривые изменения удельного объема коксующего слоя в ходе процесса в зависимости от обобщенного кинетического критерия при различных условиях и для двух разных углей. Две верхние кривые характеризуют различные свойства углей ГЖ и К13 при одном режиме нагрева и одинаковых условиях процесса. Две нижние и средняя кривые характеризуют различное влияние условий процесса (свободные или стесненные возможности расширения слоя) при одном режиме нагрева одного и того же угля ГЖ. Эти кривые указывают на существование определенных общих закономерностей изменения коксующего слоя и специфических особенностей их для различных углей и условий процесса.

На рис. 5 показаны кривые изменения внутренней напряженности в коксующем слое (по динамометру) в зависимости от обобщенного кинетического критерия для углей Г6 и К13.

Здесь также видны общность характера процесса для обоих углей и вместе с тем специфика их свойств.

Важно заметить, что если газовые угли на дифференциальных кривых дают наибольший максимум только по летучим продуктам, то коксовые угли такой максимум дают по удельному объему коксующего слоя и особенно по его внутренней напряженности.

Таким образом, уже первые результаты исследований процесса коксования углей в намеченном направлении позволяют нащупать пути к установлению общих закономерностей этого процесса и его специфических особенностей для различных углей при одних условиях и для различных технологических режимов при одном угле.

Дальнейшие исследования процесса коксования углей как комплекса тепловых, химических, физико-химических и физических процессов с использованием методов макроскопической кинетики и методов теории

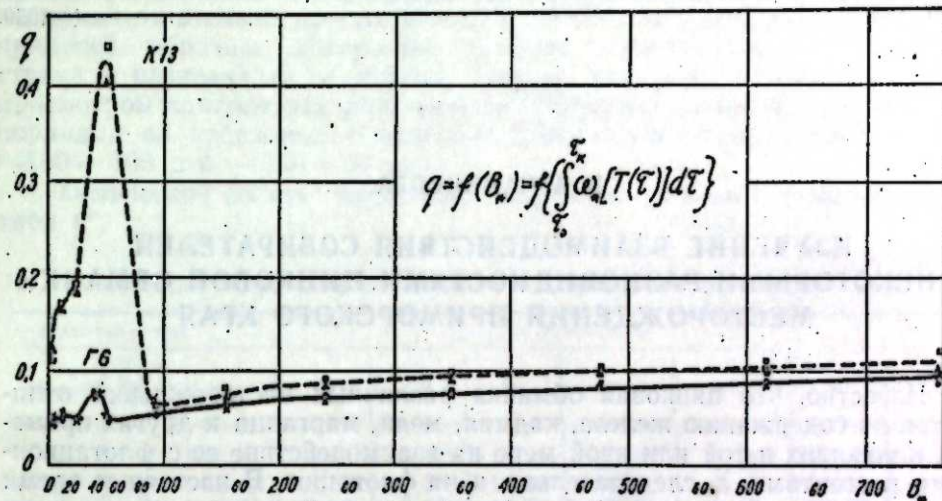


Рис. 5. Изменение напряженности (q) коксующего слоя угля в зависимости от обобщенного кинетического критерия интегрального подобия (B_*).

подобия, а также сопоставление получаемых при этом результатов с результатами исследований свойств кокса как заданного продукта процесса откроют возможности для управления процессом коксования различных углей.

Химико-металлургический институт
Сибирского отделения АН СССР

Поступила в редакцию
24/VI 1959

ЛИТЕРАТУРА

1. Д. М. Лисин, К вопросу о закономерностях процесса коксования углей. Рефераты VIII Менделеевского съезда, Секция химии и химической технологии топлива. Изд. АН СССР, М., 1959.
2. Д. М. Лисин, К изучению процесса коксования углей. Изв. Сиб. отд. АН СССР, № 3, 1958.
3. Д. М. Лисин, О физико-математических свойствах кокса. Изв. Вост. фил. АН СССР, № 2, 3, 1957.
4. В. М. Брейтман, Критерии интегрального подобия. ЖТФ, т. XXII, вып. 4, 1952.
5. В. М. Брейтман, К теории интегрального подобия. ЖТФ, т. XXIII, вып. 7, 1953.

Н. А. ЧАЙНИКОВА

ИЗУЧЕНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ СОБИРАТЕЛЕЙ
С НЕКОТОРЫМИ РАЗНОВИДНОСТЯМИ ЦИНКОВОЙ ОБМАНКИ
МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПРИМОРСКОГО КРАЯ

Известно, что цинковая обманка различных месторождений отличается по содержанию железа, кадмия, меди, марганца и других примесей, влияющих в той или иной мере на взаимодействие ее с флотационными реагентами, а, следовательно, и на флотацию. В настоящее время изучено поведение цинковой обманки различного вещественного состава ряда месторождений при аэрации и нахлороживании [1], действие реагентов при флотации сфалерита с различной степенью активации [2], совместное действие ксантогенатов при флотации сульфида цинка [3]; поведение цинковой обманки, содержащей различное количество железа, при флотации свинцово-цинковых руд [4]. Имеющиеся литературные данные свидетельствуют о своеобразном поведении разновидностей цинковой обманки в процессе флотации.

Для выяснения закономерностей взаимодействия флотационных реагентов с разновидностями цинковой обманки месторождений Приморского края нами исследовано поглощение сульфгидрильных собирателей методом радиоактивных индикаторов, который ранее при изучении сфалеритов этих месторождений не применялся. В качестве собирателей использованы этиловый, бутиловый и изоамиловый ксантогенаты калия, содержащие радиоактивный изотоп серы — S^{35} и диэтилдитиофосфат натрия, содержащий изотоп фосфора — P^{32} .

Поглощение собирателей определялось непосредственным измерением активности измельченного сфалерита.

В основу исследования активности порошков был положен метод сравнения. В каждой серии опытов по изучению поглощения реагентов приготавливался эталон такого веса и химического состава, чтобы он содержал все заданное количество радиоактивного изотопа. опыты проводились по общепринятой методике (при $T : Ж = 1 : 10$). Исходная навеска минерала составляла 1 г.

β -излучение регистрировалось на β -установке с использованием торцового счетчика с тонким слюдяным окном (5 мг/см^2).

В рудах месторождений Приморского края имеются некоторые разновидности цинковой обманки, изучение флотационных свойств которых представляет теоретический и практический интерес. Характерной особенностью сфалерита этих месторождений является наличие больших количеств железа, которое образует эмульсионные выделения пирротина в сфалерите, а также входит в качестве изоморфной примеси в кристаллическую решетку минерала.*

Для проведения исследования было отобрано десять штучных проб цинковой обманки трех месторождений Приморского края: 1) Приморского, 2) Третьего Советского рудника, 3) Верхнего рудника. Исходный

* Установлено при микроскопическом изучении образцов и анализе их методом растрескивания [5, 6].

материал тщательно просматривался. Отбирались наиболее чистые от примесей образцы сфалерита, которые измельчались в фарфоровой ступке и разделялись на классы. Степень «чистоты» контролировалась просмотром классов под биноклем. Материал готовился небольшими порциями во избежание окисления. Для опытов использованы классы — $150 + 100 \mu$ и — $150 + 74 \mu$.

Химический состав изучаемых образцов обманок приводится в табл 1*.

Таблица 1
Химический состав цинковых обманок месторождений Приморского края

Порядковый номер образца	Место рождения	Содержание, %							
		Zn	Pb	Cu	Fe	Mn	Sn	S	NO
1	1	46,21	3,30	0,27	15,32	0,56	0,11	31,32	0,34
2	1	49,03	3,56	0,25	14,66	0,52	0,12	30,99	0,87
3	1	47,14	2,59	0,12	14,88	0,56	1,47	30,35	4,20
4	1	49,03	2,87	0,12	14,58	0,26	0,17	31,00	1,38
5	2	46,20	0,55	0,13	12,88	0,24	0,07	30,02	0,40
6	3	53,93	2,66	0,27	3,49	0,40	отсут.	29,46	1,98
7	3	60,10	1,01	0,01	3,0	0,30	отсут.	29,59	3,78
8	2	46,90	0,50	0,37	14,35	0,26	0,16	28,63	4,45
9	1	33,30	4,36	0,20	14,7	не опр.	не опр.	29,60	5,50
10	1	41,80	0,46	0,20	14,5	.	.	32,67	0,6

Отобранные разновидности цинковой обманки значительно отличаются по содержанию примесей железа, меди, марганца, свинца и по окраске (от светло-коричневой до черной). Большинство образцов представлено «темными» железистыми разновидностями, содержащими 12—15% железа (марматит), за исключением двух «светлых» образцов цинковой обманки Верхнего рудника, содержащих, 3,0—3,5% железа.

Изучая взаимодействие реагентов с имеющимися образцами цинковой обманки, мы пытались выяснить зависимость поглощения коллектора от его расхода и сорта, влияние модификатора на характер адсорбции, изменение величины поглощения реагента в нейтральной и щелочной среде.

На рис. 1 представлены результаты опытов по выяснению кинетики поглощения ксантогенатов (расход 18 мг/л) сфалеритом Приморского месторождения. Полученные данные показывают, что наибольшее количество любого ксантогената адсорбируется в течение первых минут. Они хорошо согласуются с данными о кинетике поглощения этилксантогената галени- том [7]. Исследованиями С. И. Митрофанова [8] установлено, что дей-

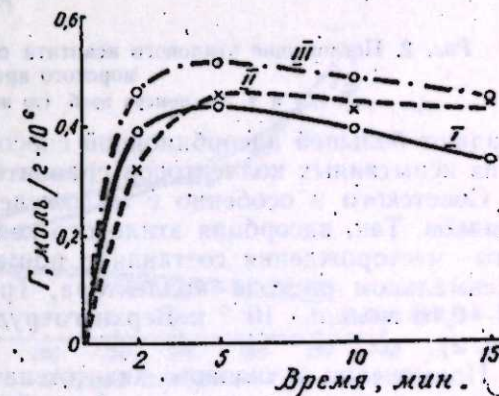


Рис. 1. Кинетика поглощения собирателя цинковой обманкой Приморского месторождения.
I — этиловый ксантат, II — бутиловый ксантат, III — изоамиловый ксантат.

ствительно адсорбируется в течение первых минут. Они хорошо согласуются с данными о кинетике поглощения этилксантогената галени- том [7]. Исследованиями С. И. Митрофанова [8] установлено, что дей-

* Химические анализы выполнены сотрудником Дальневосточного филиала СО АН СССР В. С. Лозинской.

ствие собирателей типа кеантогената при флотационных концентрациях представляет собой активированную адсорбцию. Качественные изотермы собирателя охватываются уравнением $\Gamma = at^b$ или $\Gamma = b + a \lg t$.

Очевидно, это уравнение справедливо только в определенных интервалах времени (~5 минут). Можно предположить, что при дальнейшем увеличении времени перемешивания неустойчивые поверхностные пленки реагента разрушаются, понижая величину адсорбции.

При исследовании характера поглощения коллектора цинковой обманкой различных месторождений приняты дозировки собирателей от 25 до 350—400 г/т, что соответствует для этилового кеантогената калия от 15,6 до 218,4 моль/л · 10⁻⁶, бутилового — от 13,25 до 212 моль/л · 10⁻⁶ и т. д.

Полученные данные (рис. 2—4) свидетельствуют о том, что с увеличением расхода коллектора адсорбция его возрастает. При этом железистые разновидности цинковой обманки Приморского месторождения

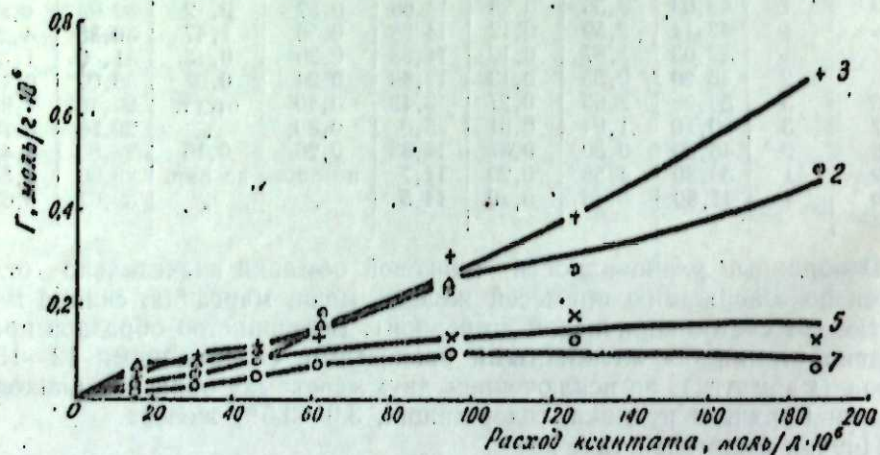


Рис. 2. Поглощение этилового кеантата сфалеритом месторождений Приморского края:

2, 3, 5 и т. д. — номера проб (то же и на следующих рисунках).

обладают большей адсорбционной способностью по отношению к любому из испытанных коллекторов сравнительно с разновидностями Третьего Советского и особенно с маложелезистыми образцами Верхнего рудника. Так, адсорбция этилового кеантогената сфалеритом Приморского месторождения составляет примерно 0,4—0,7 моль/г · 10⁻⁶ при максимальном расходе коллектора, Третьего Советского рудника — 0,11—0,16 моль/г · 10⁻⁶ и Верхнего рудника — 0,06—0,12 моль/г · 10⁻⁶ (рис. 2).

Применение бутилового кеантогената значительно увеличивает поглощение реагента минералом. Адсорбция бутилового кеантогената при тех же расходах, что и этилового для разновидностей цинковой обманки указанных месторождений составила соответственно: 0,8—1,5 моль/г · 10⁻⁶, 0,2—0,5 моль/г · 10⁻⁶ и 0,1—0,2 моль/г · 10⁻⁶ (рис. 3).

По общепринятым представлениям активность собирателя повышается с увеличением длины углеводородной цепи, однако использование изоамилового кеантогената, по сравнению с бутиловым, незначительно изменяет величину поглощения реагента данными образцами сфалерита.

Опыты с применением в качестве собирателя диэтилдитиофосфата натрия показали, что поглощение его неактивированной цинковой обманкой растет с повышением расхода, но величина адсорбции меньше,

чем кеантогенатов при одних и тех же условиях (рис. 4). Очевидно, при данных дозировках коллектора значительная часть его остается в растворе, как это было показано в опытах флотации неактивированной цинковой обманки дитиофосфатом [9]. Авторы установили, что в этом случае около 80% дитиофосфата остается в пульпе, а количество сорбированного на минерале коллектора меньше монослоя.

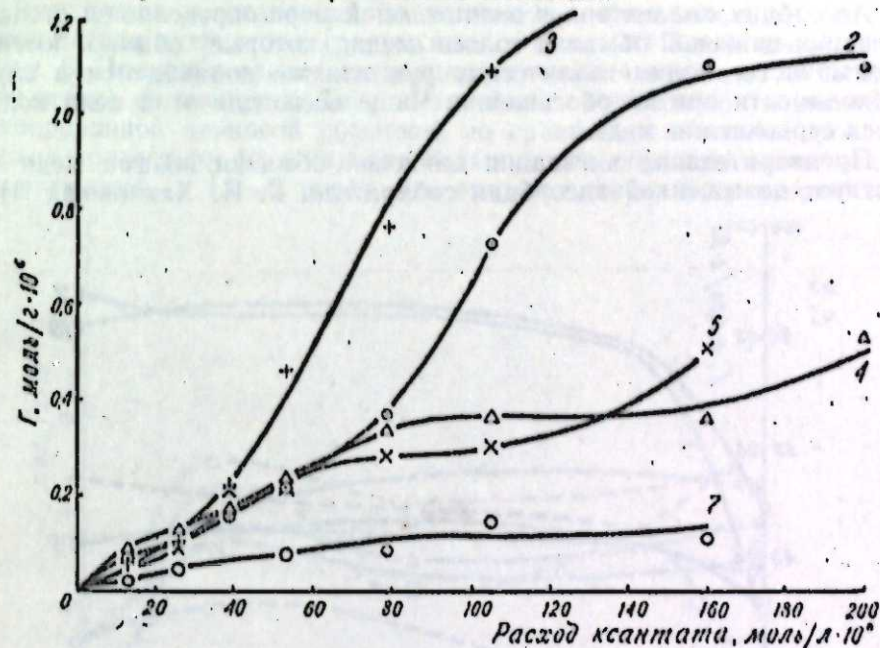


Рис. 3. Адсорбция бутилового кеантогената сфалеритом некоторых месторождений Приморского края.

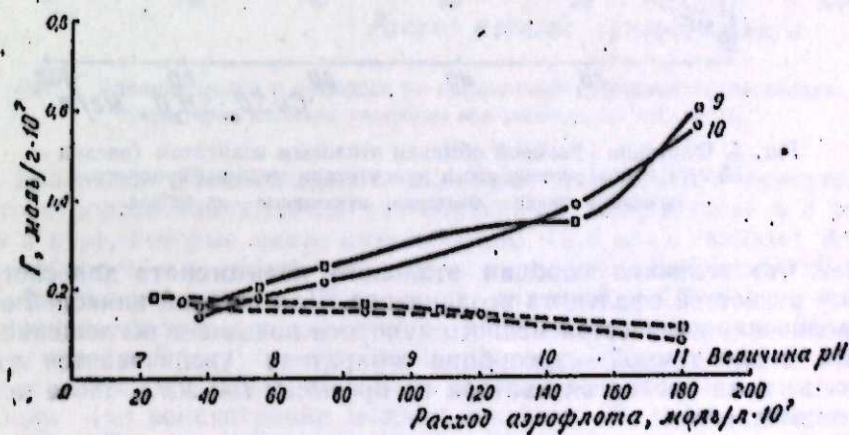


Рис. 4. Адсорбция аэрофлота сфалеритом Приморского месторождения. Сплошные линии — при переменном расходе коллектора, пунктирные — при различной величине pH.

Изучение адсорбции собирателей неактивированными разновидностями цинковой обманки показывает, что величина поглощения для них различна. Наибольшей адсорбционной способностью обладают образцы сфалерита Приморского месторождения, отличающиеся большим содержанием железа (14—15%), что противоречит выводам Д. И. Коган [4] о лучшей сорбции кеантогената маложелезистой цинковой обманкой.

Вместе с тем железистые разности Третьего Советского рудника ведут себя подобно маложелезистым образцам Верхнего рудника, хотя по содержанию железа они приближаются к приморским разновидностям цинковой обманки. В данном случае поведение различных сфалеритов не может быть объяснено только содержанием железа, а, возможно, зависит от генезиса месторождений.

Адсорбция коллектора в значительной мере определяется степенью активации цинковой обманки солями меди, которые обычно имеются в большинстве полиметаллических руд или же добавляются в случае необходимости при их обогащении. Чаще всего для этой цели используется сернокислая медь.

Предварительная активация цинковой обманки ионами меди способствует повышенной адсорбции собирателя. Г. Н. Хажинская [1] от-

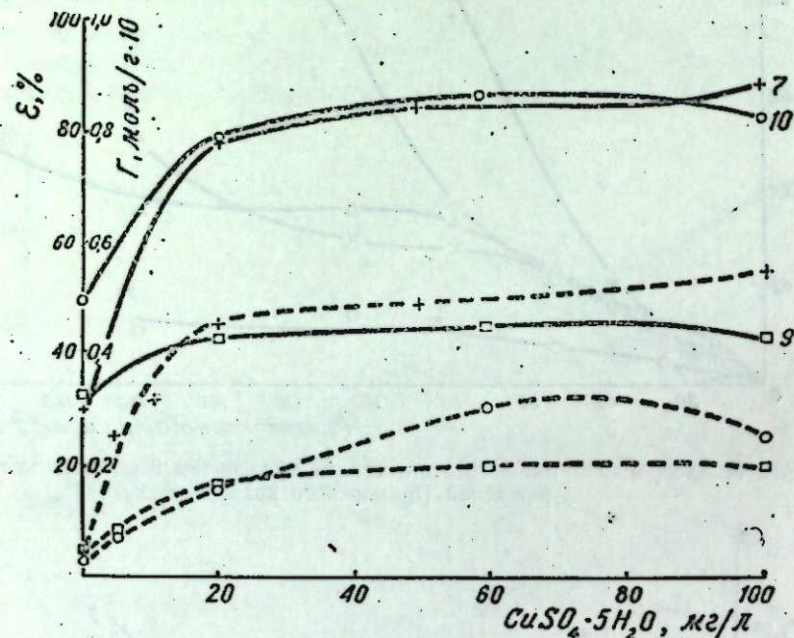


Рис. 5. Флотация цинковой обманки этиловым ксантогенатом (расход — 50 г/т) и поглощение его в присутствии медного купороса. Сплошные линии — флотация, пунктирные — адсорбция.

мечает, что величина сорбции этилового ксантогената для светлой и темной разностей сфалерита неодинакова. Для светлой цинковой обманки увеличение количества медного купороса повышает поглощение собирателя, а для темной — адсорбция собирателя увеличивается до того момента, пока расход активатора не превысит 750 мг/л, после чего заметно снижается.

Влияние медного купороса на адсорбцию этилового ксантогената и флотацию разновидностей цинковой обманки приморских месторождений показано на рис. 5. Поглощение этилового ксантогената активированной цинковой обманкой значительно возрастает для светлой разности (проба 7) и менее для темных образцов (пробы 9 и 10). При этом величина адсорбции на пробе 7 растет с увеличением расхода активатора, на пробе 9 почти не меняется после 20 мг/л и на пробе 10 снижается при расходе активатора 100 мг/л (что соответствует 1000 г/т при принятом отношении Т : Ж). Очевидно, в последнем случае активатор становится депрессором и, связывая ионы собирателя, понижает

его концентрацию в растворе, ухудшая адсорбцию и флотацию.

При данных концентрациях коллектора наблюдается прямая пропорциональность между извлечением минерала и величиной адсорбции. После предварительной активации флотация как светлых, так и темных разновидностей цинковой обманки протекает вполне успешно.

Результаты исследований по поглощению бутилового ксантогената в присутствии активатора (расход его от 5 до 100 мг/л) представлены на рис. 6. Предварительная активация улучшает адсорбцию коллектора, но величина ее различна. Так, поглощение бутилового ксантогената активированной цинковой обманкой по сравнению с неактивированной (расход коллектора 10 мг/л) для большинства образцов увеличивается незначительно (в 1,5—2 раза), что свидетельствует о природной акти-

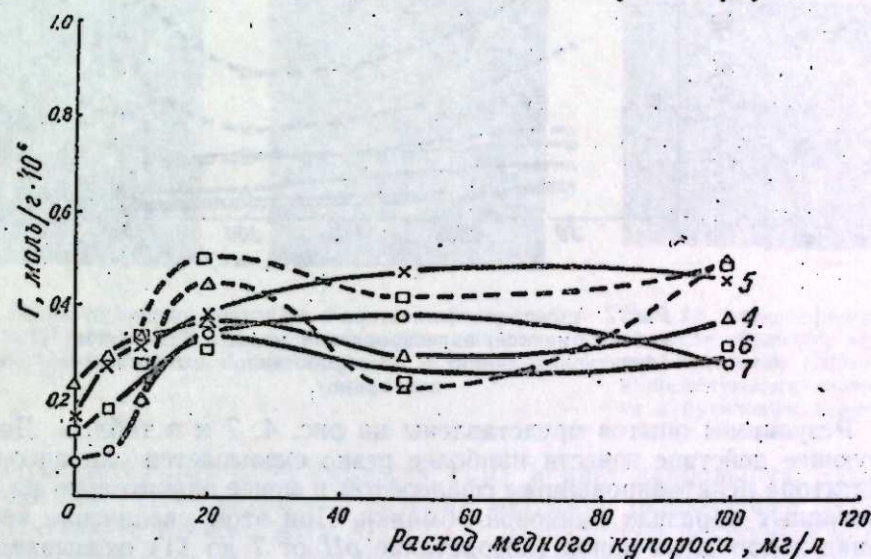


Рис. 6. Влияние медного купороса на поглощение бутилового ксантогената. (пунктиром показана адсорбция при введении 100 мг/л CaO).

зации минералов. Максимальная величина адсорбции в присутствии медного купороса наблюдается для образцов 5 (возрастание в 3 раза) и 7 (в 5 раз), которые менее активированы. При этом характер поглощения собирателя в присутствии ионов меди для разновидностей цинковой обманки не одинаков. Так, если для проб 1, 3, 5 и 7 адсорбция возрастает соответственно увеличению расхода активатора до 50 мг/л, а при дальнейшей загрузке его снижается, то для проб 2, 4 и 6 поглощение реагента происходит по-иному: сначала наблюдается увеличение адсорбции (до концентрации медного купороса 20 мг/л), затем снижение и новый подъем (см. рис. 6). Подобные результаты получены на данных образцах цинковой обманки и в щелочной среде (концентрация окиси кальция 100 мг/л).

Полученные данные свидетельствуют о том, что и после предварительной активации сфалерита поглощение собирателя (в моль/г) почти одинаково, но степень покрытия, как показали подсчеты, различна.

Активация цинковой обманки солями меди зависит от величины рН. Наиболее быстро адсорбция катиона меди происходит при рН = 6,0 и понижается как при увеличении, так и при уменьшении этого показателя [8].

Представляло интерес выяснить, как протекает адсорбция коллектора данными разновидностями цинковой обманки в щелочной среде. Были поставлены опыты с различной щелочностью, которая изменялась при помощи окиси кальция (расход 50—250 мг/л) и соответствовала величине pH от 7 до 11. Дозировка активатора на основании опытных данных была принята равной 50 мг/л для проб 5 и 7 и 20 мг/л для проб 2 и 4. Влияние переменной концентрации извести на поглощение бутилового ксантогената изучалось на минерале крупностью — 0,15 + 0,074 мм.

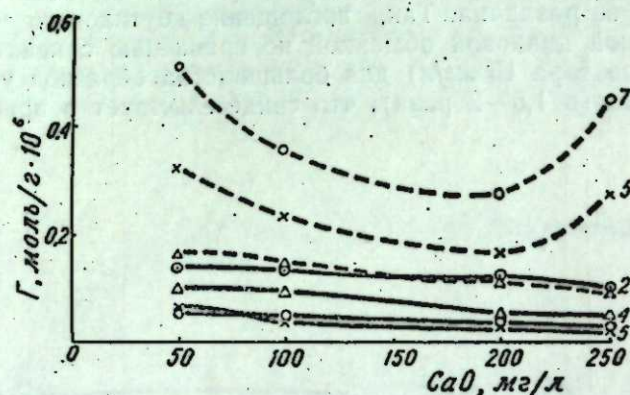


Рис. 7. Адсорбция коллектора в щелочной среде цинковой обманкой, активированной медным купоросом (пунктирные линии) и не обработанной им (сплошные линии).

Результаты опытов представлены на рис. 4, 7 и в табл. 2. Депрессирующее действие извести наиболее резко сказывается на адсорбции коллектора неактивированным сфалеритом и менее значительно на активированных образцах цинковой обманки. При этом увеличение концентрации водородных ионов (возрастание pH от 7 до 11) оказывает значительное влияние на адсорбцию всех испытанных коллекторов (особенности этилового ксантогената) цинковой обманкой Приморского месторождения и в меньшей степени — сфалеритом Верхнего и Третьего Советского рудников.

Таблица 2

Поглощение коллектора в зависимости от величины pH
(расход коллектора 180 г/т, или 18 мг/л, или 112,2 моль/л · 10⁻⁶)

pH	Адсорбция собирателя				Применяемый реагент
	% от исх.	мг/г	моль/г · 10 ⁻⁶	моль/л · 10 ⁻⁶	
7,1	50,5	0,091	0,056	9,0	Этиловый ксантогенат калия
8,65	18,8	0,034	0,021	3,37	
9,2	16,1	0,029	0,18	2,89	
11	3,3	0,006	0,037	0,59	
7,1	37,2	0,067	0,41	6,59	Бутиловый ксантогенат калия
8,65	29,4	0,053	0,33	5,29	
9,2	13,8	0,025	0,15	2,41	
11	8,8	0,016	0,099	1,59	
7,1	38,8	0,070	0,34	5,46	Изоамиловый ксантогенат калия
8,65	35,0	0,063	0,31	4,98	
9,2	18,3	0,033	0,16	2,57	
11	12,2	0,022	0,10	1,60	

При наличии в растворе солей меди (медный купорос) адсорбция бутилового ксантогената на цинковой обманке снижается до некоторого предела (концентрация СаО 200 мг/л, или $pH \sim 9$), а затем вновь возрастает (см. рис. 7). Очевидно, поглощение коллектора в данном случае зависит от адсорбции катиона меди, величина которой минимальна при значении $pH = 9$ [8].

Выяснение характера распределения реагентов на поверхности цинковой обманки производилось с помощью радиографии. В настоящей работе применен метод «мокрой автордиографии», предложенный Гомбергом [11]. Преимущество этого метода состоит в том, что он позволяет получить на поверхности исследуемых объектов очень тонкий

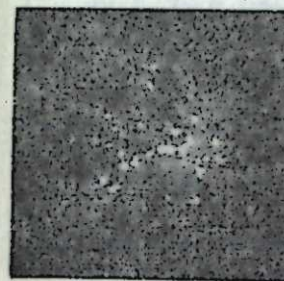


Рис. 8. Зерно сфалерита с закрепившимся на нем этиловым ксантогенатом.

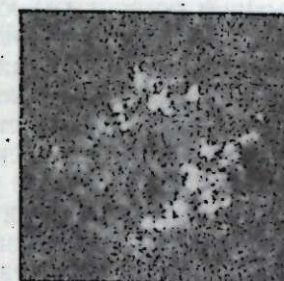


Рис. 9. Зерно сфалерита с закрепившимся на нем бутиловым ксантогенатом.

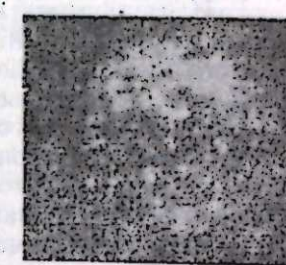


Рис. 10. Зерно сфалерита после обработки медным купоросом (200 г/т) и последующего контакта с бутиловым ксантогенатом.

высокочувствительный слой эмульсии (1 м) и дает наибольшую разрешающую силу, по сравнению с другими методами радиографии. В работах Института горного дела АН СССР разработана подробная методика его применения [11], которая и использована при выполнении автордиографических исследований цинковых обманок Приморского края.

В качестве радиоактивного реагента применялись этиловый и бутиловый ксантогенаты, меченые по сере. Концентрация реагентов изменялась от 50 до 360 г/т. Крупность зерен минерала составляла — 150 + 100 м. Исследования проводились на тех же образцах цинковых обманок с неактивированной и активированной поверхностью. Активизация осуществлялась медным купоросом, концентрация которого менялась от 5,0 до 100,0 мг/л. Просмотр зерен цинковой обманки и фотографирование проводились на вертикальном металлографическом микроскопе МИМ-5. Некоторые из полученных снимков приводятся ниже (рис. 8—10).

На рис. 8 представлена частица цинковой обманки Приморского месторождения, обработанной этиловым ксантогенатом (10,0 мг/т), на рис. 9 — частица того же минерала, покрытая бутиловым ксантогенатом (10,0 мг/т). Распределение коллектора на поверхности минерала неравномерное (об этом свидетельствуют светлые участки снимков), наблюдается концентрация реагента на одних участках при отсутствии его на других. На исследованных образцах сфалерита радиография подтверждает данные радиометрии о лучшей адсорбции бутилового ксантогената по сравнению с этиловым.

На рис. 10 представлена частица цинковой обманки, обработанной сначала медным купоросом (200 мг/л), а затем бутиловым ксантогенатом (10,0 мг/л). Снимок показывает, что плотность слоя ксантогената,

закрепившегося на сфалерите, увеличивается после активации. Полученные фотографии частиц цинковой обманки, обработанной медным купоросом при более высоких дозировках, свидетельствуют о том, что количество закрепившегося реагента растет только до определенного предела, после которого дальнейшее повышение расхода активатора снижает величину адсорбции. Следовательно, для данного образца активированной цинковой обманки характер адсорбции реагента и его распределение на поверхности однозначны.

Выводы

1. Изучена методами радиометрии и радиографии адсорбция различных коллекторов на разновидностях сфалерита месторождений Приморского края. Выяснено, что цинковая обманка различных месторождений не одинаково поглощает ионы коллектора: железистый сфалерит Приморского месторождения обладает лучшей адсорбционной способностью по отношению ко всем рассмотренным коллекторам сравнительно со сфалеритом Третьего Советского и особенно Верхнего рудника, содержащего наименьшее количество примесей.

2. Присутствие меди способствует природной активации цинковой обманки, что исключает в большинстве случаев необходимость ведения значительных количеств активатора для улучшения адсорбции коллектора и флотации.

3. Как светлые, так и темные разновидности цинковой обманки, активированные медным купоросом, поглощают примерно одинаковое количество собирателя (в моль/г), но степень покрытия их коллектором различна.

4. Установлена прямая зависимость между поглощением ионов коллектора при небольших концентрациях (расход этилового ксантогената 5 мг/л) и флотацией.

5. Показано, что поведение различных разновидностей цинковой обманки зависит не только от содержания железа, но и от других, пока еще не выясненных, факторов.

6. Распределение реагента на поверхности как активированной, так и неактивированной цинковой обманки неоднородное: наблюдается наличие его на одних участках при отсутствии на других. Методом радиографии установлено, что плотность закрепившегося на сфалерите коллектора неодинакова: на активированной цинковой обманке она больше, чем на неактивированной.

Дальневосточный филиал
Сибирского отделения АН СССР

Поступила в редакцию
27/VI 1959

ЛИТЕРАТУРА

1. Г. Н. Хажинская, Влияние аэрации и окислороживания на флотацию цинковой обманки. Канд. дисс. ИГД АН СССР, М., 1953.
2. О. С. Богданов, А. К. Поднек, Е. А. Аифимова, Исследование действия реагентов при флотации различных разновидностей сфалерита с различной степенью активации. Отчет «Механобра», Л., 1956.
3. Е. А. Аифимова, К вопросу совместного действия ксантогенатов в процессе флотации сульфидных минералов меди и цинка. Канд. дисс. ИГД АН СССР, М., 1953.
4. Д. И. Коган, К вопросу изучения поведения разновидностей цинковой обманки при флотации свинцово-цинковых руд. Канд. дисс., Москов. ин-т цв. металлов и золота, 1958.

5. Н. П. Ермаков, Исследование минералообразующих растворов. Изд-во Харьковского ун-та, Харьков, 1950.
6. G. Kullerud, The FeS—ZnS system a geological thermometer. Norsk Geologisk Tidsskrift, № 32, 1953.
7. А. К. Поднек, Исследование действия ксантогената и влияния некоторых модификаторов на флотацию галенита, сфалерита и церуссита с применением метода радиоактивных индикаторов. Автореф. канд. дисс., ин-т «Механобр», Л., 1956.
8. С. И. Митрофанов, Селективная флотация. Metallurgizdat, М., 1958.
9. C. M. Judson, A. A. Lerew, R. B. Booth, Radiotracer studies of action of dithiophosphate in the selective flotation of galena and sphalerite using CuSO_4 and NaCN . Mining Eng., April, 1952.
10. H. Gombert, A. new high resolution system of autoradiography. Nucleonics, vol. 9, № 4, 1951.
11. И. Н. Плаксин, Л. Т. Старчик, В. И. Тюрикова, Методика автордиографии при исследовании распределения флотационных реагентов на поверхности частиц сульфидных минералов. Изв. АН СССР, ОТН, № 3, 1957.

Г. Б. БОКИЯ, С. С. БАЦАНОВ

КРИСТАЛЛОХИМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ОБЩЕГО ХОДА
КАЧЕСТВЕННОГО АНАЛИЗА

Качественный анализ катионов основан на их различном поведении в ряде минеральных кислот: получающиеся при этом соли могут существенно различаться по своей растворимости, что и позволяет разделить элементы. Однако сами вопросы растворимости различных солей, особенно в связи с положением элементов в периодической системе, еще недостаточно изучены. Последнее затрудняет понимание сущности и, главное, предвидение реакций качественного химического анализа. Использование данных и методов кристаллохимии позволяет по-новому осветить процессы, сопровождающие общий ход качественного анализа.

1. С кристаллохимической точки зрения, соль растворима в воде в том случае, если энергия притяжения ионов молекулами воды больше или равна энергии взаимодействия ионов в кристаллической решетке, т. е. при условии, что энергия решетки меньше или равна энергии гидратации $U \leq Z$.

Решение задачи о влиянии зарядов и радиусов ионов на растворимость соли в общем виде затруднительно и все еще не совсем надежно [1]. Однако в тех случаях, которые важны для качественного анализа, наблюдается довольно простая закономерность: увеличение валентности катионов более резко повышает энергию решетки, чем энергию гидратации, и, следовательно, понижает растворимость.

По этой причине сульфиды и окислы двухвалентных металлов практически нерастворимы, тогда как сульфиды и окислы щелочных металлов легко растворяются в воде.

Однако сульфиды и окислы элементов подгруппы I-в также трудно растворимы, как и соединения двухвалентных катионов. Следовательно, валентность — не единственный фактор, определяющий растворимость соединения. Существенно влияет на нее также характер химической связи при одинаковой валентности элементов.

С точки зрения теории поляризации решающую роль здесь играет деформация катионом аниона в решетке или молекулы воды в растворе, на что впервые указал Стиллвелл [2]. Можно различать четыре случая в зависимости от того, является ли катион слабо или сильно поляризующим. Эти четыре случая представлены на схеме рис. 1 [3]. Легче воды поляризуются ионы Cl^- , Br^- , I^- , труднее — F^- и комплексные ионы типа SO_4^{2-} , ClO_3^- , $PtCl_6^{2-}$ и т. п.

Соответственно этой же схеме галогениды серебра и натрия будут иметь различную растворимость (рис. 2).

Причина такого различия в растворимостях объясняется дополнительной энергией, которая выделяется при поляризации ионов. Так, в случае аниона, поляризующегося легче молекулы воды, для веществ, содержащих сильно поляризующие катионы, энергия решетки будет превы-

шать энергию гидратации (соль будет труднорастворимой). Вообще говоря, в солях хлора дополнительная (за счет деформации ионов) энергия будет энергией решетки, а в солях фтора — энергией гидратации.

Закономерному изменению растворимости солей вместе с изменением характера химических связей можно дать объяснение не только исходя из теории поляризации, но и с позиций концепции электроотрицательностей. Эти два подхода, по существу, дают одинаковые результаты [4], но последний имеет то преимущество, что позволяет дать количественную характеристику исследуемому явлению.

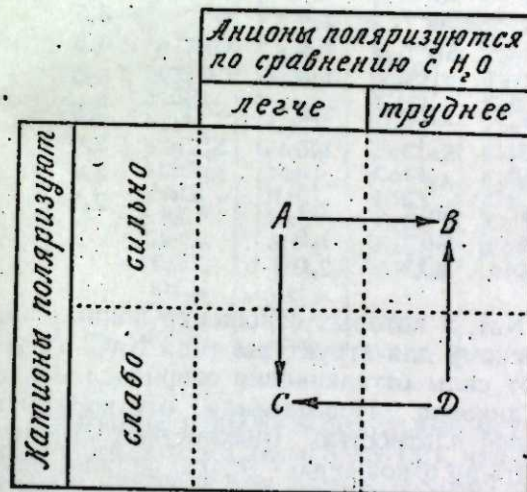


Рис. 1. Схема влияния поляризации на растворимость.

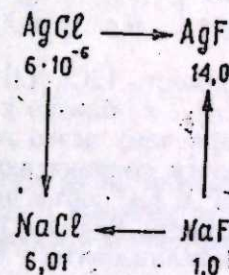


Рис. 2. Сравнение растворимости галогенидов натрия и серебра (в моль/л).

Рассматривая приведенные на рис. 2 случаи и сравнивая электроотрицательности соответствующих элементов (табл. 1), легко убедиться в том, что при переходах $AgCl \rightarrow AgF$ и $AgCl \rightarrow NaCl$ возрастает разница в электроотрицательностях и, следовательно, полярность связи. Так, ионность связи $Ag-Cl$ с учетом координационного числа [5] равняется 54% $Ag-F$ 80% и $Na-Cl$ 95%. В соответствии с резким возрастанием ионности связи повышается и растворимость солей из-за увеличения диполь-дипольного взаимодействия ионов соли с молекулами воды. Обратные переходы $NaF \rightarrow AgF$ и $NaF \rightarrow NaCl$ сопровождаются меньшим изменением ионности связи (98 \rightarrow 80% и 98 \rightarrow 95%, соответственно) при заметном росте межионных расстояний: при переходе $NaF \rightarrow AgF$ длины связей увеличились на 0,15, а при переходе $NaF \rightarrow NaCl$ — на 0,48 Å. Последний фактор — увеличение расстояний — гораздо резче сказывается на энергии кристаллической решетки, чем изменение характера связи в той области, где вещество ведет себя практически уже как чисто ионное. В случае же прямых переходов изменение в длинах связей значительно меньше ($AgCl \rightarrow AgF$ — 0,31 и $AgCl \rightarrow NaCl$ — 0,02 Å), и там, как уже было сказано, преобладающую роль играет природа химической связи.

Рассмотренные выше примеры говорят о том, что на растворимость, помимо валентности и характера химической связи, влияют также геометрические факторы. Этими последними и обусловлена повышенная

Таблица 1
Электроотрицательности наиболее распространенных элементов
и некоторых сложных анионов

Катион	Электроотриц.	Катион	Электроотриц.	Катион	Электроотриц.	Анион	Электроотриц.
Li ⁺	0,95	Cu ²⁺	2,0	Al ³⁺	1,5	P ⁻	3,95
Na ⁺	0,9	Zn ²⁺	1,5	Ga ³⁺	1,5	Cl ⁻	3,0
K ⁺	0,8	Cd ²⁺	1,5	In ³⁺	1,5	Br ⁻	2,8
Cu ⁺	1,8	Hg ²⁺	1,8	Bi ³⁺	1,8	I ⁻	2,6
Ag ⁺	1,8	Mn ²⁺	1,4	As ³⁺	2,0	O ²⁻	3,5
Au ⁺	2,3	Fe ²⁺	1,7	Sb ³⁺	1,8	OH ⁻	3,5
Tl ⁺	1,5	Co ²⁺	1,7	Tl ⁴⁺	1,6	CO ₃ ²⁻	3,5
Hg ⁺	1,8	Ni ²⁺	1,8	Zr ⁴⁺	1,5	SO ₄ ²⁻	3,5
Be ²⁺	1,5	Sn ²⁺	1,7	Sn ⁴⁺	1,8	S ²⁻	2,6
Mg ²⁺	1,2	Pb ²⁺	1,6	As ⁵⁺	2,0	Se ²⁻	2,4
Ca ²⁺	1,0	La ³⁺	1,1	Sb ⁵⁺	2,1	Te ²⁻	2,1
Sr ²⁺	1,0	Cr ³⁺	1,6	Mo ⁶⁺	1,9		
Ba ²⁺	0,9	Fe ³⁺	1,8	W ⁶⁺	2,0		

растворимость LiCl, LiI, NaBr, NaI, в которых отношение ионных радиусов $r_a : r_x$ близко к критическому для структуры типа NaCl (0,41), благодаря чему резко возрастают силы отталкивания соприкасающихся (или почти соприкасающихся) анионов. Повышенная растворимость KF, RbF и CsF объясняется малой плотностью (рыхлостью) структур этих веществ. Все они, если судить по отношению $r_a : r_x$, должны были бы кристаллизоваться в структурном типе CsCl, а в действительности кристаллизуются в структурном типе NaCl [3].

Весьма важным является также различие координационных и слоистых структур по их растворимости в воде. Известно, что силы связей в координационных структурах определяются сотнями килокалорий на моль, тогда как связи между слоями атомов могут носить вандер-ваальсовский характер, и тогда их энергии равны нескольким килокалориям на моль. Отсюда становится ясным, что, при прочих равных условиях, вещества со слоистыми структурами должны растворяться значительно легче, чем с координационными.

Совокупность перечисленных факторов определяет растворимость кристаллического вещества, и их привлечение поможет осмыслить общий ход качественного анализа элементов.

2. На водный раствор, содержащий катионы наиболее важных металлов (см. табл. 1), обычно действуют разбавленной соляной кислотой. При этом хлориды Cu⁺, Ag⁺, Au⁺, Tl⁺, Hg⁺ и Pb²⁺ выпадают в осадок, а остальные катионы остаются в фильтрате.

Все соли, выпавшие в осадок, имеют координационные структуры (табл. 2) с преимущественно ковалентным характером химических связей. Поскольку электроотрицательности указанных выше элементов колеблются в пределах 1,5—2,3 (см. табл. 1), связи Me—Cl примерно только на 30% носят ионный характер [6], что, естественно, затрудняет диссоциацию ионов. Предельный случай координационной структуры с ковалентными связями — алмаз — может иллюстрировать высказанное положение.

Хлориды металлов, растворимые в разбавленной соляной кислоте, имеют структуры либо координационные (щелочные и щелочноземельные галогениды, см. табл. 2), либо слоистые или молекулярные: хлориды

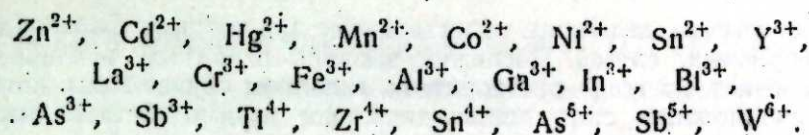


Таблица 2
Структурные типы хлоридов

Координационные		Слоистые		Молекулярные	
состав	тип	состав	тип	состав	тип
CuCl	ZnS	MgCl ₂	CdCl ₂	HgCl ₂	HgCl ₂
AgCl	NaCl	ZnCl ₂	CdCl ₂	TlCl ₄	SnI ₄
AuCl	—	CdCl ₂	CdCl ₂	ZrCl ₄	SnI ₄
TlCl	CsCl	MnCl ₂	CdCl ₂	SnCl ₄	SnI ₄
PbCl ₂	PbCl ₂	FeCl ₂	CdCl ₂	WCl ₆	WCl ₆
LiCl	NaCl	CoCl ₂	CdCl ₂		
NaCl	NaCl	NiCl ₂	CdCl ₂		
KCl	NaCl	CrCl ₃	CrCl ₃		
BeCl ₂	SiO ₂	FeCl ₃	FeCl ₃		
CaCl ₂	TiO ₂	AlCl ₃	AlCl ₃		
SrCl ₂	CaF ₂				
BaCl ₂	PbCl ₂				
LaCl ₃	UCl ₃				

Щелочные и щелочноземельные металлы имеют очень низкие электроотрицательности (от 0,8 до 1,2), что соответствует высоким степеням ионности связей и тем самым высокой растворимости в полярных жидкостях.

Слоистые и молекулярные структуры характеризуются ослабленными силами взаимодействия между молекулами или слоями атомов, что также обуславливает их легкую растворимость.

Из сказанного следует, что первоначальная операция общего хода качественного анализа кристаллохимически вполне понятна. Отсюда можно сделать также вывод, что при замене воды на менее полярный растворитель, а в пределе — на какое-нибудь органическое масло, можно поменять местами соли, выпадающие в осадок и остающиеся в растворе при обычном ходе качественного анализа. Поскольку старое химическое правило — подобное растворяется в подобном — с практической точки зрения совершенно точно передает возможности растворения веществ, ясно, что вариация растворителей может привести к осаждению только веществ с координационными структурами, а в принципе и к растворению тех веществ, которые выпадают в осадок в водной фазе.

3. Следующий этап общего хода качественного анализа заключается в действии сероводорода. При этом сульфиды Cu²⁺, Cd²⁺, Bi³⁺, Hg²⁺, а также мышьяка, сурьмы, вольфрама и олова осаждаются, тогда как остальные катионы остаются в растворе.

Причина трудной растворимости сульфидов указанных элементов, обладающих высокими электроотрицательностями (см. табл. 1), состоит в преимущественно ковалентном характере связи (ионность составляет всего 10%). Структурные различия веществ тут уже не имеют определяющего значения, т. е. и слоистые и координационные структуры будут вести себя одинаково. Действительно, хотя энергии ковалентных или ионных связей превышают по меньшей мере на порядок энергии вандер-ваальсовского взаимодействия, энергии гидратации имеют во всех этих

случаях ничтожные величины, недостаточные для разрыва любых (даже самых непрочных) связей. Последнее вызвано огромным различием в характере связи осадка и растворителя, в данном случае воды, которое делает невозможным само диполь-дипольное взаимодействие, определяющее энергию гидратации.

Вообще говоря, в нейтральной среде в осадок бы выпали сульфиды всех металлов, имеющих высокие электроотрицательности, однако в солянокислой среде при $pH = 0,5$ (по термодинамическим причинам — произведение растворимостей) выпадают только соединения упомянутых выше катионов.

В самом деле, в аналитической практике принято считать осаждение иона полным, когда остаточная концентрация его не превышает $1 \cdot 10^{-4} - 10^{-5}$ г-ион/л. Исходя из констант диссоциации сероводородной кислоты, приходим к следующим концентрациям ионов S^{2-} в зависимости от концентраций ионов H^+ :

$pH:$	0,5	1,5	2,4	3,7	4,7	7,0	9,3
$[S^{2-}]$	$1 \cdot 10^{-22}$	$1 \cdot 10^{-20}$	$1 \cdot 10^{-18}$	$2,5 \cdot 10^{-16}$	$5 \cdot 10^{-19}$	$5 \cdot 10^{-10}$	$2 \cdot 10^{-7}$

Если учесть, что произведение растворимости (L), например FeS , равно $1 \cdot 10^{-19}$, то концентрация ионов серы, при которой происходит полное осаждение железа, равна:

$$[S^{2-}] = \frac{L_{FeS}}{[Fe^{2+}]} = \frac{1 \cdot 10^{-19}}{1 \cdot 10^{-5}} = 1 \cdot 10^{-14}$$

Из приведенных выше цифр вытекает, что такой концентрации соответствует $pH \approx 4,7$, тогда как первый этап осаждения сероводородом ведется в среде с $pH \approx 0,5$. Аналогично обстоит дело и в остальных случаях, где катионы не дают нерастворимых осадков с ионами серы в солянокислой среде. Поэтому осаждение сульфидов Be^{2+} , Mn^{2+} , Co^{2+} , Ni^{2+} , Zn^{2+} , Fe^{2+} , Al^{3+} , Cr^{3+} , Ti^{4+} и Zr^{4+} (III аналитическая группа) ведется в слабосредней среде ($pH \approx 9$) с тем, чтобы удовлетворить требованиям произведения растворимостей.

Добавление сернистого аммония переводит сульфиды мышьяка, сурьмы, олова, молибдена и вольфрама в комплексные соединения $(NH_4)_n \Delta S_m$: $(NH_4)_2 SnS_3$, $(NH_4)_2 SbS_4$, $(NH_4)_3 AsS_4$ и т. д. Связи во внешней сфере таких комплексов существенно ионные, так как ион аммония подобен катионам щелочных металлов (т. е. электроотрицательность равна 0,8—0,9). Кроме того, поскольку связи в $[\Delta S_m]^{n-}$ ковалентны по своему характеру (степень ионности $\approx 5\%$), атом серы почти совершенно не истощает своего сродства к электрону и вся неистраченная энергия электроотрицательности обращается к иону аммония. Последнее обстоятельство делает связь $NH_4^+ - S$ еще более ионной, чем в случае простого сульфида аммония. Оба эти фактора приводят к высокой растворимости солей типа $(NH_4)_n \Delta S_m$.

Ионы Cu^{2+} , Cd^{2+} , Bi^{3+} , Hg^{2+} и Sn^{2+} не образуют комплексных соединений с сульфидом аммония, и поэтому сульфиды указанных катионов не растворяются при этих условиях.

4. Последний этап общего хода качественного анализа состоит в действии на фильтрат, содержащий ионы щелочных и щелочноземельных металлов, карбоната аммония. При этом ионы двухвалентных элементов соединяются с CO_3^{2-} с образованием нерастворимых веществ, а ионы щелочных металлов остаются в растворе. Причина различной растворимости в данном случае обусловлена различием зарядов катионов (Me^+ и Me^{2+}), благодаря чему энергия решетки карбонатов Me^{2+} прак-

тически вдвое больше энергии карбонатов Me^+ $\left[U = f\left(\frac{e^2}{r}\right) \right]$, тогда как энергии гидратации увеличиваются в том же ряду приблизительно в полтора раза.

* * *

Рассмотренные выше закономерности имеют главным образом качественный характер, по они охватывают основные причины изменения растворимости кристаллических веществ, обусловленные кристаллохимическими факторами. Развитие этих представлений может привести к созданию количественной кристаллохимической теории качественного анализа.

Институт неорганической химии
Сибирского отделения АН СССР

Поступила в редакцию
12/VI 1959

ЛИТЕРАТУРА

1. К. Б. Яцимирский, Термохимия комплексных соединений. Изд. АН СССР, М.—Л., 1951.
2. R. Stillwell, Crystalchemistry, 1936.
3. Г. Б. Бокний, Введение в кристаллохимию. Изд. МГУ, М., 1953.
4. С. С. Бацанов, О взаимосвязи теории поляризации и конценции электроотрицательностей. ЖНХ, 2, 1957.
5. С. С. Бацанов, Новый метод вычисления молекулярных рефракций. ЖНХ, 3, 1958.
6. Л. Паулинг, Природа химической связи, Госхимиздат, М.—Л., 1947.

М. В. СМЕРНОВ, Л. А. ЦИОВКИНА

КАТОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ ПРИ ЭЛЕКТРОЛИЗЕ СОЛЕВЫХ РАСПЛАВОВ, СОДЕРЖАЩИХ ТИТАН

В последнее время усилия многих исследователей направлены на разработку эффективных электролитических способов производства титана. Об этом свидетельствуют многочисленные патенты, в которых описывается получение металла из расплавленных электролитов различного состава. Рекомендуемые электролиты представляют собой расплавы хлоридов щелочных или щелочноземельных металлов с добавками хлоридов титана ($TiCl_4$, $TiCl_3$ и $TiCl_2$) или фтортитаната калия.

В литературе появились работы [1—7], посвященные изучению электролиза в таких расплавах. Основное внимание в них уделяется катодным процессам. Одни авторы [1, 4—6] считают, что титан осаждается на катоде в результате непосредственного разряда его ионов, другие [2, 3, 7] полагают, что выделение металла происходит вследствие вторичной химической реакции восстановления щелочным металлом, который образуется при разряде ионов титана. Ни в одной из опубликованных работ нет данных, которые показывали бы зависимость катодных процессов от плотности тока, температуры и концентрации титана в электролите. Чтобы восполнить этот недостаток, нами было предпринято изучение катодной поляризации в расплавленной эквимольной смеси хлоридов натрия и калия, содержащей определенные количества ди-, три- или тетрахлорида титана или фтортитаната калия, при $700-800^\circ C$ в широком интервале плотностей тока от 10^{-3} до 6 а/см^2 .

Опыты проводили с ячейками двух типов, устройство которых изображено схематически на рис. 1. Ячейки первого типа использовали для расплавов, содержащих дихлорид титана или фтортитанат калия. Титановый анод и вспомогательный свинцовый катод брали лишь в опытах с дихлоридом. В ячейках второго типа работали с расплавами, содержащими три- или тетрахлорид титана.

Двухвалентный титан получали непосредственно в расплаве анодным растворением металла. Чтобы при этом воспрепятствовать выделению титана на катоде, анодное и катодное пространства ячейки были разделены диафрагмой, в качестве которой служил пористый алуноводный тигель. Трихлорид титана pripravляли восстановлением $TiCl_4$ водородом (смесь паров $TiCl_4$ с водородом продувалась через расплав $NaCl-KCl$ при $750-800^\circ$). Тетрахлорид вводили в электролит в токе аргона. Фтортитанат марки ЧДА сплавляли с $NaCl-KCl$ в атмосфере чистого аргона на воздухе.

После загрузки солей пробирку заполняли чистым аргоном. Ячейки нагревали в электрической печи сопротивления, где заданная температура поддерживалась постоянной в пределах $\pm 5^\circ$. Потенциалы катода измеряли относительно хлорного электрода сравнения с помощью шлейфного осциллографа в моменты выключения поляризующего тока. Выключение поляризующего тока с одновременным подключением ячейки к измерительной схеме производилось реле времени. При заданной плот-

ности тока катод поляризовали в течение 3 сек. Между ячейкой и осциллографом включали ламповый усилитель постоянного тока, который позволял отбирать от ячейки токи не выше 10^{-6} а .

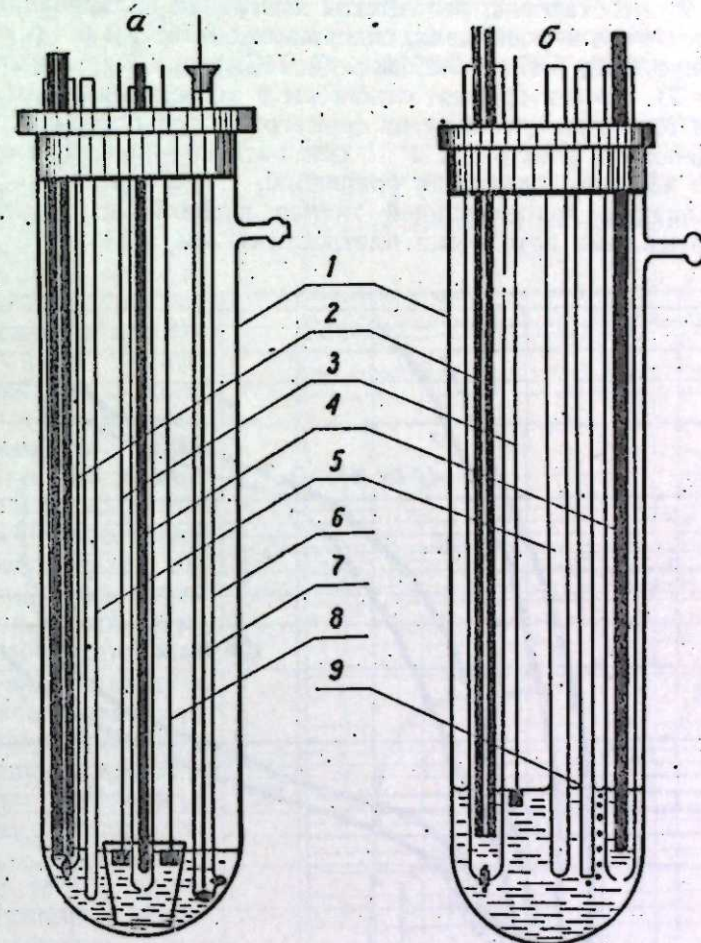


Рис. 1. Ячейка для изучения поляризации молибденового катода в расплаве $NaCl-KCl$, содержащем, а) $TiCl_2$ или K_2TiF_6 , б) $TiCl_3$ или $TiCl_4$.

1 — кварцевая пробирка, 2 — хлорный электрод сравнения, 3 — молибденовый катод, 4 — угольный анод, 5 — чехол для термопары, 6 — кварцевая пробирка для свинцового катода, 7 — молибденовый токоподвод к свинцовому катоду, 8 — титановый анод, 9 — трубка для продувки $TiCl_4$.

Поляризация катода при электролизе расплава, содержащего двухвалентный титан

Известно, что в хлоридных расплавах, находящихся в контакте с металлическим титаном, большая часть его находится в форме двухвалентных ионов [8, 9]. В нашей работе [10] было показано, что при анодном растворении титана в хлоридных расплавах большая доля его переходит в электролит также в виде ионов Ti^{2+} (в конечном счете соотношение концентраций ионов титана получается таким же, как и в контакте с металлом, поскольку растворение сопровождается лишь концентрационной поляризацией). Это обстоятельство было использовано нами для введения в электролит двухвалентного титана посредством анодного растворения металла.

Определенные в нашей лаборатории равновесные потенциалы металлического титана в зависимости от концентрации его ионов в электролите и температуры [11] дали возможность фиксировать на поляризационных кривых участки, соответствующие выделению металла.

На рис. 2 представлены результаты измерения поляризации молибденового электрода в расплавах, содержащих 0,16; 1,0 и 4,0 вес. % Ti (соответственно 0,40; 2,47 и 9,85 вес. % $TiCl_2$) при 700° (кривая 1) и 800° (кривая 2). По оси ординат отложены в логарифмическом масштабе плотности тока, рассчитанные на геометрическую поверхность исходного молибденового электрода, а по оси абсцисс — потенциалы катода относительно хлорного электрода сравнения.

В расплавах с концентрацией титана выше 1 вес. % электролиз даже с очень малыми катодными плотностями тока (10^{-4} — 10^{-3} a/cm^2)

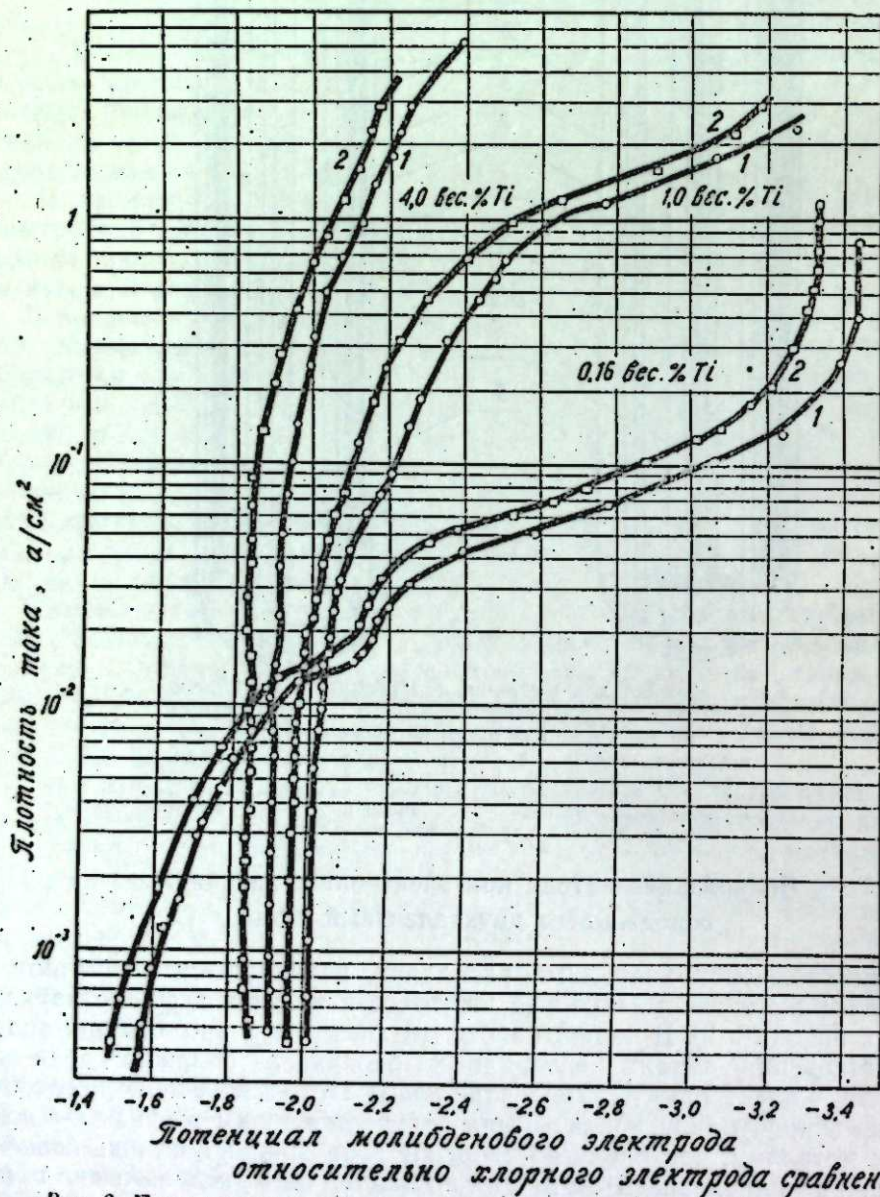


Рис. 2. Поляризация молибденового катода в расплавленной смеси NaCl—KCl с добавками 0,40; 2,47 и 9,85 вес. % $TiCl_2$: 1 — при 700°, 2 — при 800°С.

идет уже при потенциалах, соответствующих выделению на катоде металлического титана, а не при более положительных, соответствующих остаточному току, связанных с перезарядом ионов щелочных металлов до субионов. По-видимому, на молибденовом электроде выделился металлический титан в результате диспропорционирования $3Ti^{2+} = Ti + 2Ti^{3+}$ [10]. Как и в случае тория [12], потенциал катода остается неизменным в широких пределах номинальных значений плотностей тока, рассчитанных на геометрическую поверхность исходного молибденового катода. Таким образом, еще раз подтверждается высказанное нами ранее предположение о том, что при образовании кристаллического осадка металла на катоде истинная плотность тока мало меняется. Лишь при высоких силах тока, когда весь приэлектродный слой электролита обедняется ионами титана, потенциал катода возрастает за счет концентрационной поляризации и наконец достигает потенциала выделения щелочного металла — 3,43в (700°) и — 3,33в (800°) относительно хлорного электрода сравнения.

Нами были проведены специальные опыты с целью выяснить, взаимодействует ли титан с щелочным металлом. Для этого измерялась поляризация титанового катода при электролизе расплавленной эквимольной смеси NaCl—KCl при 700 и 800°. Результаты представлены на рис. 3.

Как видим, при плотности тока ниже $5 \cdot 10^{-3}$ a/cm^2 при 700° и $2 \cdot 10^{-2}$ a/cm^2 при 800° разряд ионов щелочного металла на титане протекает практически без поляризации. При более высоких плотностях тока потенциал катода довольно быстро возрастает до величины, соот-

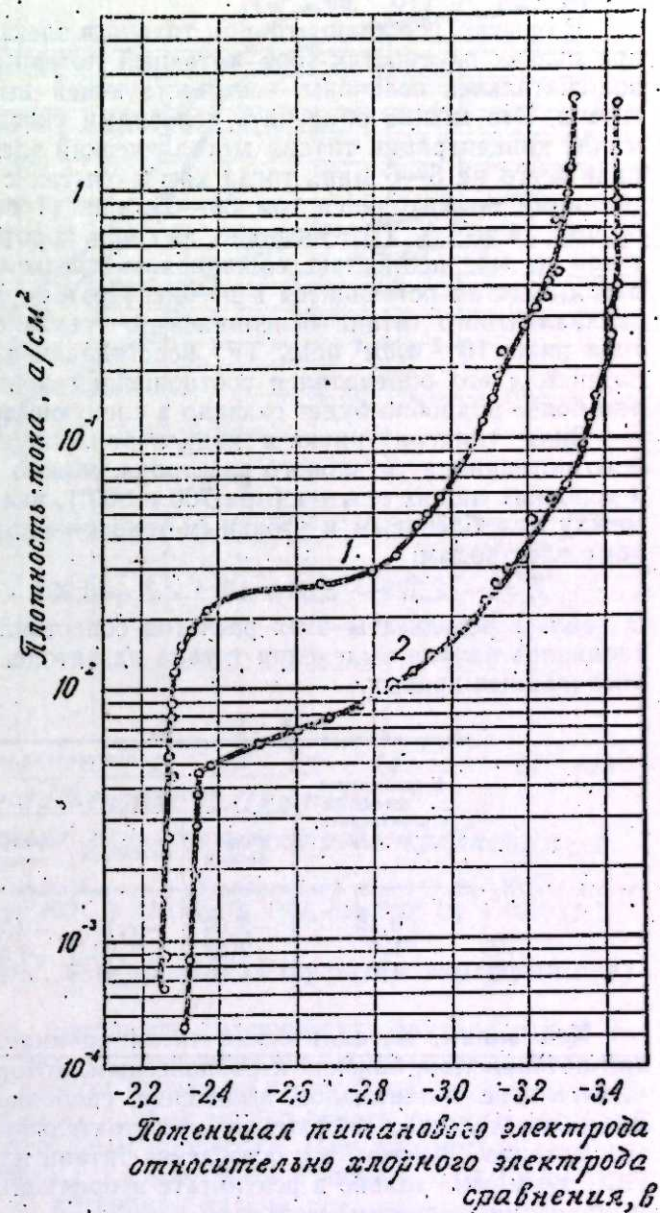


Рис. 3. Поляризация титанового катода в расплавленной смеси NaCl—KCl: 1 — при 700°, 2 — при 800°С.

ветствующей выделению свободного щелочного металла. Первый участок поляризационной кривой соответствует перезаряду ионов щелочного металла до субионов и частичному разряду их с образованием сплава в поверхностном слое титана. По величине потенциала титанового катода можно оценить концентрацию щелочного металла, растворяющегося в электролитическом титане: она не должна превышать $5 \cdot 10^{-4}$ ат. %; (10^{-4} вес. %).

В опытах, где концентрация титана в электролите была 0,16 вес. %, при низких плотностях тока катодный потенциал был примерно на 0,5 положительнее величины, соответствующей выделению металлического титана. Это можно объяснить условиями указанных опытов: при столь малой концентрации титана металлический электрод погружался в расплав всего на 5—6 мин., тогда как в опытах с более высокими концентрациями он находился там 30—35 мин. (1 вес. % Ti) и даже более 60 мин. (4 вес. % Ti). Очевидно, за столь короткое время металлический титан не мог полностью восстановить следы окислителей (кислород и влага), всегда остающиеся в ячейке. Поэтому значительная доля ионов двухвалентного титана окислилась до трехвалентного. При плотностях тока ниже 10^{-2} а/см² ионы Ti³⁺ восстанавливались на катоде до Ti²⁺ и потенциал его определялся соотношением концентраций этих ионов, о чем более подробно будет сказано в следующем разделе.

Зная температурную и концентрационную зависимость равновесного потенциала титанового электрода, можно рассчитать его величину в условиях наших опытов (при 700 и 800°), включая в нее термо-э. д. с. между молибденовым и угольным токопроводами к титановому и хлорному электродам:

$$E = -2,379 + 5,85 \cdot 10^{-4} \cdot T + 0,992 \cdot 10^{-4} \cdot T \lg [Ti^{2+}].$$

В табл. 1 результаты этих расчетов сопоставляются с величинами потенциалов начала выделения титана на катоде, определенными из поляризационных кривых:

Таблица 1

Концентрация титана в электролите, вес. %	Потенциалы, в			
	при 700°		при 800°	
	равновесный	выделения	равновесный	выделения
0,16	-2,09	-2,10	-2,07	-2,07
1,0	-2,02	-2,02	-1,94	-1,97
4,0	-1,96	-1,91	-1,91	-1,86

Как видим, металлический титан начинает выделяться на катоде при потенциалах, близких к равновесным, которые более чем на 1 в положительнее потенциалов выделения свободного щелочного металла. Это обстоятельство показывает несостоятельность утверждения некоторых авторов [2] о том, что осаждение титана из расплавов, содержащих TiCl₂, возможно только в результате вторичной химической реакции восстановления щелочным металлом.

Поляризация катода при электролизе расплава, содержащего трехвалентный титан

Была исследована поляризация молибденового катода в расплавленной эквимольной смеси хлоридов натрия и калия, содержащих 0,16 и 1,4 вес. % Ti (0,516 и 4,52 вес. % TiCl₃) при 700 и 800° в интервале

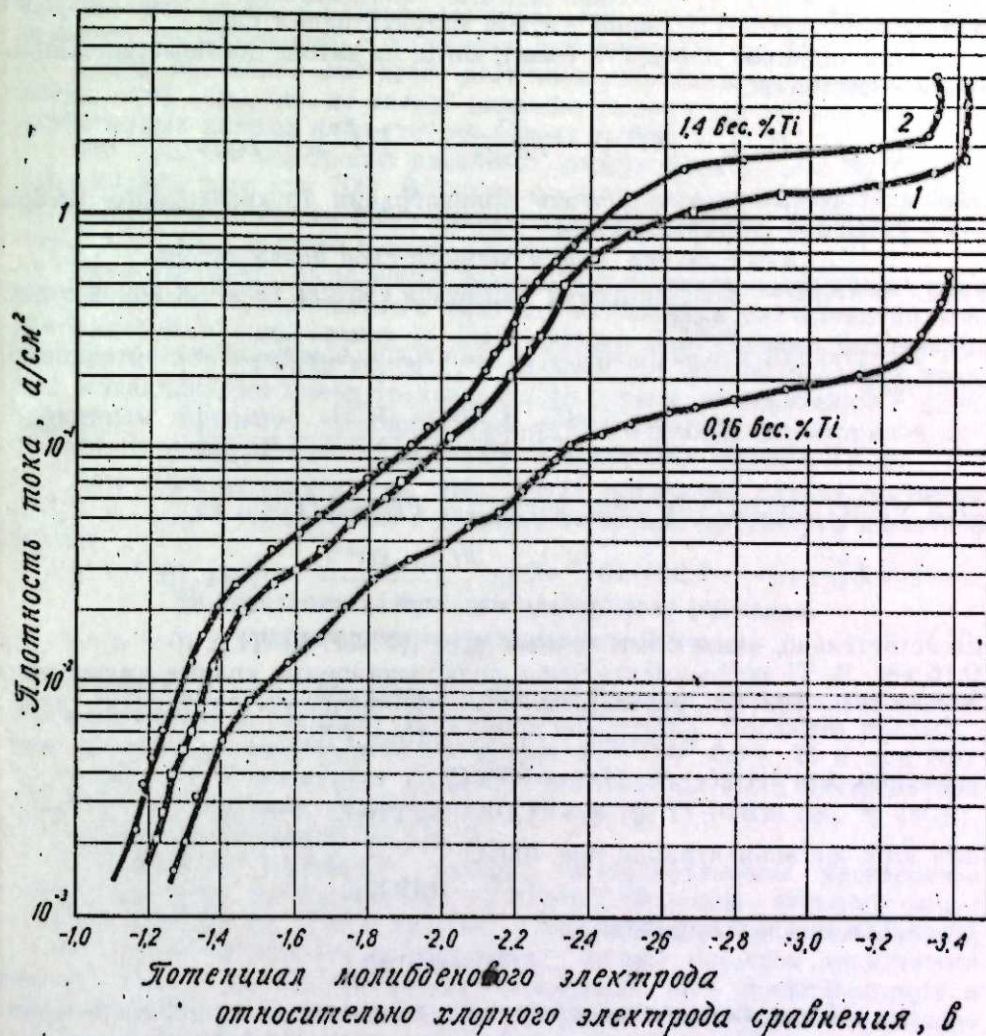


Рис. 4. Поляризация молибденового катода в расплавленной смеси NaCl—KCl с добавками 0,516 вес. % TiCl₃ при 800°С и 4,52 вес. % TiCl₃ при 700° (1) и 800° (2).

плотностей тока от $1 \cdot 10^{-3}$ до 4—6 а/см². Результаты измерений представлены на рис. 4.

Если при электролизе расплавов, содержащих двухвалентный титан, даже при низких плотностях тока потенциал катода соответствовал выделению металла, то в данном случае он имеет более положительную величину. На поляризационных кривых можно видеть три участка, соответствующих разным электродным процессам. При плотностях тока ниже 10^{-1} а/см² для расплавов с 1,4 вес. % Ti и ниже $5 \cdot 10^{-2}$ а/см² для расплавов с 0,16 вес. % Ti потенциал катода положительнее величины равновесного потенциала титана. Этот участок поляризационных кривых отвечает перезаряду ионов Ti³⁺ до Ti²⁺. Потенциал молибденового катода при этом определяется величиной окислительно-восстановительного потенциала системы Ti³⁺/Ti²⁺ в приэлектродном слое расплава:

$$\varphi = E_{Ti^{3+}/Ti^{2+}}^0 + \frac{RT}{F} \ln \frac{[Ti^{3+}]_s}{[Ti^{2+}]_s},$$

где $[Ti^{3+}]_s$ и $[Ti^{2+}]_s$ — мольно-долевые концентрации соответственных ионов титана в прикатодном слое.

При заданной плотности тока i , когда на катоде достигается стационарное состояние,

$$[Ti^{3+}]_s = [Ti^{3+}] - \frac{\delta i}{FD_{Ti^{3+}}}; \quad [Ti^{2+}]_s = \frac{\delta i}{D_{Ti^{2+}}},$$

где $[Ti^{3+}]$ — мольно-долевая концентрация трехвалентного титана в электролите,

δ — толщина диффузионного слоя возле катода,

$D_{Ti^{3+}}$ и $D_{Ti^{2+}}$ — коэффициенты диффузии соответственных ионов в расплаве.

Подставляя эти выражения в уравнение электродного потенциала, получаем

$$\varphi = E_{Ti^{3+}/Ti^{2+}}^0 + \frac{RT}{F} \ln \left\{ \frac{FD_{Ti^{2+}} [Ti^{3+}]}{\delta i} - \frac{D_{Ti^{2+}}}{D_{Ti^{3+}}} \right\}.$$

При малых плотностях тока, когда $i \ll FD_{Ti^{2+}} [Ti^{3+}]$,

$$\varphi = E_{Ti^{3+}/Ti^{2+}}^0 + 1,984 \cdot 10^{-4} \cdot T \lg \frac{FD_{Ti^{2+}} [Ti^{3+}]}{\delta} - 1,984 \cdot 10^{-4} \cdot T \lg i.$$

Действительно, ниже $2 \cdot 10^{-2} \text{ а/см}^2$ для 1,4 вес. % Ti и 10^{-2} а/см^2 для 0,16 вес. % Ti экспериментальные поляризационные кривые имеют прямолинейные участки, соответствующие эмпирическим уравнениям вида:

$$\varphi = \text{const} - 1,984 \cdot 10^{-4} T \lg i,$$

а именно, для 1,4 вес. % Ti при 800°C :

$$\varphi_1 = -1,70 - 0,21 \lg i,$$

для этой же концентрации при 700°C :

$$\varphi_2 = -1,74 - 0,19 \lg i,$$

а для 0,16 вес. % Ti при 800°C :

$$\varphi_3 = -1,86 - 0,21 \lg i.$$

По найденным величинам констант, входящих в эмпирические уравнения прямолинейных участков при низких плотностях тока, можно оценить величину постоянной $E_{Ti^{3+}/Ti^{2+}}^0$ в термодинамическом уравнении окислительно-восстановительного потенциала:

$$E = E_{Ti^{3+}/Ti^{2+}}^0 + \frac{RT}{F} \ln \frac{[Ti^{3+}]}{[Ti^{2+}]}$$

Полагая $D_{Ti^{2+}} \approx 10^{-5}$ и $\delta \approx 10^{-2} \text{ см}$ [13] и подставляя значения мольно-долевых концентраций в выражение

$$\text{Const} = E_{Ti^{3+}/Ti^{2+}}^0 + 1,984 \cdot 10^{-4} T \lg \frac{FD_{Ti^{2+}} [Ti^{3+}]}{\delta},$$

получаем, что $E_{Ti^{3+}/Ti^{2+}}^0$ лежит около $-1,7 \text{ в}$ относительно хлорного электрода сравнения при $700-800^\circ$. Таким образом, трехвалентный титан в солевых расплавах может восстанавливаться до двухвалентного лишь под воздействием энергичных восстановителей.

С дальнейшим повышением плотности тока первый член в подлогарифмическом выражении уменьшается и в конце концов становится измеримым с вторым $-D_{Ti^{2+}}/D_{Ti^{3+}}$. Катодный потенциал начинает все

быстрее возрастать с плотностью тока. Это соответствует области предельного диффузионного тока перезаряда ионов Ti^{3+} до Ti^{2+} .

Когда потенциал достигает величины равновесного потенциала титана в этих условиях, на катоде начинает выделяться металл. На поляризационных кривых наблюдается вторая волна.

Мы провели электролиз расплавов, содержащих 1,4 вес. % Ti, в течение одного часа при 700° . В опыте, где катодная плотность тока была 10^{-2} а/см^2 , на катоде не было никакого осадка металла. В опытах с $i = 0,1 \text{ а/см}^2$ был получен осадок металла.

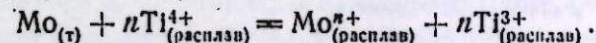
По сравнению с выделением титана из расплавов, содержащих ионы Ti^{2+} , в случае трехвалентного титана наблюдаются значительная концентрационная поляризация и более низкие номинальные предельные плотности тока разряда ионов Ti^{3+} до металла. Это объясняется меньшей подвижностью ионов трехвалентного титана по сравнению с двухвалентным. Вероятно, трехвалентный титан в расплавах хлоридов щелочных металлов находится в форме комплексных анионов $TiCl_6^{3-}$.

При высоких плотностях тока, когда потенциал катода достигает $-3,43$ и $-3,33 \text{ в}$, совместно с титаном на катоде выделяется щелочной металл.

Поляризация катода при электролизе расплава, содержащего четырехвалентный титан

В опытах с тетрахлоридом титана мы были ограничены его низкой растворимостью в расплаве хлоридов NaCl—KCl. Согласно предыдущим исследованиям [14], она составляет при 700° 0,3% Ti и при 800° около 0,2% Ti. Поляризация молибденового катода была измерена при 720 и 770° в расплавах, содержащих 0,16 вес. % Ti (0,635 вес. % $TiCl_4$). Результаты представлены на рис. 5.

В расплавах указанного состава на молибденовом электролизе устанавливается стационарный потенциал, величина которого около $-0,81 \text{ в}$ при 770° и $-0,85 \text{ в}$ при 720° . При плотностях тока примерно до $2 \cdot 10^{-2} \text{ а/см}^2$ потенциал молибденового катода остается практически равным стационарному потенциалу молибдена. Это свидетельствует о высокой скорости коррозии (саморастворения) молибдена в расплаве благодаря реакции



Лишь когда катодная плотность тока превышает плотность диффузионного тока саморастворения молибдена в расплаве, потенциал катода начинает возрастать за счет дальнейшего восстановления ионов Ti^{4+} до Ti^{3+} . Как и в случае расплавов с трехвалентным титаном, на поляризационных кривых можно выделить прямолинейные участки с наклонами около 0,2. Так, для 770°

$$\varphi = -1,17 - 0,2 \lg i;$$

аналогично предыдущему, полагая $D_{Ti^{3+}} \approx 10^{-6}$ и $\delta \approx 10^{-2} \text{ см}$ и подставляя значения мольно-долевой концентрации в выражение

$$\text{const} = E_{Ti^{4+}/Ti^{3+}}^0 + 1,984 \cdot 10^{-4} T \lg \frac{FD_{Ti^{3+}} [Ti^{4+}]}{\delta},$$

получаем, что постоянная $E_{Ti^{4+}/Ti^{3+}}^0$ в термодинамическом уравнении окислительно-восстановительного потенциала

$$E = E_{Ti^{4+}/Ti^{3+}}^0 + \frac{RT}{F} \ln \frac{[Ti^{4+}]}{[Ti^{3+}]}$$

лежит около $-0,8$ в относительно хлорного электрода сравнения при $700-800^\circ$. Следовательно, в солевых расплавах тетрахлорид титана должен относительно легко восстанавливаться до трехвалентного.

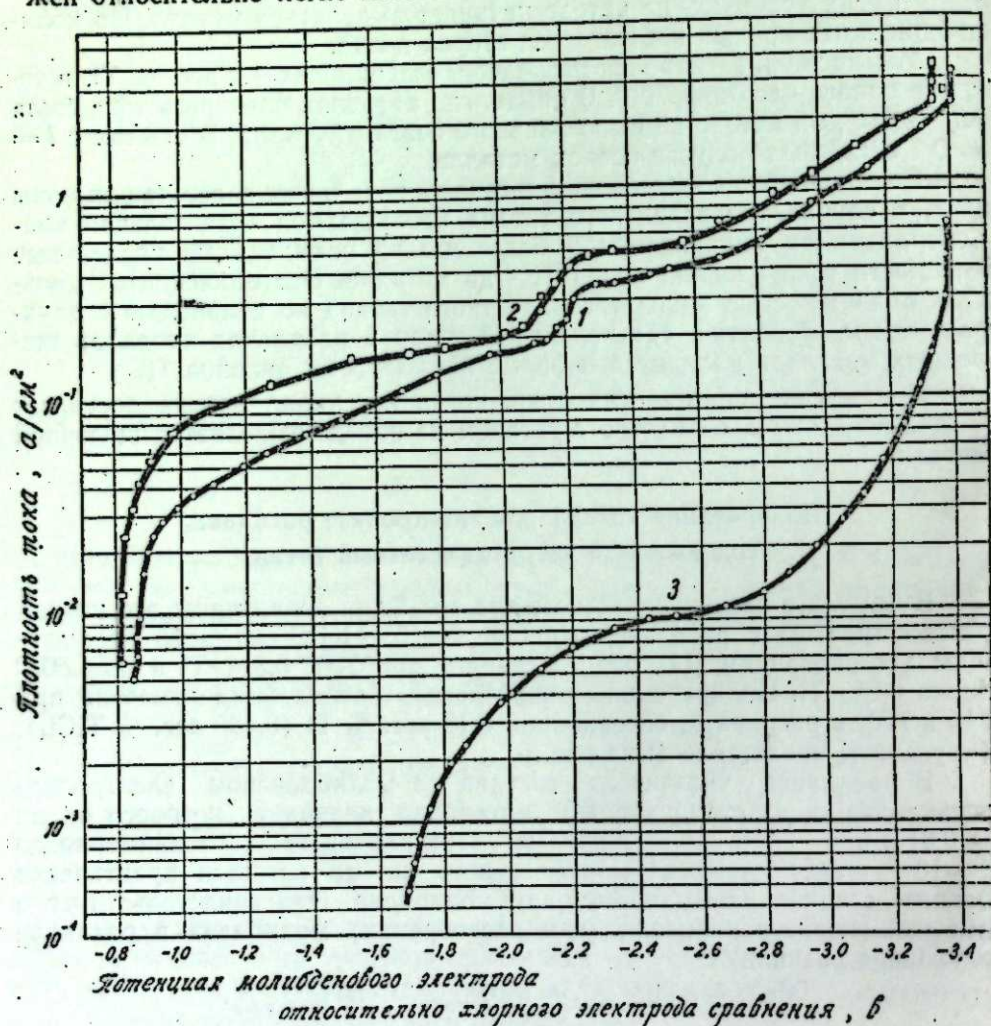


Рис. 5. Поляризация молибденового катода в расплавленной смеси NaCl—KCl с добавкой 0,635 вес. % $TiCl_4$, при 720° (1) и 770° (2) и без добавки солей титана (3) при 750° .

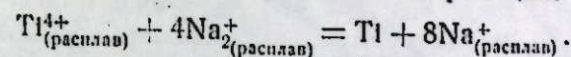
Потенциалы перезаряда Ti^{3+} до Ti^{2+} и разряда их до металла достигаются в области предельного диффузионного тока перезаряда ионов Ti^{4+} до Ti^{3+} , как и в случае тория [12]. Характерно, что при одинаковых мольно-долевых концентрациях предельные диффузионные токи перезаряда и разряда ионов титана в 2—3 раза выше, чем ионов тория. Возможно, что это обусловлено большей скоростью диффузии ионов титана в хлоридных расплавах.

Как и в случае расплавов с трехвалентным титаном, металл выделяется на катоде с большой концентрационной поляризацией из-за малой подвижности четырехвалентного титана, который в хлоридных расплавах находится в форме комплексных анионов $TiCl_6^{2-}$ [14].

В случае электролиза тетрахлорида можно достичь концентраций титана в электролите самое большее 0,3—0,2% при $700-800^\circ$. Наши

исследования показывают, что при таких концентрациях титан может осаждаться на катоде за счет первичного разряда его ионов при номинальных плотностях тока $0,5$ a/cm^2 (и то при условии непрерывной и беспрепятственной подачи $TiCl_4$ в электролит). При более высоких плотностях тока, которые обычно используются в условиях промышленного электролиза, на катоде наряду с титаном должен неизбежно выделяться щелочной металл. Естественно, что последний может затем восстанавливать тетрахлорид титана как в расплаве, так и на его поверхности, находящейся в контакте с паровой фазой $TiCl_4$. Выделяемый при этом титан будет распыляться по всему объему электролита.

Восстановление ионов титана в расплаве до металла может происходить и под воздействием субионов щелочных металлов, образуемых на катоде. О том, какую роль они могут играть при электролизе тетрахлорида, можно судить по кривой поляризации молибденового катода в расплавленной смеси NaCl—KCl при 750° без добавок солей титана (см. рис. 5). Из сопоставления поляризационных кривых видно, что при потенциале выделения металлического титана ток перезаряда ионов щелочных металлов до субионов примерно составляет $1/30$ тока разряда ионов титана до металла из расплава с 0,16 вес. % Ti. Следовательно, лишь несколько процентов титана может образовываться в объеме электролита за счет восстановления субионами по реакции:



Поляризация катода при электролизе расплава, содержащего фтортитанат калия

Была изучена поляризация молибденового катода в расплавленной смеси NaCl—KCl с добавками 5,0 и 20 вес. % K_2TiF_6 (1,0 и 4 вес. % Ti) при 700 и 800° в интервале плотностей тока от 10^{-3} до 7 a/cm^2 . Проведено две серии опытов. В одной — фтортитанат сплавляли с хлоридами щелочных металлов в атмосфере чистого аргона, в другой — на воздухе с целью выяснить, какое влияние на катодный процесс оказывает разложение электролита под воздействием кислорода воздуха.

На рис. 6 представлены результаты опытов первой серии. В расплавах, содержащих фтортитанат, стационарный потенциал молибденового электрода имеет более отрицательную величину (на $0,3-0,4$ в), чем в расплавах с тетрахлоридом. Это обусловлено большой прочностью фторидного анионного комплекса TiF_6^{2-} [14]. Предельный диффузионный ток саморастворения молибдена здесь в несколько раз ниже, чем в присутствии $TiCl_4$. Когда катодная плотность тока превышает предельные токи саморастворения, на поляризационных кривых наблюдаются изломы с переходом к прямолинейным участкам с наклонами, близкими к $0,21$ (800°) и $0,19$ (700°), как и в случае хлоридных расплавов. Они связаны с перезарядом ионов TiF_6^{2-} до TiF_6^{3-} .

В литературе [5] имеются сведения, показывающие, что в смешанных фторидо-хлоридных расплавах в равновесии с металлом большая доля титана находится в трехвалентном состоянии. Изучая анодное растворение титана в этих расплавах, мы пришли к такому же выводу [10]. Следовательно, при электролизе фтортитаната выделению на катоде металлического титана должна предшествовать лишь одна ступень перезаряда от четырехвалентного состояния до трехвалентного. Потенциал выделения металла достигается в области предельного диффузионного тока перезаряда. Как видно на графике, отчетливо выраженные волны, нахо-

длежащие в области потенциала около $-2,43$ в, имеются только в расплавах с 20% фтортитаната при 800° . При 700° волна выражена слабо. В расплавах с малой концентрацией титана отчетливых волн, соответствующих выделению металла, не получилось ни при 700 , ни при 800° . Возможно, что комплексные фторидные соединения трехвалентного титана со щелочными металлами типа Me_3TiF_6 ($Me = K, Na$) плохо рас-

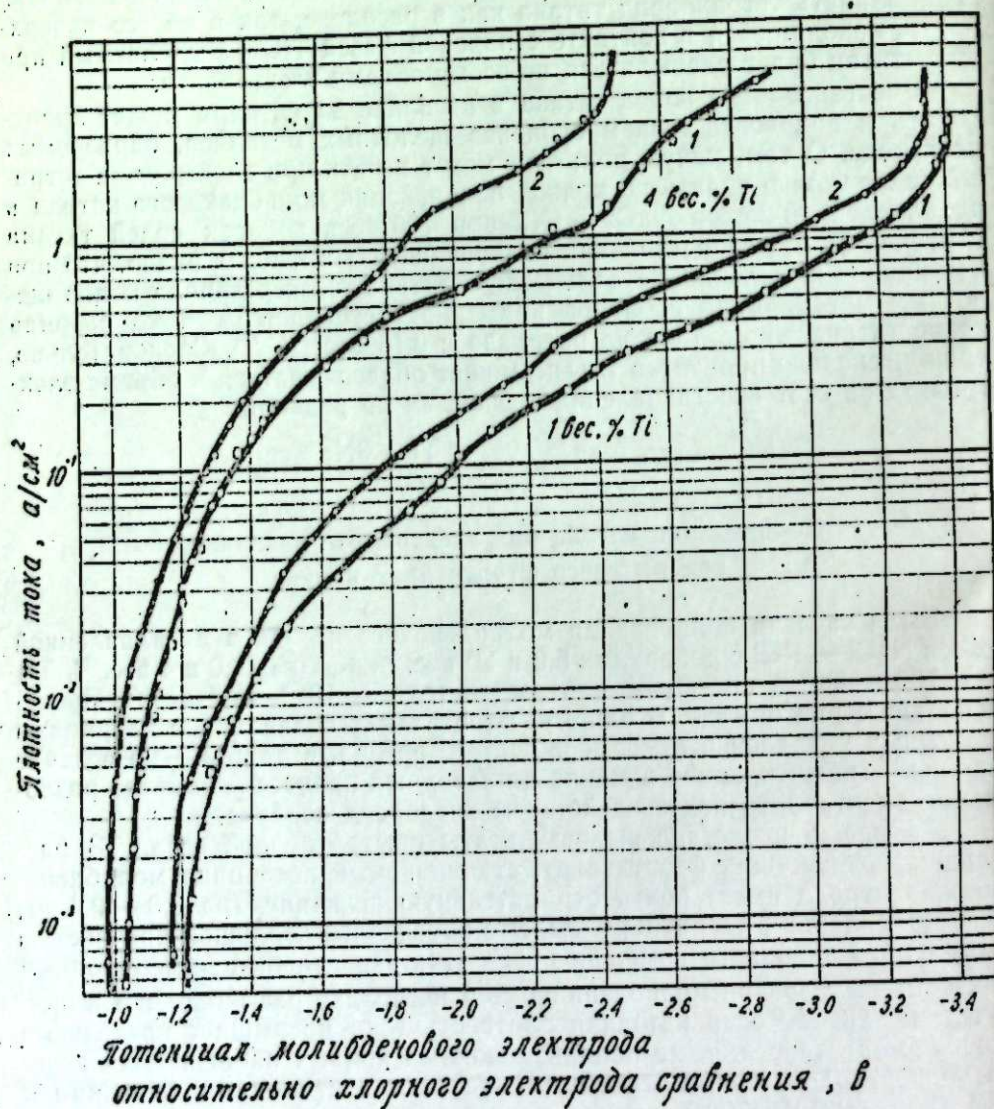


Рис. 6. Поляризация молибденового катода в расплавленной смеси $NaCl-KCl$ с добавкой 5 и 20 вес. % K_2TiF_6 :
1 — при 700° , 2 — при 800° .

творимы в расплаве $NaCl-KCl$. По мере образования во время электролиза они могут выделяться в твердом виде возле катода. Такое предположение находит подтверждение в результатах исследований Вурма и др. [7]. С повышением температуры возрастает растворимость, а стало быть, и концентрация трехвалентного титана, дающего при разряде на катоде металл. Вполне вероятно также, что с понижением температуры сильно возрастает вязкость электролита возле катода. Именно этим об-

стоятельством можно объяснить отсутствие отчетливой волны выделения металла при 700° даже при высоких концентрациях титана.

Таким образом, при электролизе фтортитаната восстановление первично выделяющимся на катоде щелочным металлом играет большую роль, чем при электролизе чисто хлоридных расплавов, особенно при низких температурах. Титан, образуемый таким путем, не удерживается на катоде, а распыляется по всему электролиту и в большей своей части теряется. Это приводит к резкому падению выхода извлеченного металла по току с понижением температуры. Так, например, по данным Стейнберга и др. [6], он уменьшается от 45% при $760-770^\circ$ до 10% при 700° .

Во второй серии опытов, где сплавление солей электролита производилось на воздухе, наблюдалось смещение поляризационных кривых в направлении более отрицательных потенциалов и уменьшение предельных диффузионных токов перезаряда и разряда ионов титана. Это свидетельствует о том, что под воздействием кислорода и влаги воздуха концентрация их в электролите уменьшилась за счет образования нерастворимых в расплаве оксидных соединений.

Выводы

1. Изучена поляризация молибденового катода в расплавленной смеси $NaCl-KCl$ с добавками 0,4; 2,47 и 9,85 вес. % $TiCl_2$, 0,516 и 4,52 вес. % $TiCl_3$, 0,635 вес. % $TiCl_4$ или 5,0 и 20 вес. % K_2TiF_6 в интервалах температур $700-800^\circ C$ и плотностей тока $10^{-3}-7$ а/см².

2. На основании обсуждения хода поляризационных кривых высказаны соображения относительно процессов, протекающих на катоде при разных плотностях тока в расплавах указанных выше составов.

3. Показано, что в хлоридных расплавах, содержащих четырех- и трехвалентный титан, выделению на катоде металла предшествует перезаряд его ионов до Ti^{2+} . Потенциал осаждения металлического титана достигается в области предельного диффузионного тока перезаряда его ионов. Выделение металлического титана из расплавов, содержащих $TiCl_3$ и $TiCl_4$, происходит с большей концентрационной поляризацией, чем из расплавов с $TiCl_2$. Выделению металла из фтортитаната предшествует перезаряд ионов TiF_6^{2-} до TiF_6^{3-} . Осаждение металла из смешанных фторидно-хлоридных расплавов сопровождается значительной концентрационной поляризацией.

Уральский филиал АН СССР

Поступила в редакцию
21/IV 1959

ЛИТЕРАТУРА

1. P. Drossbach, Zur Kenntnis der Elektrolyse geschmolzener Salze. Z. Elektrochem., 59, 1955.
2. J. Bokris, G. Hills, I. Menzies, L. Young, Mechanism of the electrolytic deposition of titanium. Nature, 178, 1956.
3. S. Okada, M. Kawane, T. Hashino, Zur Kenntnis der Elektrolyse von Titanchlorid in geschmolzenen Salmischungen. Z. Elektrochem., 62, 1958.
4. А. И. Иванов, В. Г. Гоппенко, Электролиз четыреххлористого титана в расплавленных хлоридных солях. Тр. ВАМИ, № 40, 1957.
5. P. Drossbach, E. Rossberger, Zur Kenntnis der Elektrolyse von Kaliumtitanfluorid in geschmolzenen Mischungen mit Kaliumchlorid-Natriumchlorid. Z. Elektrochem., 60, 1956.
6. M. A. Steinberg, S. S. Carlton, M. E. Sibert, E. Wainer, Preparation of titanium by fluoride electrolysis. J. Electrochem. Soc., 102, 1955.

7. J. G. Wurm, L. Gravel, R. Potvin, The mechanism of titanium production by electrolysis of fused halide baths containing titanium salts. *J. Electrochem. Soc.*, 104, 1957.
8. W. C. Kreye, H. H. Kellogg, The equilibrium between titanium metal, $TiCl_2$ and $TiCl_3$ in $NaCl-KCl$ Melts. *J. Electrochem. Soc.*, 104, 1957.
9. M. Alpert, F. Schultz, W. Sullivan, Electrolytic preparation of titanium from fused salts. *J. Electrochem. Soc.*, 104, 1957.
10. М. В. Смирнов, Л. А. Цювкина, Анодное растворение титана в солевых расплавах. *Изв. СОАН СССР*, № 9, 1957.
11. М. В. Смирнов, Л. Е. Ивановский, Н. А. Логинов, Равновесные потенциалы титана в хлоридных расплавах. *ДАН СССР*, т. 121, 1958.
12. М. В. Смирнов, Л. Д. Юшина, Катодные процессы при осаждении тория из расплавленных электролитов. *Изв. АН СССР, сер. хим.*, № 11, 1956.
13. H. A. Laitinen, W. S. Ferguson, Chronopotentiometric analysis in fused lithium chloride—potassium chloride. *Analyt. Chem.*, № 4—8, 1957.
14. Л. А. Цювкина, М. В. Смирнов, Влияние природы катионов и анионов на растворимость тетрахлорида титана в солевых расплавах. *ЖНХ*, № 4, 1959.

А. П. ШТИН, А. К. ШАРОВА

О ФОСФОРНОКИСЛОЙ СОЛИ ТАНТАЛА

Сообщение 2-е

В предыдущем сообщении [1] говорилось о выделении тантала из сернокислых растворов в фосфорнокислый осадок. Состав прокаленной соли соответствует формуле $2Ta_2O_5 \cdot P_2O_5$. Полнота осаждения тантала достигается в растворах с содержанием серной кислоты до 1200 г/л. При более высоком содержании кислоты происходит частичное осаждение тантала. Это связано с возможностью образования комплекса тантала с серной кислотой, с понижением ионизации солей фосфорной кислоты в присутствии сильной кислоты. При осаждении фосфатным методом ряда других редких металлов наблюдается аналогичное явление [2—4].

При проведении исследования было замечено, что полнота осаждения тантала зависит от количества осадителя, добавляемого в сернокислый танталсодержащий раствор. Поэтому были поставлены опыты для выяснения условий количественного выделения тантала из сернокислых растворов при различных отношениях тантала к фосфору. Проведены исследования для установления возможности осаждения фосфорнокислой соли тантала из фосфорнокислых растворов. Выяснено действие орто-, пиро- и метафосфатов на осаждение тантала. Изучено взаимодействие гидроокиси тантала с раствором фосфата в кислой среде. Определены летучесть и термическая прочность соли.

Результаты этих исследований и приводятся в данном сообщении.

Исходные препараты

Осаждение фосфорнокислой соли тантала производилось из растворов тантала в серной и фосфорной кислотах. Материалом для приготовления исходных растворов служила чистая пятиокись тантала, содержащая 0,17% TiO_2 . Ниобий методом рентгеноспектрального анализа в ней не был обнаружен. Для перевода в растворимое состояние пятиокись тантала сплавлялась с пиросульфатом калия. По охлаждении измельченный сплав растворялся в серной кислоте. Из этого раствора тантал осаждался аммиаком. Далее осадок отмывался от сульфат-ионов и при нагревании растворялся в серной или фосфорной кислотах. Применявшиеся для растворения кислоты имели спецификацию ХЧ. В качестве осадителя использовался однозамещенный фосфорнокислый аммоний марки ЧДА.

Экспериментальная часть

Для выяснения условий количественного выделения тантала в осадок проводилось осаждение последнего при различных молярных отношениях Ta_2O_5 к P_2O_5 . Исследование велось при постоянном соотношении в растворе двух компонентов (Ta_2O_5 , H_2SO_4) и переменном

количестве третьего P_2O_5 . Кислотность растворов оставалась постоянной — 200 г/л. Опыты проводились при комнатной температуре. Осадитель вводился в виде твердой соли.

Результаты опытов (рис. 1) показали, что полное выделение тантала достигается при введении в раствор 5—10-кратного избытка осадителя в молярном отношении. При меньшем количестве осадителя наблюдается неполное осаждение тантала. Опыты показали также, что при добавлении фосфат-ионов в раствор в первое время видимых изменений не происходит. Затем, после 1,5—2-часового выстаивания, появляется

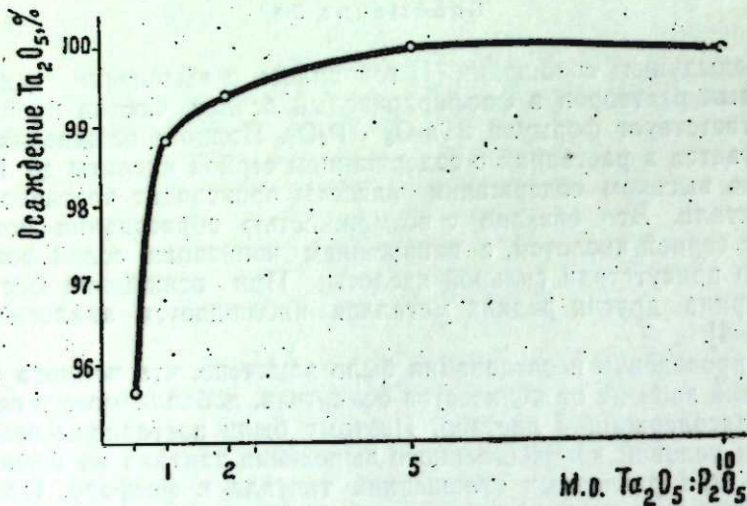


Рис. 1. Осаждение тантала из сернокислых растворов действием различных количеств фосфат-ионов.

Концентрация в растворе: H_2SO_4 —2,04 м/л, Ta_2O_5 — $1,43 \cdot 10^{-3}$ м/л.

опалесценция раствора с последующим выпадением осадка. При введении фосфат-ионов в количестве 1 : 0,5 и 1 : 1 осадки выпадали через несколько суток.

Поскольку в данном исследовании изучалась зависимость между степенью осаждения тантала из сернокислых растворов при различных отношениях Ta_2O_5 к P_2O_5 , то представляло интерес проследить, каков объем выпадающего при этом осадка. И. В. Тананаевым [5] был предложен метод изучения реакций осаждения путем измерения объема осадка, образующегося в процессе взаимодействия. При этом имеется в виду кажущийся объем осадков, различаемый на границе раздела осадок — раствор. Существенной чертой метода является то, что он позволяет на основании только измерения объема осадка установить его состав и выяснить ряд вторичных процессов, например, образование основных солей, твердых растворов, полиморфные превращения, соосаждение и т. д.

Измерение объема осадков производится обычно в цилиндрических градуированных трубках. Опыты по измерению объема осадков проводились в тех же условиях, что и при изучении осаждения тантала фосфат-ионами. В цилиндры емкостью 100 мл вводились рассчитанные объемы растворов тантала в серной кислоте и $NH_4H_2PO_4$ с тем, чтобы общий объем был равен 90 мл. Во всех смесях количество Ta_2O_5 было постоянным — $1,43 \cdot 10^{-3}$ моль/л. Объем осадка в каждом цилиндре измерялся по границе, отделяющей твердую фазу от жидкой.

Результаты опытов (рис. 2) показали, что осаждение Ta_2O_5 возрастает

при увеличении молярного отношения Ta_2O_5 к P_2O_5 . Ход кривых изменения объема осадков во времени хорошо согласуется с ранее проведенными опытами. Избыток фосфорного ангидрида не оказывает влияния на состав фосфорнокислой соли тантала. Кривые объема осадков показывают, что изменения осадка не происходит и по объему осадки равны тому, который соответствует полному выделению фосфорнокислой соли тантала.

Состав фосфорнокислой соли тантала зависит от длительности промывания свежесозданного осадка. Отмыть осадок полностью от

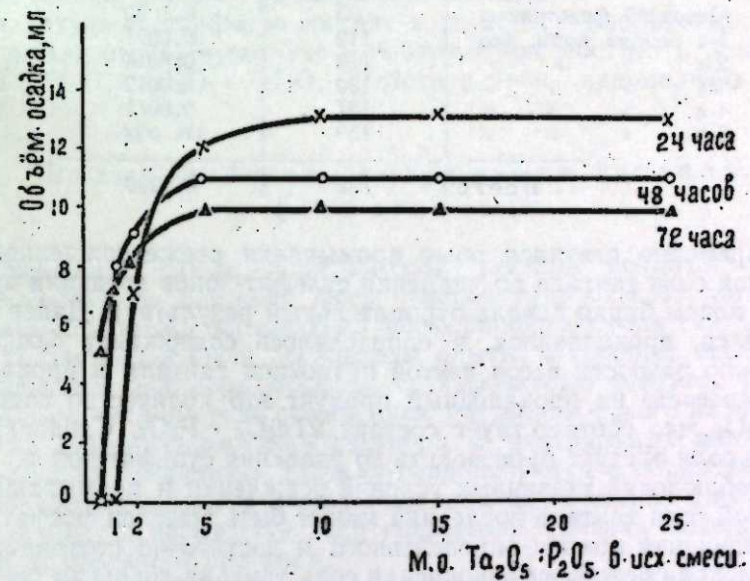


Рис. 2. Объем осадка при осаждении тантала из сернокислых растворов действием различных количеств фосфат-ионов.

фосфат-ионов очень трудно, так как он при промывке гидролизует и переводит в раствор фосфат-ионы. Для установления условий промывки проводилось длительное отмывание водой фосфорнокислой соли тантала, полученной из раствора, содержащего 200 г/л серной кислоты и 0,533 г/л Ta_2O_5 . Промывание соли продолжалось в течение нескольких суток. Содержание фосфат-ионов в промывных водах определялось весовым методом.

Исследование показало, что избыток осадителя вымывается первыми порциями воды вместе с сульфат-ионами. В следующих порциях промывных вод содержание фосфора становилось незначительным, а в пятой порции фосфат-ионов не было обнаружено. Тантал в промывных водах отсутствовал. Фосфат-ионы переходили в раствор вследствие непрерывного гидролиза фосфорнокислой соли тантала. Результаты отмывания соли водой представлены в табл. 1.

Промывные воды 1-ой порции и основной фильтрат были получены в первые сутки промывания осадка, остальные порции промывных вод отбирались через каждые последующие сутки. В промывной и затем прокленной фосфорнокислой соли тантала осталось 0,0056 г P_2O_5 , что составляет, в расчете на соединение, 9,65% P_2O_5 . Содержание фосфорного ангидрида в отмытом продукте близко соответствует составу $3Ta_2O_5 \cdot P_2O_5$. Теоретическое количество P_2O_5 для соли $3Ta_2O_5 \cdot P_2O_5$ равняется 9,67%. Опыт показал, что длительное промывание соли водой вызывает изменение ее состава.

Таблица 1
Промывание фосфорнокислой соли тантала водой
при комнатной температуре
(Для осаждения взято 0,0533 г Ta_2O_5 и 0,1277 г P_2O_5)

Промывные воды	Объем пром. воды, мл	К-во фосфат-ионов в пром. водах, г
Основной фильтрат	90	0,1092
1-я порция пром. вод	112	0,0091
2-я » » »	113	0,0014
3-я » » »	130	0,0012
4-я » » »	137	0,0011
5-я » » »	150	Не обн.
Всего:	732	0,1220

Одновременно ставился опыт промывания свежесажженной фосфорнокислой соли тантала до удаления сульфат-ионов (реакция промывных вод с ионом бария давала отрицательный результат). Далее осадок подсушивался, прокаливался, и определялось содержание фосфорного ангидрида по разности весов взятой пятиокиси тантала и прокаленной соли. В пересчете на прокаленный продукт это количество составляет 13,33% P_2O_5 , что соответствует составу $2Ta_2O_5 \cdot P_2O_5$. Следовательно, отмывание соли следует производить до удаления сульфат-ионов.

При соблюдении указанных условий осаждения и промывания фосфорнокислой соли тантала последний может быть выделен фосфат-ионом в виде соединения вполне определенного и достаточно постоянного состава. В кислой среде фосфорнокислая соль тантала довольно устойчива и меньше подвергается гидролизу. Применение для ее осаждения более концентрированных растворов реагентов или введение осадителя в виде твердой соли позволяет осуществлять реакцию при тех же соотношениях Ta_2O_5 к P_2O_5 в меньшем объеме.

Исследование действия других фосфатов на сернокислые растворы тантала показало, что гексаметафосфат натрия не дает осадка с танталом. В кислой среде гексаметафосфат натрия подвергается гидролизу [6, 7] с образованием ортосолей, поэтому при длительном стоянии раствора наблюдается появление опалесценции и выпадение осадка. Пирофосфаты калия и натрия не осаждают тантал из сернокислых растворов. Однако при стоянии раствор начинает опалесцировать, что вызвано переходом пирофосфатов в кислой среде в ортосоли. От применяемого для осаждения ортофосфата состав фосфорнокислой соли тантала не зависит. Во всех случаях получается после прокалывания соль $2Ta_2O_5 \cdot P_2O_5$. Эта же соль осаждается при выделении тантала фосфорной кислотой.

Осаждение тантала из фосфорнокислых растворов

В литературе есть указание, что пятиокись тантала растворяется в фосфорной кислоте [8]. Количественные данные о растворимости пятиокиси тантала в фосфорной кислоте отсутствуют. Растворением свежесажженной и промытой гидроокиси в 78% фосфорной кислоте при нагревании нами был получен танталсодержащий фосфорнокислый раствор. Концентрация Ta_2O_5 в растворе составляла 8,2 г/л. Для осаждения тантала брали определенный объем исходного раствора и разбавле-

нием в 5, 10, 25, 50 и 100 раз дистиллированной водой получали растворы различной концентрации по фосфорной кислоте. Растворы тантала в фосфорной кислоте были стабильны и гидролизу не подвергались. Количество вводимого однозамещенного фосфата аммония во всех опытах было равно 15-кратному избытку в молярном отношении Ta_2O_5 и P_2O_5 . Осадитель вводился в виде твердой соли.

Исследование показало, что тантал из фосфорнокислых растворов не осаждается; нагревание растворов до 70—75°С и длительная выдержка не оказывают влияния на выделение тантала.

Литературные данные о составе и свойствах фосфорнокислого раствора тантала отсутствуют. Это и побудило нас поставить исследование системы $Ta_2O_5 - P_2O_5 - H_2O$. Работа в этом направлении продолжается.

Взаимодействие гидроокиси тантала с фосфат-ионами

Образование фосфорнокислой соли тантала возможно также за счет адсорбции из раствора фосфат-ионов гидроокисью тантала. Для выяснения механизма образования фосфорнокислой соли тантала из сернокислых растворов были поставлены опыты, в которых исследовалось взаимодействие раствора фосфата с гидроокисью тантала. Последняя получалась в кислой среде осаждением раствором едкого натрия из сернокислого танталсодержащего раствора. В нейтральных или слабокислых растворах соединения тантала гидролизуются с образованием гидроокисей неопределенного состава, обладающих большой адсорбционной способностью. Освобождающаяся гидроокись тантала находится в состоянии коллоидного раствора.

А. В. Лапицкий с сотрудниками [9] проверили некоторые свойства золя пятиокиси тантала. Им найдено, что по вязкости и светорассеиванию золи мало отличаются от растворов соляной и серной кислот в изучаемом интервале концентраций. Для золя пятиокиси тантала найдено, что величина частиц порядка 10^{-7} см. Хаузер и Левит [10] определили, что золь тантала имеет отрицательный заряд. По мнению Лоттермозера [11], золь танталовой кислоты имеет положительный заряд. Исследование знака заряда, произведенное А. В. Лапицким, показало, что золь пятиокиси тантала несет положительный заряд.

Если добавление фосфат-иона вызовет коагуляцию золя танталовой кислоты, то выделяющийся гель может адсорбировать из раствора фосфат-ионы. Опытные данные показали, что гидроокись тантала в зависимости от условий проведения эксперимента поглощает то или иное количество фосфат-ионов. Продукт взаимодействия раствора фосфата с гидроокисью тантала в кислой среде содержит в среднем 13,65% фосфорного ангидрида. Он приближается по составу к фосфорнокислой соли тантала, полученной непосредственным осаждением тантала из сернокислых растворов действием фосфат-ионов. Количество фосфорного ангидрида, связанного в продукте взаимодействия, зависит от степени дисперсности гидроокиси тантала. Его больше при взаимодействии раствора фосфата со свежеполученной гидроокисью тантала и меньше при взаимодействии раствора фосфата с гидроокисью «постаревшей». При стоянии или нагревании осадка гидроокиси происходит его «старение». Поверхность скоагулировавшихся частиц в процессе «старения» заметно уменьшается, соответственно этому уменьшается и реакционная способность осадка в отношении различных реагентов. Опытные данные представлены в табл. 2.

Таблица 2

Взаимодействие раствора однозамещенного фосфата аммония с гидроокисью тантала в кислой среде
(Содержание Ta_2O_5 в растворе 0,0250 г, м. о.
 $Ta_2O_5 : P_2O_5 = 1 : 15$)

Гидроокись тантала	Вес прокаленного продукта, г	Содержание P_2O_5 (по разности)		
		г	%	среднее, %
Свежеполученная	0,0289	0,0039	13,50	13,65
	0,0290	0,0040	13,80	
«Постаревшая» при нагревании в теч. 1,5 час.	0,0275	0,0025	9,09	8,92
	0,0274	0,0024	8,75	
«Постаревшая» при стоянии в теч. суток	0,0281	0,0031	11,00	10,69
	0,0279	0,0029	10,39	
«Постаревшая» при стоянии в теч. 6 суток	0,0272	0,0022	8,12	8,43
	0,0274	0,0024	8,75	

Из данных табл. 1 видно различие в адсорбции фосфат-ионов свежеполученной и «постаревшей» пятиокиси тантала.

Процесс взаимодействия фосфат-ионов с осадком гидроокиси тантала в кислой среде происходит в первые 18—20 часов после добавления раствора фосфата, и в течение суток он в основном заканчивается (табл. 3).

Таким образом, гидроокись тантала является реакционноспособной

Таблица 3

Скорость взаимодействия раствора однозамещенного фосфата аммония со свежеполученной гидроокисью тантала в кислой среде

(Содержание Ta_2O_5 в растворе 0,0250 г, м. о.
 $Ta_2O_5 : P_2O_5 = 1 : 15$)

Время взаимодействия	Вес прокаленного продукта, г	Содержание P_2O_5 (по разности)	
		г	%
18 часов	0,0282	0,0032	11,34
1 сутки	0,0289	0,0039	13,50

и может адсорбировать из раствора ионы электролита. Чем больше развита удельная поверхность гидроокиси тантала, тем сильнее адсорбция ею из раствора фосфат-ионов и диффузия их внутрь частиц осадка. Различие в адсорбционной способности гидроокиси тантала свежеполученной и «постаревшей» зависит от размеров и роста частиц и их агрегатных образований в ходе «старения» осадка. В кислой среде процесс укрупнения и агрегатного образования осадка гидроокиси тантала особенно заметен. Первоначально она находилась в состоянии коллоидальной дисперсности (пока осадок остается в коллоидальном состоянии, общая поверхность всех его частиц будет большой, а значит будет большой его адсорбционная способность), а не в виде хлопьевидного осадка, как гидроокись тантала, подвергавшаяся «старению».

С. А. Левина и Н. Ф. Ермоленко [12], изучавшие структуру гидроокисей алюминия, хрома и железа, показали, что они обладают наибольшей адсорбционной способностью в момент их образования. По мере хранения гидроокисей их адсорбционная активность падает, что связано с уплотнением («созреванием») и кристаллизацией адсорбента. В. И. Спицын и Е. А. Ипполитова [13], подробно исследовавшие образование фосфорнокислой соли титана, показали, что при взаимодействии

титановой кислоты в кислой и щелочной средах с раствором фосфата осадок титановой кислоты способен поглощать из раствора фосфат-ионы. В результате происходящей хемосорбции продукт реакции приближается по составу к фосфату титанила, выделяемому из растворов. Свежеосажденная титановая кислота более реакционноспособна, чем «постаревшая» при стоянии или нагревании.

Сходство состава осадков, полученных непосредственным осаждением фосфорнокислой соли тантала из сернокислого раствора и действием раствора фосфата на осадок гидроокиси тантала в кислой среде, позволяет сделать заключение, что два процесса могут иметь место при образовании фосфорнокислой соли тантала:

1) непосредственное взаимодействие в растворе ионов тантала и фосфат-ионов;

2) коагуляция золя гидроокиси тантала, имеющейся в танталсодержащих растворах, при действии фосфат-ионов с последующей хемосорбцией из раствора фосфат-ионов гелем гидроокиси тантала.

Термическая прочность и летучесть фосфорнокислой соли тантала

Опыты по определению летучести и термической прочности прокаленной соли проводились в трубчатой печи при температуре $1000^\circ C$, определяемой платино-платинородневой термопарой, предварительно прокаленной по чистым расплавленными солям $K_2Cr_2O_7$, $NaCl$, Na_2SO_4 . Методика проведения эксперимента сводилась к следующему: навеску прокаленной соли помещали в фарфоровую лодочку и нагревали в течение суток. Через каждые 6 часов лодочку взвешивали. Опыты показали, что при данной температуре прокаленная фосфорнокислая соль тантала термически прочна и летучестью не обладает. При нагревании и длительной выдержке при высокой температуре соль не изменяет своей белой окраски.

Выводы

1. Выявлены условия выделения тантала из сернокислых растворов при различных молярных отношениях тантала к фосфору.
2. Пиро- и метафосфаты не осаждают тантал из сернокислых растворов.
3. При промывании свежесозданной фосфорнокислой соли тантала до удаления маточного раствора получается после прокаливания соль $2Ta_2O_5 \cdot P_2O_5$. При длительной промывке водой фосфорнокислая соль тантала теряет фосфат-ионы и имеет иной состав, приближающийся к соли $3Ta_2O_5 \cdot P_2O_5$.
4. Показано, что из фосфорнокислых растворов фосфорнокислая соль тантала не осаждается.
5. Установлено, что осадок гидроокиси тантала способен поглощать фосфат-ионы. В результате происходящей хемосорбции продукт реакции приближается по составу к фосфорнокислой соли тантала, осаждаемой из растворов при введении фосфат-ионов.
6. Прокаленная фосфорнокислая соль тантала термически прочна и летучестью не обладает.

Уральский филиал
Сибирского отделения АН СССР

Поступила в редакцию
22/VI 1959

ЛИТЕРАТУРА

1. А. П. Штин, О фосфорнокислой соли тантала. Изв. СО АН СССР, № 7, 1958.
2. В. И. Ошман, Н. В. Зерчанинова, Определение малых количеств циркония в горных породах фосфатным методом. Редкие металлы, № 6, 1934.
3. П. Н. Палей; Доклады советской делегации на Международной конференции по мирному использованию атомной энергии в Женеве в 1955 г. Исследования в области геологии, химии, металлургии. Изд. АН СССР, М., 1955.
4. E. Strandel, An investigation of conditions for precipitation of uranium (IV) orthophosphate. Acta. Chem. Scand., 11, 1, 105, 1957.
5. И. В. Тананасев, Физико-химический анализ в аналитической химии. Изв. СФХА, т. XX, 1950.
6. А. Х. Бронников, В. Ф. Постников, Получение гексаметафосфата натрия. ЖПХ, т. II, вып. 9, 1938.
7. А. В. Памфилов, Н. М. Домбровский, О гексаметафосфате натрия. ЖОХ, т. 23, вып. 8, 1953.
8. Ф. П. Твердвелл, В. Т. Голл, Качественный анализ. Госхимиздат, М., 1946.
9. А. В. Лапицкий, Л. А. Поспелова, Е. П. Артамонова, Исследование растворяющего действия воды и минеральных кислот на пентоксид ниобия и тантала. ЖНХ, т. I, вып. 4, 1956.
10. O. Hauser, A. Lewite, Ober die Hydrosolole der Niobsäure und die Trennung des Niobs und Tantals nach Weiss-Landecker. Z. angew. Chem., 25, 1912.
11. A. Lottermoser, Samml. Chem. Chem. techn. Votr., VI, [6], 1901.
12. С. А. Левина, Н. Ф. Ермоленко, Структура и адсорбционная активность гидроокисей алюминия, хрома и железа в зависимости от условий их образования. Коллоидный журнал, т. 17, вып. 4, 1955.
13. В. И. Спицын, Е. А. Ипполитова, Исследование фосфатов титана. ЖАХ, т. 6, вып. 1, 1951.

А. Н. КИРГИНЦЕВ

**ПРИМЕНЕНИЕ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО УРАВНЕНИЯ
ВАН-ДЕР-ВААЛЬСА И ЗАКОНОВ КОНОВАЛОВА К ПРОЦЕССАМ
РАВНОВЕСНОЙ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ БИНАРНЫХ
ТВЕРДЫХ РАСТВОРОВ ИОННЫХ СОЛЕЙ
ИЗ ВОДНЫХ РАСТВОРОВ**

Разность значений энергии системы для двух состояний равна разности теплоты и работы, полученных или отданных системой, т. е.

$$d\varepsilon = Td\eta - p \cdot dv. \quad (1)$$

Это уравнение предполагает, что система при переходе из одного состояния имеет термическую и барическую связь с окружающей средой, т. е. что система отделена от внешней среды перегородками, которые могут пропускать тепло и изменять объем системы, но не пропускают образующих ее веществ. Однако вполне мыслим и может быть использован случай, когда перегородки, отделяющие систему от внешней среды, могут пропускать один из компонентов системы (например, осмотические перегородки). В этом случае уравнение (1) требует уточнения, так как работа здесь будет обусловлена не только внешним давлением, но и изменением количества одного из компонентов системы.

Обозначим химический потенциал этого компонента во внешней среде через μ_0 , а количество его в системе через m_0 . Работа, обусловленная переходом бесконечно малого количества компонента из внешней среды или обратно будет равна $\mu_0 dm_0$, но знак этой величины будет обратен знаку $p dv$. Действительно, если работа производится системой, объем ее увеличивается и энергия уменьшается, то увеличение объема приводит к возрастанию величины m_0 в системе, что означает повышение энергии системы вследствие перехода некоторого количества вещества в систему из внешней среды. Но это положение является несомненным для системы, состоящей из конденсированных компонентов, т. е. для жидкого или твердого агрегатных состояний. Поэтому наши выводы должны быть применены к системам, состоящим из конденсированных компонентов. С учетом приведенных здесь замечаний уравнение (1) должно быть записано так:

$$d\varepsilon = Td\eta - p dv + \mu_0 dm_0. \quad (2)$$

Известно, что уравнение (1) приводит к наличию термодинамических потенциалов, убыль которых в обратимом процессе при данных условиях равна максимальной полезной работе [1]. Таким термодинамическим потенциалом является, в частности, термодинамический потенциал ζ , определяемый выражением

$$\zeta = \varepsilon - T\eta + p \cdot v, \quad (3)$$

а бесконечное малое изменение его

$$d\zeta = -\eta dT + v dp. \quad (4)$$

Уравнение (2) также приводит к наличию термодинамических потенциалов, убыль которых в обратимом процессе при данных условиях равна максимальной полезной работе. Для наших целей удобно ввести термодинамический потенциал $\bar{\zeta}$, который мы определим выражением:

$$\bar{\zeta} = \varepsilon - T\eta + p\nu - \mu_0 m_0. \quad (5)$$

Дифференцируя последнее выражение и учитывая (2), найдем

$$d\bar{\zeta} = \eta dT + \nu dp - m_0 d\mu_0. \quad (6)$$

Отметим, что положение о существовании термодинамического потенциала $\bar{\zeta}$ является основным положением нашей работы. Отметим также, что в термодинамических работах, как уже указывалось выше, систему от внешней среды отделяют перегородками, способными пропускать тепло и изменять объем системы. Осмотические перегородки при термодинамическом рассмотрении обычно вводятся в систему и разделяют различные фазы системы. В нашей работе осмотические перегородки будут отделять, наряду с другими, систему от внешней среды. Поэтому уравнение (1) в этом случае должно быть заменено уравнением (2). А из последнего и следует существование термодинамического потенциала $\bar{\zeta}$, убыль которого при постоянных давлениях, температуре и μ_0 равна максимальной полезной работе.

Рассмотрим систему, состоящую из твердой и жидкой фаз. В твердой фазе находится твердый раствор двух солей, которые будем называть первым и вторым компонентами. Жидкая фаза представляет раствор этих солей в воде. Система от внешней среды отделена перегородками, среди которых есть и такие, которые могут пропускать воду (осмотические перегородки), т. е. вода является тем компонентом, который выше мы отметили индексом 0. Для упрощения выводов сразу примем, что давление и температура в системе постоянны. Учитывая, что масса солей в жидкой фазе может изменяться вследствие перехода в твердую, мы должны для жидкой фазы вместо (6) записать

$$d\bar{\zeta} = -m_0 d\mu_0 + \mu_1 \cdot dm_1 + \mu_2 \cdot dm_2. \quad (7)$$

Если мы возьмем не полное значение потенциала $\bar{\zeta}$, а отнесенное к моль солей, находящихся в жидкой фазе, то

$$d\bar{\zeta} = -a d\mu_0 + \mu_1 d\bar{x}_1 + \mu_2 d\bar{x}_2, \quad (8)$$

где \bar{x}_1 , \bar{x}_2 и a — количество соли первого, второго компонента и воды в выбранной нами массе системы, выраженное в молях.

При этом

$$\bar{x}_1 + \bar{x}_2 = 1, \quad d\bar{x}_1 = -d\bar{x}_2. \quad (9)$$

С учетом (9), (8) можно записать так:

$$d\bar{\zeta} = -a d\mu_0 + (\mu_2 - \mu_1) d\bar{x}_2. \quad (10)$$

Следовательно,

$$\mu_2 - \mu_1 = \left(\frac{\partial \bar{\zeta}}{\partial \bar{x}_2} \right)_{\mu_0}. \quad (11)$$

Термодинамический потенциал $\bar{\zeta}$ является однородной функцией \bar{x}_1 и \bar{x}_2 . Поэтому

$$\bar{x}_1 d\mu_1 + \bar{x}_2 d\mu_2 = 0. \quad (12)$$

Уравнения (11) и (12) можно записать так:

$$\left(\frac{\partial \mu_2}{\partial \bar{x}_2} \right)_{\mu_0} - \left(\frac{\partial \mu_1}{\partial \bar{x}_2} \right)_{\mu_0} = \left(\frac{\partial^2 \bar{\zeta}}{\partial \bar{x}_2^2} \right)_{\mu_0}. \quad (13)$$

$$\bar{x}_1 \left(\frac{\partial \mu_1}{\partial \bar{x}_2} \right)_{\mu_0} + \bar{x}_2 \left(\frac{\partial \mu_2}{\partial \bar{x}_2} \right)_{\mu_0} = 0. \quad (14)$$

Из этих уравнений путем простейших преобразований найдем

$$\left(\frac{\partial \mu_1}{\partial \bar{x}_2} \right)_{\mu_0} = -\bar{x}_2 \left(\frac{\partial^2 \bar{\zeta}}{\partial \bar{x}_2^2} \right)_{\mu_0}; \quad (15)$$

$$\left(\frac{\partial \mu_2}{\partial \bar{x}_2} \right)_{\mu_0} = \bar{x}_1 \left(\frac{\partial^2 \bar{\zeta}}{\partial \bar{x}_2^2} \right)_{\mu_0}. \quad (16)$$

Если мы таким же образом будем рассматривать твердую фазу, то получим уравнения, полностью аналогичные уравнениям (15) и (16).

Пусть в нашей системе количество солей изменяется на бесконечно малую величину, но количество воды в системе останется неизменным, вследствие чего величина μ_0 должна также измениться; тогда

$$d\mu_1 = d\mu_1', \quad d\mu_2 = d\mu_2', \quad (17)$$

где штрих означает твердую фазу, двойной штрих — жидкую. Выражая состав существующих фаз через мольную долю второго компонента, получим

$$\left(\frac{\partial \mu_1'}{\partial \mu_0} \right)_{x_2} d\mu_0 + \left(\frac{\partial \mu_1'}{\partial x_2} \right)_{\mu_0} dx_2 = \left(\frac{\partial \mu_1'}{\partial \mu_0} \right)_{\bar{x}_2} d\mu_0 + \left(\frac{\partial \mu_1'}{\partial \bar{x}_2} \right)_{\mu_0} d\bar{x}_2; \quad (18)$$

$$\left(\frac{\partial \mu_2'}{\partial \mu_0} \right)_{x_2} d\mu_0 + \left(\frac{\partial \mu_2'}{\partial x_2} \right)_{\mu_0} dx_2 = \left(\frac{\partial \mu_2'}{\partial \mu_0} \right)_{\bar{x}_2} d\mu_0 + \left(\frac{\partial \mu_2'}{\partial \bar{x}_2} \right)_{\mu_0} d\bar{x}_2. \quad (19)$$

Подставляя в уравнения (18) и (19) уравнения (15) и (16), запишем для твердой и жидкой фаз, получим

$$\left[\left(\frac{\partial \mu_1'}{\partial \mu_0} \right)_{x_2} - \left(\frac{\partial \mu_1'}{\partial \mu_0} \right)_{\bar{x}_2} \right] d\mu_0 - \bar{x}_2 \left(\frac{\partial^2 \bar{\zeta}'}{\partial x_2^2} \right)_{\mu_0} dx_2 + \bar{x}_2 \left(\frac{\partial^2 \bar{\zeta}''}{\partial \bar{x}_2^2} \right)_{\mu_0} d\bar{x}_2 = 0; \quad (20)$$

$$\left[\left(\frac{\partial \mu_2'}{\partial \mu_0} \right)_{x_2} - \left(\frac{\partial \mu_2'}{\partial \mu_0} \right)_{\bar{x}_2} \right] d\mu_0 + \bar{x}_1 \left(\frac{\partial^2 \bar{\zeta}'}{\partial x_2^2} \right)_{\mu_0} dx_2 - \bar{x}_1 \left(\frac{\partial^2 \bar{\zeta}''}{\partial \bar{x}_2^2} \right)_{\mu_0} d\bar{x}_2 = 0. \quad (21)$$

Умножая уравнение (20) на \bar{x}_1 , а уравнение (21) на \bar{x}_2 и проведя сложение полученных уравнений, найдем

$$\left\{ \left[\left(\frac{\partial \mu_1'}{\partial \mu_0} \right)_{x_2} - \left(\frac{\partial \mu_1'}{\partial \mu_0} \right)_{\bar{x}_2} \right] \bar{x}_1 + \left[\left(\frac{\partial \mu_2'}{\partial \mu_0} \right)_{x_2} - \left(\frac{\partial \mu_2'}{\partial \mu_0} \right)_{\bar{x}_2} \right] \bar{x}_2 \right\} d\mu_0 = (\bar{x}_1 \cdot \bar{x}_2 - \bar{x}_2 \cdot \bar{x}_1) \left(\frac{\partial^2 \bar{\zeta}'}{\partial x_2^2} \right)_{\mu_0} dx_2. \quad (22)$$

Уравнение (22) можно упростить, если учесть, что изменение величины в основном будет сказываться на жидкой фазе. Поэтому

$$\left(\frac{\partial \mu_1'}{\partial \mu_0} \right)_{x_2} \ll \left(\frac{\partial \mu_1'}{\partial \mu_0} \right)_{\bar{x}_2}; \quad (23)$$

$$\left(\frac{\partial \mu_2'}{\partial \mu_0} \right)_{x_2} \ll \left(\frac{\partial \mu_2'}{\partial \mu_0} \right)_{\bar{x}_2}. \quad (24)$$

Учитывая (23), (24) и отбрасывая для упрощения верхние индексы, уравнение (22) запишем так:

$$-\left[\left(\frac{\partial \mu_1}{\partial \mu_0} \right)_{x_2} \cdot \bar{x}_1 + \left(\frac{\partial \mu_2}{\partial \mu_0} \right)_{x_2} \cdot \bar{x}_2 \right] d\mu_0 = (\bar{x}_1 \cdot \bar{x}_2 - \bar{x}_2 \cdot \bar{x}_1) \left(\frac{\partial^2 \bar{\zeta}}{\partial x_2^2} \right)_{\mu_0} dx_2. \quad (25)$$

В этом уравнении величины μ_1, μ_2 относятся к жидкой фазе, а $\bar{\zeta}$ к твердой.

Из уравнения (7) мы можем записать, что

$$\left(\frac{\partial \bar{\zeta}}{\partial \mu_0}\right)_{m_1, m_2} = -m_0; \quad (26)$$

$$\left(\frac{\partial \bar{\zeta}}{\partial m_1}\right)_{\mu_0, m_2} = \mu_1. \quad (27)$$

Дифференцируя последнее уравнение по μ_0 при постоянном m_2 , находим

$$\left(\frac{\partial \mu_1}{\partial \mu_0}\right)_{m_2} = \left(\frac{\partial^2 \bar{\zeta}}{\partial m_1 \cdot \partial \mu_0}\right)_{m_2}, \quad (28)$$

а с учетом (26)

$$\left(\frac{\partial \mu_1}{\partial \mu_0}\right)_{m_2} = -\left(\frac{\partial m_0}{\partial m_1}\right)_{m_2}. \quad (29)$$

Следовательно,

$$\left(\frac{\partial \mu_1}{\partial \mu_0}\right)_{x_2} = -\left(\frac{\partial a}{\partial m_1}\right)_{m_2}. \quad (30)$$

Величина a означает количество воды в жидкой фазе нашей системы. Допустим, что эта величина пропорциональна объему жидкой фазы

$$a = kv, \quad (31)$$

где k — постоянная величина. Для водных растворов солей это допущение может быть принято, так как объем раствора обусловлен в основном водой. Тогда

$$\left(\frac{\partial \mu_1}{\partial \mu_0}\right)_{x_2} = -k\bar{v}_1, \quad (32)$$

где \bar{v}_1 — парциальный мольный объем первого компонента в водном растворе.

Аналогичным путем получим

$$\left(\frac{\partial \mu_2}{\partial \mu_0}\right)_{x_2} = -k\bar{v}_2, \quad (33)$$

где \bar{v}_2 — парциальный мольный объем второго компонента в водном растворе.

С учетом (32) и (33) уравнение (25) запишем в виде

$$k(\bar{v}_1\bar{x}_1 + \bar{v}_2\bar{x}_2)d\mu_0 = (\bar{x}_1\bar{x}_2 - \bar{x}_2\bar{x}_1)\left(\frac{\partial^2 \bar{\zeta}}{\partial x_2^2}\right)_{\mu_0} dx_2. \quad (34)$$

Но, с другой стороны, между парциальными величинами существует соотношение:

$$x_0\bar{v}_0 + x_1\bar{v}_1 + x_2\bar{v}_2 = \bar{v}, \quad (35)$$

где \bar{v}_0 — парциальный мольный объем воды в жидкой фазе, x_0 ,

x_1, x_2 — мольные доли воды, первого и второго компонента, рассчитанные обычным способом так, чтобы

$$x_0 + x_1 + x_2 = 1. \quad (36)$$

Очевидно, что

$$\bar{x}_1 = \frac{x_1}{x_1 + x_2} = \frac{x_1}{1 - x_0} \quad (37)$$

и

$$\bar{x}_2 = \frac{x_2}{x_1 + x_2} = \frac{x_2}{1 - x_0}. \quad (38)$$

Учитывая (37) и (38), из (35) найдем

$$\bar{x}_1\bar{v}_1 + \bar{x}_2\bar{v}_2 = \frac{1}{1 - x_0} (v - x_0\bar{v}_0). \quad (39)$$

Мы видим, что величина, стоящая в первой части уравнения (39), всегда положительна. Обозначая ее буквой B , уравнение (34) после некоторых преобразований в правой части запишем так:

$$-\frac{d\mu_0}{dx_2} = (\bar{x}_2 - x_2) \frac{1}{kB} \left(\frac{\partial^2 \bar{\zeta}}{\partial x_2^2}\right)_{\mu_0}. \quad (40)$$

Можно показать, что для стабильного равновесия величина $\left(\frac{\partial^2 \bar{\zeta}}{\partial x_2^2}\right)_{\mu_0}$ всегда положительна и, следовательно, в первой части уравнения (40) находятся все положительные величины, за исключением множителя $(\bar{x}_2 - x_2)$. Уравнение (40) аналогично дифференциальному уравнению Ван-дер-Ваальса [2] для бинарных смесей, и из анализа уравнения (40) также можно извлечь общие выводы относительно характера изменений в растворе при изменении состава.

Химический потенциал воды в жидкой фазе очень просто может быть связан с парциальным давлением водяного пара p_0 , если газообразная фаза подчиняется идеальным законам. В этом случае

$$\frac{d\mu_0}{dx_2} = RT \frac{d \ln p_0}{dx_2} = \frac{RT}{p_0} \cdot \frac{dp_0}{dx_2}. \quad (41)$$

Подставляя (41) в (40), будем иметь

$$\frac{dp_0}{dx_2} = (x_2 - \bar{x}_2) \frac{1}{kB} \cdot \frac{p_0}{RT} \left(\frac{\partial^2 \bar{\zeta}}{\partial x_2^2}\right)_{\mu_0}. \quad (42)$$

Из анализа уравнения (42) вытекают следующие положения:

Упругость водяного пара над раствором уменьшается (возрастает) при увеличении концентрации того компонента, содержание которого в жидкой фазе меньше (больше), чем в твердой фазе.

В точках экстремума упругости водяного пара составы твердой и жидкой фаз совпадают.

Эти положения аналогичны первому и второму законам Коновалова, первое из них может быть иллюстрировано данными работы [3]. В этой работе изучалась система $K_2SO_4 - (NH_4)_2SO_4 - H_2O$. Жидкая фаза по сравнению с твердой была обогащена сульфатом аммония. При увеличении в системе сульфата аммония упругость водяного пара над растворами уменьшается.

Уравнение (40) можно преобразовать в несколько иную форму. Действительно, для жидкой фазы мы можем записать, что

$$x_1 d\mu_1 + x_2 d\mu_2 + x_0 d\mu_0 = 0, \quad (43)$$

где x_1, x_2, x_0 — те же величины, что и в уравнении (35). Уравнение (43) с учетом (37) и (38) можно преобразовать так:

$$\frac{x_0}{1 - x_0} \frac{d\mu_0}{dx_2} = -\bar{x}_1 \frac{d\mu_1}{dx_2} - \bar{x}_2 \frac{d\mu_2}{dx_2}. \quad (44)$$

Пусть наши соли имеют состав $A_{n_1} B_{n_2}$ и $C_{n_1} B_{n_2}$. Для химических потенциалов солей в жидкой фазе мы можем записать

$$\mu_1 = \mu_{10} + RT \ln \gamma_1 + RT \ln c_1^{n_1} c_2^{n_2}; \quad (45)$$

$$\mu_2 = \mu_{20} + RT \ln \gamma_2 + RT \ln c_2^{n_2} c_a^{n_1}, \quad (46)$$

где γ_1 и γ_2 — коэффициенты активности солей, c_1 , c_2 и c_a — концентрации катионов A , C и анионов B в жидкой фазе. Введем обозначения:

$$L_1 = c_1 \cdot c_a^{n_2/n_1}, \quad (47)$$

$$L_2 = c_2 \cdot c_a^{n_2/n_1}, \quad (48)$$

$$L = L_1 + L_2. \quad (49)$$

Из равенств (47) — (49) нетрудно получить, что

$$L_1 = \bar{x}_1 \cdot L; \quad L_2 = \bar{x}_2 \cdot L. \quad (50)$$

Уравнения (45) и (46) теперь можно записать так:

$$\mu_1 = \mu_{10} + RT \ln \gamma_1 + n_1 RT \ln \bar{x}_1 \cdot L, \quad (51)$$

$$\mu_2 = \mu_{20} + RT \ln \gamma_2 + n_1 RT \ln \bar{x}_2 \cdot L. \quad (52)$$

Допустим, что величины γ_1 и γ_2 мало изменяются при изменении концентрации. Тогда

$$\frac{d\mu_1}{dx_2} = n_1 \frac{RT}{L} \cdot \frac{dL}{dx_2} + n_1 \frac{RT}{x_1} \cdot \frac{d\bar{x}_1}{dx_2}, \quad (53)$$

$$\frac{d\mu_2}{dx_2} = n_1 \frac{RT}{L} \cdot \frac{dL}{dx_2} - n_1 \frac{RT}{x_2} \cdot \frac{d\bar{x}_1}{dx_2}. \quad (54)$$

Подставляя эти уравнения в (44), находим

$$-\frac{d\mu_0}{dx_2} = \frac{1-x_0}{x_0} n_1 \frac{RT}{L} \frac{dL}{dx_2}. \quad (55)$$

Подставляя полученное уравнение в (40), получим

$$\frac{dL}{dx_2} = (\bar{x}_2 - x_2) \frac{1}{k_B} \cdot \frac{L}{RT} \frac{x_0}{1-x_0} \left(\frac{\partial^2 \bar{\xi}}{\partial x_2^2} \right)_{\mu_0}. \quad (56)$$

Легко видеть, что все величины, входящие в первую часть этого уравнения, положительны, за исключением члена $(\bar{x}_2 - x_2)$. Поэтому величина L возрастает (уменьшается) при увеличении концентрации того компонента, содержание которого в жидкой фазе больше (меньше), чем в твердой фазе.

В точках экстремума величины L составы твердой и жидкой фаз совпадают.

Эти положения также аналогичны первому и второму законам Коновалова. Применимость их может быть показана на примере системы $KCl - KBr - H_2O$. На рис. 1 приведена рассчитанная нами по данным работы [4] диаграмма растворимости этой системы при $35^\circ C$. При вычислении L концентрации ионов были взяты в молях на литр. Верхняя кривая на рисунке отвечает составу твердой фазы, нижняя — составу жидкой. Состав фаз на рисунке дан в молярных долях, причем для жидкой фазы взяты величины x_1 и x_2 , т. е. при расчете состава жидкой фазы вода не учитывалась.

Таким образом, термодинамический анализ привел нас к уравнениям, аналогичным дифференциальному уравнению Ван-дер-Ваальса для бинарных смесей, и к положениям, аналогичным законам Коновалова для этих смесей. Отметим, что первый закон Коновалова имеет ограни-

ченную применимость: его нельзя использовать в критической области. Наше первое положение также имеет ограничение: область его применения ограничивается соотношением (31). Второй закон Коновалова не имеет ограничений. Наше второе положение, как легко видеть из рассмотренного выше анализа, также не имеет ограничений.

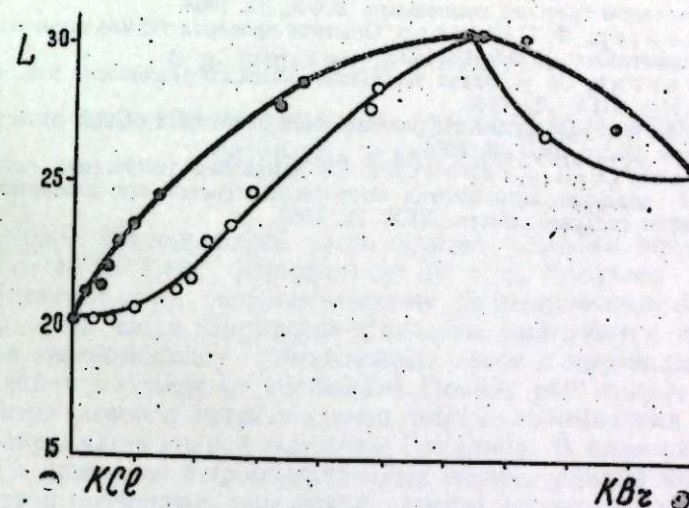


Рис. 1.

Анализ условий равновесия и характера изменений химических потенциалов компонентов в зависимости от состава фаз для многокомпонентных многофазных систем имеется в работах А. В. Сторонкина [5, 6], а М. М. Шульцем и А. В. Сторонкиным [7] анализируются системы, рассматриваемые нами. Выводы, полученные в нашей работе, не противоречат выводам М. М. Шульца и А. В. Сторонкина, но идут несколько дальше. Нами дифференциальное уравнение Ван-дер-Ваальса и законы Коновалова обобщены для двухфазных трехкомпонентных систем, когда одна из фаз состоит только из двух компонентов, а давление и температура в системе постоянны. Отметим, что последнее допущение принято только для упрощения конечного уравнения. Если мы откажемся от этого допущения, то в правой части уравнения (40) появятся члены, содержащие производные температуры и давления, по составу аналогичные таковым в уравнении Ван-дер-Ваальса.

Выводы

1. Рассмотрены бинарные твердые растворы ионных солей, находящиеся в равновесии с водным раствором этих солей при постоянной температуре и давлении.
2. Термодинамическим путем выведены дифференциальные уравнения (40), (41) и (56), являющиеся аналогами дифференциального уравнения Ван-дер-Ваальса для бинарных смесей.
3. Показано, что из уравнений (40), (41) и (56) следуют положения, определяющие характер изменения давления водяных паров над системой и величины L в зависимости от состава фаз. Эти положения являются аналогами первого и второго законов Коновалова.

ЛИТЕРАТУРА

1. Д. Ж. В. Гиббс, Термодинамические работы. Гостехиздат, М.—Л., 1950.
2. Ван-дер-Ваальс, Констант, Курс термостатики, ч. 1, ОНТИ, М., 1936.
3. М. М. Шульц, А. В. Сторонкин, Т. П. Маркова, Исследование химических потенциалов и коэффициентов активности компонентов бинарных твердых растворов методом третьего компонента. ЖФХ, 32, 1958.
4. Н. А. Шлезингер, Ф. П. Зоркин, Опытная проверка термодинамической теории смешанных кристаллов, ЖФХ, 13, 1939.
5. А. В. Сторонкин, Об условиях термодинамического равновесия многокомпонентных систем. Изд. ЛГУ, Л., 1948.
6. А. В. Сторонкин, Об условиях равновесия и некоторых общих свойствах многофазных систем. Вести. ЛГУ, 2, 1954.
7. М. М. Шульц, А. В. Сторонкин, Об изменении химических потенциалов и парциальных давлений компонентов гетерогенных систем при изотермо-изобарическом изменении составов. Вести. ЛГУ, 22, 1956.

В. Д. ЛОПАТИН, А. В. БУХТЕЕВА

К ХАРАКТЕРИСТИКЕ РАСТИТЕЛЬНЫХ ЗОН
ОСТРОВА САХАЛИН

Территория обследованной части острова Сахалин вытянута с юга на север от 45°53' (мыс Крильон) до 50° с. ш. Согласно последнему, весьма обстоятельному, геоботаническому районированию А. И. Толмачева [1], на этой части территории Сахалина выделяются три подзоны: 1) подзона зеленомошных темнохвойных лесов с преобладанием ели, расположенная к северу от перешейка Поясок (48° с. ш.); 2) подзона темнохвойных лесов с преобладанием пихты, занимающая среднюю и юго-восточную часть южной половины Сахалина, 3) подзона темнохвойной тайги с примесью широколиственных пород; граница между предыдущей и этой подзонами идет почти с севера на юг от города Анива к городу Томари (рис. 1).

В принципе схема геоботанического районирования А. И. Толмачева не вызывает возражений. Однако имеющийся у нас новый обильный материал позволяет внести в нее некоторые уточнения.

В числе главных отличий двух первых подзон лучше указывать не на преобладание ели в первой и пихты во второй, а на хорошо выраженные отличия в развитии почвенного мохового покрова лесов. Это тем более справедливо, что в первой подзоне в составе древостоев по количественному соотношению стволов обычно господствует пихта* (хотя и в меньшей степени, чем во второй подзоне).

Правда, эти соотношения сильно изменяются в пользу ели, если сравнивать состав древостоев по запасам древесины. Почти во всех описаниях елово-пихтовых лесов ель по диаметру и высоте (т. е. по объему ствола) обычно значительно больше пихты.

По данным С. Т. Власова [2], запас древесины ели в южной части Сахалина составляет 47,5%, от общего запаса всей древесины, а запас пихты — 30,7%. Эти цифры относятся к спелым и перестойным древостоям, в которых особенно велика разница в объеме стволов между елью и пихтой. Так, в девственных елово-пихтовых лесах северной части Макаровского района (49° с. ш.) максимальный диаметр ели достигает 70 см, а пихты — 46 см [3].

По данным отдельных геоботанических описаний, произведенных нами по общепринятой методике в девственных лесах, в Невельском районе господствующий диаметр у ели 40 см, у пихты — 29, максимальный у ели — 55, у пихты — 44; в Корсаковском районе господствующий диаметр у ели — 36 см, у пихты — 30, максимальный у ели — 70, у пихты — 49; в Поронайском районе (Восточно-Сахалинский хребет) господствующий диаметр у ели — 41 см, у пихты — 24, максимальный у ели — 61,

* Пихта сахалинская и пихта Майра при геоботанических работах нами не различались. Различить эти виды можно только по мелким особенностям кроющих чешуек, шишек, которые у пихты при созревании шишек быстро отлетают.

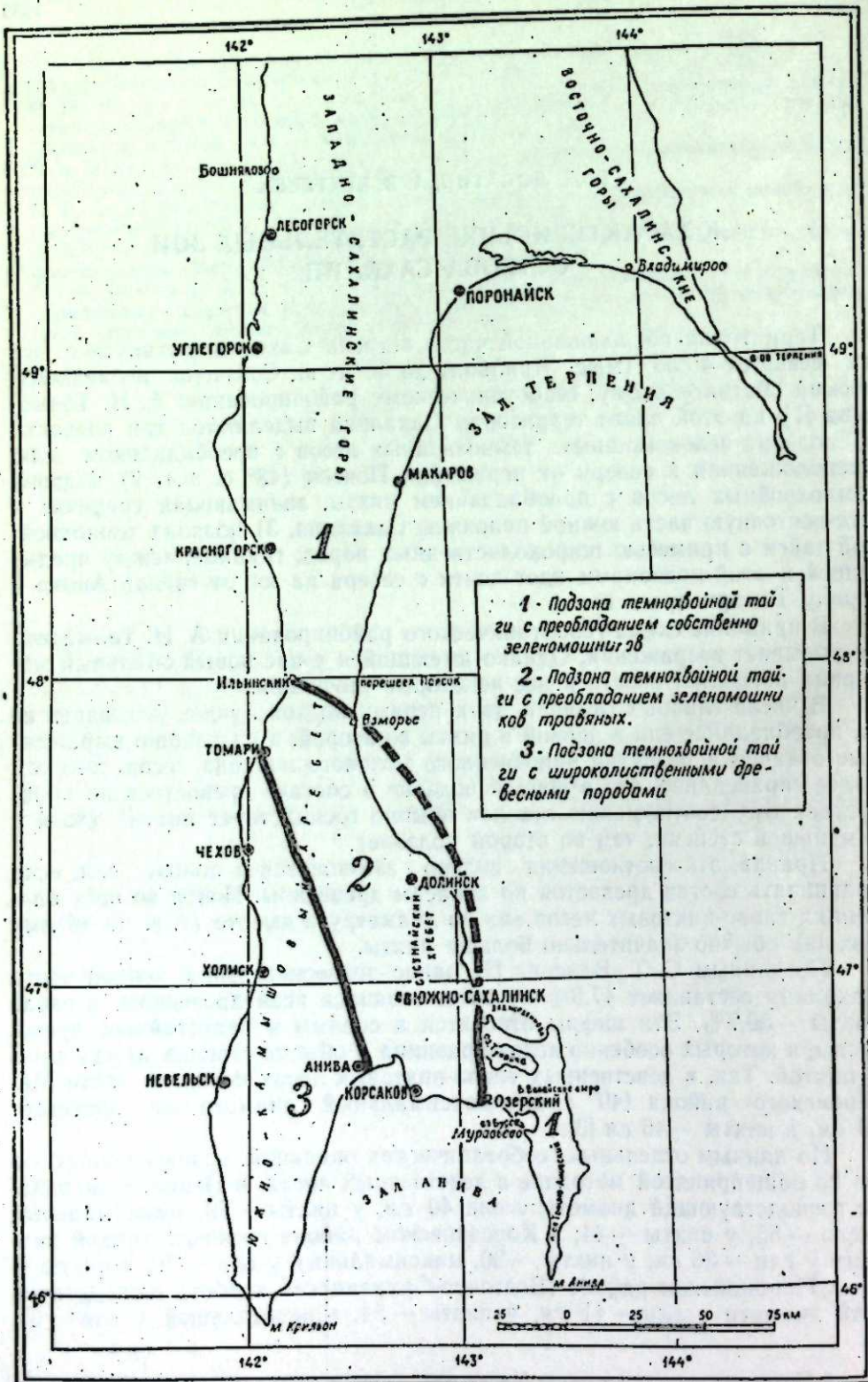


Рис. 1. Схематическая карта подзон растительности южной части о-ва Сахалин.

у пихты — 37. Примерно равные соотношения диаметров пихты и ели имеются лишь в молодых недевственных древостоях.

Приблизительные подсчеты показывают, что при соотношении количества стволов в древостое пихты и ели, равном 7 : 3; объем древесины у них примерно одинаковый, а в некоторых девственных древостоях объем стволов ели даже больше, чем пихты. Поэтому и получается, что лесов с преобладанием пихты больше, чем с преобладанием ели, но запас древесины пихты меньше.

Преобладание пихты в составе древостоев девственных лесов (а такие нам удалось разыскать даже в самых южных районах, подвергавшихся очень сильному воздействию человека) определяется биологическими особенностями ели и пихты. Пихта возобновляется гораздо легче, чем ель, зато ель более долговечна и обычно лет на 100, а иногда и более, старше пихты. Трехсотлетние ели — не редкость, возраст же пихты редко превышает 200 лет. Например, в пихтарнике травяном приручейном у Бошняковского перевала (абс. высота — 506 м, район Лесогорский), средний возраст пихты составлял 150 лет, ели — 220 лет, максимальный — соответственно 220 и 325 лет. Высота ели и пихты была почти одинакова (ель — 26 м, пихта — 25 м), но диаметры их сильно различались: средний у ели — 50 см, у пихты — 38 см, максимальный — соответственно 98 и 57 см.

Пихта из состава взрослых деревьев выпадает раньше, поэтому оборот ее не совпадает с оборотом ели, и последняя в большинстве девственных древостоев старше и мощнее. Обратные возрастные соотношения были нами встречены лишь один раз в Долинском районе на восточном склоне Сусунайского хребта.

Значительное преобладание пихты по объему древесины или исключительно пихтовый древостой, если принимать во внимание только девственные леса, встречаются исключительно в местах, не защищенных от действия холодных летних ветров с моря. Так, например, на всем протяжении полуострова Терпения (от с. Владимирово и южнее) из темнохвойных лесообразующих пород всегда господствует пихта как по количеству деревьев, так и по запасам древесины. Вместе с тем в девственных лесах в подзоне темнохвойных лесов с преобладанием пихты (2-я подзона) по объему древесины чаще преобладает ель, кроме того, встречаются, хотя и не часто, почти чистые ельники. Впечатление, что в этой подзоне гораздо больше пихты, чем в более северной (первой) подзоне, усиливается тем, что спелых и перестойных лесов здесь во много раз меньше. К тому же в лесах, подвергающихся вырубке, используется в первую очередь ель, а в молодых древостоях, в связи с более легкой возобновляемостью пихты, последняя всегда господствует.

Таким образом, основной признак разделения А. И. Толмачевым двух северных подзон ненадежен и в ряде случаев для довольно больших территорий не выдерживается. Гораздо надежнее другой признак — моховой покров.

При анализе описаний темнохвойных лесов и результатов непосредственных наблюдений на экологических профилях в натуре класс ассоциаций темнохвойных лесов зеленомошников пришлось разбить на 3 подкласса:

- 1) собственно зеленомошники с хорошо развитым моховым покровом;
- 2) зеленомошники мертвопокровные со слабо развитым моховым покровом (с сомкнутостью мхов, не превышающей 30%) и с сомкнутым ярусом лесного разнотравья и кустарников;
- 3) зеленомошники с уклонением в сторону психрофитизации в расти-

тельном покрове (наличие кедрового стланика, брусники, шикши — *Empetrum nigrum* L.— и др.).

Центральное место в экофитоценологических рядах северной (с господством ели, по А. И. Толмачеву) подзоны принадлежит ассоциациям подкласса собственно зеленомошников, в двух других подзонах — ассоциациям подкласса зеленомошников мертвопокровных. Встречаемость зеленомошников мертвопокровных в южных подзонах составляет 65%, в северной — 35%. Встречаемость собственно зеленомошников соответственно равна 18 и 82%. Зеленомошники с уклоном к психрофитизму в травяном покрове имеются только в северной подзоне. В подзоне темнохвойной тайги с примесью широколиственных пород собственно зеленомошников нет.

Таким образом, северную подзону следует назвать подзоной темнохвойной тайги с преобладанием собственно зеленомошников (рис. 2) средней — подзоной темнохвойной тайги с преобладанием зеленомошников мертвопокровных, а название южной (вернее, юго-западной) подзоны оставить без изменений.

При таком делении весь Тонинно-Анивский полуостров и всю Муравьевскую низменность* следует отнести к северной подзоне, проведя границу от западной оконечности залива Мордвинова и озера Тунайчи к пос. Озерский на берегу Анивского залива, несколько западнее его, примерно по границе Корсаковского плато (см. рис. 1); Муравьевская низменность и Тонинно-Анивский хребет, без сомнения, представляют два отдельных геоботанических района. Необходимость отнесения этих районов к северной подзоне подтверждается также и тем, что старые вырубки и гари здесь зарастают веийником без примеси курильского бамбука. В средней подзоне примесь бамбука обычна, а в южной, вернее юго-западной, почти все старые вырубки и гари зарастают бамбуком. На береговых валах побережья залива Мордвинова обычны кедровый стланик и шикша, которые в средней и южной подзонах в аналогичных местобитаниях не встречаются.

Без сомнения, в Муравьевской низменности более суровые климатические условия, в частности, более холодное лето, чем в местностях, прилегающих к ней с запада (Корсаковское плато, среднегорный сравнительно широкий Сусунайский хребет). Низменность ничем не защищена от северных ветров. Внутри нее находятся крупные озера и лагуны (Тунайча, Вавайское, Буссе), оказывающие летом охлаждающее влияние на температуру воздуха. То же можно сказать и о климате узкого низкогорного Тонинно-Анивского полуострова, омываемого со всех сторон холодным течением [5].

Учет подзональных различий имеет практическое значение. Например, естественное лесовозобновление в подзоне темнохвойной тайги с примесью широколиственных пород наиболее затруднено. Оно идет исключительно на гниющей древесине. Подрост хвойных пород чрезвычайно угнетается мощно развивающимся травяным покровом и в особенности курильским бамбуком. Последний очень прочно удерживает раз занятую им территорию и спускается в этой подзоне до берега моря. Здесь приходится рассчитывать главным образом на искусственное лесовозобновление.

В подзоне темнохвойной тайги с преобладанием зеленомошников мертвопокровных естественное возобновление лучше, но все же приурочено почти исключительно к гниющей древесине, хотя имеется и непосредственно на почве. На старых олуговелых вырубках естественное во-

* О северном характере растительности Муравьевской низменности писал П. П. Глен еще в 1866 г. [4].

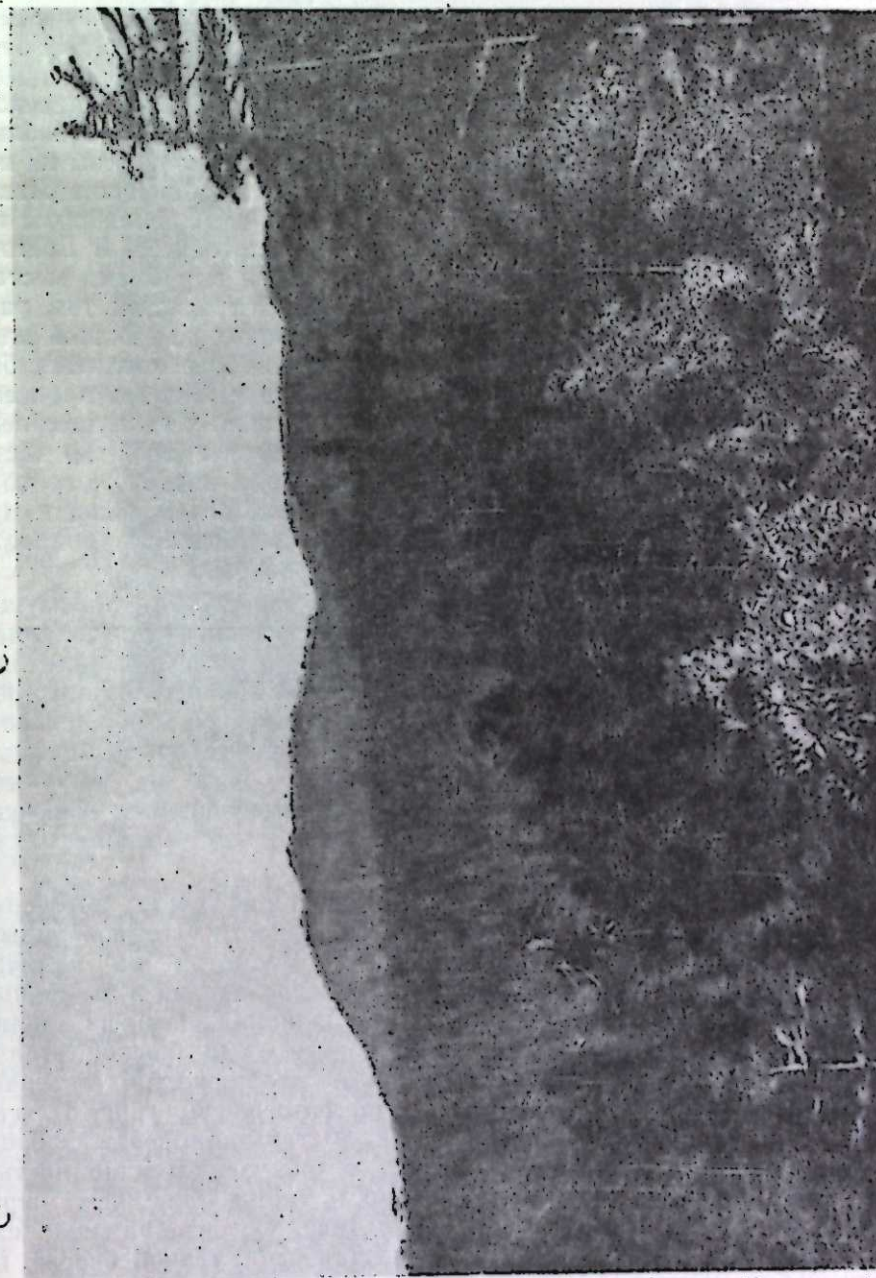


Рис. 2. Темнохвойная тайга на морских террасах и западных отрогах Камышевского хребта.

зобновление идет плохо, очень медленно и почти исключительно лиственными породами. Для быстрого восстановления хвойных лесов необходимы лесопосадки. Однако на свежих вырубках при сохранении подроста можно ограничиться содействием естественному возобновлению, без сплошных лесопосадок.

В подзоне темнохвойных лесов с преобладанием собственно зеленомошников естественное лесовозобновление идет хорошо, даже на олуговелых вырубках. Только многократные, регулярно повторяющиеся пожары уничтожают подрост полностью. Впрочем, на Тонино-Анивском полуострове и в Западно-Сахалинских горах нам приходилось наблюдать довольно многочисленные всходы и молодой подрост березы на неоднократно горевших больших площадях с господством вейника Лагсдорфа. Хвойного подростка там не было, так как в сохранившихся по ущельям и в складках местности лесах преобладала береза. В Восточно-Сахалинских горах на обезлесенных пожарами и вырубками местах очень хорошо возобновляется лиственница. Густой травостой там развивается лишь в низинах, у подножья гор и в долинах рек. В этой подзоне темнохвойные леса после вырубки будут хорошо возобновляться без каких-либо дополнительных работ при условии сохранения в процессе рубки естественного подростка. Последний здесь также преимущественно приручен к гниющей древесине упавших стволов и пней, но часто встречается и непосредственно на почве. Очевидно, в подзоне с господством собственно зеленомошников в верхних слоях почвы больше микоризных грибов, благоприятно влияющих на жизнеспособность подростка пихты и ели. Однако это утверждение следует проверить.

Прирученность подростка наибольшей жизнеспособности преимущественно к гниющей древесине во всех подзонах южной части Сахалина наводит на мысль о нецелесообразности уборки и сжигания валежника, остающегося после вырубки леса. Опасность возникновения пожаров из-за оставления валежника невелика. Главная опасность пожара возникает вследствие обильного разрастания на вырубках трав. Осенью травостой отмирает, весной высыхает, и к началу лета на вырубках скапливается огромное количество легко воспламеняющегося горючего материала — сухой травы. К сожалению, именно это обстоятельство ни в каких инструкциях не учитывается.

Хотя прирученность подростка к гниющей на земле древесине отмечается в таежной зоне повсеместно, в особенности у темнохвойных, на Сахалине она особенно сильно выражена. Несмотря на наличие у одного из авторов большого опыта полевых исследований в различных районах таежной зоны СССР, нигде, кроме Сахалина, нами не наблюдалось, например, образования ходульных корней у ели аянской, выросшей на высокоом пне. В литературе, насколько это известно авторам, подобное явление также не отмечалось. На фотографии (рис. 3) ясно видна корневая шейка ели, находящаяся на 80 см выше поверхности почвы. Пень, на котором выросла ель, сгнил, и она держится полностью на ходульных корнях, и притом жизнеспособность ее не ниже, чем окружающих деревьев. На другой фотографии (рис. 4), изображена ель аянская старше 30-летнего возраста, растущая на каменной березе. Ее корневая шейка находится в 7 м от поверхности земли, а корневая система — полностью в гниющей древесине дупла каменной березы. Высота этой ели 3,5 м, диаметр — 11 см. Аналогичные явления успешного произрастания на высоких пнях и на березе наблюдались и у пихты сахалинской, но у экземпляров меньшего возраста.

Способность сахалинских темнохвойных давать быстрорастущий и жизнеспособный подрост на гниющей древесине следует учесть при



Рис. 3. Ель аянская на ходульных корнях, выросшая на высокоом пне. (Муравьевская низменность, 1957 г.).

работах по лесовозобновлению, особенно на сильно эродированных склонах.

Очень большое потенциальное народнохозяйственное значение имеют олуговевшие старые вырубки и пожарища на горных склонах, занятые в настоящее время вейниковыми лугами. Эти пространства, за редким исключением, не используются и являются опасными очагами пожаров прилегающих к ним лесов. Площадь их с течением времени увеличивается. Естественное облесение всех этих лугов нереально по двум причинам: 1) для образования сомкнутого подростка требуется много времени (40—50 лет); 2) в связи с тем, что вейниковые луга легко загораются, так как они не выкашиваются за срок, необходимый для восстановления леса, подрост обязательно погибнет от пожара. Искусственное облесение требует очень больших капиталовложений без отдачи в течение многих десятков лет и может быть произведено лишь на весьма незначительной части вейниковых лугов, поэтому тоже нереально.

Между тем, старые гари в ряде случаев могут быть использованы в качестве кормовой базы для мясо-молочного скотоводства. Климатические и почвенные условия Сахалина весьма благоприятствуют произрастанию луговых трав. Регулярный сенокос значительно уменьшит и вероятность лесных пожаров.

Наибольшие площади вейниковых лугов, измеряемые десятками тысяч гектаров, сосредоточены в подзоне темнохвойных лесов с пре-



Рис. 4. Ель аянская, выросшая на каменной березе. (Западные отроги горы Ичара, Ламанонский горный массив, 1957 г.).

обладанием собственно зеленомошников; особенно много их на Тонино-Анивском полуострове, затем в нижней трети склонов Западно-Сахалинских гор, меньше всего в Восточно-Сахалинских горах.

Регулярное сенокосение приведет к увеличению злаковости травостоя благодаря выпадению сопутствующего вейнику разнотравья, плохо выдерживающего сенокосение. С течением времени должен выпасть

и вейник, так как он под воздействием скашивания теряет конкурентоспособность [6]. Его следует заменить лучшими рыхлокустовыми кормовыми злаками: тимофеевкой, овсяницей луговой, ежей сборной и др. Подсев этих трав должен производиться без какого-либо рыхления почвы.

Смена вейника рыхлокустовыми злаками увеличит связность дернины, что будет способствовать уменьшению эрозии почвы, а следовательно, улучшению режима влажности и увеличению плодородия ее.

Рекомендация А. И. Толмачева использовать гари и вырубку, покрытые вейниковыми лугами, под выпас скота неосторожна. Наоборот, необходимо всемерно избегать нарушения связности почвы как путем использования рыхлящих сельскохозяйственных орудий, так и путем выпаса скота, иначе усилится эрозия и понизится почвенное плодородие.

Следующая подзона — темнохвойных лесов с преобладанием зеленомошников мертвопокровных — тоже имеет большие обезлесенные площади, покрытые луговой растительностью. Однако эти луга, развившиеся на месте горных лесов, гораздо труднее осваивать под сенокос. В составе травостоя очень часто имеется примесь весьма трудно скашиваемого бамбука. Это ухудшает качество лугов и потребует при их освоении больше времени и затрат труда.

В подзоне темнохвойной тайги с примесью широколиственных пород, расположенной на крайнем юго-западе острова, почти все обезлесенные пространства гор покрыты зарослями курильского бамбука. Имеющиеся здесь луга без бамбука, приуроченные главным образом к крутым склонам морских террас, уже используются под сенокос. Превращение зарослей бамбука в луга потребует коренных мелиораций, связанных с возбуждением почвенной эрозии, и поэтому в сколь-нибудь большом масштабе нецелесообразно.

Сахалинский комплексный
научно-исследовательский институт
Сибирского отделения АН СССР

Поступила в редакцию
13/1 1959

ЛИТЕРАТУРА

1. А. И. Толмачев, Геоботаническое районирование острова Сахалина. Изд. АН СССР, М.—Л., 1955.
2. С. Т. Власов, Леса острова Сахалина. Изд. «Советский Сахалин», 1959.
3. К. Уэда, Изучение типов девственных лесов Южного Сахалина. Киото, 1933. (Перевод с японского Э. И. Кургановой, Библиотека СахКНИИ СО АН СССР, 1958).
4. Ф. Б. Шмидт, П. П. Глен, Исторические отчеты о физико-географических исследованиях начальника физического отдела Сибирской экспедиции, СПб., 1886.
5. Ю. К. Ефремов, Физико-географическое районирование острова Сахалина. Вопросы географии, вып. 39, 1956.
6. А. В. Бухтеева, Луга поймы Енисея в районе Туруханска. Изв. Вост. филиалов АН СССР, № 6, 1957.

О. М. КОЖОВА

СИСТЕМАТИЧЕСКИЙ СПИСОК
ПЛАНКТОННЫХ ВОДОРΟΣЛЕЙ ОЗЕРА БАЙКАЛ
И НЕКОТОРЫЕ ДАННЫЕ ПО БИОЛОГИИ
ИХ МАССОВЫХ ФОРМ

Первые сведения о водорослях Байкала относятся к 1890 г. и связаны с именем Б. Дыбовского. Но основы наших знаний о планктонных водорослях Байкала были заложены позднее, в 20—30-е годы XX в., многочисленными работами К. И. Мейера, В. Н. Яснитского, А. П. Скабичевского и других ученых. В результате этих исследований был установлен основной состав фитопланктона Байкала и определены некоторые особенности его распределения и сезонных изменений. Однако существенным пробелом этих работ было отсутствие количественных данных. Использовался лишь сетяной материал, а степень развития водорослей определялась, как правило, визуально.

В последние годы круглогодичные периодические наблюдения над фитопланктоном с применением счетного (осадочного) метода были организованы М. М. Кожовым на Биологической станции Биолого-географического института Иркутского университета, а также на Лимнологической станции Восточно-Сибирского филиала АН СССР. Эти исследования позволили установить новые закономерности в развитии фитопланктона Байкала и, прежде всего, выяснить картину его годовых и сезонных изменений вертикального и горизонтального распределения. Появилась также возможность уточнить список планктонных водорослей, включив в него новые виды и сведя в синонимы некоторые виды из ранее описанных. Это особенно касается водорослей, развивающихся в открытом Байкале, в Малом море, крупных заливах и в предустьевых районах, где в последние годы производились исследования. Соры и другие участки, в значительной степени изолированные от открытого Байкала, не обследовались. Учет последних, возможно, позволит список водорослей еще более расширить.

К настоящему времени в Байкале насчитывается 99 видов планктонных водорослей, в том числе сине-зеленых (*Cyanophyta*) — 21, золотистых (*Chrysophyta*) — 9, диатомовых (*Bacillariophyta*) — 21, пиррофитовых (*Pyrrophyta*) — 7, эвгленовых (*Euglenophyta*) — 3, зеленых (*Chlorophyta*) — 38. Наиболее мощно развиты в Байкале диатомовые водоросли, поэтому фитопланктон озера можно назвать преимущественно диатомовым. Обильны здесь также весенние формы перидиней. Характерно для открытых вод Байкала почти полное отсутствие планктонных *Conjugatae* (из *Chlorophyta*) и *Euglenophyta*.

Семь видов планктонных водорослей Байкала до настоящего времени найдены только в этом озере (в живом состоянии): *Melosira baicalensis*, *Cyclotella baicalensis*, *C. minuta*, *Gymnodinium baicalense*, *G. coeruleum*, *Peridinium baicalense* и *Epichrysis melosirae*.

Они составляют 7% общего числа видов планктонных водорослей

Байкала, но количественно все являются доминирующими. В массе развиваются они преимущественно в открытых глубоководных районах Байкала в холодный период времени. Лишь у *C. minuta* максимум развития приходится на летне-осенний период.

Ниже мы приводим систематический список планктонных водорослей, составленный на основе собственных данных и данных других авторов [1], с краткой характеристикой биологии наиболее массовых форм.

Определения производились по «Определителям пресноводных водорослей» [2—5] и О. А. Коршикову [6]. Диагнозы видов определенных нами водорослей соответствуют тем, которые производятся в названных руководствах.

Тип *Cyanophyta* — сине-зеленые водоросли

1. *Dactylococcopsis fascicularis* Lemm.
2. *Holopedia geminata* Lagerh.
3. *Pseudoholopedia convoluta* (Breb.) Elenk. (= *Merismopedia convoluta* Breb.)*
4. *Microcystis aeruginosa* Kütz.
5. *Microcystis pulvereae* f. *incerta* (Lemm.) Elenk.**
6. *Gloeocapsa limnetica* (Lemm.) Hollerb. (= *Chroococcus limneticus* Lemm.)
7. *Gloeocapsa turgido* (Kütz.) Hollerb. (= *Chroococcus turgidus* (Kütz.) Naeg.)
8. *Coelosphaerium Kützingianum* Naeg.
9. *Coelosphaerium dubium* Grun.
10. *Gomphosphaeria lacustris* Chod.
11. *Gomphosphaeria aponina* Kütz.
12. *Woronichinia Naegeliania* (Ung.) Elenk. (= *Coelosphaerium Naegelianum* Ung.)
13. *Sphaeronostoc Kihlmani* (Lemm) Elenk. (= *Nostoc Kihlmani* Lemm)
14. *Sphaeronostoc pruniiforme* (Ag.) Elenk.
15. *Anabaena flos-aquae* (Lyngb.) Breb., *An. flos-aquae* var. *gracilis* (Kleb.) Elenk.
16. *Anabaena Scheremetievi* Elenk., *An. Scheremetievi* f. *rotundospora* Elenk.
17. *Anabaena Lemmermannii* P. Richt.
18. *Anabaenaspiroides* Kleb., *An. spiroides* f. *crassa* (Lemm.) Elenk., *An. spiroides* f. *Meyeriana* (Meyer) Elenk. (= *An. Bolochoziewii* K. Meyer)***
19. *Aphanizomenon flos-aquae* (L.) Ralfs.
20. *Gloeotrichia echinulata* (Smitch) P. Richt.
21. *Rivularia planctonica* Elenk.

Сине-зеленые водоросли населяют в Байкале главным образом мелководные участки: южную часть Малого моря, залив Мухор, внутренние части Баргузинского и Чивыркуйского заливов, Селенгинское и Северо-

* Приводим лишь те синонимы, под которыми данные виды встречаются в литературе о Байкале.

** Другие микроцисты, зарегистрированные В. Ч. Дорогостайским [7] и К. И. Мейером [1], по-видимому, реального значения не имеют.

*** Другие виды анабей (Мейер [1]) встречаются обычно в сорах и для открытого Байкала не характерны.

Байкальское мелководья, а также мелководные, хорошо прогреваемые губы, бухты, соры.

Максимального развития они достигают в летние месяцы при температуре воды от 18—20°С и выше, хотя одиночные колонии их можно встретить и в более холодные периоды. На мелководных участках сине-зеленые нередко вызывают «цветение» воды, когда концентрация их достигает нескольких десятков колоний на 1 л.

В открытом глубоководном Байкале сине-зеленые появляются не каждый год — в августе—сентябре, и то, как правило, в небольшом количестве. Наивысшие концентрации (несколько колоний на 1 л) в открытом Байкале (район Б. Котов — Лиственничное) обнаруживаются после ветров со стороны Селенгинского мелководья в период максимального прогрева вод (до 13—15°).

Из перечисленных водорослей этой группы наиболее массовыми являются *Microcystis aeruginosa*, *Anabaena Lemmermannii*, *An. spiroides*, *Gloeotrichia echinulata*, а на прибрежных участках и ностоки.

Тип *Chrysophyta* — золотистые водоросли

1. *Mallomonas tonsurata* E. Teiling.

2. *Mallomonas caudata* Iwan.

3. *Uroglena volvox* Ehr.

4. *Dinobryon cylindricum* Imh., *D. cylindricum* var. *palustre* Imh.

Этот вид широко распространен по Байкалу и встречается как на мелководных участках, так и в открытом озере. В открытом Байкале появляется единично уже весной. В некоторые годы (1954, 1957, 1958) в августе количество этого вида бывает довольно значительным, особенно в местах, где температура воды 10—14°С (до 40—60 тыс. клеток на 1 л). Разновидность встречается вместе с видом, но реже.

5. *Dinobryon divergens* Imh., *D. divergens* var. *angulatum* (Sel.) Grunth. В открытом Байкале встречается редко. В массе обнаруживается летом на Селенгинском мелководье, в губах, заливах (Чивыркуйском, Мухоре, Анге) при 20—22°С, нередко вызывает «цветение» воды (200—500 тыс. клеток на 1 л).

6. *Dinobryon sociale* Ehr., *D. sociale* var. *stipitatum* (Stein.) Lemm.

7. *Synura uvella* Ehr.

8. *Chrysophaerella longispina* Laut.

9. *Epichrysis melosirae* K. Meyer. Эндемичный для Байкала вид встречается на нитях холодолюбивых мелозир — до 15—16 колоний на одной нити.

Золотистые водоросли (кроме *D. cylindricum*, *D. divergens*, *E. melosirae*) встречаются в относительно небольшом количестве на мелководных участках, в сорах, изолированных губах.

Тип *Pyrrophyta* — пиррофитовые водоросли

1. *Gymnodinium baicalense* Antipova, *G. baicalense* var. *minor* [8]

2. *Gymnodinium coeruleum* Antipova [8].

Гимнодиниумы — характерные представители весеннего фитопланктона Байкала. При их массовом развитии вода приобретает буро-желтый оттенок, на поверхности ее в прорубях образуются полосы буро-желтой мути, а прозрачность понижается до 4—5 м. Эти водоросли являются важнейшим компонентом в питании весенних форм зоопланктона. Развиваются они в феврале — марте подо льдом в самом поверхностном слое

воды. Развитие прекращается сразу же после таяния льда. Максимальное количество их наблюдалось нами в марте 1958 г.: *G. baicalense* — до 100 тыс., *G. baicalense* var. *minor* — до 9 млн., *G. coeruleum* — до 60 тыс. клеток на 1 л.

3. *Glenodinium* sp. Отмечен Н. С. Гаевской [9] в литорали открытой части озера.

4. *Peridinium baicalense* Kiss. et Zwetk. Эндемик Байкала, холодолюбивый вид, развивается в подледный период сначала в поверхностных слоях воды. Наивысшие концентрации (10—20 тыс. клеток на 1 л) обнаружены нами в прибрежной зоне. После таяния льда количество уменьшается, летом встречается единично.

5. *Peridinium aciculiferum* var. *inermis* Wolosz. Встречается в подледный период в количестве 1—2 тыс. клеток на 1 л.

6. *Peridinium bipes* f. *tabulatum* (Ehr.) Lef. Обнаружен нами (до 14 тыс. клеток на 1 л) в заливах Чивыркуйском и Мухоре в июле — августе.

7. *Ceratium hirundinella* (O. F. M.) Bergh. В открытом Байкале обнаруживается в очень небольшом количестве. Появление его здесь связано с выносом из мелководных районов. В заливах, бухтах, на мелководьях многочислен (до 3 тыс. клеток на 1 л) в летние месяцы, при температуре воды от 15—18 до 20—22° (максимум развития).

Тип *Euglenophyta* — эвгленовые водоросли

Эвгленовые водоросли в открытом Байкале не встречаются. Л. В. Рейнгардт (см. [1] для Посольского и Истоковского соров зарегистрировал 2 вида *Trachelomonas*: *T. volvocina* Ehr. и *T. hispida* (Perty) Stein. К. И. Мейлер [1] нашел здесь же *Monomorpha pyrnum* (Ehr.) Mereschk. (= *Phacus pyrnum* (Ehr.) Stein. Нам в наиболее мелководной части Мухора также встречались эвгленовые, систематическое положение которых определено не было.

Тип *Chlorophyta* — зеленые водоросли

1. *Eudorina elegans* Ehr.

2. *Pandorina morum* Bory.

3. *Volvox aureus* Ehr.

4. *Gonium pectorale* O. Müll.

5. *Pediastrum** *Kawraiskyi* Schmidle.

6. *Pediastrum duplex* Meyen (= *P. pertusum* Kütz.)

7. *Pediastrum boryanum* (Turp.) Menegh. (= *P. integrum* Naeg.)

8. *Pediastrum tetras* (Ehr.) Ralis (= *P. biradiatum* Ralfs.).

9. *Tetraedron minimum* (A. Br.) Hansg.

10. *Tetraedron trigonum* (Naeg.) Hansg.**

11. *Tetraedron limneticum* Bouge.**

12. *Excentrosphaera viridis* G. T. Moore. Впервые обнаружена нами в августе в районе Б. Котов, куда занесена, видимо, со стороны Селенгинского мелководья.

13. *Oocystis lacustris* Chod.

14. *Ankistrodesmus falcatus* (Corda) Ralfs. Этот вид на мелководьях играет заметную роль, особенно летом при 15—17°, когда

* К. И. Мейлер [1] приводит для Байкала 8 видов этого рода. Но, согласно исследованию О. А. Коршикова по зеленым водорослям Украины [6], многие из этих видов могут быть сведены в синонимы.

** О. А. Коршиков [6] считает их *Heterocontae*.

концентрация его составляет 100—200 тыс. клеток на 1 л. В открытом Байкале появляется весной, максимум развития (несколько десятков тыс. клеток на 1 л) наблюдается летом. В некоторые годы (например, в 1956) бывает одним из доминирующих видов летнего планктона.

15. *Ankistrodesmus Bidraianus* (Reinsch.) Korsch. (= *Sele-nastrum Bidraianum* Reinsch.)

16. *Ankistrodesmus Rfitzeri* (Schroed.) G. S. West.

17. *Hyaloraphydium contortum* Korsch.

18. *Kirchneriella lunaris* Möb.

19. *Sphaerocystis Schroeteri* Chod. (= *Cloeoococcus Schroeteri* Lemm.)

20. *Dictyosphaerium pulchellum* Wood.

21. *Dictyosphaerium Ehrenbergianum* Naeg.

22. *Botryococcus Braunii* Kütz.

23. *Coelastrum microsporum* Naeg.

24. *Crucigenia rectangularis* (A. Br.) Gay.

25. *Actinastrum Hantzschii* Lagerh., *A. Hantzschii* var. *fluviale* Schroed.

26. *Scenedesmus quadricauda* (Turp.) Breb.

27. *Scenedesmus obliquus* (Turp.) Kütz.

28. *Scenedesmus bijugatus* (Turp.) Kütz.

29. *Scenedesmus denticulatus* var. *linearis* Hansg.

30. *Scenedesmus acuminatus* (Lagerh.) Chod.

31. *Elakatothrix gelatinosa* Wille. Впервые обнаружен нами в Малом море и других мелководных районах, летом, в концентрации до 600 клеток на 1 л.

32. *Binuclearia tatrana* Wittg. Эта водоросль характерна не только для Малого моря, как считал К. И. Мейер [1]. Летом она обнаруживается и в открытом Байкале, и в других мелководных районах. Максимум развития приходится на летний период, а не на весну, как считал А. П. Скабичевский [10].

Кроме названных, из зеленых в Байкале зарегистрировано более 30 видов десмидиевых водорослей [1]. Из них только некоторые встречаются в наиболее мелководных участках Чивыркуйского залива и Северо-Байкальского мелководья. Это следующие виды:

33. *Staurastrum paradoxum* Meyen.

34. *Staurastrum dejectum* Breb.

35. *Xanthidium antilopeum* (Breb.) Kütz.

36. *Closterium rostratum* Ehr.

37. *Hyalotheca disseliens* (Sm.) Breb.

38. *Micrasterias* sp.

Остальные десмидиевые встречаются в реках, близлежащих болотах, озерах, частично в сорах.

Зеленые водоросли, кроме тех, о которых упоминалось отдельно, как и сине-зеленые, населяют главным образом мелководные участки Байкала. Здесь они в летние месяцы развиваются в большом количестве (десятки тысяч клеток на 1 л), но, как правило, такого обилия, как диатомовые и сине-зеленые водоросли, не достигают. В открытом Байкале они обнаруживаются лишь в некоторые годы в летний период. Вероятно, зеленые водоросли выносятся в открытый Байкал из обычных мест своего обитания течениями. В некоторые, наиболее теплые годы зеленые водоросли (*Botryococcus Braunii*, *Sphaerocystis Schroeteri*) обнаруживаются в открытом Байкале в концентрации несколько тысяч клеток в литре и являются доминирующими формами летнего планктона.

Тип *Bacillariophyta* — диатомовые водоросли

1. *Melosira baicalensis* (K. Meyer) Wisl. Один из типичных и массовых представителей фитопланктона оз. Байкал. Кроме Байкала, обнаружена в одном из озер его северо-западного побережья [11], в некоторых озерах нижнего течения р. Амур [3], в планктоне р. Урал [12]. Найдена также в иловых отложениях водоемов Московской и Вологодской областей [13]. Интересно, что диатомея не встречается в озерах Забайкалья (неопубликованный материал В. Н. Яснитского), где обнаружены эндемики байкальской фауны.

Интенсивность развития этого вида в Байкале значительно колеблется в различные годы [14]. В некоторые «урожайные» годы в период максимума биомасса водоросли составляет до 3 г/м³. Такие годы повторяются через несколько лет. За период с 1945 по 1958 г. исключительно «урожайными» были 1946, 1950, 1953 [14] и 1957 гг. Годовой цикл развития мелозеры в открытых водах представлен на рис. 1, а вертикальное распределение — на рис. 2.

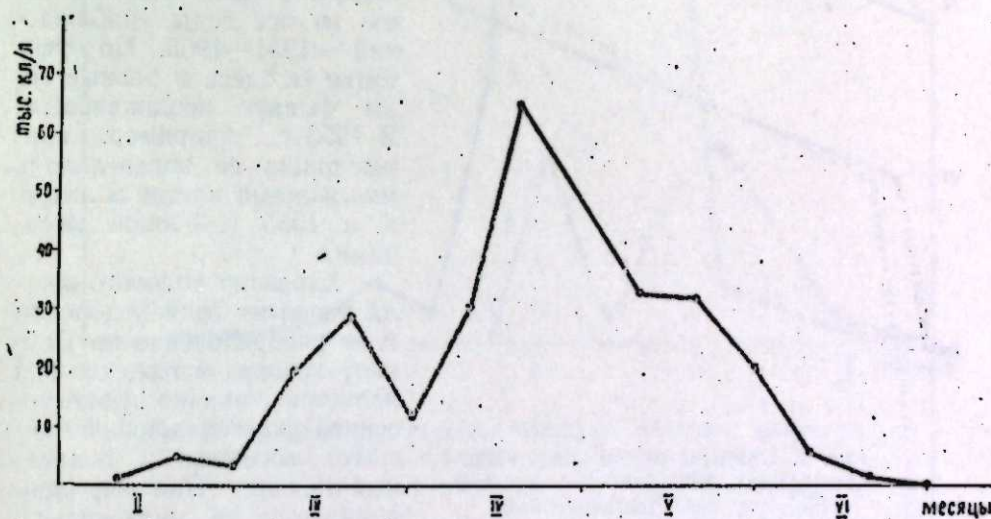


Рис. 1. Сезонный ход развития *Melosira baicalensis* в 1957 г. в районе пос. Лиственничного (в среднем для слоя 0—25 м).

Ареал этой водоросли охватывает не только воды открытой части Байкала, но и его обширные заливы, мелководья, пролив Малое море, изолированные бухты и соры. Цикл развития ее здесь, как и в открытом Байкале, начинается в подледный период. С прогреванием вод, которое начинается на мелководьях в более ранние сроки (начало июня), мелозера опускается в более глубокие слои и отмирает.

2. *Melosira islandica* subsp. *helvetica* O. Müll. Эта водоросль, развивающаяся в подледный период в Байкале, несколько отличается от описанной в «Определителе». Клетки ее имеют удлиненно-цилиндрическую форму и очень нежный панцирь, разрушающийся при прокаливании. Средняя длина клеток — 33—72 м, диаметр — 5—22 м. Загиб створки с наклонно расположенными, едва различимыми при иммерсионном увеличении рядами пор; рядов в 10 м 11—14, пор в ряду 13—17 (обычно 16). Водоросль образует покоящиеся споры, их размер колеблется от 5,4 до 14,4 м в поперечнике и от 20 до 32 м по продольной оси [15].

В открытом Байкале она развивается подо льдом при температуре воды от 0 до 3—4° и наряду с *M. baicalensis* является причиной весенне-

го «цветения» воды. Значительное количество ее в открытом Байкале было обнаружено в годы массового развития *M. baicalensis*: в 1950, 1953 [14] и 1957. Сезонный ход ее развития представлен на рис. 3, а примеры вертикального распределения на рис. 4.

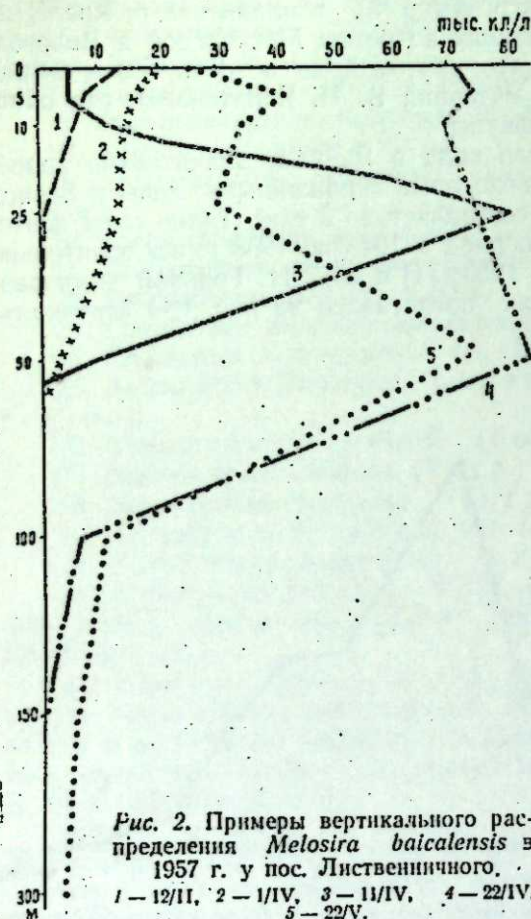


Рис. 2. Примеры вертикального распределения *Melosira baicalensis* в 1957 г. у пос. Лиственничного. 1 — 12/II, 2 — 1/IV, 3 — 11/IV, 4 — 22/IV, 5 — 22/V.

сюда при массовом развитии распространяется и в открытый Байкал.

3. *Melosira italica* (Ehr.) Kütz. В массе встречается в мелководных районах, расположенных близ устьев рек. В открытых районах Байкала появляется в небольшом количестве летом. В Малом море нами не отмечалась.

4. *Melosira granulata* (Ehr.) Ralfs, *M. granulata* var. *angustissima* (O. Müll.) Hust. Обитает в заливах, предустьевых мелководьях, появляясь в значительном количестве в июле—августе, вызывает «цветение» воды. В открытом Байкале и Малом море не обнаружена.

5. *Melosira varians* Ag. В незначительных количествах встречается на Селенгинском и Северо-Байкальском мелководьях, в Баргузинском заливе. В открытых водах не развивается.

Характерно, что три последних вида *Melosira* (*M. italica*, *M. granulata*, *M. varians*) развиваются в Байкале только в районах сильного влияния рек (Селенги, Баргузина, В. Ангары) или в планктоне самих рек.

6. *Cyclotella baicalensis* Skv. Эндемичный и характернейший для

Особенно развита эта водоросль в мелководных районах (на Селенгинском мелководье — в 1957 г.), где концентрация ее в десятки раз выше, чем в открытом Байкале. В Малом море наибольшее развитие ее происходит в южной части, с марта по май—июнь.

В мелководных районах эта водоросль появляется ежегодно. Так, в Малом море она была отмечена нами во все годы наблюдений — 1951—1955. Но развитие ее здесь в разные годы бывает неодинаковым. В 1953 г., например, концентрация ее определялась миллионами клеток в литре, а в 1955 г. — лишь тысячами.

Характер годового цикла развития этой водоросли и ее распределение по Байкалу говорят о том, что она является типично ранневесенней формой, дающей максимум развития в подледный период. Она ежегодно появляется на мелководьях, где зимует на дне в состоянии покоящихся спор, и от-

Байкала вид, кроме него, единичные экземпляры створок этой диатомеи обнаружены лишь в р. Урал [12], что, вероятно, связано с ее выносом из подстилающих пород.

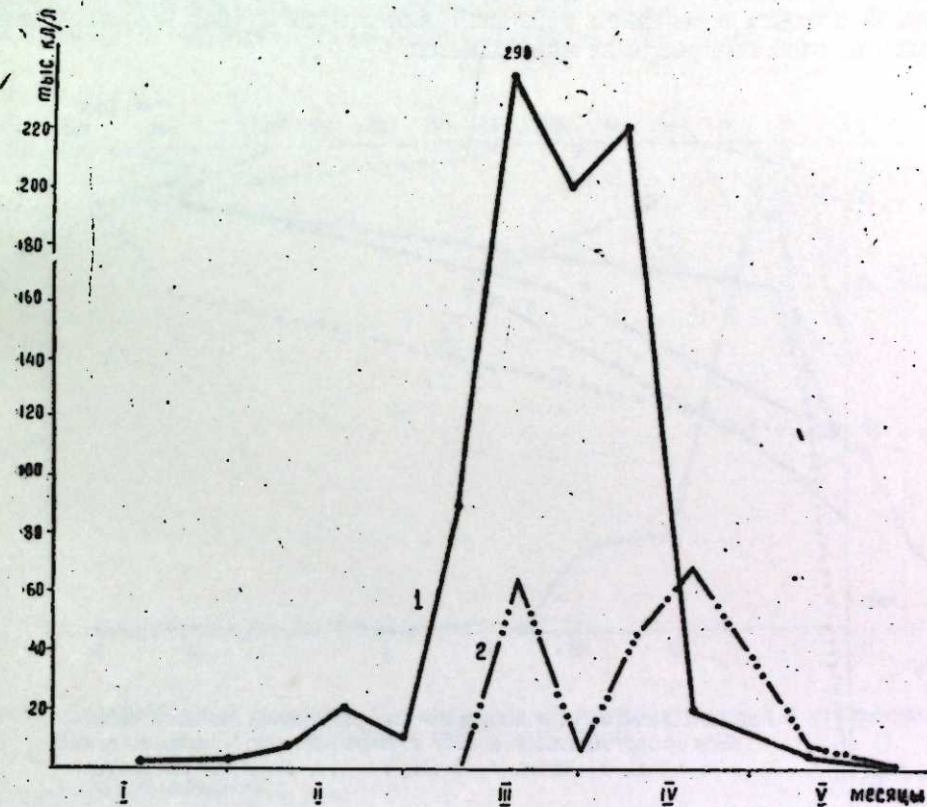


Рис. 3. Сезонный ход развития *Melosira islandica* subsp. *helvetica* в 1957 г. в районе пос. Лиственничного. 1 — вегетативные клетки, 2 — споры и спорообразующие клетки.

В открытом Байкале она появляется в верхних слоях воды уже в январе, по мере размножения распространяясь в глубину. Но основная масса ее остается до мая в верхних горизонтах. В июне циклотелла почти равномерно расселена в толще вод до глубины 150—200 м, количество ее уменьшается. Летом и осенью численность ее в водах ничтожна. Лишь в некоторые годы (1956, например) осенью ее бывает больше, чем весной. Максимальная численность составляет несколько десятков тысяч клеток на литр.

Циклотелла распространена по всему Байкалу. Несмотря на относительно слабое ее развитие в планктоне, она является основным компонентом диатомовых илов.

7. *Cyclotella minuta* (Skv.) Antipova (= *C. baicalensis* f. *minuta* Skv.) [16]. В открытом Байкале максимальное количество (до 60 тыс. клеток на 1 л) обнаруживается летом и осенью (рис. 5). В этот период она является доминирующим видом фитопланктона. Вертикальное распределение представлено на рис. 6.

Колебаний «урожаев» циклотеллы, подобных отмеченным для *M. baicalensis*, не бывает, хотя количество ее в различные годы неодинаково.

В мелководных районах, как и в открытом Байкале, эта диатомея является летне-осенним видом, хотя появляется она здесь ранней вес-

ной — в феврале — марте. В Малом море она обильнее, чем в открытом Байкале, причем наиболее благоприятные условия для ее развития создаются в южном районе. Максимум развития ее здесь приходится на июль. В среднем и северном районах Малого моря летней вспышки размножения этой водоросли не наблюдается.

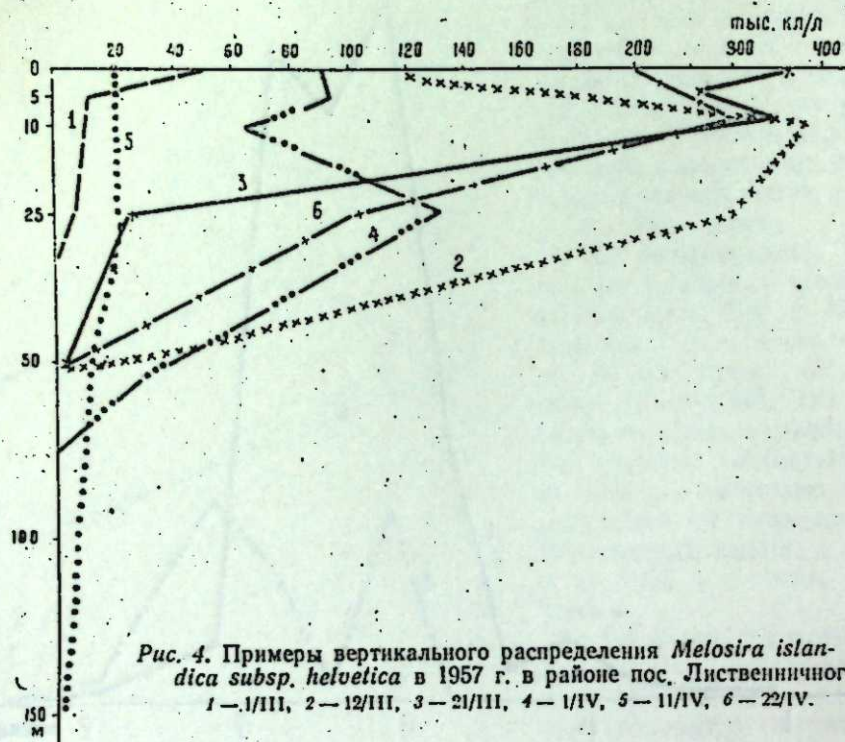


Рис. 4. Примеры вертикального распределения *Melosira islandica subsp. helvetica* в 1957 г. в районе пос. Лиственничного. 1 — 12/III, 2 — 12/III, 3 — 21/III, 4 — 1/IV, 5 — 11/IV, 6 — 22/IV.

C. minuta, а также и *C. baicalensis* играют значительную роль в питании рачка *Epischura baicalensis*, являясь важнейшим компонентом его пищевого рациона.

В. Н. Яснитский [17], К. И. Мейер [1] и другие исследователи приводят еще один вид *Cyclotella* — *C. comta*, считая ее одной из ведущих форм фитопланктона Байкала. Нам эта водоросль не встречалась. Судя по данным, приводимым Мейером, за *C. comta* им принималась *C. minuta*. Так, средний диаметр и той и другой водоросли равен 42—45 м, ребер — 10—11 в 10 м, тогда как у типичной *C. comta* диаметр равен 8—50 м, а ребер 11—21 в 10 м.

Другие виды *Cyclotella*, зарегистрированные для открытого Байкала [1], нам не встречались.

8. *Stephanodiscus binderanus* (Kütz.) Kolbe (= *Melosira binderana* Kütz.) [18]. Этот вид до последних лет относился к роду *Melosira*. Лишь в 1948 г. Кольбе [18] на основе изучения структуры панциря в электронном микроскопе перевел его в род *Stephanodiscus*.

В открытом Байкале эта водоросль в некоторые годы (1946) весной бывает представлена в значительной концентрации — до 80 тыс. клеток на 1 л. В другие годы она встречается здесь лишь единично или совсем не появляется. Значительно богаче развивается она на мелководьях и в заливах.

В Малом море эта водоросль развивается ежегодно весной, обычно в южной части. Наиболее обильно (до 6 млн. клеток на 1 л) она была представлена в 1952 и 1953 гг., когда составляла основную массу фито-

планктона, менее обильно (до 30 тыс. клеток на 1 л). — в 1951, 1954 и 1955 гг. Сезонный ход развития ее в Малом море представлен на рис. 7.

9. *Stephanodiscus ast. rae* var. *minutilus* (Kütz.) Grun. Встречается в открытом Байкале и мелководных районах в летний период в количестве не более нескольких сотен клеток на литр.

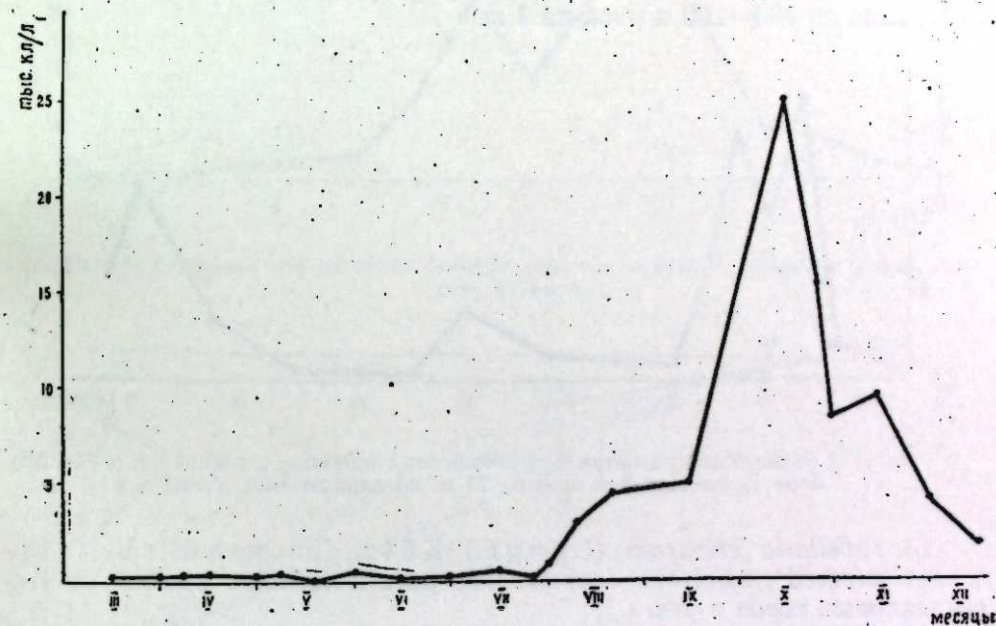


Рис. 5. Сезонный ход развития *Cyclotella minuta* в 1956 г. у пос. Лиственничного (в среднем для слоя 0—50 м).

10. *Stephanodiscus Hantzschii* Grun. Встречается в июне—октябре, как в открытых, так и мелководных районах (Малое море, Селенгинское мелководье). В последних в небольших концентрациях (до 60 тыс. клеток на 1 л). Только в некоторые годы (1956) в открытых районах озера (Лиственничное — Танхой) является одним из доминирующих видов (в 1956 г. — до 50 тыс. клеток на 1 л).

11. *Stephanodiscus dubius* (Fricke) Hust. Развивается преимущественно в мелководных районах; в открытых глубоководных районах встречается не во все годы, но иногда летом концентрация его здесь достигает 50 тыс. клеток на 1 л (1956 г.).

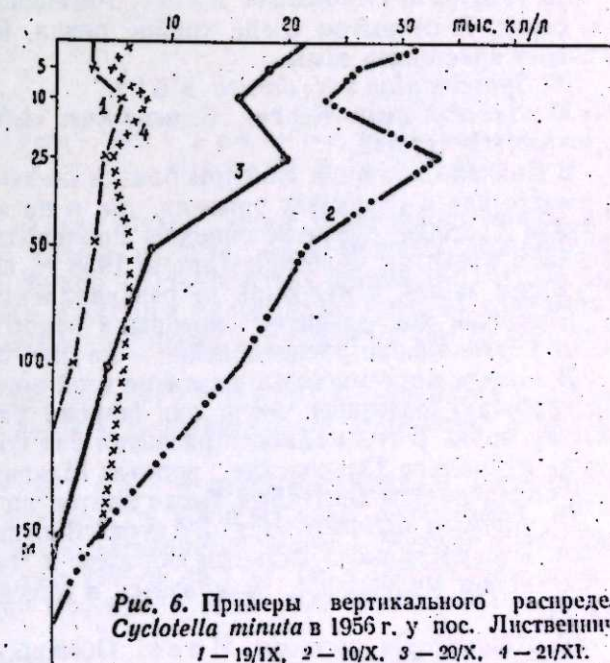


Рис. 6. Примеры вертикального распределения *Cyclotella minuta* в 1956 г. у пос. Лиственничного: 1 — 19/X, 2 — 10/X, 3 — 20/X, 4 — 21/XI.

В заливе Мухор вегетация этой диатомеи начинается в мае при 5—6°, расцвет развития (до 400 тыс. клеток на литр) отмечается в июле—августе (20—22°).

12. *Attheya Zachariasii* Grun. Встречается в летнем планктоне изолированных мелководных заливов (Мухор, Дагарская губа) в концентрации до 100—200 клеток на 1 л.

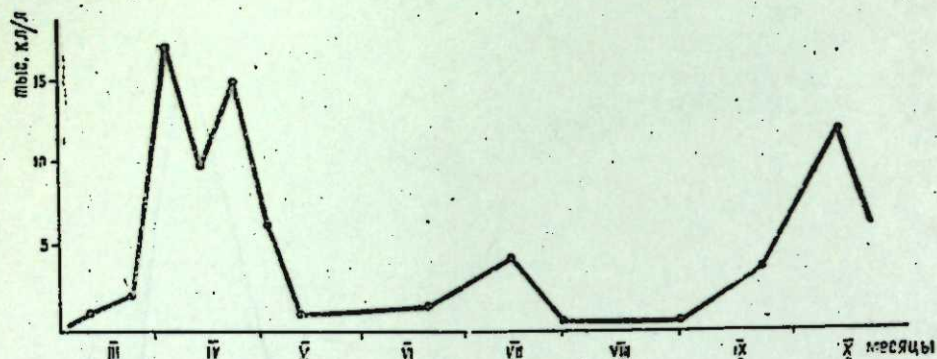


Рис. 7. Сезонный ход развития *Stephanodiscus binderanus* в южной части Малого моря (в среднем для слоя 0—25 м; по данным 1954 и 1955 гг.).

13. *Tabellaria fenestrata* (Lyngh.) Kütz. Довольно обычный компонент летнего планктона мелководий, расположенных против устьев рек, заливов, соров и рек.

14. *Fragilaria capucina* Desm. Развивается летом (конец июня—сентябрь), преимущественно на мелководных участках. В открытых районах в июле—августе составляет значительную долю фитопланктона, особенно близ мелководий.

15. *Fragilaria crotonensis* Kittl. Развивается в мелководных районах, сорах. В открытом озере крайне редка. В прибайкальских озерах вызывает «цветение» воды.

16. *Synedra ulna* var. *danica* Kütz.

17. *Synedra acus* Kütz., *S. acus* var. *radians* Kütz., *S. acus* var. *angustissima* Grun.

В Байкале оба вида синедры близки по экологии и часто встречаются вместе как в открытых районах, так и на мелководьях. В открытом Байкале массовое развитие синедры происходит не каждый год, а при массовом развитии мезоциры (кроме 1958 г., когда синедра была доминирующим видом, а мезоцира не развивалась).

Сезонный ход развития синедры в открытом Байкале показан на рис. 8, вертикальное распределение — на рис. 9.

В Малом море массовое развитие этой водоросли также происходит при «урожае» мезоциры: тогда она широко распространяется по всему Малому морю. В годы слабого развития она сосредоточивается в заливе Мухор и проливе Ольхонские ворота. Максимальная численность ее здесь определяется десятками тысяч клеток на литр.

18. *Synedra actinastroides* Lemm. В открытом Байкале не развивается. Распространена главным образом в Чивыркуйском заливе и на Селенгинском мелководье, развивается в массе летом (до 5 тыс. клеток на 1 л).

19. *Asterionella formosa* Hass. Обычно обитает в предустьевых районах и обширных заливах, но появляется в некоторые годы летом и в открытом Байкале, не играя здесь большой роли. В Малом море разви-

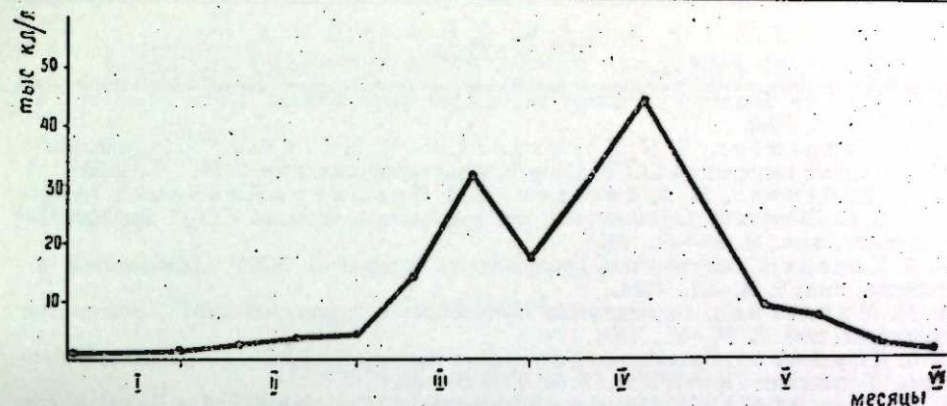


Рис. 8. Сезонный ход развития *Synedra acus* var. *radians* в 1957 г. у пос. Лиственничного.

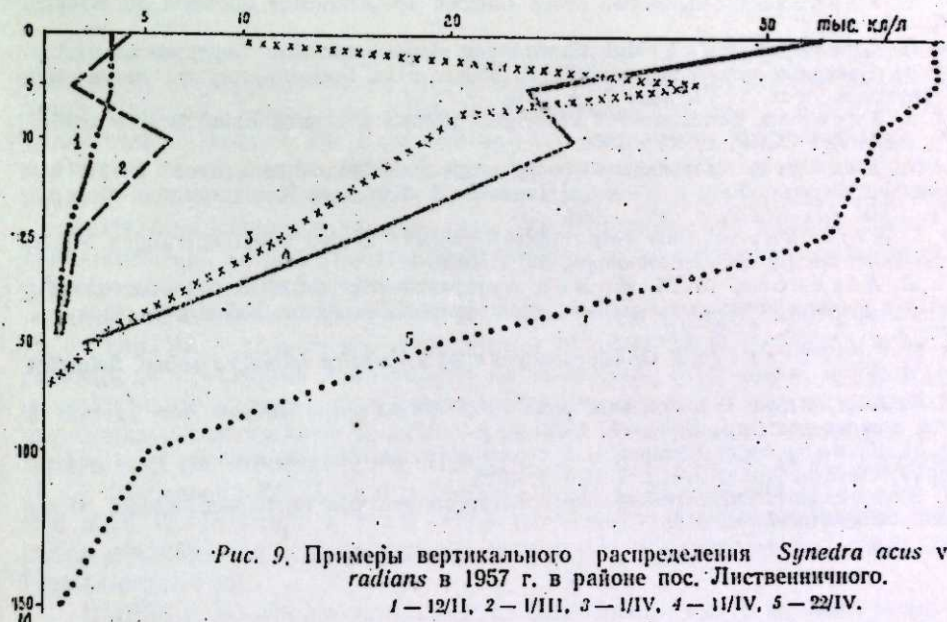


Рис. 9. Примеры вертикального распределения *Synedra acus* var. *radians* в 1957 г. в районе пос. Лиственничного.
1 — 12/11, 2 — 1/III, 3 — 1/IV, 4 — 11/IV, 5 — 22/IV.

вается преимущественно в заливе Мухор летом (начиная со второй половины июня) и осенью. В начале августа она становится доминирующим элементом планктона Мухор (200—250 тыс. клеток на 1 л). В октябре остается единственным массовым видом планктона, но количество ее по сравнению с предыдущими месяцами уменьшается (до 10 тыс. клеток на 1 л).

20. *Asterionella gracillima* (Hantz.) Heib., *A. gracillima* f. *zigzagostellata* Elenk. Встречается в незначительном количестве в мелководных районах.

21. *Nitzschia acicularis* W. Sm. В открытом Байкале встречается летом, в июле—августе—сентябре, в концентрации нескольких сотен клеток на литр. В Малом море развивается летом в Мухоре и проливе Ольхонские ворота (до 300 тыс. клеток на 1 л). На Селенгинском мелководье — обычный компонент планктона (200—400 тыс. клеток на 1 л).

ЛИТЕРАТУРА

1. К. И. Мейер, Введение во флору водорослей озера Байкал. Булл. МОИП, и. с., XXXIX, 3—4, 1930.
2. М. М. Голлербах, Е. Н. Косинская, В. И. Полянский, Определитель пресноводных водорослей СССР. Сине-зеленые водоросли, вып. 2, М.—Л., 1953.
3. М. М. Забелина, И. А. Киселев, А. И. Прошкина-Лавренко (редактор), В. С. Шешукова, Определитель пресноводных водорослей СССР, Диатомовые водоросли, вып. 4, М.—Л., 1951.
4. И. А. Киселев, Определитель пресноводных водорослей СССР. Пирофитовые водоросли, вып. 6, М.—Л., 1954.
5. А. М. Матвиенко, Определитель пресноводных водорослей СССР. Золотистые водоросли, вып. 3, М.—Л., 1954.
6. О. А. Коршиков, Визначник прісноводних водорослей УРСР, IV. Підклас Volvocinae, V. підклас Протококові. Київ, 1938 и 1953.
7. V. Dorogostaiskii, Matériaux pour servir à l'algologie du lac Baical et son bassin. Bull. d. Nat. d. Moscou, 1904.
8. Н. Л. Антипова, Новые виды *Gymnodinium* Steino озера Байкал. ДАН СССР, т. 103, № 2, 1955.
9. Н. С. Гаевская, Инфузории озера Байкал. Тр. Комиссии по изуч. оз. Байкал, М.—Л., 1933.
10. А. П. Скабичевский, Наблюдения над фитопланктоном Баргузинского залива оз. Байкал в летний период 1932 и 1933 гг. Изв. Биолого-географ. ин-та при Иркутском ун-те, т. VI, вып. 2—4, 1935.
11. И. А. Киселев, Фитопланктон некоторых горных водоемов Байкальского хребта. Тр. ЗИН АН СССР, т. XVI, 1954.
12. И. А. Киселев, Материалы к флоре водорослей водоемов района среднего и нижнего течения Урала в пределах Чкаловской и Западно-Казахстанской областей. Тр. ЗИН АН СССР, т. XVI, 1954.
13. P. I. Wertebnaja, Über eine relikte Algenflora in den Seeablagerungen Mittelrusslands. Archiv für Hydrobiologie, 20, 1, 1929.
14. Н. Л. Антипова, М. М. Кожов, Материалы о сезонных и годовых колебаниях в урожае некоторых массовых форм фитопланктона оз. Байкал. Тр. Иркутск. ун-та, т. 7, вып. 1—2, 1953.
15. А. П. Скабичевский, Об образовании спор у *Melosira islandica* subsp. *helvetica*. ДАН СССР, т. XVI, № 3, 1952.
16. Н. Л. Антипова, О новом виде рода *Cyclotella* из озера Байкал. Бот. материалы отд. низших растений, т. XI, Л., 1956.
17. В. Н. Яснитский, Материалы к познанию планктона оз. Байкал. Тр. Иркутск. об-ва естествоиспытателей, т. I, вып. 1, 1923.
18. R. Kolbe, Electronemikroskopische Untersuchungen von Diatomeemembran. Archiv-Böt., 33a., Stockholm, 1948.

Н. Ф. РЕЙМЕРС

**ПТИЦЫ И МЛЕКОПИТАЮЩИЕ
В ОЧАГАХ МАССОВОГО РАЗМНОЖЕНИЯ
СИБИРСКОГО ШЕЛКОПРЯДА СРЕДИ ЛИСТВЕННИЧНЫХ
ЛЕСОВ ТУВЫ**

В последние годы внимание многих биологов Сибири и особенно энтомологов сосредоточено на изучении сибирского шелкопряда (*Dendrolimus sibiricus* Tschty.). Вредная деятельность этого насекомого исключительно велика. Н. Г. Коломнец [1] указывает, что сибирским шелкопрядом за последние 20—25 лет было повреждено на территории Читинской области и Западной Сибири свыше 7 млн. га хвойных лесов. Леспромхозы, организованные там, где, казалось бы, запасы древесины неисчерпаемы, за два-три года теряли всю свою сырьевую базу, и их необходимо было перебазировать.

Совершенно очевидно, что взаимоотношение сибирского шелкопряда с зверями и птицами — интересная сторона экологии вредителя. Энтомологи, изучавшие сибирского шелкопряда, обращали внимание на положительную роль животных в снижении его численности, однако специальных исследований взаимоотношения позвоночных животных и вредителя они не производили. Некоторые сведения об этом имеются у И. В. Васильева [2], Д. Н. Флорова [3, 4], С. С. Прозорова [5]. А. С. Рожков и Н. Ф. Реймерс в 1954—1955 гг. изучали взаимоотношения сибирского шелкопряда и позвоночных животных в условиях кедровых лесов Прибайкалья [6].

В 1958 г. по предложению Н. Г. Коломийца автор принял участие в работе его отряда по изучению очагов сибирского шелкопряда в лиственничных лесах Тувы. Работа проходила главным образом в Туранском очаге массового размножения сибирского шелкопряда, расположенном в зеленой зоне Турана на горе Хайбар. Кроме того, мы посетили очаги массового размножения сибирского шелкопряда в окрестностях с. Усть-Уюк.

В 1958 г. происходил лёт бабочек сибирского шелкопряда, поэтому в сравнительно короткое время — с конца мая до конца июля — удалось проследить отношение птиц и млекопитающих к гусеницам, куколкам, бабочкам и яйцам вредителя. За время исследований было добыто 226 экземпляров птиц и 73 экземпляра мелких грызунов и насекомыхядных.

Состав фауны позвоночных животных и их численность

Лиственничные леса в исследованном районе не представляют собой единого массива. Они разобщены значительными степными участками, расположены на склонах северной и близкой к ней экспозиции.

Лесостепной характер растительности обусловил особенности состава фауны птиц и млекопитающих.

Можно выделить несколько групп видов птиц. Это прежде всего ви-

ды, постоянно обитающие в лесу, там гнездящиеся и питающиеся. Таких видов мы насчитали 17: тетерев (*Lyrurus tetrix* L.), глухарь (*Tetrao urogallus* L.), ястреб-перепелятник (*Accipiter nisus* L.), обыкновенная совка (*Otus scops* L.), кукушка (*Cuculus canorus* L.), обыкновенный козодой (*Caprimulgus europaeus* L.), большой пестрый дятел (*Dryobates major* L.), ворон (*Corvus corax* L.), клест-еловик (*Loxia curvirostra* L.), юрок (*Fringilla montifringilla* L.), лесной конек (*Anthus trivialis* L.), большая синица (*Parus major* L.), пухляк (*Parus atricapillus* L.), серая мухоловка (*Muscicapa striata* Pall.), пеночка-кузнечик (*Phylloscopus collybitus* Weill.), дрозд-деряба (*Turdus viscivorus* L.) и синехвостка (*Tarsiger cyanurus* Pall.).

Вторую группу составляют птицы, гнездящиеся на опушке леса или в зарослях кустарников вне леса и питающиеся главным образом по краю леса. Эта группа включает в себя 12 видов: пустельга (*Falco tinnunculus* L.), чечвица (*Erythrura erythrura* Pall.), дубровник (*Emberiza aureola* Pall.), садовая овсянка (*Emberiza hortulana* L.), белошапочная овсянка (*Emberiza leucosephalos* Gm.), красноухая овсянка (*Emberiza cioides* Brandt.), жулан (*Lanius cristatus* L.), мухоловка Мугимаки (*Muscicapa mugimaki* Temm.), серая славка (*Silvia communis* Lath.), славка-завирушка (*Silvia curruca* L.), пестрый каменный дрозд (*Monticola saxatilis* L.) и обыкновенная горихвостка (*Phoenicurus phoenicurus* L.).

Следующую группу видов составляют птицы, прикочевавшие в очаг массового размножения вредителя в послегнездовой период и держащиеся там осенью постоянно. Это сорока (*Pica pica* L.), сойка (*Carrulus glandarius* L.), кедровка (*Nucifraga caryocatactes* L.) и темнозобый дрозд (*Turdus ruficollis* Pall.).

Пять видов птиц: кобчик (*Falco vespertinus* L.), удод (*Upupa epops* L.), ворона (*Corvus corone* L.), полевой воробей (*Passer montanus* L.) и обыкновенная каменка (*Oenanthe oenanthe* L.) — лишь часть времени питаются на опушках леса.

Таким образом, общее число видов птиц, отмеченных в Туранском очаге массового размножения сибирского шелкопряда, — 38*.

Фауна млекопитающих значительно беднее. В районе работ удалось зарегистрировать 7 видов мелких зверьков: арктическую бурозубку (*Sorex arcticus* Kerr.), среднюю бурозубку (*Sorex macropygmaeus* Mill.), малую бурозубку (*Sorex minutus* L.),** азиатскую лесную мышь (*Apodemus speciosus* Temm.), красно-серую полевку (*Clethrionomys rufocanus* Suid.), степную пеструшку (*Lagurus lagurus* Pall.) — на опушке леса и полевку-экономку (*Microtus oeconomus* Pall.).

Чтобы более не возвращаться к млекопитающим, заметим, что в условиях лиственных лесов никто из перечисленных зверей гусениц сибирского шелкопряда не ест. Лишь случайно поедают яйца и бабочек землеройки. Роль млекопитающих как фактора, снижающего численность вредителя, ничтожна, и ее можно не принимать во внимание.

Численность птиц в очаге массового размножения вредителя резко изменилась после окончания гнездования за счет вылета птенцов и в связи с прикочевкой в лес осенью ряда видов. Оценка численности птиц дана в табл. 1. Данные, помещенные в ней, получены в результате учетов птиц на коротких маршрутах и подсчетов на площадях (главным образом в изолированных островах леса). Мы приводим числа «от—до», так как в различных участках леса численность птиц сильно

Таблица 1
Плотность популяции птиц — количество гектаров леса, приходящееся на одну особь

Виды птиц	Гнездовой период	Послегнездовой период (лет)
Тетерев	30—40	10—15
Глухарь	50—75	20—30
Пустельга	50—75	20—30
Кобчик	—	?
Ястреб-перепелятник	75—100	?
Обыкновенная совка	50—75	?
Кукушка обыкновенная	30—40	15—20
Обыкновенный козодой	?	30—40
Удод	?	?
Большой пестрый дятел	50—75	30—40
Ворон	75—100	30—40
Ворона	—	20—30
Сорока	—	20—30
Сойка	—	20—30
Кедровка	—	3—5
Чечвица	20—30	7—10
Клест-еловик	?	?
Юрок	10—15	5—7
Полевой воробей	—	2—3
Белошапочная овсянка	3—5	2—3
Дубровник	3—5	2—3
Садовая овсянка	4—6	2—3
Красноухая овсянка	?	5—7
Лесной конек	?	5—7
Большая синица	?	5—7
Пухляк	5—10	2—3
Жулан	4—6	2—3
Серая мухоловка	?	2—3
Мухоловка Мугимаки	5—10	?
Пеночка-кузнечик	20—30	?
Серая славка	4—6	2—3
Славка-завирушка	10—15	5—7
Дрозд-деряба	20—30	—
Темнозобый дрозд	—	15—20
Пестрый каменный дрозд	?	—
Каменка обыкновенная	20—30	10—15
Синехвостка	75—100	?
Обыкновенная горихвостка	—	?

колеблется. Прочерк означает, что данный вид не был встречен; знак вопроса показывает, что численность птиц не установлена.

Никакой концентрации птиц в районе очага массового размножения вредителя за исключением скопления воробьев на опушке леса со стороны г. Турана не наблюдалось. Очевидно, массовое размножение сибирского шелкопряда не вызывает концентрации птиц. Возможно, это объясняется тем, что в годы вспышек размножения вредитель многочислен всюду и птицы везде находят корм в изобилии.

Роль птиц в уничтожении гусениц сибирского шелкопряда

Выяснение роли пернатых в уничтожении сибирского шелкопряда удобнее всего начинать с изучения вопроса о питании птиц гусеницами старших возрастов. Весной летного года гусеницы выходят из подстилки и наносят наибольший вред лесу, полностью объедая хвою деревьев.

* Н. К. Коломиец сообщил нам, что в сентябре он наблюдал поползля, однако в конце июля этих птиц мы еще не встречали.

** Бурозубок определил Б. С. Юдин.

В это время лиственные леса населены небольшим количеством птиц. Птенцов они выкармливают голыми гусеницами и мелкими насекомыми из отряда двухкрылых. Взрослые птицы гусениц также почти не едят.

Собранные нами данные (табл. 2) показывают, что роль птиц в уничтожении гусениц старших возрастов крайне невелика. Из 17 добытых видов птиц лишь у 5 в желудках обнаружены достоверные остатки гусениц сибирского шелкопряда, причем многие, наиболее массовые, виды птиц вредителя не поедали. Цифровые данные, приведенные в табл. 2, мы можем подтвердить материалами специальных наблюдений. Следя за выкармливанием птенцов белошапочной овсянки, дубровника и синехвостки, мы убедились, что эти птицы не приносили гусениц сибирского шелкопряда птенцам. Большинство пернатых вообще не обращает внимания на гусениц. Мне пришлось наблюдать, как пара белошапочных овсянок перепархивала по лиственным, буквально усыпанным крупными гусеницами. Птички собирали мелких насекомых и, присаживаясь, выбирали на ветках места, свободные от гусениц.

Таблица 2

Роль птиц в уничтожении гусениц сибирского шелкопряда старших возрастов

Виды птиц	К-во добытых экземпляров	К-во желудков, содержащих гусениц шелкопряда	К-во гусениц в каждом из иссл. желудков
Ястреб-перепелятник	1	—	—
Обыкновенная сова	1	—	—
Кукушка обыкновенная	3	3	3;?;?
Большой пестрый дятел	1	—	—
Чечвица	1	—	—
Белошапочная овсянка	5	—	—
Дубровник	5	2	1;1
Садовая овсянка	4	—	—
Большая синица	3	3	2;1;1
Пухляк	3	2	2—3;1
Серая мухоловка	1	—	—
Мухоловка Мугимаки	3	1(?)	1(?)
Пеночка-кузнечик	1	—	—
Серая славка	1	—	—
Славка-завирушка	3	—	—
Дрозд-деряба	1	1	1
Пестрый каменистый дрозд	1	—	—

Птицы — враги куколок сибирского шелкопряда

Гусеницы шелкопряда окукливаются в конце июня. Кокон шелкопряда довольно прочен, и к тому же в него вплетены очень ломкие густые волоски гусениц. Раздолбить кокон могут лишь сильные и достаточно длинноклювые птицы. В Туранском очаге массового размножения сибирского шелкопряда мы наблюдали, что куколок поедали вороны и (несколько неожиданно!) удоы. Кроме того, очевидно, ели куколок воробьи, которые изредка кормились по опушкам леса.

Удоы собирали куколок по опушкам, не залетая глубоко в лес. Нужно отметить, что гусеницы довольно часто вьют коконы за пределами леса на кустах карликовой караганы. Здесь их также могут собирать удоы. Из двух добытых экземпляров птиц у одной в желудке оказалась куколка с уже развившейся бабочкой-самкой.

Вороны — самые серьезные враги куколок шелкопряда в лиственных лесах изученного района. Стая этих птиц ежедневно кормилась в местах массового окукливания сибирского шелкопряда. Нам удалось добыть одну птицу. В желудке у нее оказались 2—3 куколки.

Однажды мы видели, что кокон шелкопряда как будто бы расклеивал большой пестрый дятел. Однако, добыв эту птицу (тотчас же после наблюдения за ней), мы в ее желудке обнаружили лишь муравьев.

Роль птиц в уничтожении бабочек сибирского шелкопряда

В середине июля начинается лет бабочек сибирского шелкопряда. В Туранском очаге можно было наблюдать в сумерках сначала по 2—3 бабочки около каждого дерева, потом, в разгар лета — до 200. Днем бабочки неподвижно сидят в кронах лиственных. Они достаточно хорошо заметны и значительно менее защищены, чем вредитель во всех прочих фазах его развития (если не считать яиц), однако не все, даже насекомоядные, птицы поедают бабочек. Результаты анализа желудков птиц, добытых в период лета бабочек сибирского шелкопряда, приведены в табл. 3. Как видим, 19 из 29 добытых видов птиц поедают бабочек сибирского шелкопряда.

Таблица 3

Роль птиц в уничтожении бабочек сибирского шелкопряда

Виды птиц	К-во добытых экземпляров	К-во желудков, содержащих остатки бабочек	К-во гусениц в каждом из иссл. желудков
Тетерев	1	—	—
Пустельга	3	—	—
Кобчик	2	1	1
Обыкновенная сова	1	1	1
Кукушка обыкновенная	1	1	2
Обыкновенный козодой	2	2	1;1—2
Большой пестрый дятел	3	1	1
Сорока	1	1	1—2
Сойка	3	1	2—3
Кедровка	16	12	1;1;2—3;2; 1;2;1;1; 1;1;1
Чечвица	2	—	—
Клест-словик	1	—	—
Юрок	6	—	—
Полевой воробей	5	1	1
Белошапочная овсянка	19	1	1
Дубровник	12	—	—
Садовая овсянка	10	2	1;1
Красноухая овсянка	4	—	—
Лесной конек	3	—	—
Большая синица	5	1	1
Пухляк	13	3	1;1;1
Жулан	11	4	1;1;1;1
Серая мухоловка	16	1	1—2
Мухоловка Мугимаки	2	—	—
Серая славка	20	2	1;1
Славка-завирушка	5	—	—
Темнозобый дрозд	3	2	1;1
Каменка обыкновенная	3	1	1
Обыкновенная горихвостка	2	1	1—2

Интересно, что обыкновенный козодой, очевидно, ловит крупных бабочек сибирского шелкопряда в сумерках на лету. Также в сумерки чаще всего едят бабочек жуланы. Кедровки собирают бабочек днем и главным образом с высоких деревьев.

Своеобразно отношение к бабочкам полевых воробьев. Эти птицы собирают яйца шелкопряда по опушкам леса и на отдельно стоящих деревьях за его пределами. Тут они встречаются с громадным числом бабочек. Поедают они их редко, но на землю сбивают массами. Все овсянки также сбивают много бабочек, но много уничтожают (сбитые бабочки обыкновенно снова поднимаются на крону дерева).

Интересно соотношение уничтоженных самцов и самок имаго шелкопряда. Из 39 случаев обнаружения в желудках птиц бабочек 25 падает на самцов и 14 на самок. Очевидно, птицы чаще склевывают более активных самцов.

Уничтожение птицами яиц сибирского шелкопряда

Одновременно с массовым лётом бабочек сибирского шелкопряда происходит интенсивная откладка яиц. Бабочки откладывают яйца буквально где попало, но предпочитают кроны лиственниц. В конце лета бабочек яиц так много, что на любой ветке можно найти кладку. Но, как ни странно, наши материалы (табл. 4) говорят о сравнительно немногочисленных врагах яиц среди пернатых. Очевидно, это объясняется

Таблица 4

Роль птиц в уничтожении яиц сибирского шелкопряда

Виды птиц	К-во добытых экземпляров	К-во желудков, содержащих яйца шелкопряда	К-во яиц в каждом из иссл. желудков
Тетерев	1	—	—
Пустельга	3	1	1
Кобчик	2	1	7
Обыкновенная совка	1	—	—
Кукушка обыкновенная	1	—	—
Обыкновенный козодой	2	—	—
Большой пестрый дятел	3	2	55;4
Сорока	1	—	—
Сойка	3	1	30
Кедровка	16	—	—
Чечевица	2	—	—
Клест-еловик	1	—	—
Юрок	6	—	—
Полевой воробей	5	2	42;11
Белошапочная овсянка	19	4	1;3;29;2
Дубровник	12	2	2;22
Садовая овсянка	10	—	—
Красноухая овсянка	4	—	—
Лесной конек	3	1	5
Большая синица	5	4	4;5;3;1
Пухляк	13	4	1;8;1;1
Жулан	11	—	—
Серая мухоловка	16	2	2;1
Мухоловка Мугимаки	2	—	—
Серая славка	20	3	3;1;12
Славка-завирушка	5	1	2
Темнозобый дрозд	3	—	—
Каменка обыкновенная	3	—	—
Обыкновенная горихвостка	2	1	2

тем, что более крупные и заметные бабочки оказываются легкой добычей птиц, а на мелкие и к тому же зеленые яйца шелкопряда пернатые не обращают внимания. Одни лишь овсянки с большей охотой поедают яйца, чем бабочек.

Нужно заметить, что вообще яйца шелкопряда встречаются в желудках почти всех видов птиц, поедающих бабочек. Но это еще не отложенные яйца из самок, по цвету они несколько отличаются от уже отложенных. Указанное обстоятельство следует учитывать при исследованиях. В табл. 4 приведены только случаи поедания яиц шелкопряда из кладок.

Из данных табл. 4 видно, что наиболее кропотливыми собирателями яиц сибирского шелкопряда следует считать большого пестрого дятла, полевого воробья, большую синицу и в меньшей степени — пухляка и белошапочную овсянку.

Птицы и паразитические насекомые сибирского шелкопряда

Птицы уничтожают относительно немного паразитических насекомых (табл. 5). В связи с тем, что найденные паразиты и хищники определены только до семейства, трудно делать выводы о взаимоотношении птиц, вредителя и паразитов. Однако хорошо известно ([7] и др.), что при слабом заражении вредителя паразитами птицы выбирают главным образом здоровые очаги шелкопряда. Как показывают наши данные, птицы уничтожают мало и взрослых паразитических насекомых. Учитывая все это, следует предположить, что отрицательная роль птиц в очагах массового размножения сибирского шелкопряда невелика и, очевидно, пропорциональна степени заражения вредителя [7].

Таблица 5

Птицы, уничтожающие насекомых-паразитов и хищников

Виды птиц	Всего добыто экземпляров	Количество желудков, содержащих паразитов и хищников	Наибольшее количество экземпляров, найденных в одном желудке	Систематическая принадлежность паразитов и хищников
Белошапочная овсянка	24	2	4	Не определены, коконы
Садовая овсянка	14	3	2	Сем. <i>Ichneumonidae</i> и <i>Braconidae</i>
Большая синица	7	1	1	Сем. <i>Braconidae</i>
Серая мухоловка	17	1	1	Сем. <i>Ichneumonidae</i>
Мухоловка Мугимаки	3	1	1	Сем. <i>Larvivoridae</i>
Темнозобый дрозд	3	1	1	Сем. <i>Ichneumonidae</i>
Обыкновенная горихвостка	2	1	1	Не определен

Обсуждение полученных данных

Приведенные выше материалы показывают, что из 38 зарегистрированных видов птиц 5 видов уничтожают крупных гусениц, 2 — куколок вредителя, 19 поедают бабочек и 14 собирают яйца шелкопряда. В на-

чале статьи мы выделили 4 группы птиц, живущих или питающихся в лиственных лесах. Роль этих групп в уничтожении вредителя различна. В табл. 6 подведены итоги количества видов птиц, уничтожающих сибирского шелкопряда. Данные этой таблицы показывают, что большинство птиц, держащихся на опушках, поедает сибирского шелкопряда. В конце лета приобретают значение птицы — «осенние гости», находящие в очаге массового размножения изобилие корма.

Таблица 6

Значение различных групп птиц как врагов сибирского шелкопряда в лиственном лесу

Группы птиц	К-во видов птиц в группе	К-во видов птиц*, поедающих			
		гусениц старших возрастов	бабочек	яйца	всего
Лесные виды	17	$\frac{4}{23,5}$	$\frac{7}{41,2}$	$\frac{5}{29,4}$	$\frac{10}{59,0}$
Опушечные виды	12	$\frac{1}{8,3}$	$\frac{5}{41,6}$	$\frac{6}{50,0}$	$\frac{9}{75,0}$
Виды, питающиеся в лесу осенью	4	$\frac{-}{0}$	$\frac{1}{100,0}$	$\frac{1}{25,0}$	$\frac{4}{100,0}$
Виды, изредка питающиеся на опушке леса	5	$\frac{-}{0}$	$\frac{3}{60,0}$	$\frac{2}{40,0}$	$\frac{4}{80,0}$

* В числителе — абсолютное число, в знаменателе — процент от общего числа видов в группе.

Привлекает сибирский шелкопряд и более или менее случайных посетителей леса. В общей сложности наибольшее количество птиц — потребителей сибирского шелкопряда концентрируется на опушках. Возможно, это обстоятельство в какой-то степени обуславливает то, что первоначально очаги массового размножения вредителя в условиях Тувы образуются несколько в стороне от опушек. Можно еще заметить, что отдельно стоящие деревья вне леса птицы очищают от сибирского шелкопряда полностью ко времени выхода гусеничек из яйца. Однако это не спасает растения от объедания. Гусеницы старших возрастов наползают сюда из леса.

Авторы, обращавшие внимание на роль птиц в очагах массового размножения сибирского шелкопряда [2, 4 и др.], приходили к различным и даже противоположным выводам о потреблении вредителя одним и тем же видом птиц. Очевидно, это связано с тем, что исследователи изучали отношение птиц к шелкопряду в разных местах и в разное время года. Могло играть роль даже и такое обстоятельство, как обильный урожай или неурожай семян. Например, при хорошем урожае кедровых орехов кедровки совершенно не трогают сибирского шелкопряда, а в лиственных лесах они охотно поедают бабочек вредителя. Данные, имеющиеся у нас в распоряжении, пока не подтверждают указания И. В. Васильева [2] о раздалбливании коконов шелкопряда дятлами и кедровками, но такая возможность не исключена. Более сомнительно утверждение С. С. Прозорова [5], что боровая дичь поедает шелкопряда. Лесные курны едят яйца вредителя, но едва ли они склевывают крупных

Таблица 7

Сравнение полезной деятельности птиц в очагах массового размножения сибирского шелкопряда в кедровых и лиственных лесах

Виды птиц	К-во уничтожаемых птицами экземпляров (на 1 км ²)				общее к-во (без гусениц младших возрастов)	
	бабочек		яйца		гусениц старших возрастов	
	кедровый лес	лиственный лес	кедровый лес	лиственный лес	кедровый лес	лиственный лес
Обыкновенная кукушка	300	нет	?	?	20000	20300
Глухая кукушка	?	нет	нет	нет	20000	300
Обыкновенный козодой	30	нет	роль мала	роль мала	нет	14950
Большой пестрый дятел	150	4500	роль мала	14800	нет	4500
Кедровка	4500	нет	10000	нет	5400	14170
Сойка	670	нет	45000	нет	нет	64000
Кукушка	250	нет	нет	нет	108250	27000
Белошапочная овсянка	нет	роль мала	роль мала	нет	нет	20000
Овсянка-дубровник	роль мала	нет	нет	27000	нет	нет
Рыжая овсянка	нет	нет	3700	нет	нет	3700
Пятнистый конек	нет	нет	54000	нет	нет	117000
Полосная синица	нет	нет	нет	нет	нет	нет
Большая синица	500	нет	9000	нет	нет	22100
Синица-пухляк	2250	нет	роль мала	нет	37800	61650
Пеночка-королек	нет	нет	4500	нет	нет	4500
Серая славка	нет	роль мала	9000	роль мала	нет	21600
Синихвостка	нет	нет	нет	нет	9000	нет
Всего:	1500	8670	228200	122100	410000	222770
					640700	222770
					40000000	5000000
					1,6	4,6

Численность вредителя* на 1 км² в период генерации
 К-во экземпляров вредителя, уничтожаемое птицами (в % от общей численности вредителя)

* Вычислена в период существования гусениц путем перемножения их количества, приходящегося на одну крону дерева и числа деревьев на 1 км².

гусениц. Еще меньше вероятность поедания куколок, тем более, что куриные питаются летом главным образом на земле.

В ряде работ мы приводили данные о роли птиц в уничтожении сибирского шелкопряда во время его массового размножения среди кедровых лесов [8, 9, 6]. Постараемся сравнить полезную деятельность птиц в кедровой тайге и в лиственничных лесах. Такая попытка сопоставления данных сделана в табл. 7. Методика и приемы составления таблицы аналогичны применявшимся нами ранее [6]. Приняты те же допущения, поэтому не станем их подробно описывать. Напомним, что за меру потребления вредителя в течение дня мы принимали утроенное максимальное количество сибирского шелкопряда, найденное в одном желудке птицы, а общее число уничтоженного сибирского шелкопряда вычислялось как произведение количества вредителя, потребляемого в день, числа птиц, приходящегося на 1 км², и длительности питания птицы (дни) в зараженном лесу. В табл. 7 включены данные только о наиболее существенных потребителях сибирского шелкопряда. Прочерк в таблице означает, что данный вид птиц вредителя не ест (в последних двух колонках — также и то, что роль вида незначительна). Знак вопроса показывает отсутствие данных. Остальные обозначения в объяснении не нуждаются. Еще раз отметим лишь, что все приведенные подсчеты весьма приблизительны.

Анализ данных табл. 7 приводит к следующим заключениям: 1) как и в кедровых лесах, в лиственничных наибольшее количество вредителя поедают типично лесные птицы; 2) и в лиственничниках и в кедровниках максимальное положительное значение имеют оседлые виды; 3) роль птиц в очагах массового размножения сибирского шелкопряда сама по себе мала и заметна только в общем ряду его врагов; 4) в лесостепных лиственничниках Тувы птицы уничтожают несколько больше вредителя (в процентном отношении), чем в кедровых лесах Прибайкалья.

Выводы

1. Массовое размножение сибирского шелкопряда в условиях Тувы так же, как и в кедровых лесах Прибайкалья, не вызывает заметной концентрации насекомоядных птиц.

2. Наибольшее количество вредителя птицы уничтожают на опушках зараженного леса.

3. Наибольшую положительную роль в лиственничных островных лесах Тувы, как и в сплошной кедровой тайге Прибайкалья, играют оседлые лесные виды, особенно группа синиц.

4. Полезная деятельность птиц, как правило, не может привести к затуханию очага массового размножения сибирского шелкопряда, а лишь несколько тормозит размножение вредителя и локализует очаг.

5. Отрицательная роль птиц как врагов паразитов и хищников сибирского шелкопряда невелика.

6. Млекопитающие сибирского шелкопряда почти не едят.

Институт биологии
Сибирского отделения АН СССР

Поступила в редакцию
7/XII 1958

ЛИТЕРАТУРА

1. Н. Г. Коломиец, Состояние и задачи защиты лесов Сибири. Лесное хозяйство, № 5, 1958.
2. И. В. Васильев, Шелкопряды сосновый (*Dendrolimus pini* L.) и кедровый (*Dendrolimus segregatus* Butl.), их образ жизни, вредная деятельность и способы борьбы с ними. Тр. Бюро по энтомологии, т. V, № 7, СПб, 1905.

3. Д. Н. Флоров, Сибирский шелкопряд в Восточной Сибири. Иркутск, 1938.
4. Д. Н. Флоров, Вредитель сибирских лесов (сибирский шелкопряд). Иркутск, 1948.
5. С. С. Прозоров, Сибирский шелкопряд в пихтовых лесах Сибири. Тр. Сиб. лесотехнич. ин-та, сб. VII, вып. III. Красноярск, 1952.
6. Н. Ф. Реймерс, А. С. Рожков, Уничтожение сибирского шелкопряда зверями и птицами (в условиях кедровых лесов Прибайкалья). Тр. Вост.-Сиб. филиала СО АН СССР, сер. биол., вып. 8 — зоология, 1959.
7. Т. Е. Королькова, Опыт изучения воздействия птиц на численность массовых насекомых — вредителей дубрав. Тр. Ин-та леса АН СССР, т. 35, 1957.
8. Н. Ф. Реймерс, Значение птиц и млекопитающих в жизни кедровых лесов юга Средней Сибири. Автореф. канд. дисс. Л., 1956.
9. Н. Ф. Реймерс, Уничтожение сибирского шелкопряда зверями и птицами, населяющими кедровые леса, и восстановление шелкопрядников и гарей. Тр. по лесному хозяйству Сибири, вып. 4, Новосибирск, 1958.

Г. М. РОНИЧЕВСКАЯ

РЕАКЦИЯ ЗАРОДЫШЕВОГО ЭПИТЕЛИЯ СЕМЕННИКА ПРИ МЕСТНОМ И ОБЩЕМ ВОЗДЕЙСТВИИ РЕНТГЕНОВЫМИ ЛУЧАМИ

В радиобиологической литературе влиянию на организм локального и общего облучения посвящено большое количество работ, выполненных на самом разнообразном материале. Однако семенник в этом отношении оказался изученным недостаточно. Представлялось интересным изучить реакцию семеродного эпителия при одних и тех же дозах общего и местного облучения, а также в условиях, когда непосредственно на семенники радиация не действовала. При такой постановке опыта могло быть выяснено, является ли повреждение в семеннике результатом непосредственного облучения или же оно возникает вторично («косвенное действие») и усугубляется в зависимости от тяжести развития лучевой болезни. Представляло также интерес сопоставить эффект действия на семенники рентгеновых лучей с описанными ранее [1] результатами однократного облучения Co^{60} в большом диапазоне доз.

Материал и методика

Опыты проведены на половозрелых самцах белых мышей весом 18—20 г. Всего использовано 250 мышей: 30 в контроле и 220 в эксперименте. Животных облучали на аппарате РУМ-3 при следующих условиях: напряжение 180 кВ, сила тока 20 мА, расстояние от антикатода 40 см, фильтры 0,5 мм Си и 1 мм А1, после 20 × 20 см, дозы 300 и 500 р.

Общее облучение мышей проводилось в небольших картонных коробках с отверстиями, местное — на специальном штативе, на котором животные фиксировались. Поле облучения ограничивалось свинцом толщиной 2 мм (облучаемое поле в этом случае равнялось примерно 3 × 2 см). Вторичное излучение задерживалось слоем парафина на внутренней поверхности свинцового экрана.

О течении лучевой болезни судили по изменению веса тела животных, выживаемости и по составу периферической крови (количество лейкоцитов в 1 мм³ крови).

Материал для гистологического анализа семенников фиксировался через 24 часа и на 2, 3, 6, 9, 12, 15, 17, 20, 21, 25, 27, 30, 35, 45 и 60-е сутки после облучения. Фиксация производилась жидкостью Буэна.

Срезы окрашивали гематоксилином по Бемеру. Для изучения гистологических препаратов применяли количественную методику Фогга и Ковинга [2].

На каждом препарате исследовали 50 поперечных срезов канальцев примерно одинакового диаметра и отмечали, какие из четырех типов клеток семеродного эпителия в них имеются. Встречаемость каждого вида клеток в канальцах определяли в процентах к числу исследованных канальцев. Сперматоциты II порядка не учитывали, так как в семен-

ных канальцах белых мышей они встречаются очень редко в связи с быстрым прохождением этой стадии сперматогенеза: Для каждой дозы на всех сроках фиксации исследовали семенники трех мышей и вычисляли средние показатели.

Контрольных мышей убивали одновременно с подопытными. У контрольных мышей сперматогонии встречаются в 73—88% поперечных срезов канальцев, сперматоциты I порядка — в 70—83%, сперматиды — в 74—88%, сперматозоиды — в 72—89% канальцев. В среднем встречаемость перечисленных клеточных элементов в семенных канальцах у контрольных животных одинакова и равна примерно 79%. Эти процентные соотношения в контроле совпадают с приведенными в работе Фогга и Ковинга [2].

Результаты наблюдений

В зависимости от способа облучения приведенный ниже экспериментальный материал составляет 3 серии опытов:

- 1) общее рентгеновское облучение мышей дозами 300 и 500 р;
- 2) местное воздействие на семенники рентгеновыми лучами в дозах 300 и 500 р;
- 3) облучение мышей дозой 500 р при экранизации области семенников.

Прежде, чем приступить к изложению фактического материала, необходимо указать, что все приведенные в работе графики, отражающие реакцию семеродного эпителия в различные сроки после облучения, построены следующим образом: на оси абсцисс отложено время после облучения в сутках, на оси ординат — встречаемость в канальцах каждого вида клеток зародышевого эпителия в процентах. Кривая 1 во всех случаях отражает динамику исчезновения и появления сперматогоний, кривая 2 — сперматоцитов I порядка, кривая 3 — сперматид, кривая 4 — сперматозоидов. Прямая пунктирная линия изображает среднее значение контроля.

В первой серии опытов при дозе 500 р лучевая болезнь у подопытных животных была отчетливо выражена. Количество лейкоцитов уже на 2-е сутки после облучения резко уменьшается (в 1 мм³ крови к этому сроку содержится 2500—3200 лейкоцитов); на 6-е сутки достигает минимума (до 1900 лейкоцитов в 1 мм³ крови). На таком низком уровне число лейкоцитов остается до 20-х суток, после чего начинает увеличиваться. Однако к 60-м суткам почти все животные погибают от лучевой болезни. Мыши к этому сроку значительно теряют в весе, шерсть на них взлохмачена. При патологоанатомическом вскрытии у таких животных обнаруживается уменьшенная, по сравнению с контролем, селезенка, многочисленные кровоизлияния в лимфоузлах, кровянистое содержимое в просвете кишечника.

При общем рентгеновском облучении меньшей дозой — 300 р лучевая болезнь едва намечается. Количество лейкоцитов почти не отклоняется от нормы, падения веса не наблюдается и гибели животных не происходит.

Реакции семеродного эпителия на общее рентгеновское облучение в дозах 500 и 300 р представлены на рис. 1 и 2. Как видим, скорость исчезновения различных семеродных элементов находится в зависимости от степени их дифференцированности. Первыми из семенника исчезают сперматогонии, далее сперматоциты и наконец сперматиды и сперматозоиды. Срок минимальной встречаемости в канальцах для сперматоцитов при обеих дозах падает на 6-е сутки после облучения, для сперматид — на 15-е сутки, для сперматозоидов — на 20-е сутки, для

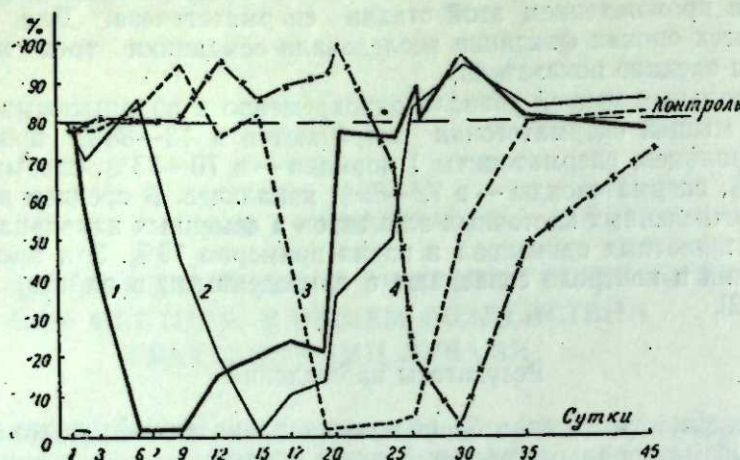


Рис. 1. Реакция зародышевого эпителия семенника мышей при общем рентгеновском облучении дозой 500 p.
1 — сперматогонии, 2 — сперматоциты I порядка, 3 — сперматиды, 4 — сперматозоиды.

сперматозоидов — на 30-е сутки. Различие в действии доз в 300 и 500 p сказывается лишь в том, что при 300 p опустошение канальцев от зародышевых клеток в эти сроки происходит неполностью.

Такое же последовательное исчезновение различных форменных элементов семеродного эпителия в те же сроки после облучения наблюдалось нами при воздействии различных доз радиации Co^{60} (в диапазоне доз от 50 до 800 p) [1].

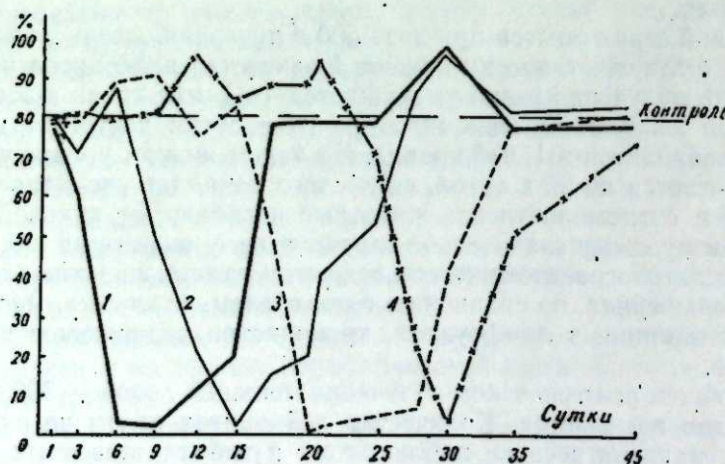


Рис. 2. Реакция зародышевого эпителия семенника мышей при общем рентгеновском облучении дозой 300 p. Обозначения те же, что и на рис. 1.

Закономерное исчезновение различных зародышевых клеток всегда к определенному сроку после облучения независимо от дозы было объяснено нами как результат биологического цикла дифференцировки этих клеток в процессе их развития. Материал настоящего исследования подтверждает сделанный вывод.

Нами проведено сравнение радиобиологических эффектов при общем рентгеновском облучении и при таком же воздействии γ -радиации Co^{60} в дозах 600 и 400 p.* Существенным критерием при таком сравнении, кроме сроков исчезновения различных клеток, является скорость их репарации.

Восстановление сперматогенеза после облучения рентгеновыми лучами дозой 500 p начинается так же, как и при воздействии γ -радиацией Co^{60} в дозе 600 p, т. е. через 15 суток после облучения (сперматогонии к этому сроку содержатся в 20% канальцев). К 17-м суткам число канальцев, содержащих сперматогонии, достигает нормы, а к 30-м суткам сперматогонии встречаются в 94% канальцев, проходя стадию гиперрегенерации, по-видимому, компенсаторного характера.

Регенерация сперматоцитов I порядка начинается на 17-е сутки после облучения, и на 30-е сутки эти клеточные элементы встречались в 96% канальцев, проходя, как и сперматогонии, стадию гиперрегенерации. К 30-м суткам большинство семенных канальцев состоит из делящихся сперматогоний и сперматоцитов I порядка. Сперматиды и сперматозоиды в этот период в канальцах обнаружить почти не удается. Сперматиды вновь появляются в семеннике на 30-е сутки после облучения, сперматозоиды — на 35-е сутки. Полное восстановление при этой дозе рентгеновых лучей, как и при облучении Co^{60} в дозе 600 p, происходит через 45 суток после конца облучения.

Сравнивая действие на семенники мышей рентгеновых лучей в дозе 500 p и γ -лучей Co^{60} в дозе 600 p, можно прийти к выводу, что действие лучей Рентгена примерно в 1,2 раза сильнее, чем γ -радиации Co^{60} .

Такой же вывод можно сделать и при сравнении эффектов воздействия на зародышевый эпителий рентгеновых лучей в дозе 300 p и γ -радиации Co^{60} в дозе 400 p.

Наши данные о сравнительной эффективности лучей Рентгена и γ -радиации Co^{60} согласуются с результатами исследований других авторов, оценивавших радиобиологический эффект этих воздействий по другим показателям [3—7].

Во второй серии опытов семенники мышей облучались локально рентгеновыми лучами в дозах 300 и 500 p.

Лучевая болезнь при таком облучении выражена слабо. Количество лейкоцитов в периферической крови уменьшается незначительно, по сравнению с контролем; гибель мышей от лучевой болезни не происходит. Реакция семеродного эпителия при таком облучении представлена на рис. 3 и 4.

На рисунках видно, что глубина подавления сперматогенеза при локальном облучении семенников рентгеновыми лучами в дозах 500 и 300 p проявляется слабее, чем при общем рентгеновском воздействии в тех же дозах. В условиях локального облучения канальцы полностью освобождаются от различных семеродных клеток в периоды их минимальной встречаемости (6, 15, 20 и 30-е сутки после облучения), а период подавления размножения сперматогоний значительно короче: при общем облучении он длится 9—12 суток, а при местном воздействии всего 6 суток. В соответствии с этим и репарация семеродного эпителия в случае локального воздействия происходит быстрее. Процент канальцев, содержащих сперматогонии, начинает возрастать уже к 9-м суткам после облучения и к 12-м суткам достигает нормы, в то время как при

* Графики, отражающие изменения зародышевого эпителия семенников при воздействии γ -радиации Co^{60} в этих дозах не проводятся, так как они почти ничем не отличаются от таковых для рентгеновых лучей (рис. 1 и 2).

общем рентгеновском облучении в тех же дозах нормализация числа встречающихся в каналах сперматогоний наступала лишь на 20-е сутки после облучения.

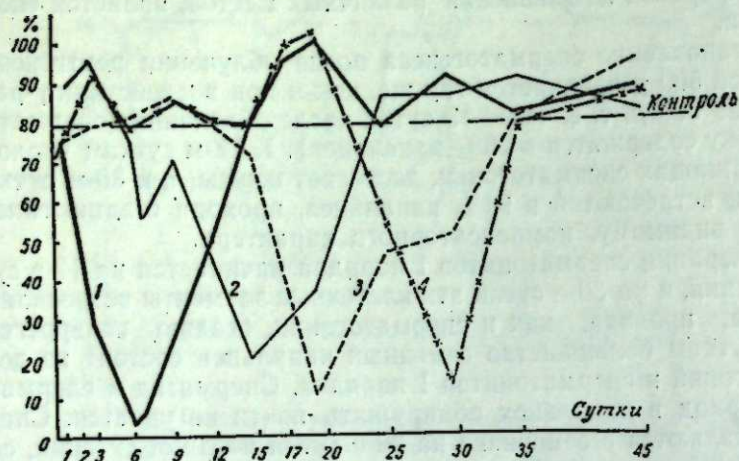


Рис. 3. Реакция зародышевого эпителия семенника мышей при локальном рентгеновском облучении области гонад дозой 500 р. Обозначения те же, что и на рис. 1.

Меньшее лучевое повреждение и более быстрое восстановление сперматогенеза при локальном облучении было отмечено в работах ряда авторов и на других объектах [8—10 и др.].

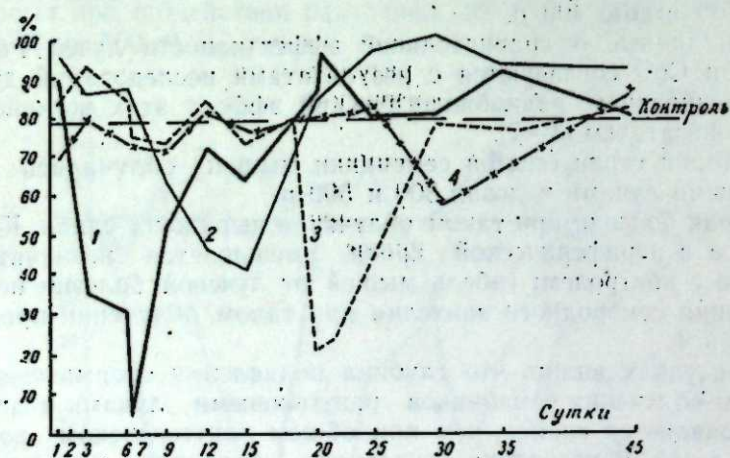


Рис. 4. Реакция зародышевого эпителия семенника мышей при локальном рентгеновском облучении области гонад дозой 300 р. Обозначения те же, что и на рис. 1.

Для уточнения существующих здесь закономерностей в третьей серии опытов были изучены изменения семеродного эпителия мышей при общем рентгеновском облучении в дозе 500 р, но при экранировании семенников.

Оказалось, что при подобном способе облучения лучевая болезнь достаточно выражена, наименьшее число лейкоцитов в 1 мм^3 крови на 6-е сутки после облучения составляет 2000—2500, но реакция семеродного эпителия не отличается от контрольной.

Сходные данные были получены Б. А. Федоровым [11] при экранировании семенников белых крыс.

Таким образом, изучение изменений, происходящих в семенниках при облучении общим, местном и общем, но с экранированием семенников, показывает, что наиболее сильно влияет на сперматогенез прямое действие рентгеновых лучей. Так, при облучении только области семенников отмечаются значительные изменения в зародышевом эпителии при практическом отсутствии лучевой болезни. «Косвенное действие» радиации едва ли является сколько-нибудь существенным фактором, могущим вызывать гистологические изменения в семенниках. Вместе с тем физиологическое состояние организма несомненно влияет как на скорость патологических процессов в семеннике, возникающих под прямым облучением, так и на скорость репарации. В этом смысле закономерность действия радиации в наших опытах оказывается такой же, как и в многочисленных исследованиях генетического действия рентгеновых лучей.

Институт цитологии и генетики
Сибирского отделения АН СССР

Поступила в редакцию
19/V 1959

ЛИТЕРАТУРА

1. Г. М. Роничевская, Реакция семенников у белых мышей при общем однократном облучении различными дозами Co^{60} . Тр. ЦНИРРИ, Вопросы радиобиологии, т. 2, 1958.
2. L. Fogg, R. Coving, The changes in cell morphology and histochemistry of the testis following irradiation and their relation to other induced testicular changes. Cancer Research, vol. 11, 1951.
3. W. Borher, V. Heft, H. Riemann, E. F. Wachsmann, Die Wirkung von 180 kv Röntgenstrahlen und 6-mev-Electronen auf das Hodengewebe der Ratte. Strahlentherapie, Bd. 101, № 1, 1956.
4. P. Bernet-Maury, E. Patti, L'irradiation mortelle de la souris par les rayons γ (essais therapeutiques). J. radiol. et electrol, № 31 (5—6), 1956.
5. K. Sugiura, The biological measurement of gamma rays in equivalent rentgens with mouse sarcoma 180 attest object. Amer. J. Cancer, vol. 37 (3), 1959.
6. A. C. Upton, J. F. Thomson, W. Tourtelote, Effect of dose, rate Ld_{50} of mice exposed to gamma radiation from Co^{60} sources. Amer. J. Rentgenotherapy and Nuclear Med., vol. 69 (5), 1953.
7. A. C. Upton, A. B. Conte, J. S. Hust, W. A. Miller, The relative biological effectiveness of fast neutrons x-rays and γ -rays for acute lethality in mice. Radiation research, vol. 4 (2), 1956.
8. И. В. Шифер, О процессах повреждения репарации эпителия роговицы при облучении рентгеновыми лучами. Дисс., ЦНИРРИ, Л., 1955.
9. Е. А. Прокудина, Изменение аденозинтрифосфатазной активности при развитии острой и подострой формы лучевой болезни. Мед. радиология, № 6, 1956.
10. Л. Ф. Семенов, Изменение тканевых нуклеопротеидов при действии рентгеновых лучей на организм. Дисс., ЦНИРРИ, Л., 1951.
11. Б. А. Федоров, Состояние семенников крыс при их облучении и при лучевой болезни. Тезисы конф. молодых ученых по вопросам радиологии, 26 ноября 1956 г., ЦНИРРИ, Л., 1956.

ХРОНИКА

10-ЛЕТИЕ КИТАЙСКОЙ НАРОДНОЙ РЕСПУБЛИКИ

24 сентября 1959 г. состоялось торжественное заседание Общего собрания Сибирского отделения АН СССР, посвященное 10-летию Китайской Народной Республики. Открывая заседание, акад. С. А. Христианович говорил о восхищении советских людей огромными успехами, достигнутыми китайским народом за последнее десятилетие. Он отметил, что научные связи Сибирского отделения АН СССР с учеными Китая постоянно усиливаются. В предстоящем 1960 г. совместная работа ученых Сибири и ученых Китая будет вестись по 14 крупным научным проблемам.

В докладе «Десятая годовщина Китайской Народной Республики» д-р филос. наук И. И. Матвеев, говоря о всемирно-историческом значении победы народной революции в Китае, подчеркнул, что после победы Октябрьской революции в России она является самым выдающимся историческим событием, оказавшим воздействие на весь ход всемирной истории. Докладчик охарактеризовал основные этапы народно-демократической революции в Китае, нарисовал картину длительной героической борьбы китайского народа, руководимого КПК, за свое освобождение. Установив диктатуру пролетариата в октябре 1949 г., китайский народ, сознательно используя главные закономерности социалистического строительства, творчески применяя их к конкретным условиям своей страны, успешно строит социалистическое общество.

Далее докладчик рассказал о нерушимой дружбе и единстве народов Советского Союза, Китая и других социалистических стран как главнейших условиях развития социализма и коммунизма. Советско-китайский договор о дружбе, союзе и взаимной помощи, подписанный в 1950 г., представляет огромную силу в борьбе за мир во всем мире.

Акад. А. А. Трофимук в докладе «Развитие науки в Китае и советско-китайские научные связи» отметил, что наука в Китае имеет славную, многовековую историю, что многие важнейшие естественнонаучные и технические открытия в Китае значительно опережают открытия других стран. За последние столетия, в результате двойного гнета — феодализма и капитализма, развитие науки и культуры в Китае было настолько заторможено, что он далеко отстал от других стран. Победа народной революции в Китае создала условия для бурного развития народного хозяйства, науки, культуры и искусства. 12-летний перспективный план развития науки и техники предусматривает повышение уровня научных исследований ученых Китая до передового уровня мировой науки.

Акад. А. А. Трофимук подробно рассмотрел перспективный план развития науки и техники в Китае на 1956—1967 гг., а затем показал, каких результатов добились ученые Китая за неполные 4 года.

Научные связи между СССР и Китаем особенно широко развернулись после победы народной революции в Китае. В декабре 1957 г. между академиями наук Китая и СССР было заключено соглашение о научном сотрудничестве. Уже в 1958 г. учреждения АН СССР вели научные исследования совместно с учреждениями АН Китая.

по 80 проблемам в области геологии, географии, биологии, химии, математики, физики, радиоастрономии, металлургии, автоматике, телемеханики и по многим другим отраслям знаний. По плану научного сотрудничества в текущем году в области физико-математических наук Китаю оказывается помощь в разработке пяти проблем (одну из которых разрабатывает Сибирское отделение АН СССР), по химическим наукам совместная работа осуществляется по 4 проблемам, по геолого-географическим наукам — по 5 проблемам, по биологическим — по 8, по техническим — по 6, по философско-общественным — по 11 проблемам.

Сибирское отделение из года в год расширяет свои научные связи с Китаем. Председатель Президиума СОАН СССР акад. М. А. Лаврентьев прочел цикл лекций по математике в Институте математики Китая. Акад. А. А. Трофимук оказывает систематическую помощь геологам Китая в поисках, разведке и разработке нефтяных и газовых месторождений. Акад. А. Л. Яшин и чл.-корр. Ю. А. Косыгин ведут совместные работы с китайскими учеными по составлению тектонической карты Евразии. Оказывая помощь китайским ученым, советские ученые получают много ценных данных от своих китайских друзей.

Выступивший на заседании аспирант Института гидродинамики СОАН СССР Сунь Цао сказал, что за истекшее десятилетие его родина — Китай — изменилась коренным образом. Он выразил глубокую благодарность советскому народу за помощь в строительстве социализма в Китае. О выдающихся победах китайского народа говорил научный работник Чу Чю-тян.

Общее собрание единодушно приняло приветственное письмо Центральному секретарю Общества Китайско-Советской дружбы.

И. И. Матвеев,

Страница	Строка	Напечатано	Должно быть
21	15 снизу	$\delta(E) = \iint_E \lambda(z) dx dy$	$\delta(E) = \iint_E \lambda(z) dx dy$
23	8 сверху	$\left\{ \int_{K_0 \sim R} \lambda_n(z) dx dy \right\} > \varepsilon$	$\left\{ \int_{K_0 \sim R} \lambda_n(z) dx dy \right\} > \varepsilon$
23	11 >	Q — круг	Q _t — круг
23	19 >	2) $\omega_n^+(R) \subset A_2$	2) $\omega_n^+(R) \subset A_2$
23	23 снизу	$\rho_{\lambda n}$	$\rho_{\lambda n}$
27	15 сверху	метрика $\alpha(z, \zeta)$	метрика $\{\rho^\alpha(z, \zeta)\}$
30	4 снизу, в формуле 3	$P_{\Gamma m}$	$P_{\Gamma m}$
31	10 сверху, в формуле (5)	$\sum_{j=1}^m \frac{\partial T_j}{\partial U_j}$	$\sum_{j=1}^m \frac{\partial T_j}{\partial U_j}$
32	18 сверху, в формуле (11)	$Q_{n \delta r l} = Q_{n \delta r l}$	$Q_{n \delta r l} = Q_{n \delta r l}$
32	24 сверху	$P_{\Gamma l}$ и $Q_{\Gamma l}$	$P_{\Gamma l}$ и $Q_{\Gamma l}$
32	14—15 снизу, в формуле (12)	$\frac{\partial Q_{n \delta r l}}{\partial x} = 0$	$\frac{\partial Q_{n \delta r l}}{\partial x} = 0$
45	1 снизу	$Q_{n \delta r l} = 0$	$Q_{n \delta r l} = 0$
46	6 >	При $t = 0$, $2,84 \cdot 0,8 \cdot 850$	При $t = 0$, $2,84 \cdot 0,8 \cdot 2850$
55	3 сверху, в формуле (9)	$= \frac{2560 \cdot 0,654}{e^{RT(\tau)}} r_l$	$= \frac{2560 \cdot 0,654}{e^{kT(\tau)}} r_l$
96	9 сверху	ζ является	ζ является
97	14 сверху, в формуле (18)	$\left(\frac{\partial \mu^r}{\partial \mu_0} \right)_{x_2}$	$\left(\frac{\partial \mu_1}{\partial \mu_0} \right)_{x_2}$
97	10 снизу, в формуле (22)	$x_2 \} d \mu_x^0 =$	$x_2 \} d \mu_0 =$
97	5 снизу, в формуле (23)	$\ll \left(\frac{\partial \mu_1}{\partial \mu_0} \right)_{x_2}$	$\ll \left(\frac{\partial \mu_1}{\partial \mu_0} \right)_{x_2}$
97	4 снизу, в формуле (24)	$\ll \left(\frac{\partial \mu_2}{\partial \mu_0} \right)_{x_2}$	$\ll \left(\frac{\partial \mu_2}{\partial \mu_0} \right)_{x_2}$
98	9 снизу, в формуле (35)	$= v,$	$= v,$
133	Табл. 7, графа 3 строка 16 снизу	3 0	300

Поправка

В № 8 журнала за 1959 год допущена опечатка. На стр. 97, строка 5 снизу, напечатано: «... пушистый микроспорум, штамм К, фузариум sp...»; должно быть «...пушистый микроспорум, штамм 2, ржавый микроспорум, штамм К, фузариум sp...».

Художественный редактор А. А. Федиахметов.

Технический редактор О. А. Локшина. Корректор З. П. Колодочкина.

МН 02901. Подписано к печати 23 октября 1959 г. Формат бумаги 70×108/16=4,5 бум. л. 12,33 печ. л. 12,75 уч.-изд. л. Тираж 1300 экз. Заказ № 9022.

Издательство Сибирского отделения АН СССР, Новосибирск, Советская, 20. Типография № 1 Полиграфиздата, Новосибирск, Красный проспект, 20. Цена 7 руб.

ВНИМАНИЮ АВТОРОВ

1. Статьи, направляемые в журнал, должны кратко освещать еще не опубликованные результаты исследований по актуальным научным проблемам, полученные за последние два-три года.

2. Объем каждой статьи не должен превышать 1 авторского листа, включая библиографию и иллюстративный материал.

3. На публикацию материалов, представляемых в редакцию, требуется письменное разрешение руководства организации, на средства которой проводились работы, и соответствующая документация, удостоверяющая возможность печатания их в журнале.

4. Рукописи статей и иллюстративный материал к ним представляются в двух экземплярах. Рукопись должна быть четко перепечатана на машинке, через два интервала, на одной стороне листа, тщательно вычитана и подписана автором.

5. Корректур дается авторам лишь для контроля. Стилистическая правка, дополнения и сокращения в корректуре не допускаются. Иногородним авторам корректура не высылается.

6. Формулы, латинские, греческие и т. п. выражения следует давать только в случаях необходимости, вписывая их на машинке или от руки (темными чернилами или тушью) четко и ровно, чтобы не было никаких сомнений при чтении каждого знака.

Во избежание недоразумений нужно делать ясное различие между заглавными и строчными буквами в формулах, имеющими одинаковое начертание (V и v , O и o , W и w , K и k , P и p , C и c), подчеркивая заглавные буквы двумя черточками снизу

($\underline{\underline{S}}$), а строчные — сверху ($\overset{\underline{\underline{s}}}{s}$).

7. Тоновые иллюстрации (фото) должны быть сделаны с хорошего негатива, контрастной печатью. Штриховые же должны быть выполнены ровно наложенной тушью на кальке, допускается также плотная белая бумага.

Не рекомендуется рисунки и чертежи загромождать надписями, лучше детали рисунка занумеровать и дать расшифровку номеров в подрисовочной подписи.

Все иллюстрации к статье должны иметь сквозную нумерацию. Номера эти представляются простым карандашом на каждом рисунке или чертеже, а также в рукописи на левом поле страницы, против соответствующего места в тексте (включать иллюстрации в текст рукописи нельзя). Кроме того, на обороте каждого рисунка ставится название статьи и фамилия автора. В рукописи должна быть вложена опись иллюстраций (в 2 экземплярах) согласно их порядковой нумерации.

Авторы должны избегать повторения одних и тех же данных в таблицах, графиках и тексте статей.

8. Библиографические списки: а) литература в списке дается на тех языках, на которых она издана; б) библиографические данные приводятся по титульному листу издания, все элементы библиографического перечня отделяются друг от друга запятыми; в) цифры, обозначающие том, выпуск, издание, страницы, ставятся после сокращенного слова, например: т. III, вып. 7, изд. 2; г) в тексте ссылка на литературу, перечисленную в библиографическом списке, помещенном в конце статьи, делается по такой форме: «Павлов [10, 11] указывает...».

Числа 10, 11, взятые в квадратные скобки, показывают порядковые номера трудов в библиографическом списке.

Схема перечня библиографических данных

Для книг: фамилия и инициалы автора, название книги, название издательства (Медгиз, Техиздат), место издания, год издания (слово «год» не ставится, например: 1956).

Для периодических изданий: фамилия и инициалы автора, название статьи, название журнала (альманаха, газеты), том или выпуск (т. III, вып. 7), номер, год. Говоря о месте издания, слова «Москва» и «Ленинград» можно заменять начальными буквами.

Статьи направлять по адресу: Новосибирск, ул. Советская, 20, комн. 428 — редакции журнала.

Технический редактор *О. А. Локишина*. Корректор *З. Н. Колодочкина*.

МН 02901. Подписано к печати 23 октября 1959 г. Формат бумаги $70 \times 108/16 = 4,5$ бум. л. 12,33 печ. л. 12,75 уч.-изд. л. Тираж 1300 экз. Заказ № 9022.

Издательство Сибирского отделения АН СССР, Новосибирск, Советская, 20. Типография № 1 Полиграфиздата, Новосибирск, Красный проспект, 20. Цена 7 руб.