АКАДЕМИЯ НАУК СССР
СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ
ВОСТОЧНО-СИБИРСКИЙ ФИЛИАЛ

ТРУДЫ БАЙКАЛЬСКОЙ
ЛИМНОЛОГИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ

XX

К. К. ВОТИНЦЕВ

ГИДРОХИМИЯ ОЗЕРА БАЙКАЛ

ИЗДАТЕЛЬСТВО АКАДЕМИИ НАУК СССР
Москва 1961

Ответственный редактор
Г. И. ГАЛАЗИЙ

Светлой памяти моего отца
Константина Сергеевича
Вотинцева,
посвящаю свой труд

ПРЕДИСЛОВИЕ

В настоящем труде автор стремился подвести основные итоги наших знаний в области гидрохимии озера Байкал. Составление такой сводной работы казалось целесообразным в связи с огромным народнохозяйственным значением, которое имеет Байкал, а также исключительным общенаучным значением изучения Байкала. Перед автором стояла обширная задача: дать не только общую гидрохимическую характеристику озера Байкал, но показать также динамику отдельных компонентов в водах этого озера, пути их миграции в водоеме, роль отдельных биологических, биохимических, физико-химических и других факторов в этой динамике и пр., т. е., иначе говоря, показать «химическую жизнь» Байкала.

Автор надеется, что его труд будет полезен как для работников народного хозяйства, так и для специалистов-байкаловедов и лимнологов.

Исследования, результаты которых составляют настоящий труд, проводились нами на Байкальской биологической станции Биолого-географического научно-исследовательского института при Иркутском государственном университете (пос. Большие Коты на оз. Байкал) в течение 1948—1955 гг. в период работы автора в Физико-химическом научно-исследовательском институте при Иркутском государственном университете. Там же была осуществлена частичная обработка полученных материалов и опубликование некоторых из них. Окончательная обработка всех материалов исследований и написание настоящей работы проведено уже на Байкальской лимнологической станции Восточно-Сибирского филиала АН СССР, сотрудником которой автор состоит с 1956 г.

При проведении исследований большую помощь оказали автору дирекция Физико-химического научно-исследовательского института при Иркутском государственном университете в лице доцента Н. А. Власова и проф. В. А. Лариной, дирекция Биолого-географического научно-исследовательского института при Иркутском государственном университете в лице проф. М. М. Кожова и бывший ректор Иркутского государственного университета Т. Т. Деуля.

Всем этим лицам автор приносит самую искреннюю благодарность.

Автор благодарит также команду катера «Гидробиолог» во главе с капитаном катера Г. Т. Черепановым, оказывавшую большую техническую помощь в организации и проведении экспедиций и гидрохимических разрезов на озере.

За ряд ценных замечаний автор выражает глубокую благодарность чл.-корр. АН СССР О. А. Алекину, докт. биол. наук Г. Г. Винбергу, докт. химич. наук В. Г. Дацко, докт. биол. наук М. М. Кожову, докт. геолого-минерал. наук Г. А. Максимовичу и докт. географич. наук Л. Л. Россолимо, взявшим на себя труд просмотреть работу в рукописи.

Автор благодарит также начальника Байкальской лимнологической станции АН СССР Г. И. Галазия за предоставление возможности завершения обработки материалов настоящих исследований и постоянное содействие в работе.

Рукопись работы была закончена в конце 1956 г. За прошедший период времени как в области гидрохимии Байкала, так и в смежных с ней областях исследований были получены новые материалы. Автор воздержался, однако, от широкого включения этих материалов в свой труд, ограничившись лишь незначительными дополнениями, так как результаты этих новых исследований не вносят принципиальных изменений в наши представления о гидрохимии Байкала.

В настоящей работе почти не использованы неопубликованные гидрохимические материалы, собранные в 1948—1956 гг. Байкальской лимнологической станцией АН СССР. Их обработку предполагал осуществить бывший начальник станции В. А. Толмачев. Преждевременная смерть прервала начатую им работу при Иркутском государственном университете.

Май 1960 г. *К. К. Вотинцев*

Физико-химический научно-исследовательский институт
при Иркутском государственном университете.
Байкальская лимнологическая станция
Восточно-Сибирского филиала Сибирского отделения
Академии наук СССР.

ВВЕДЕНИЕ

Байкал — одно из крупнейших пресных озер земного шара — издавна привлекает к себе внимание исследователей. Исключительная древность этого водоема, огромные глубины, своеобразие его фауны и флоры и т. д.— все это резко выделяет Байкал среди прочих озер Земли и придает ему особо уникальный характер. Поэтому Байкал одинаково интересен как для специалистов самых различных отраслей знания, так и для широкого круга лиц, интересующихся природными богатствами нашей Родины.

Неудивительно, что в настоящее время в литературе накопилось огромное число работ, посвященных изучению этого озера. Однако ряд вопросов для Байкала остается изученным еще недостаточно. К числу таких вопросов относится, в частности, гидрохимия Байкала. Объясняется это прежде всего тем, что гидрохимические исследования Байкала получили широкое развитие лишь в самые последние годы. Между тем для глубокого познания Байкала изучение химического состава и гидрохимического режима его водных масс является совершенно необходимым. Познание гидрохимии Байкала приобретает особый интерес в настоящее время в связи с проблемой Ангарского каскада ГЭС, так как химизм воды р. Ангары, по крайней мере в ее верхнем течении, в значительной степени определяется химизмом байкальских вод.

Не меньшее практическое значение имеют гидрохимические исследования и для правильного суждения о биологической продуктивности Байкала, а также возможности более полного и рационального использования его природных ресурсов.

Теоретический интерес гидрохимических исследований Байкала также велик. Занимая по своим глубинам первое место среди пресных озер Земли, Байкал является единственным водоемом, на котором возможно изучение изменений как химизма, так и структуры пресной воды на больших глубинах. Исследования глубинных слоев воды Байкала показали ряд чрезвычайно интересных особенностей распределения температуры воды на больших глубинах (Верещагин, 1927а и 1927в). Было установлено также аномальное повышение плотности воды с глубиной (Верещагин, 1934). И. Д. Менделеев (1935) объяснил это явление примесью в водах Байкала молекул воды, содержащих тяжелые изотопы кислорода. Теоретические расчеты В. В. Шулейкина (1938) указывали на поступление таких вод со дна Байкала из подземных источников. В наличии в водах Байкала примеси тяжелой воды, а также в возможном влиянии некоторых микроэлементов Г. Ю. Верещагин (1935, 1939 и 1940) видел главную причину несмешиваемости байкальской эндемичной флоры и фауны с окружающей Байкал общепалеарктической флорой и фауной. Правильность выдвигаемой Г. Ю. Верещагиным гипотезы

остается в значительной мере неясной и в настоящее время, особенно в свете исследований А. П. Виноградова (Талиев, 1948), отвергающего наличие в Байкале тяжелой воды.

Огромный интерес представляет изучение метаморфозы вод притоков Байкала в байкальскую воду, изучение химического обмена между донными отложениями озера и его водными массами и ряд других вопросов гидрохимии Байкала.

Правильное разрешение указанных вопросов, равно как и ряда других, возможно, однако, только после детального знакомства с составом вод и гидрохимическим режимом этого озера. Если в настоящее время состав вод Байкала в разных его районах до глубин 100—250 м может считаться изученным достаточно подробно, то в отношении гидрохимического режима этого сказать нельзя. Гидрохимический режим Байкала изучался Байкальской лимнологической станцией Академии наук СССР, но, к сожалению, полученные материалы до сих пор не опубликованы. Лишь в работе В. И. Концевич (1930) попутно приведены некоторые данные по химическому режиму Байкала в районе ст. Маритуй в 1926 г.

Как было указано выше, гидрохимические исследования Байкала с достаточной полнотой были развернуты после Великой Октябрьской социалистической революции. В дореволюционный период Байкал в гидрохимическом отношении совершенно не изучался. Все сведения о химическом составе его вод исчерпывались двумя единичными анализами.

Первый анализ воды Байкала был произведен в 1877 г. К. Шмидтом (1878), исследовавшим одну пробу воды, отобранную в районе с. Култук с глубины 20 м. Результат его анализа хорошо совпадает с современными данными.

Несколько позднее химический анализ воды Байкала был произведен Пелем. Однако данные этого автора страдают рядом ошибок, неполнотой, отсутствием указаний о месте и времени отбора пробы воды и в настоящее время представляют, пожалуй, лишь исторический интерес.

В 1916 г. при Академии наук создается специальная Комиссия по изучению Байкала. Начавшаяся революция и гражданская война помешали развертыванию этих работ. Только в 1925 г. по инициативе Академии наук СССР работа этой Комиссии была оживлена и получила должную поддержку со стороны Советского Правительства. При Комиссии по изучению Байкала была создана Байкальская комплексная экспедиция, реорганизованная в 1928 г. в Байкальскую лимнологическую станцию Академии наук СССР, существующую и в настоящее время (пос. Лиственичный) и находящуюся в ведении Восточно-Сибирского филиала Сибирского отделения АН СССР.

С первых же шагов своей работы Комиссия по изучению Байкала обратила внимание на гидрохимические исследования этого озера, продолженные в дальнейшем Байкальской лимнологической станцией АН СССР. Однако отсутствие единого плана гидрохимических исследований Байкала на Байкальской лимнологической станции АН СССР заметно сказалось на результатах последних, в силу чего в печати появилось лишь несколько статей, посвященных отдельным частным вопросам гидрохимии Байкала.

Почти одновременно с началом работ Комиссии по изучению Байкала АН СССР исследованием Байкала начинает заниматься Иркутский государственный университет совместно с Биолого-географическим научно-исследовательским институтом. Гидрохимические исследования Байкала проводились Биолого-географическим институтом в связи с общими гидробиологическими исследованиями отдельных районов озера и

носили, как правило, подчиненный характер. Лишь в последние годы, уже после Великой Отечественной войны, с созданием при Иркутском государственном университете Физико-химического научно-исследовательского института удалось организовать планомерные гидрохимические исследования Байкала. К сожалению, объем гидрохимических работ на Байкале, проводимых Физико-химическим институтом, остается все еще ограниченным.

Как ни скромны были по своему объему гидрохимические исследования Байкала, все же к настоящему времени трудами ряда ученых по гидрохимии этого озера накоплен обширный материал, позволяющий не только составить общую картину гидрохимического облика Байкала, но и перейти к решению более глубоких вопросов. Можно сказать, что сейчас завершен первый этап гидрохимических исследований Байкала — этап региональной гидрохимии и мы переходим к следующему этапу — этапу изучения химического баланса озера и круговорота веществ в нем. Необходимо подвести основные итоги проделанной работы. Эти итоги и составляют настоящий труд.

В нем впервые на огромном новом фактическом материале дается характеристика гидрохимического режима Байкала. Устанавливается, что ионный состав воды открытых районов озера не имеет существенных различий в вертикальном (по глубинам) и горизонтальном (по акватории озера) направлениях и не меняется по сезонам года, что обусловлено, с одной стороны, близостью среднего содержания основных ионов в водах, питающих озеро с их содержанием в озерной воде с другой — незначительностью дебета притоков Байкала по сравнению с объемом водных масс самого озера.

Для соединений биогенных элементов, органического вещества и компонентов газов (O_2, свободный CO_2), напротив, устанавливаются характерная пространственная неоднородность и закономерные сезонные изменения в их содержании, обусловленные в основном биологическими процессами, протекающими в водоеме, и динамикой его водных масс.

Вскрытие основных закономерностей распределения и динамики отдельных ингредиентов в водах Байкала позволило разработать схему его вертикальной гидрохимической зональности.

Большое внимание было уделено изучению круговорота соединений биогенных элементов и органического вещества в Байкале, т. е. вопросам, непосредственно связанным с его первичной биологической продуктивностью. Для этого пришлось выйти за рамки обычных гидрохимических исследований и включить в программу своих работ такие вопросы, как изучение химического состава грунтовых растворов и придонных слоев воды озера, с целью познания химического обмена между донными отложениями и водными массами Байкала, изучение состава некоторых эндемичных байкальских животных и растений для выяснения их роли в миграции отдельных химических элементов, изучение процессов фотосинтеза байкальского фитопланктона и донных макрофитов, процессов деструкции организмов фито- и зоопланктона, влияния организмов зоопланктона на газовый режим озера и ряд других.

Изучение круговорота веществ в Байкале могло быть осуществлено только на базе данных о химическом балансе озера, хотя, как уже говорилось выше, изучение химического баланса Байкала — это вопрос будущих исследований. Было решено провести соответствующие приближенные расчеты для некоторых главнейших ингредиентов. Несмотря на свою несовершенность, полученные данные позволили вскрыть и наглядно продемонстрировать ряд интересных особенностей гидрохимии Байкала, о которых будет подробно рассказано в соответствующих разделах работы.

Наконец, нам казалось необходимым сравнить гидрохимический облик Байкала с таковым некоторых других крупных озер Земли. Такое сравнение лучше выявило бы специфику байкальских вод.

Как уже было указано, основное внимание исследователей было сосредоточено на сравнительном изучении отдельных районов Байкала. Северную оконечность озера изучали С. И. Кузнецов, А. П. Щербаков (1930) и П. Ф. Бочкарев (1932 и 1934). Баргузинский залив изучал А. С. Карноухов (1936), Чивыркуйский — П. Ф. Бочкарев (1935). По химизму вод Малого Моря работали П. Ф. Бочкарев и М. Д. Ермолаева (материалы не опубликованы), В. А. Толмачев (1959). Посольский сор изучали П. Ф. Бочкарев, В. С. Шепетунин и К. К. Вотинцев (1938), а также экспедиция Биолого-географического института (Кожов, 1947). Район Селенгинского мелководья исследовал Г. Ю. Верещагин (1925). В настоящее время этот район подробно изучается Байкальской лимнологической станцией (Вотинцев, 1960).

На Южном Байкале работали Г. Ю. Верещагин (1926, 1927а и 1927б), В. М. Гортиков (1927 и 1936), П. Ф. Бочкарев, Н. А. Власов, М. П. Козяр (1947) и др.

Первый полный анализ воды Байкала был произведен в 1924 г. А. Г. Франк-Каменецким (1925 и 1926). Он исследовал две пробы воды, взятые в районе ст. Маритуй с поверхности и глубины 1000 м. К сожалению, такие ингредиенты, как железо, марганец, нитраты, нитриты, фосфаты, аммиак и др., либо вообще не определялись, либо не были обнаружены по причине малой чувствительности применявшихся аналитических методик.

Почти все опубликованные материалы характеризуют химический состав воды Байкала лишь в летний период. Работ по круглогодичному гидрохимическому режиму Байкала опубликовано не было.

Что касается изучения вертикального распределения отдельных ингредиентов в водах Байкала, то почти все исследователи Байкала ограничивались изучением поверхностных слоев воды до глубины максимум 100—150 м. Специально вопросу режима глубинных вод Байкала посвящена лишь одна статья Г. Ю. Верещагина (1927в), основанная на материалах, собранных в районе ст. Маритуй (Южный Байкал) и касающаяся распределения кислорода, свободной CO_2 и гидрокарбонатов в водах Байкала.

Помимо указанных выше исследований были предприняты некоторые другие, преследующие специальные цели. Так, Г. Ю. Верещагин (1932) и П. Ф. Бочкарев, Н. А. Власов и М. П. Козяр (1947) изучали суточный ход некоторых гидрохимических факторов в воде Байкала. П. Ф. Бочкарев, К. К. Вотинцев и В. Н. Яснитский (1950) изучали процесс фотосинтеза некоторых байкальских макрофитов с целью установления их роли в динамике органического вещества в воде Байкала, а также попутно — мощности трофогенного слоя озера в летний период. К. К. Вотинцев опубликовал работы по динамике биогенных элементов в водах Байкала (1952а и 1955а и др.) и динамике органического вещества (1955б и 1955в), о влиянии суточных вертикальных миграций байкальского зоопланктона на кислородный режим озера (1953а), о суточной первичной продукции верхних слоев воды Байкала, о составе вод атмосферных осадков, выпадающих на поверхность озера (1954), и др.

Изучением притоков Байкала занимались почти все перечисленные выше авторы в районах своих исследований. Специально химизму вод притоков Байкала посвящены работы Т. Б. Форш (1930, 1931) по притокам Южного Байкала, А. П. Янко (1953) по притокам того же района, Г. Ю. Верещагина и И. П. Сидорычева (1929) по зимнему гидрохи-

мическому режиму рр. Селенги и Уды, П. Ф. Бочкарева, В. С. Щепетунина и К. К. Вотинцева (1938) по круглогодичному гидрохимическому режиму р. Большой в связи с использованием вод этой реки для целей рыбоводного завода, А. Г. Франк-Каменецкого (1925) по химизму вод главных притоков Байкала, а также работы Б. Н. Форш (1930 и 1954), И. Я. Дегопик (1951), А. П. Пуриковой (1954) и др.

Сток Байкала — река Ангара — изучался в течение двух лет в районе г. Иркутска В. И. Концевич (1930); изучение ее в настоящее время продолжают Гидрохимическая лаборатория Физико-химического института при Иркутском государственном университете и Байкальская лимнологическая станция АН СССР.

Наиболее обширные материлы собраны по распределению в озере растворенного кислорода, свободного CO_2, pH, гидрокарбонатов, кремнекислоты и хлоридов. Содержание ионов кальция и магния определялось не всегда. Еще меньше данных имеется по сульфатам и железу. О содержании таких элементов, как натрий и калий, а также о соединениях азота и фосфора можно судить лишь по весьма немногим опубликованным цифрам. Наконец, по микроэлементам имеются лишь единичные анализы: Д. П. Малюга (1945 и 1946) определял в пробах воды Байкала медь, никель и кобальт, Л. С. Селиванов (1946) — бром. Сюда же можно отнести единичные анализы на барий, свинец, стронций и марганец в водах р. Ангары у г. Иркутска, опубликованные Я. М. Грушко (1947 и 1948).

Качество имеющихся по Байкалу данных далеко не равноценно. Большая часть анализов выполнена в условиях полевой экспедиционной обстановки упрощенными полевыми методами, поэтому полученные цифры могут приниматься лишь как ориентировочные. Материалы этих исследований, являясь чрезвычайно ценными для целей сравнительной характеристики химизма вод отдельных районов Байкала, требуют строгой критической оценки при их использовании.

В связи с разнообразием методик исследований, применявшихся при выполнении отдельных разделов работы, описание их будет дано в тексте. В работе приводится и описание имевшихся в нашем распоряжении аналитических материалов.

Глава I

ОСНОВНЫЕ ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ И ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ О БАЙКАЛЕ

Байкал расположен между 51°27,5′ и 55°46,2′ северной широты и между 103°43,1′ и 109°58,2′ восточной долготы на высоте 454 м над уровнем моря. Длина озера равна 636 км, наибольшая ширина — 79,4 км, средняя ширина — 47,8 км. Длина береговой линии без островов равняется приблизительно 2000 км, площадь поверхности озера — 31 500 км², объем водных масс — 22 160 км³ (Верещагин, 1947). Водосборная площадь бассейна Байкала равняется 557 500 км². Из нее на долю бассейна р. Селенги приходится 464 940 км², т. е. около 83,4%.

Впадина Байкала окружена со всех сторон горными цепями: с юга — Саянами и Хамар-Дабаном, с запада — Приморским (Байкальским) и Онотским хребтами, с севера — Северо-Байкальским нагорьем, с востока — хребтами Баргузинским, Икатским, Улан-Бургасы. Максимальные высоты окружающих Байкал гор достигают 2000—2500 м над уровнем моря. Наивысшая же точка Саян — Мунку-Сардык — достигает абсолютной высоты 3491 м. Цепи гор вплотную подходят к берегам Байкала, прерываясь лишь в местах впадения крупных его притоков.

Береговая линия Байкала мало изрезана. Число бухт и заливов невелико. Самыми крупными заливами являются Баргузинский и Чивыркуйский, расположенные в средней части Байкала на его восточном берегу и отделенные друг от друга п-вом Святой Нос. Помимо этих двух крупных заливов своеобразным участком Байкала является Малое Море — постепенно расширяющийся с юга на север огромный пролив, отделенный от озера с востока о-вом Ольхон.

Несколько особое место занимают на Байкале так называемые соры — лагуны, образованные в результате отделения от озера его заливов узкими песчаными или песчано-галечными косами (по местному, «каргой»), местами прерывающимися, с образованием «прорв», через которые и происходит соединение сора с Байкалом. К таким сорам относятся Северо-Байкальский сор, расположенный на северной оконечности озера, сор — залив Провал, расположенный к северу от дельты р. Селенги, и Посольский сор, расположенный несколько южнее дельты р. Селенги. Из них сор — залив Провал образовался недавно в результате сильного землетрясения, происшедшего 30 декабря 1861 г.

Более подробно на физико-географической характеристике важнейших заливов и соров Байкала остановимся при описании их гидрохимического облика.

Для удобства изложения всю основную котловину озера, без глубоковдающихся в материк заливов, губ, бухт, соров и без приустьевых

пространств крупных притоков озера, вслед за Г. Ю. Верещагиным, М. М. Кожовым и другими будем в дальнейшем называть «открытым Байкалом», по аналогии с понятием «открытое море».

Впадина Байкала расчленена на три отдельных котловины: южную, среднюю и северную. Южная котловина, занимающая южную часть озера к югу от р. Селенги, имеет наибольшую глубину, равную 1473 м при средней глубине 810 м. Ее площадь равна 6890 км², водоизмещение — 5583 км³. Средняя котловина занимает среднюю часть Байкала — от Селенгинского мелководья до северной оконечности о-ва Ольхон. Наибольшая глубина этой части Байкала достигает 1741 м, средняя глубина — 803 м, площадь поверхности равна 11 295 км², водоизмещение — 9065 км³. Северная котловина расположена к северу от северной оконечности о-ва Ольхон и имеет наибольшую глубину 938 м при средней глубине 564 м. Площадь ее поверхности равна 13 315 км², водоизмещение — 7515 км³.

Все три котловины Байкала отделены друг от друга подводными хребтами. Хребет, отделяющий южную котловину озера, от средней, носит название Селенгинского мелководья. Глубина не превышает здесь 428 м. Средня котловина отделена от северной Академическим хребтом, глубины в районе которого не превышают 400 м.

По подсчетам И. Д. Черского в Байкал впадает около 336 рек, речек и ручьев (Верещагин, 1947). Наиболее крупными притоками озера являются реки — Селенга, вносящая в Байкал до 50% всех водных масс поверхностного речного стока, Верхняя Ангара, вносящая до 13—14% общего годового стока, и Баргузин с годовым стоком около 9%.

Вытекает из Байкала одна река — Ангара, впадающая в р. Енисей.

Островов на Байкале 22. Самый крупный из них о-в Ольхон, площадь которого равняется 729,4 км². Следующий по величине о-в Большой Ушканий имеет площадь всего 9,5 км². Остальные острова представляют собой скалы или группы скал.

Режим ветров Байкала определяется географическим положением озера в центре Азиатского материка. Преобладающими являются ветры северо-западного направления. Скорость их бывает весьма значительной и в осеннее время нередко достигает 25—30 м/сек, и иногда — 40 м/сек. Зимой над Байкалом устанавливается Сибирский антициклон, летом — свой местный центр повышенного давления (Помыткин, 1955).

Байкал покрывается льдом в своей южной части обычно в конце декабря — начале января, в северной — в середине декабря. Вскрытие происходит в южной части озера в начале мая, иногда в конце апреля, в северной — в конце мая и даже в начале июня. Толщина льда достигает 1,0—1,2 м.

К моменту вскрытия Байкала от льда уровень воды в озере бывает минимальным. К концу лета уровень повышается и в августе достигает своего годового максимума, после чего начинается его медленное падение вплоть до следующей весны. Годовая амплитуда уровня в среднем равняется 84 см с колебаниями в отдельные годы от 30 см (1903 г.) до 166 см (1869 г.). Абсолютная амплитуда колебаний уровня равна 2,17 м (Помыткин, 1955).

По вопросу о происхождении впадины Байкала существует несколько гипотез.

И. Д. Черский (1881) представляет байкальскую впадину как гигантскую складку, возникшую в результате медленного сжатия земной коры.

В. А. Обручев (1914, 1938 и 1953) считает впадину Байкала грабеном. Сам процесс образования байкальской впадины, по мнению этого ученого, происходил в три стадии. Начало ее образования он относит к

послеюрскому периоду, окончательное же формирование — к постплиоценовому времени.

Е. В. Павловский (1937 и 1941) первоначально считал байкальскую впадину рампом. Однако в последнее время Павловский (1948) изменил свои прежние взгляды, принимая впадину Байкала за осложненную сбросами синклиналь, возникшую в конце юрского периода в районе наиболее приподнятой части Станового сводового поднятия.

Таким образом, по мнению всех этих ученых, впадина Байкала представляет древнее образование. К сожалению, цитированные выше авторы почти не затрагивают вопроса о времени заполнения байкальской впадины водой, что как раз представляет наибольший интерес. В. А. Обручев (1914), например, упоминает лишь о наличии мезозойских водоемов в районе Прибайкалья, но не рассматривает их приемственную связь с современным Байкалом. Е. В. Павловский высказывает мысль о том, что «водная масса Байкала в современных границах ее распространения есть, вероятнее всего, образование геологически очень молодое» (Павловский, 1948). От уточнения возраста водных масс Байкала он, однако, воздерживается.

Разделяя общие соображения В. А. Обручева о грабеновом происхождении байкальской впадины, Н. В. Думитрашко в ряде своих работ (1935, 1948, 1949, 1952 и др.) делает попытку восстановить картину образования Байкала более подробно. По ее мнению, в юрский период на месте современного Южного Байкала уже существовала впадина, являвшаяся, возможно, речной долиной. В третичное время одновременно с образованием хребта Хамар-Дабан в районе Южного и Среднего Байкала возникла группа озерных впадин. Наиболее глубокое из этих озер было в районе Южного Байкала. В районе Среднего Байкала существовало по крайней мере два мелководных озера. Происшедшие в плиоцене новые движения земной коры расширили южную и среднюю впадины, в районе же современной северной впадины Байкала появилось небольшое озеро. В дальнейшем, во второй половине плиоцена, произошло слияние озер южной и средней впадины, а в конце плиоцена — начале четвертичного периода произошло слияние этого водоема с северным озером в один общий относительно мелководный водоем. Образование больших глубин Байкала явилось результатом последующих движений земной коры.

Мнение Н. В. Думитрашко о разновозрастности основных котловин Байкала было поддержано Г. Ю. Верещагиным, а также многими геологами (Пресняков, 1940; Павловский, 1948 и др.) и биологами (Берг, 1949; Талиев, 1955). Д. Н. Талиев, например, находит подтверждение этой гипотезы в характере и темпах эволюции байкальских бычков (*Cottoidei*) и в особенностях их горизонтального распределения по озеру.

В последнее время, однако, В. В. Ламакин (1952) выступил с критикой разновозрастности и былой разобщенности отдельных впадин Байкала. Ссылаясь на исследования В. В. Федынского (1951), показавшего, что мощность рыхлых отложений в районе дельты р. Селенги достигает 2—4 км, а возможно и более, В. В. Ламакин утверждает, что район современного Селенгинского мелководья, разделяющий Южный и Средний Байкал, не является опущенным под воду горным массивом, а образован выносами р. Селенги. Гипотеза эта не лишена основания. Действительно, если допустить, что твердый сток р. Селенги в прошлом не очень сильно отличался от современного, то по произведенным нами расчетам оказывается, что для заполнения района Селенгинского мелководья выносами р. Селенги потребовалось бы около 250 тыс. лет. В. В. Ламакин отрицает также существование в Байкале подводного Академического хребта.

Базируясь на найденных им в архиве Байкальской лимнологической станции АН СССР промерах глубин Байкала в районе Академического хребта, почему-то не использованных Г. Ю. Верещагиным при составлении батиметрической карты Байкала, В. В. Ламакин на основе этих измерений составил новую карту района Среднего Байкала, на которой Академический хребет отсутствует. Отсюда В. В. Ламакин делает вывод о том, что Байкал представляет собой единое образование, возникшее в третичное время и никогда не разобщенное перемычками на отдельные котловины.

Гипотеза В. В. Ламакина подверглась критике со стороны Н. В. Думитрашко (1954), показавшей, что, во-первых, на юго-западном берегу озера и в районе дельты р. Селенги присутствуют юрские отложения, говорящие о более древнем мезозойском возрасте южной впадины Байкала, по сравнению со средней, где найдены лишь третичные отложения, во-вторых, при построении карты В. В. Ламакин произвольно провел некоторые изобаты, в результате чего было искажено действительное их простирание, совпадающее с таковым на ранее опубликованной карте Г. Ю. Верещагина.

Таким образом, гипотеза В. В. Ламакина, покоящаяся на весьма шатких, почему-то не принятых во внимание Г. Ю. Верещагиным (ошибочных?) данных, не подкрепляемых ни единым повторным глубинным промером, сделанным самим В. В. Ламакиным, не может серьезно приниматься во внимание до уточнения профилей дна в районе Академического хребта.

В геологическом строении байкальской впадины особое место занимают породы архея и протерозоя, представленные гранитами, гнейсами, сиенит-гранитами, кристаллическими известняками, доломитами, кварцитами, различными сланцами и конгломератами. Лишь в отдельных районах озера встречаются более молодые отложения третичного и четвертичного периодов, представленные третичными конгломератами, песчаниками, мергелями с прослоями угля и т. д.

Резюмируя все сказанное выше относительно происхождения и истории байкальской впадины, необходимо подчеркнуть большую древность этого озера. Отсутствие геологических данных о крупных изменениях в гидрографической сети бассейна Байкала по крайней мере в четвертичный период ясно указывает на то, что формирование водных масс этого водоема, а следовательно, и формирование химического состава последних уже давно закончилось, и в современную эпоху гидрохимический режим Байкала должен отличаться своей стабильностью, что, как видно ниже, подтверждается данными гидрохимических исследований.

Говоря о природных особенностях Байкала нельзя обойти молчанием его фауну и флору. Здесь, прежде всего, следует отметить исключительное своеобразие и разнообразие форм населяющих Байкал организмов. По подсчетам Г. Ю. Верещагина (1940 и 1947), в Байкале обитает до 1700 форм животных и растений. В настоящее время цифру эту нужно еще несколько увеличить, так как в последние 10 лет было описано не менее сотни новых видов.

Подавляющее большинство обитающих в Байкале организмов являются эндемичными. Общее число эндемичных форм составляет свыше 70% всех представителей фауны и флоры Байкала. Столь высокий процент придает флоре и фауне Байкала исключительное своеобразие и служит предметом оживленной дискуссии ученых по вопросу о происхождении этих организмов в Байкале.

Существует две теории происхождения животного и растительного мира Байкала. Г. Ю. Верещагин (1940 и др.) развивал гипотезу о

морском характере байкальского населения. Л. С. Берг (1910 и 1949) доказывает его пресноводное происхождение. В последнее время Д. Н. Талиев (1948 и 1955), стоя на позициях Л. С. Берга, доказал на примере бычковых рыб Байкала, что многие виды животных произошли в самом озере за период существования последнего от немногих сохранившихся в нем предков, причем темпы эволюции животного мира Байкала отличаются исключительной интенсивностью.

Необходимо отметить, что некоторые виды животных и растений Байкала развиваются здесь в огромных количествах, оказывая, подчас, сильное влияние на химический состав и гидрохимический режим озера. К таким организмам, как будет показано в соответствующих главах работы, относятся прежде всего организмы фито- и зоопланктона: водоросли — мелозира (*Melosira*), перидинеи (*Peridinea*) и рачек епишура (*Epischura baicalensis*), а также донные макрофиты, байкальские губки и др.

Глава II

КРАТКИЙ ОЧЕРК ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА БАЙКАЛА

Огромное влияние температуры воды на скорость протекающих в водоеме биологических, биохимических и иных процессов общеизвестно. Поэтому, прежде чем переходить к изложению материалов по химическому составу вод Байкала и его гидрохимическому режиму, считаем необходимым дать краткую общую характеристику температурного режима этого озера и привести результаты температурных наблюдений за годы наших исследований.

По температурному режиму Байкала, изучение которого было начато еще в 1869—1876 гг. Б. Дыбовским и В. Годлевским (1870 и 1877), в настоящее время накоплен обширный фактический материал, обобщенный в недавно вышедшей из печати монографической сводке Л. Л. Россолимо (1957).

Основными особенностями термики Байкала являются низкие летние температуры воды даже на поверхности, кратковременность и крайняя неустойчивость слоя термоклина и наличие постоянной в течение всего года прямой стратификации температур на глубинах свыше 200—300 м. Особенности эти обусловлены, с одной стороны, огромными глубинами Байкала и его относительно небольшой поверхностью, с другой стороны, интенсивным ветровым перемешиванием вод озера до значительных глубин.

Еще в 1936 г. Г. Ю. Верещагин наметил общую схему термического режима Байкала (Справочник по водным ресурсам, 1936). В годовом цикле он различал четыре температурных периода.

Первый период — подледный — продолжается обычно с января по май. Он характеризуется в самом начале наиболее низкими температурами подледных слоев воды, постепенно повышающимися с глубиной и достигающими на глубине около 250 м 3,6—3,7°. К весне благодаря хорошей солнечной инсоляции подледные слои воды начинают прогреваться, и к моменту вскрытия озера от льда температура их достигает одного и более градусов.

Второй период — период весенней циркуляции — длится с момента вскрытия озера от льда до установления весенней гомотермии (около 4° во всех слоях воды от 0 до 250 м), т. е. приблизительно с мая до конца июня — начала июля. В течение этого периода происходит лишь небольшое повышение температуры верхних слоев воды — всего на 2—3°, что обусловлено интенсивным перемешиванием всех слоев воды верхней 250-метровой зоны глубин.

Третий период — период летнего неустойчивого равновесия — длится с начала прямой термической стратификации до прекращения прогревания водных масс озера, т. е. обычно до сентября. Для него характерно постепенное прогревание верхних слоев воды озера до максимальных летних температур и установление определенно выраженной стратификации. Относительно малая мощность прогретого слоя воды по сравнению с нижележащими более холодными слоями ведет к резким колебаниям температуры поверхностной воды и к нарушению слоя температурного скачка, особенно в начале описываемого периода, в результате выхода глубинных вод под воздействием ветров.

Наконец, четвертый период — период осенней циркуляции — характеризуется вначале температурами верхнего 250-метрового слоя воды около 4° с последующим охлаждением поверхностных слоев вплоть до установления на озере ледяного покрова и обратной термической стратификации. Ветровые циркуляции охватывают в начале этого периода мощные слои воды — до 200—300 м и даже более.

В своей научно-популярной книге о Байкале Г. Ю. Верещагин (1947, 1949) делит период осенней циркуляции на два этапа: на период осеннего охлаждения, продолжающийся с сентября по ноябрь, в течение которого происходит охлаждение верхних слоев воды до 4°, и на период осенней циркуляции — от момента установления осенней гомотермии до замерзания озера.

Разработанная Г. Ю. Верещагиным схема была принята также Л. Ф. Форш (1957) в ее работе по термике поверхностного слоя воды Байкала.

Выделяемые Г. Ю. Верещагиным температурные периоды основываются главным образом на динамике водных масс Байкала. В отличие от этого автора Л. Л. Россолимо (1957) кладет в основу своей схемы температурных периодов на Байкале годовой ход теплообмена во взаимосвязи с динамикой водных масс. Он делит годовой цикл на четыре периода: подледный, весеннего прогрева, летнего прогрева и осеннего охлаждения. Каждый из выделяемых им периодов делится в свою очередь на отдельные этапы.

Первый — подледный период — характеризуется наличием устойчивой мезотермии в районах с глубинами свыше 200—250 м, или обратной стратификации на мелководьях. Вертикальные градиенты над слоем мезотермического максимума распределены неравномерно. Наибольшими градиентами отличается средний слой.

Подледный период Л. Л. Россолимо делит на три этапа. Первый этап с мощными, часто резкими изменениями температуры, особенно в прибрежной полосе, связанными, как полагает автор, с перемещениями водных масс, начавшимися еще в предледоставный период; второй этап с большим постоянством в распределении температуры и третий этап с нарастающими в результате поглощения солнечной радиации температурами поверхностных слоев воды.

Теплосодержание в открытом озере в подледный период достигает минимума в конце первого этапа, повышаясь только на третьем этапе. В прибрежных районах наблюдается повышение теплосодержания в этот период за счет теплоотдачи от дна и поглощения солнечной радиации.

Период весеннего прогрева длится на Байкале от момента вскрытия озера от льда до появления устойчивой температуры выше 4°. В начале периода над слоем мезотермического максимума наблюдается обратная стратификация температуры, переходящая к концу периода в гомотермию и к неустойчивой прямой термической стратификации в верхнем 25—50-метровом слое с температурой несколько выше 4°.

Период делится на два этапа, разделенные моментом установления гомотермии. Теплосодержание в этот период в слое 0—200 м увеличивается.

Период летнего прогрева, длящийся от момента установления на поверхности температуры 4° и до начала разрушения термоклина, характеризуется установлением прямой термической стратификации. Вертикальное распределение температуры крайне неустойчиво. Теплосодержание в слое 0—200 м непрерывно повышается, причем повышение это вначале идет быстро, а к концу периода замедляется.

Период делится на два этапа: первый с большими градиентами температуры на поверхности, постепенно затухающими с глубиной, и второй с наличием равномерно прогретого эпилимниона и обособленного металимниона, которые, однако, могут временно разрушаться под влиянием сгонно-нагонных явлений.

Четвертый период — период осеннего охлаждения — наступает с началом устойчивого охлаждения эпилимниона и длится до ледостава. Период делится на три этапа: первый — этап разрушения термических зон, второй — переходный от прямой термической стратификации на обратную и третий — этап обратной термической стратификации.

Изменения температуры на протяжении этого периода подвержены большому влиянию динамики водных масс.

Легко видеть, что предложенная Л. Л. Россолимо схема температурных периодов на Байкале очень близка к схеме Г. Ю. Верещагина. Сам ее автор признает, что первые два периода его схемы — подледный и весеннего прогрева — полностью совпадают с подледным периодом и периодом весенней циркуляции схемы Г. Ю. Верещагина. Период летнего прогрева близко совпадает с периодом летнего неустойчивого равновесия схемы Г. Ю. Верещагина и только период осеннего охлаждения трактуется Л. Л. Россолимо несколько иначе и охватывает по времени иные сроки, нежели период осенней циркуляции Г. Ю. Верещагина, а именно: первый этап периода осеннего охлаждения схемы Л. Л. Россолимо соответствует четвертому периоду схемы Г. Ю. Верещагина, второй же и третий этапы периода осеннего охлаждения — пятому периоду.

Как уже указывалось, глубинная зона Байкала, начиная с глубины 200—300 м, характеризуется наличием постоянной прямой термической стратификации. Температура воды здесь остается в течение года почти неизменной. По вертикали наблюдается плавное падение температуры от 3,6—3,7° на глубине 200—300 м до 3,1—3,0° на максимальных глубинах озера. Поэтому Г. Ю. Верещагин рассматривает глубинную область Байкала как водоем тропического типа.

Еще Б. Дыбовский и В. Годлевский (1877 и 1897) обратили внимание на то, что сезонные изменения температуры воды охватывают только верхний 250-метровый слой. Дальнейшие исследования Байкала (Вознесенский, 1907; Johansen, 1925; Верещагин, 1927 а, б, в) позволили детализировать вопрос о термической неоднородности вод этого озера по вертикали. Наиболее полно схема вертикальной зональности Байкала была разработана Г. Ю. Верещагиным несколько позднее (Верещагин, 1936). Поскольку вопрос о термической неоднородности Байкала по вертикали и разработка самой схемы вертикальной зональности его водных масс имеют огромное значение для правильного понимания многих вопросов гидрохимии этого озера, мы подробно рассмотрим этот вопрос в главе, посвященной вертикальной гидрохимической зональности Байкала. Здесь же укажем лишь, что Г. Ю. Верещагин различал в Байкале четыре глубинные зоны: альтернирующую, переннирующую, мезотермического максимума и придонную, подразделяя некоторые из них на ряд подзон. Разработанная Г. Ю. Верещагиным схема глубинных зон

Байкала подверглась критике со стороны Л. Л. Россолимо (1957), который, однако, воздержался от собственных конкретных построений, ограничившись лишь критическими замечаниями в адрес Г. Ю. Верещагина.

Изучение горизонтального распределения температуры по акватории озера вскрыло термическую неоднородность Байкала и поставило вопрос о температурном районировании этого озера. Не останавливаясь на истории данного вопроса, укажем, что наиболее полно вопрос о термической неоднородности Байкала рассмотрен на огромном фактическом материале в монографии Л. Л. Россолимо (1957). Цитируемый автор выделяет на Байкале три группы районов.

Первую группу составляют открытый Байкал, его прибрежная полоса и прибрежные мелководья. Их объединяет общее зональное расположение в озере. Различаются же они по степени удаления от берега и по рельефу дна.

Вторую группу составляют приустьевые районы крупных притоков Байкала и район истока р. Ангары. Для них характерна пространственная ограниченность, непосредственное влияние на термику речных вод и различия в динамике вод в предустьевых районах и приангарском участке Байкала.

Наконец, к третьей группе относятся заливы и соры Байкала. Общей чертой их является более или менее значительная обособленность от вод открытого озера, благодаря чему их температурный режим приближается к температурному режиму обычных сибирских озер.

Огромное влияние на температурный режим Байкала оказывает, конечно, динамика водных масс озера, в частности их перемещение под воздействием сгонно-нагонных явлений, под влиянием постоянных течений, а также внутренних волн. Полная неизученность этого вопроса не позволяет осветить его с желаемой глубиной. Можно лишь указать, что резкие изменения вертикального распределения температуры воды в Байкале, связанные с перемещениями его водных масс под воздействием различного рода причин,— явление обычное. Так, например, как уже говорилось выше, в период максимального прогрева вод (август — первая половина сентября) в результате сгонно-нагонных явлений, вызываемых ветрами северо-западного направления (горная), происходят частые нарушения температурной слоистости с полным исчезновением термоклина и падением температуры воды поверхностных слоев с 12—15° до 5—6° и даже ниже. По данным Г. Ю. Верещагина (1927 в) изменения температуры воды указывают на то, что ветровое перемешивание вод простирается до глубин 200 м и более.

Рассмотрим теперь температурный режим Байкала за период наших исследований, относящихся главным образом к району пос. Большие Коты.

Как уже было указано, наиболее значительные сезонные колебания температуры наблюдаются в Байкале только в поверхностных слоях воды, до глубины не выше 25—30 м, достигая 12—15°. Уже на глубине 50 м амплитуда сезонных колебаний температуры воды заметно уменьшается, не превышая, как правило, 4—6°. Исключение в период наших наблюдений составлял 1952 г., в котором амплитуда колебаний температуры воды на глубине 50 м в связи с более равномерным прогреванием вод озера в осенний период достигла почти 9°. На глубине 100 м сезонные изменения температуры воды не превышают 3°, а на глубине 250 м — 0,1—0,2°, т. е. практически отсутствуют (табл. 1).

Таким образом, для сравнительной характеристики температурного режима вод Байкала в отдельные годы наибольший интерес представляет верхняя 25—50-метровая зона глубин озера.

Таблица 1

Температура воды (в °С) открытого Байкала в районе пос. Большие Коты в 1,5—2 ,0 км от берега

Дата	Глубина, м					Дата	Глубина, м				
	0	25	50	100	250		0	25	50	100	250
1948 год						20.III	0,2	0,8	1,8	—	3,5
10.I	0,0	0,4	0,55	2,95	3,5	3.IV	0,1	0,9	1,6	—	3,5
29.I	0,0	0,6	0,6	1,1	3,5	13.IV	0,35	1,0	1,8	—	3,5
26.II	0,0	0,55	0,8	—	3,6	20.IV	0,7	1,2	1,3	—	3,5
18.III	0,0	0,6	1,2	2,55	3,6	2.V	1,0	1,3	1,35	—	3,55
4.IV	0,4	0,75	1,25	2,5	3,6	17.V	1,7	2,1	2,9	—	3,5
29.V	2,1	2,7	2,5	2,5	3,4	28.V	2,2	2,1	2,2	—	3,5
9.VI	2,7	3,3	3,2	2,8	3,4	12.VI	3,2	3,2	3,2	—	3,5
29.VI	4,5	4,2	3,9	3,9	3,7	22.VI	3,6	3,5	3,5	—	3,5
7.VII	5,8	4,1	4,1	3,9	3,9	4.VII	4,4	4,1	4,0	—	3,5
20.VII	8,1	5,15	4,6	4,1	3,8	14.VII	8,3	—	—	—	3,5
1.VIII	9,3	4,4	4,1	4,0	3,9	24.VII	9,9	8,2	5,2	—	3,6
19.VIII	9,2	6,1	3,8	3,8	—	5.VIII	14,8	13,0	3,5	—	3,5
25.VIII	12,8	10,3	6,0	4,2	3,7	2.IX	4,2	3,9	3,9	—	3,6
9.IX	10,6	10,1	9,7	5,3	3,9	21.X	6,2	4,2	3,9	—	3,7
17.IX	10,1	10,0	8,0	—	—	11.XI	3,8	3,8	3,8	—	3,8
3.X	9,8	9,1	8,5	4,1	4,0	9.XII	3,7	3,7	3,7	—	3,7
5.XI	3,8	—	3,8	—	—	**1952 год**					
30.XI	3,6	3,6	3,6	—	3,6	6.II	0,2	0,6	1,6	3,0	3,5
1949 год						22.II	0,2	0,5	1,5	2,7	3,5
24.I	0,2	0,7	2,3	3,7	—	12.III	0,7	0,8	1,3	3,2	3,6
28.II	0,1	0,7	1,8	3,5	3,8	24.III	0,6	1,4	2,0	2,9	3,4
21.III	0,6	1,5	1,5	3,2	3,6	20.IV	1,6	2,6	2,8	3,2	3,6
4.IV	1,3	1,4	1,5	3,15	3,55	17.V	2,2	2,3	2,4	2,7	3,6
11.IV	1,3	1,8	1,8	3,1	3,6	4.VI	3,4	3,2	3,2	3,2	3,6
18.IV	1,3	1,6	1,8	—	—	8.VII	7,8	5,7	5,2	4,8	3,9
27.IV	2,8	2,8	3,1	3,6	3,55	22.VII	12,7	5,7	4,6	4,0	3,8
10.V	2,9	2,8	2,8	3,25	3,55	1.VIII	9,8	6,4	4,8	4,3	3,8
23.V	3,45	3,5	3,5	3,45	3,5	3.IX	12,6	10,5	6,0	4,6	3,8
4.VI	4,0	3,8	3,8	3,7	3,7	18.IX	10,2	8,9	8,7	4,4	—
14.VI	5,2	—	—	3,9	3,8	4.X	10,6	10,2	10,0	5,0	3,8
25.VI	5,5	4,4	4,4	4,1	3,8	22.X	6,7	6,6	6,6	5,5	3,8
5.VII	7,2	6,6	6,5	6,0	3,7	17.XI	4,4	4,4	—	3,8	—
16.VII	10,6	5,8	4,8	4,25	3,8	**1953 год**					
27.VII	10,9	7,4	8,8	4,15	3,8	14.I	0,3	0,6	0,6	2,4	3,5
6.VIII	6,7	4,2	4,1	3,95	3,8(	20.I	0,2	0,4	0,8	2,9	3,5
17.VIII	9,6	5,7	5,0	4,2	3,8	29.I	0,4	0,6	0,7	2,7	3,5
1.IX	6,0	4,4	4,2	4,0	3,9	12.II	0,2	0,4	0,8	2,9	3,5
11.IX	9,1	8,6	8,5	4,8	3,9	24.II	0,2	0,4	0,7	2,8	3,5
20.IX	10,35	10,2	8,2	4,2	3,8	16.III	0,2	0,5	0,7	2,8	3,6
2.X	9,7	9,0	8,5	4,8	3,8	8.IV	0,1	0,5	0,7	2,7	3,5
13.X	—	—	—	—	3,8	14.IV	0,9	1,1	1,1	2,6	3,5
19.XI	4,5	4,6	4,6	4,2	3,8	24.IV	1,0	1,15	1,4	2,6	3,5
9.XII	3,0	3,2	3,3	—	3,7		1,7	1,7	1,8	2,8	3,5
1950 год						21.V	2,5	2,4	2,4	2,8	3,6
12.I	0,4	0,9	1,2	—	3,5	1.VI	3,5	3,5	3,45	3,45	3,6
13.II	0,2	0,7	1,5	—	3,7	20.VI					
9.III	0,2	0,8	1,4	—	3,7						

Таблица 1 (окончание)

Дата	Глубина м					Дата	Глубина, м				
	0	25	50	100	250		0	25	50	100	250
1.VII	4,0	3,8	3,8	3,8	3,7	15.VIII	12,3	5,2	4,6	4,15	3,7
14.VII	5,15	4,4	4,1	3,95	3,75	24.VIII	16,2	14,0	5,2	4,2	3,7
24.VII	9,6	4,5	4,2	4,0	3,6	3.IX	17,1	14,7	5,9	3,9	3,7
4.VIII	13,7	6,0	4,2	4,05	3,8	15.IX	16,6	14,0	5,1	4,3	3,7
13.VIII	16,2	13,7	4,6	4,2	3,7	2.X	11,0	10,8	5,1	4,3	3,7
21.VIII	8,4	4,5	4,2	4,0	3,7	16.X	8,9	8,6	8,1	5,3	3,9
1.IX	11,8	4,8	4,4	4,0	3,9	5.XI	3,9	3,8	3,8	3,7	3,7
17.IX	7,3	6,2	5,5	4,3	3,9	3.XII	3,6	4,0	4,5	5,4	—
28.IX	7,2	7,0	6,7	5,7	4,0						
7.X	8,2	8,2	5,5	4,6	3,2			1955 год			
22.X	7,2	7,2	7,2	5,7	3,6	12.I	0,0	0,6	1,6	2,7	3,6
25.X	7,2	7,0	6,2	—	—	22.I	0,2	0,6	2,0	3,0	3,6
13.XI	3,8	4,0	4,3	4,3	3,7	2.II	0,2	0,6	1,6	2,5	3,6
28.XI	3,6	3,6	3,7	3,7	—	23.II	0,2	0,7	1,4	2,6	3,4
11.XII	2,2	2,4	2,4	2,6	3,5	7.III	0,3	0,8	1,4	2,6	3,4
						17.III	0,9	0,7	1,3	2,5	3,5
	1954 год					28.III	0,5	0,8	1,3	2,7	3,7
3.I	0,5	0,6	1,5	2,5	3,5	6.IV	0,5	1,0	1,3	2,5	3,0
31.I	0,3	0,5	1,7	2,7	3,5	19.IV	1,0	1,2	2,0	2,7	3,0
11.II	0,3	0,5	1,7	2,7	3,5	29.IV	0,9	1,2	1,3	—	—
22.II	0,3	0,6	1,6	2,8	3,5	23.V	1,8	1,8	1,9	2,7	3,6
4.III	0,6	0,8	1,5	2,7	3,6	6.VI	3,2	2,8	2,8	2,8	3,6
15.III	0,7	0,8	1,4	2,6	3,6	16.VI	3,2	3,2	3,3	3,4	3,5
26.III	0,9	1,1	1,5	2,9	3,6	25.VI	3,7	3,6	3,6	3,6	3,6
12.IV	1,0	1,3	1,4	2,9	3,7	5.VII	6,4	4,0	3,9	3,8	3,7
21.IV	1,1	1,5	1,5	2,9	3,7	25.VII	8,9	6,6	4,6	4,0	3,6
22.V	3,2	2,8	2,8	3,4	3,5	4.VIII	10,7	6,2	4,8	4,3	3,8
25.V	3,3	3,2	3,2	3,0	3,6	15.VIII	9,6	4,6	4,5	3,9	3,7
4.VI	3,4	3,3	3,3	3,35	3,6	26.VIII	15,8	10,0	4,9	4,0	3,7
14.VI	3,6	3,4	3,4	3,6	3,6	6.IX	13,6	12,8	5,0	4,1	3,7
28.VI	5,6	4,1	4,1	4,0	3,6	13.IX	11,8	7,5	4,3	3,9	3,7
8.VII	7,8	5,0	4,55	4,3	3,8	25.IX	6,8	6,3	6,1	4,4	3,7
28.VII	9,7	9,4	6,5	3,9	3,8	10.XI	4,7	4,6	4,0	3,9	3,7

Как и следовало ожидать, температурный режим Байкала остается наиболее стабильным в подледный период (январь — апрель) и в период весенней гомотермии. В начале подледного периода температура воды в слое, непосредственно примыкающем к ледяному покрову, лежит в пределах 0,0—0,2°. На глубине 25 м она поднимается до 0,5—0,7°, на глубине 50 м — до 1,5° и, продолжая медленно возрастать, достигает на глубине 250 м 3,5—3,7°. С усилением солнечной радиации еще задолго до вскрытия Байкала от льда, обычно с апреля, а в некоторые годы даже с половины марта, температура поверхностных слоев воды начинает постепенно возрастать. Рост этот ограничивается первоначально лишь поверхностным слоем воды. Однако вскоре влияние солнечной инсоляции распространяется и на глубжележащие слои до глубины 25—50 м. К моменту вскрытия озера от льда температура подледного слоя воды в Байкале достигает обычно 1,0—1,6°, на глубине 25 м — около 1,5°.

После вскрытия озера от льда в результате усиления как термического, так и ветрового перемешивания водных масс, температура воды сначала возрастает очень медленно. Полная гомотермия во всем верхнем 250-метровом слое воды озера наступает обычно в конце июня при температуре 3,6—3,8°.

Летнее прогревание поверхностных слоев воды Байкала идет также относительно медленно. Максимума температура воды в открытом Байкале достигает в конце июля — августе, иногда в начале сентября. В годы наших наблюдений была отмечена следующая максимальная температура поверхностной воды:

25.VIII 1948 г.	12,8°C	13.VIII 1953 г.	16,2°C
27.VII 1949 г.	10,9 »	3.IX 1954 г.	17,1 »
5.VIII 1950 г.	14,8 »	26.VIII 1955 г.	15,8 »
22.VII 1952 г.	12,7 »		

Чаще всего время поверхностного температурного максимума совпадает с максимумом температур и в нижележащих слоях воды до глубины 25—50 м, хотя температуры на этих глубинах могут быть значительно более низкими. Более или менее равномерное прогревание верхней 25-метровой зоны происходит в конце августа — сентябре.

Сравнивая температурный режим верхних слоев воды Байкала в летний период по отдельным годам, видим значительные различия (табл. 2). Преже всего обращают на себя внимание низкие летние тем-

Таблица 2

Годовые суммы тепла вод Байкала в районе пос. Большие Коты в 1,5 км от берега в слое 0—250 м (в градусо-днях)

Годы	Глубина, м					Среднее для слоя	
	0	25	50	100	250	0—50	0—250
1948	1417	1366	1224	1281	1230	1335	1303
1949	1372	1407	1474	1439	1344	1417	1306
1950	1504	1440	1061	—	1203	1335	1327
1952	1721	1483	1436	1325	1332	1546	1458
1953	1464	1179	1092	1254	1299	1244	1258
1954	1864	1527	1262	1296	1204	1551	1430
1955	1749	1266	1112	1195	1292	1375	1323
Среднее за все годы	1584	1381	1237	1298	1270	1400	1343

пературы воды в 1948 г. Мало отличались от 1948 г. по суровости температурных условий 1949, 1950, 1953 и 1955 гг. Напротив, 1952 и, особенно, 1954 гг. были очень «теплыми».

Температурный режим периода осеннего охлаждения также несколько разнится по годам. Охлаждение вод озера в годы с продолжительной теплой осенью, как, например, в 1954 и 1955 гг., идет значительно медленнее, чем в годы с ранней холодной осенью. Большое влияние на температуру воды в Байкале в этот период оказывают ветры северного и северо-западного направлений («горные» ветры), дующие поперек Байкала. Они сгоняют поверхностные воды к восточным берегам озера, в результате чего вдоль западных берегов выступают холодные глубинные воды, распространяющиеся на значительные акватории озера. Это ведет к резкому охлаждению поверхностных слоев воды озера на про-

тяжении сравнительно короткого отрезка времени — 1—2 суток. Если в летний период влияние подобного охлаждения кратковременно, то осенью, напротив, оно нередко ведет к стабилизации низких температур.

Период осенней гомотермии в годы наших наблюдений отмечался чаще во второй половине ноября при температуре воды в слое 0—250 м около 3,6—3,8°.

Уже простое сопоставление данных по температурному режиму Байкала за ряд лет показывает, что наблюдаемые в отдельные годы различия в термике не могут не отражаться на общем тепловом балансе Байкала. Наиболее удобно это проследить по суммам тепла, выраженным, скажем, в числе градусо-дней.

В табл. 2 приведены соответствующие расчеты по годам. Общее число градусо-дней набиралось суммированием произведений средней температуры воды между двумя соседними температурными разрезами на число дней между ними.

Как видно из таблицы, общая среднегодовая сумма тепла, выраженная в градусо-днях, равняется в Байкале на поверхности 1584, на глубине 25 м — 1381, на глубине 50 м — 1237, на глубине 100 м — 1298 и на глубине 250 м — 1270 градусо-дням. Для слоя 0—50 м она составляет в среднем 1400 градусо-дней, для слоя 0—250 м — 1343 градусо-дня.

Легко видеть также, что суммы тепла байкальских вод как на отдельных горизонтах, так и во всех 50- и 250-метровом слое воды озера имеют значительные годовые различия. Наиболее резко различия эти проявляются в поверхностной воде озера, где амплитуда их годовых колебаний достигает почти 500 градусо-дней, а также на глубине 25 м — 348 градусо-дней. На глубине 100 м амплитуда годовых колебаний суммы тепла составляет уже 244 градусо-дня, а на глубине 250 м всего 141 градусо-день.

Указанные годовые различия температурного режима Байкала позволили М. М. Кожову (1955а и 1955б) выдвинуть гипотезу об определяющей роли температурного фактора в формировании планктонных комплексов Байкала. Рассмотрение этого вопроса выходит, однако, за пределы настоящей работы.

Суточные колебания температуры воды в подледный период, как показывают наши наблюдения, крайне незначительны. Судя по данным Т. В. Далматовой (1939), в открытом Байкале в подледный период суточные колебания температуры воды достигают 0,6—0,7° и ограничиваются лишь непосредственно прилегающими к ледяному покрову слоями воды (до глубины около 1 м, включая сюда толщину льда — 0,63 м). Глубже колебания температуры воды носят уже незакономерный характер. В литоральной зоне, по наблюдениям Е. М. Крохина (1939), амплитуда суточных колебаний температуры воды под льдом, напротив, выше у дна (глубина 3 м), нежели в подледном слое, что автор связывает с нагреванием дна литорали под действием солнечных лучей.

Вслед за вскрытием Байкала от льда суточные колебания температуры воды, видимо, быстро захватывают довольно мощный слой воды и к периоду весенней гомотермии проникают на глубину свыше 50 м. Судя по указаниям Г. Ю. Верещагина (1936), нижняя граница проникновения этого явления в периоды гомотермии может достигать глубины 70 и даже 100 м.

С началом прямой термической стратификации глубина проникновения суточного хода температуры резко падает, ограничиваясь в первой половине июля верхней 10-метровой толщей воды. Однако уже к концу этого месяца вследствие прогревания водных масс озера суточные изменения температуры воды захватывают слои воды до глубины свыше 50 м и наблюдаются в указанной зоне весь август и сентябрь.

Амплитуда суточных колебаний температуры воды открытого Байкала различна на разных глубинах и в разные сезоны года. Для иллюстрации амплитуды суточных колебаний температуры воды, а также глубины проникновения суточного хода приведем некоторые данные своих наблюдений в табл. 3.

Таблица 3

Амплитуда суточных колебаний температуры воды в 1948 г. (в °С)

Дата	Глубина, м				
	0	5	10	25	50
4—5. IV	0,2	0,2	0,2	0,0	0,0
9—10.VI	2,0	1,6	1,4	0,3	0,3
10—11.VII	5,2	2,7	1,1	0,0	0,0
26—27.VII	3,0	1,0	1,8	2,2	2,5
19—20.VIII	2,6	1,8	1,7	0,4	0,1
9—10.IX	1,8	1,7	1,8	1,6	1,0

С октября, в связи с осенним охлаждением вод озера, начинающимся еще в сентябре, и усилением ветровой деятельности амплитуда суточных колебаний температуры воды уменьшается.

Не останавливаясь подробно на термическом режиме литоральной зоны Байкала, укажем только, что ее термический режим отличается от режима открытого Байкала более резкими как сезонными, так и суточными колебаниями температуры воды. Эти различия обусловлены, с одной стороны, лучшей прогреваемостью вод литорали по сравнению с водами открытого озера, с другой — более резким влиянием ветрового перемешивания ее вод и интенсивным водообменом вод литорали с водами открытого озера.

Глава III

ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКОВ, ВЫПАДАЮЩИХ НА ПОВЕРХНОСТЬ БАЙКАЛА

Водные массы Байкала формируются в основном за счет вод притоков этого озера и вод атмосферных осадков, выпадающих на его поверхность. Поэтому для глубокого понимания гидрохимии Байкала и вскрытия основных закономерностей миграции отдельных химических элементов в его водах и их геохимической и биогеохимической роли в озере изучение химизма питающих Байкал вод притоков и атмосферных осадков является совершенно обязательным.

Атмосферные осадки играют весьма существенную роль в водном балансе Байкала. По данным Г. Ю. Верещагина (1947), их годовой дебет составляет 17,7% от общего годового водного стока в Байкал. Близкую величину — 16,5% — получаем и из данных по водному стоку в Байкал, приводимых в работе Н. И. Соколова (1952). Понятно, что пренебрежение изучением химизма вод атмосферных осадков — столь мощного компонента водного баланса Байкала — было бы совершенно неправильным. Велико и общенаучное значение изучения химического состава вод атмосферных осадков, выпадающих в районе Байкала, в связи с полным отсутствием таких данных для Восточной Сибири в целом. В связи с этим, начиная с 1951 г., нами было начато изучение химического состава вод атмосферных осадков в районе стационарных наблюдений (пос. Большие Коты). Результаты исследований, проведенных в 1951—1953 гг., были кратко изложены ранее (Вотинцев, 1954). Материалы же исследований 1954—1955 гг. приводятся впервые в настоящей работе.

Если в 1951—1953 гг. исследования химизма вод атмосферных осадков проводились эпизодически, попутно с другими работами, то в 1954—1955 гг. удалось организовать отбор проб почти всех атмосферных осадков, выпавших за период с 3 июня 1954 г. по 11 августа 1955 г. в районе пос. Большие Коты. Систематический отбор проб позволяет характеризовать химический состав вод атмосферных осадков на протяжении всего года, что делает эти данные более достоверными. Кроме того, обстоятельство это позволяет установить некоторые особенности химизма вод атмосферных осадков Прибайкалья, зависящие от характера осадков и продолжительности их выпадения, и вскрыть некоторые интересные экстремные случаи. В настоящей работе мы, однако, остановимся лишь на тех вопросах химизма вод атмосферных осадков Прибайкалья, которые непосредственно связаны с проблемой гидрохимии Байкала, так как всестороннее освещение этого вопроса выходит за пределы рассматриваемой нами проблемы.

За период исследований с 1951 по 1955 г. было отобрано и проанализировано 25 проб дождевых вод, 11 проб снега и 2 пробы изморози. Дождевая вода собиралась непосредственно в большие алюминиевые тазы, выставляемые под дождь, снег — в хорошо пропаренные и выщелоченные водой широкогорлые склянки. До анализа пробы хранились не более 2—3 суток в хорошо пропаренных и выщелоченных водой склянках. Анализы выполнялись по обычной методике, подробно изложенной ниже (глава VI). Определение основных компонентов солевого состава вод атмосферных осадков — кальция, магния, сульфатов и хлоридов — проводилось по возможности из больших объемов воды — до 0,5—2,0 л на одно определение после упаривания воды до небольшого объема. Сумма щелочных металлов вычислялась по разности между суммами анионов и катионов и дана в миллиграммах на литр натрия.

Так как химический состав воды атмосферных осадков тесно связан с характером и продолжительностью их выпадения, а также с другими внешними факторами, ниже приводим краткую характеристику всех исследованных проб.

ПРОБЫ ДОЖДЯ

1951 год. 14.VIII — сильный продолжительный дождь; проба отобрана на второй день ненастья. 27.VIII — кратковременный полуторачасовой дождь после длительного периода ясной сухой погоды.

1953 год. 18.VII — кратковременный ливневый дождь с грозой. 9.IX — 4-часовой мелкий дождь

1954 год. 3.VI — 2—3-часовой дождь средней силы после 15-суточной ясной сухой погоды; период дождя совпал с развертыванием древесной листвы и массовым цветением рододендрона. 20.VI — 3-часовой грозовой дождь; до этого с 3.VI — сухая погода; проба содержит массу пыльцы хвойных. 29.VI — грозовой дождь; вода очень мутная, содержит массу пыльцы хвойных и какие-то пылеватые частицы. 30.VI — длительный мелкий дождь шел с вечера 29 июня до вечера 30 июня. 7.VII — небольшой ночной дождь 12—14.VII — грозовой дождь, перешедший в длительное трехсуточное ненастье; пробы отобраны в период грозы в конце первых и конце вторых суток ненастья. 26.VII — 4—5-часовой дождь временами ливневого характера. 8.VIII — грозовой дождь в течение 4—5 час. 8.VIII — грозовой дождь в течение 4—5 час. 14.VIII — мелкий продолжительный дождь. 5.IX — кратковременный дождь грозового характера (гроза прошла стороной). 14.IX — дождь со снегом продолжительностью около 4 час. 21.IX — продолжительный временами перемежающийся дождь.

1955 год. 24.IV — первый грозовой дождь ливневого характера. 17—18.V — продолжительный дождь шел с ночи на 17 мая до вечера 18 мая; до этого был длительный период сухой погоды с сильным лесным пожаром 13 и 14 мая в 3—5 км от места исследований. 15.VI — затяжной суточный дождь небольшой силы. 19.VI — кратковременный дождь; проба содержит большое количество пыльцы хвойных I.VIII — грозовой двухчасовой дождь. 11.VIII — тихое двухсуточное ненастье; проба отобрана на второй день ненастья.

ПРОБЫ СНЕГА

1951 год. 14.XI — продолжительный снегопад; для анализа взят верхний слой в 2—3 см. 29.XI и 9.XII — кратковременные снегопады; для анализов отобраны поверхностные пробы снега.

1952 год. 12.I — суточный снегопад; проба собиралась на фанерном щите в период всего снегопада.

1954 год. 24.XI — небольшой ночной снегопад; проба собиралась на фанерном щите. 8.XII — небольшой снегопад в течение нескольких часов. 14.XII — суточный снегопад; глубина выпавшего снега 7—8 см.

1955 год. 14.I и 25.II — небольшие снегопады; глубина выпавшего снега равнялась 3—4 см. 11—12.IV — продолжительный снегопад; глубина выпавшего снега около 9 см. 22.IV — снегопад в течение всего дня с небольшими перерывами; снег очень грязный; после таяния по стенкам сосуда осело много сажи.

ПРОБЫ ИЗМОРОЗИ

1952 год. 29.I — изморозь выпала за предшествующую ночь на поверхность чистого ледяного покрова озера в форме крупных (до 1—1,5 см в поперечнике) кристаллов.

1954 год. 22.I — изморозь выпала в прибрежном районе озера в ночь на день отбора пробы на чистую ледовую поверхность; кристаллы крупные, хорошо отделяющиеся от льда.

Необходимо отметить, что все пробы атмосферных осадков, отобранные нами в 1951—1955 гг., исключая пробы изморози, отличались значительной мутностью. Происхождение этой мути сейчас не совсем ясно. В летние периоды она представляет собой, вероятно, взвесь мельчайших минеральных частиц эолового происхождения. Кроме

частиц минерального происхождения летом в части проб, как указано выше, было обнаружено очень много пыльцы различных растений, преимущественно хвойных. Что же касается зимы, то в это время присутствие пылевых частиц совершенно неожиданно и не находит пока объяснения.

Наличие взвешенных частиц побудило нас вести анализы после предварительного фильтрования проб. Определение перманганатной и бихроматной окисляемости проводили в нефильтрованных образцах.

Как показывают данные анализов (табл. 4), по своему химическому составу воды атмосферных осадков, выпадающие в районе наших исследований, относятся к гидрокарбонатно-кальциевым водам. В среднем в дождевых водах на долю гидрокарбонатов приходится 38,3% от общей суммы эквивалентов ионов, на долю кальция — 40,5% экв. ионов. В снеговых водах на указанные компоненты приходится, соответственно, 38,3% и 40,8% экв. ионов. На долю всех прочих компонентов основного солевого состава вод атмосферных осадков Прибайкалья приходится немногим более 20% экв. ионов (табл. 5).

Общая минерализация воды атмосферных осадков изучаемого района, выражаемая суммой ионов главнейших компонентов солевого состава, крайне незначительна и лежит в пределах 7—10 мг/л. При этом минерализация дождевых вод в среднем несколько выше минерализации снеговых вод (см. табл. 4, 5).

Сравнивая величины общей минерализации воды атмосферных осадков, выпадающих в исследуемом районе, а также содержание в них отдельных компонентов с таковыми в атмосферных осадках, выпадающих в других областях Советского Союза (Бурксер и Федорова, 1954; Максимович, 1955), видим, что Прибайкалье относится к числу районов с наименее минерализованными водами атмосферных осадков. Нам кажется, что столь низкая общая минерализация вод атмосферных осадков Прибайкалья объясняется огромной удаленностью этого района от морских побережий и его малой населенностью. Формирование осадков происходит здесь непосредственно над континентальными пространствами, в большинстве своем над зоной тайги с очень чистым воздухом. Загрязнение же атмосферных осадков продуктами индустриальной деятельности человека ничтожно мало и территориально ограничивается районами городов.

Содержание соединений биогенных элементов в водах атмосферных осадков Прибайкалья обычно также крайне незначительно. Минимальные величины содержания этих компонентов наблюдаются в зимний период, максимальные — летом. В среднем дождевые воды содержат в 5 раз больше аммиачного азота, в 2 раза больше нитратного азота и в 2,5 раза больше фосфатного фосфора, нежели снеговые воды. Особенно резко возрастает содержание соединений азота в грозовых дождях. Так, например, 29 июня 1954 г. грозовой дождь содержал 0,41 мг/л аммиачного и 0,052 мг/л нитратного азота.

Весьма интересны данные по содержанию фосфатного фосфора. Обычно фосфатный фосфор содержится в водах атмосферных осадков в количествах от 0,002 до 0,010 мг/л. Однако в отдельных случаях дождевые воды содержат его уже до 0,040—0,080 мг/л. Рассматривая общую метеорологическую обстановку, сопутствующую выпадению осадков с повышенным содержанием фосфатного фосфора, было замечено, что все эти пробы относятся к дождям, выпавшим после длительной сухой погоды. Отсюда можно предположить, что в периоды ясной сухой погоды в воздушных массах района исследований происходит накопление частиц фосфорсодержащих минералов, которые, растворяясь, обогащают дождевые воды фосфатным фосфором. В пользу такого предположения говорит также резкое повышение содержания кремния в тех же пробах дождевых вод.

Таблица 4

Химический состав вод атмосферных осадков Прибайкалья (в мг/л)

Дата	HCO_3'	Cl'	SO_4''	$Ca^{\cdot\cdot}$	$Mg^{\cdot\cdot}$	$Na^{\cdot}+K^{\cdot}$	N (аммиачный)	N (нитратный)	P (фосфатный)	Si	Окисляемость		
											перманганатная		бихроматная
											кислая	нейтральная	
Дождевые воды													
1951 г.													
14.VIII	5,87	0,3	0,8	2,1	0,1	Нет	0,03	0,009	Следы	0,149	2,09	—	2,68
27.VIII	4,88	0,3	0,7	1,8	0,1	0,1	0,04	—	—	0,149	2,72	—	3,66
1953 г.													
18.VII	4,88	0,2	0,6	1,6	0,1	0,2	0,14	0,016	0,007	0,084	1,28	0,46	2,06
9.IX	5,36	0,3	—	1,8	0,1	—	0,04	0,007	0,008	0,121	1,21	0,54	2,17
1954 г.													
3 VI	6,83	0,4	0,9	2,1	0,1	0,5	—	0,010	0,042	0,424	3,69	1,60	6,16
20.VI	7,32	0,4	1,1	2,2	0,2	0,7	0,34	0,038	0,007	0,286	13,00	4,85	24,79
29.VI	—	—	—	—	—	—	0,41	0,052	0,005	0,224	10,63	6,18	19,80
30.VI	5,37	0,3	1,0	2,1	0,1	0,1	0,11	0,008	0,002	0,260	2,88	1,43	3,51
7.VII	5,61	0,4	1,0	2,2	0,1	0,1	—	0,010	0,005	0,228	2,14	1,65	2,48
12.VII	7,34	0,3	1,2	2,0	0,1	1,0	0,36	0,020	0,007	0,167	1,92	1,25	2,59
13.VII	5,37	0,3	0,9	1,6	0,1	0,6	0,09	0,001	0,008	0,167	1,20	0,95	1,23
14.VII	5,37	0,3	0,9	1,6	0,1	0,6	0,09	0,008	0,008	0,167	1,20	0,90	1,30
26.VII	6,84	0,4	1,0	1,9	0,1	0,9	—	0,008	0,020	0,300	2,12	0,93	3,08
8.VIII	5,04	0,4	1,0	2,1	0,1	0,1	—	0,016	0,003	0,146	2,21	1,77	2,86
14.VIII	5,28	0,4	1,1	2,1	0,1	0,1	0,09	0,012	0,005	0,167	2,00	1,46	2,90
5.IX	6,17	0,3	0,9	2,0	0,2	0,3	—	0,010	0,010	0,256	2,10	1,10	3,10
14.IX	5,83	0,3	1,0	2,2	0,1	0,1	—	0,008	0,007	0,215	1,92	1,14	2,67
21.IX	6,72	0,4	1,0	2,0	0,1	0,8	—	0,008	0,007	0,245	—	—	—
1955 г.													
24.IV	3,42	0,1	0,8	1,8	0,1	0,0	—	0,040	0,040	0,584	1,84	0,86	2,00
17.V	5,61	0,3	1,6	2,3	0,1	0,1	—	0,024	0,045	0,326	4,09	—	5,40
18.V	7,32	0,3	1,4	2,3	0,1	0,7	—	0,020	0,040	0,356	3,87	—	5,40

Таблица 4 (окончание)

Дата	$HCO_3^{'}$	$Cl^{'}$	$SO_4^{''}$	$Ca^{\cdot\cdot}$	$Mg^{\cdot\cdot}$	$Na^{\cdot}+K^{\cdot}$	N (аммиачный)	N (нитратный)	P (фосфатный)	Si	Окисляемость		
											перманганатная		бихроматная
											кислая	нейтральные	
1955 г.													
15.VI	5,37	0,3	1,3	2,3	0,2	0,0	—	0,012	0,003	0,160	1,15	0,46	2,33
19.VI	4,88	0,4	1,3	2,3	0,1	0,0	—	0,020	0,007	0,124	2,48	0,92	5,02
1.VIII	6,83	0,2	1,1	2,4	0,2	0,1	—	0,014	0,080	0,110	2,97	—	8,61
11.VIII	5,30	0,3	1,1	2,3	0,1	0,0	—	0,014	0,020	0,340	1,30	0,64	3,00
Снеговые воды													
1951 г.													
14.XI	4,39	0,2	0,7	1,7	0,1	Нет	0,02	0,009	0,007	0,098	2,52	1,11	3,05
28.XI	4,88	0,2	0,6	1,7	0,1	0,1	0,02	0,005	0,005	0,112	2,14	0,97	3,00
9.XII	5,86	0,2	0,6	1,7	0,1	0,1	0,07	0,007	0,010	0,121	1,75	0,84	2,40
1952 г.													
12.I	5,90	0,2	0,6	1,7	—	—	0,02	0,005	0,005	0,075	1,80	0,86	2,47
1954 г.													
24.XI	5,96	0,3	1,1	2,0	0,1	0,5	—	0,010	0,007	0,184	2,75	1,87	3,70
8.XII	5,38	0,3	1,0	2,0	0,1	0,2	—	0,012	0,008	0,160	3,01	1,89	4,08
14.XII	4,90	0,3	1,1	2,0	0,1	0,1	—	0,014	0,007	0,160	2,37	1,08	3,06
1955 г.													
14.I	4,88	0,3	1,1	2,1	0,1	0,0	—	0,008	0,007	0,240	3,42	2,17	—
25.II	7,08	0,4	1,4	2,3	0,2	0,6	—	0,010	0,007	0,240	2,32	1,36	—
11—12.IV.	5,12	0,3	1,2	2,2	0,1	0,0	—	0,014		0,220	2,64	1,16	3,96
22.IV	5,12	0,3	1,4	2,2	0,1	0,0	—	0,008	0,003	0,180	2,48	1,32	2,60
Изморозь													
1953 г.													
29.I	4,24	—	—	1,1	—	—	0,00	0,003	Следы	0,030	0,87	0,40	1,29
1954 г.													
22.I	4,16	0,2	0,4	1,1	0,1	0,1	—	0,002	0,002	0,032	0,98	0,46	1,34

Таблица 5

Средний химический состав воды атмосферных осадков Прибайкалья

Ингредиент	Дождевая вода			Снеговая вода			Все атмосферные осадки		
	мг/л	мг-экв	% экв	мг/л	мг-экв	% экв	мг/л	мг-экв	% экв
$Ca^{\cdot\cdot}$	2,0	0,100	40,5	1,9	0,095	40,8	1,97	0,098	40,6
$Mg^{\cdot\cdot}$	0,1	0,008	3,2	0,1	0,008	3,4	0,10	0,008	3,3
$Na^{\cdot} + K^{\cdot}$	0,4	0,016	6,4	0,3	0,014	6,0	0,37	0,016	6,3
$HCO_3^{\prime}$	5,8	0,095	38,3	5,5	0,090	38,3	5,68	0,093	38,2
$SO_4^{\prime\prime}$	1,0	0,021	8,4	0,9	0,019	8,1	0,97	0,020	8,3
$Cl^{\prime}$	0,3	0,008	3,2	0,3	0,008	3,4	0,30	0,008	3,3
N (аммиачный)	0,16	—	—	0,03	—	—	0,12	—	—
N (нитратный)	0,017	—	—	0,009	—	—	0,014	—	—
P (фосфатный)	0,017	—	—	0,007	—	—	0,014	—	—
Si	0,226	—	—	0,154	—	—	0,204	—	—
Окисляемость									
перманганатная	2,60	—	—	2,45	—	—	2,55	—	—
бихроматная	3,53	—	—	3,11	—	—	3,40	—	—
Органическое вещество	2,64	—	—	2,33	—	—	2,54	—	—

Содержание органического вещества в водах атмосферных осадков весьма значительно. В среднем кислая перманганатная окисляемость дождевых вод составляет 2,60 мг/л кислорода, снеговых — 2,45 мг/л кислорода, бихроматная, соответственно,— 3,53 и 3,11 мг/л кислорода. В отдельных случаях наблюдалась исключительно высокая окисляемость дождевых вод. Так, 20 июня 1954 г. кислая перманганатная окисляемость дождевой воды достигала 13,00 мг/л кислорода, а бихроматная — 24,79 мг/л кислорода. 29 июня 1954 г. величины окисляемости были соответственно равны 10,63 и 19,80 мг/л кислорода. В обоих случаях пробы содержали массу пыльцы хвойных. Значительное количество пыльцы различных растений было отмечено и в других пробах дождевых вод с повышенной окисляемостью. Зимой пробы с повышенной окисляемостью воды всегда содержали значительное количество дымовых частиц (сажи). Вероятно, постоянно наблюдаемое высокое содержание органического вещества в водах атмосферных осадков Прибайкалья объясняется в летний период влиянием тайги. Воздух в районе наших исследований постоянно содержит различные летучие органические вещества, выделяемые растениями (эфирные масла, смолистые вещества и пр.), а в некоторые моменты времени еще — массу пыльцы различных растений, преимущественно хвойных. Зимой, особенно в периоды длительных снегопадов, атмосферные осадки, выпадающие в районе пос. Большие Коты, обогащаются «органикой» за счет г. Иркутска, так как основной фронт осадков идет с северо-запада как раз через Иркутск.

Как показывают величины отношений кислорода нейтральной перманганатной окисляемости к кислороду кислой перманганатной окисляемости, а также отношения кислорода кислой перманганатной окисляемости к кислороду окисляемости бихроматной, значительная доля органического вещества вод атмосферных осадков представлена нестойкими к окислению соединениями. Действительно, отношение кислорода нейтральной перманганатной окисляемости к кислороду кислой перманга-

натной окисляемости лежит в пределах 36—80%, а в среднем составляет около 55%; отношение же кислорода кислой перманганатной окисляемости к кислороду окисляемости бихроматной колеблется от 52 до 97%, а в среднем равно 72%.

Таблица 6

Годовые количества отдельных компонентов, вносимые в Байкал с водами атмосферных осадков

Ингредиент	Содержание компонентов		
	на поверхность всего озера, тыс. т	на 1 км² поверхности озера, кг	в % от годового химического стока в озеро
$Ca^{\cdot\cdot}$	18,77	586	1,9
$Mg^{\cdot\cdot}$	0,94	29	0,4
$Na^{\cdot} + K^{\cdot}$	3,57	113	1,4
$HCO_3^{\prime}$	53,28	1691	1,4
$SO_4^{\prime\prime}$	9,09	288	0,2
$Cl^{\prime}$	2,81	89	3,1
N (аммиачный)	1,12	35	—
N (нитратный)	0,13	4	—
P (фосфатный)	0,13	4	—
Si	1,91	60	0,9
Органическое вещество	32,92	74	1045

Общие количества отдельных компонентов, вносимые в Байкал с водами атмосферных осадков, выпадающих на поверхность озера в течение года, представлены в табл. 6. Здесь же даны количества отдельных компонентов, приходящихся на 1 км² поверхности озера.

При вычислении общего количества солей, вносимых в Байкал с водами атмосферных осадков, дебет последних принят равным 9,38 км³/год (по Соколову, 1952).

Глава IV

ГИДРОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПРИТОКОВ БАЙКАЛА

Как уже указывалось, воды притоков играют исключительно важную роль в формировании химического состава воды Байкала. В приходной части водного баланса Байкала они составляют свыше 80%. Что же касается химического стока в озеро, то не будет ошибкой сказать, что последний почти целиком определяется химическим стоком притоков, так как роль атмосферных осадков в общем химическом стоке в озеро незначительна.

Как известно, в Байкал впадает 336 рек, речек и ручьев. Крупнейшим притоком Байкала является р. Селенга. Годовой водный сток ее по данным Гидрологических ежегодников (1936—1956) составляет в среднем около 50% от общего поверхностного стока в озеро. Вторым по величине притоком Байкала является р. Верхняя Ангара, годовой сток которой составляет в среднем 13—14%. Далее следует р. Баргузин со стоком 9%. Из остальных притоков Байкала наиболее крупными являются рр. Турка, Тыя, Голоустная, Бугульдейка, Кичера и др. Прочие притоки в большинстве представляют собой мелкие горные речки и ручьи с небольшим дебетом. Годовой водный сток всех малых притоков составляет в среднем около 25% от общего речного стока в озеро.

Хотя изучением химизма воды притоков Байкала занимались многие исследователи, гидрохимический облик их в настоящее время не может считаться выявленным достаточно подробно. Наиболее полные опубликованные данные по сезонным изменениям ионного состава воды имеются для рр. Селенги и Баргузина, а также нескольких малых притоков Байкала — рр. Голоустной, Тыи, Снежной, Хара-Мурина, Утулика и некоторых других, наблюдения за которым ведутся силами Управления Гидрометслужбы и Байкальской лимнологической станции АН СССР. Газовый режим в сезонном аспекте изучен только для Селенги (Верещагин и Сидорычев, 1929; Гидрологический ежегодник, 1956), р. Большой (Бочкарев, Щепетунин, Вотинцев, 1938) и нескольких мелких ручьев западного побережья. Сведения о химизме вод и гидрохимическом режиме такого крупного притока Байкала, как р. Верхняя Ангара, очень малочисленны и страдают пробелами во времени и неполнотой анализов. Что же касается остальных притоков озера, то в литературе опубликованы данные о химическом составе воды около ста притоков, ограничивающиеся в большинстве случаев единичными анализами. Сведения о химизме вод прочих притоков Байкала (числом свыше 200) в опубликованной литературе отсутствуют. Некоторые данные по химизму воды этих притоков имеются в фондах Байкальской лимнологической станции АН СССР (А. П. Толмачева, 1954). В настоящей работе эти

материалы не приводятся, так как обработку и опубликование их предполагается завершить в отдельной работе. Исключение составляет лишь некоторая часть этих данных, опубликованная в Гидрологических ежегодниках.

По своему химическому составу воды всех притоков Байкала относятся к карбонатному классу с минерализацией до 300 мг/л (Алекин, 1948). Т. Б. Форш (1931) делит их на две группы: притоки с повышенной по сравнению с Байкалом минерализацией воды и притоки с равной или даже меньшей минерализацией. В качестве основных ингредиентов ионного состава вод притоков Т. Б. Форш принимает ионы гидрокарбонатов, кальция и магния. При этом оказывается, что притоки западного побережья озера, начиная от р. Онгурен на севере и кончая юго-западной оконечностью озера с перерывами от р. Большие Коты до р. Маритуйки, обладают повышенным по сравнению с Байкалом содержанием указанных компонентов. Притоки южного и восточного побережий озера до р. Фролихи включительно несут менее минерализованные воды. Наконец, воды притоков северной оконечности озера по своей минерализации близки к воде Байкала.

Необходимо оговориться, что крупные притоки Байкала — рр. Селенга, Верхняя Ангара и Баргузин — не включены в данную схему, так как химизм их вод определяется огромными водосборными площадями и не отражает влияния лишь местных геологических условий, как в случае малых протоков, формирование вод которых проходит в непосредственно прилегающих к Байкалу районах.

Перейдем теперь к рассмотрению химического состава воды и гидрохимического режима главнейших притоков Байкала — рр. Селенги, Верхней Ангары и Баргузина, а также некоторых наиболее типичных малых притоков.

1. РЕКА СЕЛЕНГА

Река Селенга впадает в Байкал на восточном побережье, собирая свои воды в степных и отчасти таежных районах Забайкалья и Северной Монголии. Длина реки около 1400 км, площадь ее бассейна 456 000 км^2. При впадении в озеро р. Селенга образует обширную заболоченную дельту с массой проток, стариц и озер.

Воды р. Селенги по своему химическому составу относятся к карбонатно-кальциевым. Общая минерализация их в нижнем течении реки большую часть года лежит в пределах 150—200 мг/л. Лишь в период весеннего паводка она опускается до 90—100 мг/л. Таким образом, Селенга несет воды, в целом несколько более минерализованные, чем воды Байкала.

Содержание основных ионов в водах Селенги в различные сезоны года лежит в пределах: кальций — 15—40 мг/л, магний — 2,5—8,5 мг/л, сумма натрия и калия в миллиграммах на литр натрия — 4—13 мг/л, гидрокарбонаты — 70—150 мг/л, сульфаты — 5—13 мг/л и хлориды — 0,3—4,0 мг/л. В водах Селенги по сравнению с водами Байкала значительно повышено содержание кремния и общего железа, а также содержание органического вещества, судя по величинам перманганатной окисляемости воды. В табл. 7 приведены среднегодовые величины содержания отдельных компонентов в водах Селенги в районе разъезда Мостового (112 км от устья реки), вычисленные по среднегодовым величинам химического стока реки за 1943, 1944 и 1951 гг.

Сезонные изменения содержания основных ионов в водах Селенги вполне закономерны и хорошо согласуются как с величинами расходов воды (Q) в реке, так и с климатическими и метеорологическими факторами (рис. 1, табл. 8).

После летнего паводка, т. е. обычно с августа, содержание основных ионов в водах р. Селенги начинает возрастать. Этот рост продолжается в течение всей осени и части зимы. К январю — февралю минерализация

Таблица 7

Среднегодовые величины содержания компонентов в водах р. Селенги (в мг/л)

HCO_3'	SO_4''	Cl'	$Ca^{\cdot\cdot}$	$Mg^{\cdot\cdot}$	$Na^{\cdot}+K^{\cdot}$	Si	$Fe_{общ}$	Окисляемость	Сумма ионов
98,7	6,4	2,3	22,3	5,4	6,1	4,8	0,28	4,0	141,2

воды достигает годового максимума. В январе — марте в некоторые годы, например в 1951 г., наблюдается стабилизация общей минерализации воды; в другие годы, например в 1945 г., напротив, вскоре после ледостава начинается постепенное падение содержания солей.

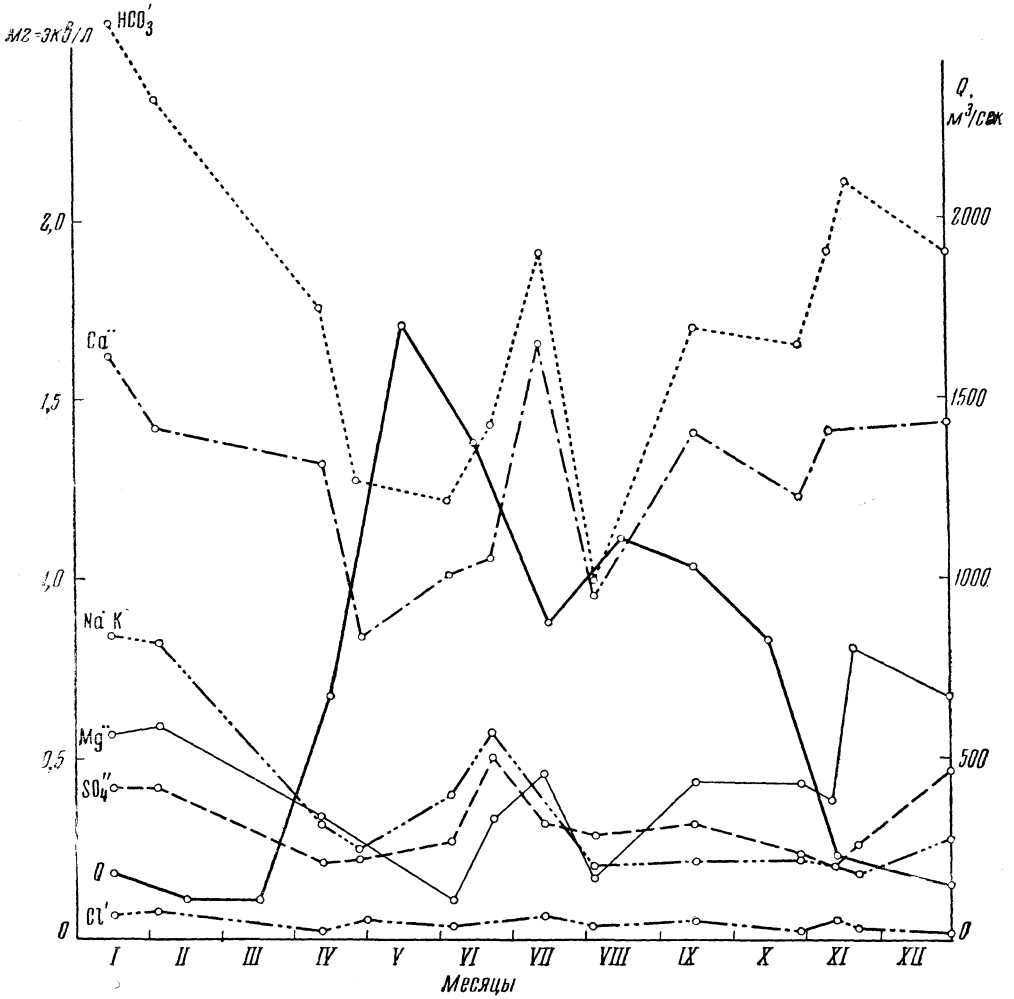


Рис. 1. Сезонные изменения содержания компонентов и расходы воды в р. Селенге (1944 г.).

Таблица 8

Сезонные изменения химического состава воды р. Селенги (по данным Гидрологического ежегодника)

Дата	$Ca^{\cdot\cdot}$		$Mg^{\cdot\cdot}$		$Na^{\cdot}+K^{\cdot}$		$HCO_3^{\prime}$		$SO_4^{\prime\prime}$		$Cl^{\prime}$		Si	Окисляемость
	мг/л	% экв.	мг/л	% экв.	мг/л	% экв.	мг/л	% экв.	мг/л	% экв.	мг/л	% экв.	мг/л	мг/л
1943 год														
22.IV	20,0	34,7	5,2	14,9	0,2	0,4	76,1	43,4	5,7	4,2	2,6	2,4	8,0	—
30.IV	22,8	31,3	8,0	18,1	0,5	0,6	95,2	42,9	7,5	4,4	3,5	2,7	7,3	—
11.VI	29,5	38,3	5,5	11,7	0,0	0,0	106,8	45,6	3,9	2,1	3,0	2,3	8,0	—
27.VI	22,1	36,2	4,9	13,2	0,5	0,6	82,4	44,4	4,7	3,3	2,4	2,3	8,0	—
13.VII	25,4	34,0	7,0	15,5	0,5	0,5	99,5	43,6	6,7	3,7	3,6	2,7	8,0	—
28.VIII	24,2	31,0	9,0	19,0	0,0	0,0	100,4	43,2	6,6	3,7	4,1	3,1	8,0	—
18.IX	24,7	23,8	6,8	10,9	18,2	15,3	120,2	38,2	19,6	7,9	7,2	3,9	4,4	—
30.IX	20,9	24,0	4,4	8,3	17,9	17,7	120,8	45,6	5,0	2,3	3,3	2,1	4,6	—
24.X	23,7	25,0	4,1	7,2	19,3	17,8	120,5	42,0	8,6	3,8	7,2	4,2	4,8	—
3.XI	27,3	20,7	**3,9**	4,9	38,2	24,4	120,5	29,6	11,4	3,6	39,6		4,8	—
13.XI	31,2	29,9	**3,3**	5,2	18,0	14,9	140,8	44,2	6,8	2,7	5,7	3,1	7,6	—
17.XII	27,5	26,2	4,6	7,3	19,5	16,5	142,8	44,8	6,8	2,7	4,6	2,5	4,8	—
29.XII	31,4	30,1	2,7	4,2	19,0	15,7	140,7	44,2	7,8	3,1	5,0	2,6	4,8	—
1944 год														
15 I	32,4	26,7	6,9	9,4	19,3	13,9	155,6	42,1	20,4	6,9	2,2	1,0	—	—
2 II	28,4	25,1	7,2	10,4	19,1	14,5	142,7	41,4	20,0	7,4	2,4	1,2	—	—
12 IV	26,4	33,3	4,2	8,6	7,4	8,1	107,0	44,2	10,1	5,3	0,8	0,5	—	—
29 IV	16,8	27,1	5,6	14,8	5,7	8,1	77,5	41,0	11,2	7,4	1,9	1,6	—	—
4 VI	20,2	33,2	1,3	3,6	8,6	13,2	74,4	40,1	12,8	8,9	1,1	1,0	—	—
20 VI	21,2	26,8	4,1	8,6	13,3	14,6	87,2	36,1	24,5	12,9	1,3	1,0	—	—
9 VII	33,1	—	—	—	—	—	116,5	—	15,4	—	2,0	—	—	—

Таблица 8 (окончание)

Дата	$Ca^{\cdot\cdot}$		$Mg^{\cdot\cdot}$		$Na^{\cdot}+K^{\cdot}$		$HCO_3^{\prime}$		$SO_4^{\prime\prime}$		$Cl^{\prime}$		Si	Окисляемость
	мг/л	% экв.	мг/л	% экв.	мг/л	% экв.	мг/л	% экв.	мг/л	% экв.	мг/л	% экв.	мг/л	мг/л
2VIII	19,0	32,1	2,1	5,7	4,6	12,2	60,2	38,9	13,8	9,8	1,3	1,3	—	—
15 IX	28,2	34,1	5,4	10,6	5,0	5,3	103,7	41,1	15,3	7,7	1,8	1,2	—	—
31 X	24,6	32,7	5,2	11,4	5,0	5,9	100,7	43,9	10,2	5,6	0,8	0,5	—	—
10 XI	28,2	32,6	4,6	8,8	8,4	8,6	116,5	44,2	9,6	4,6	1,9	1,2	—	—
17 XI	28,2	29,5	9,7	16,7	4,1	3,8	128,1	44,0	12,4	5,4	1,1	0,6	—	—
31 XII	28,7	30,2	8,1	14,1	6,2	5,7	115,9	40,1	22,0	9,7	0,5	0,2	—	—
							1951 год							
31.I	36,6	34,8	7,1	11,0	5,5	4,2	146,4	45,6	7,1	2,9	2,9	1,5	—	—
26.II	37,3	34,8	7,6	11,6	4,8	3,6	148,2	45,5	8,2	3,2	2,4	1,3	—	—
21.III	36,7	35,0	7,4	11,6	4,5	3,4	147,0	46,0	7,9	3,0	1,9	1,0	—	1,3
23.IV	27,4	27,3	8,4	13,7	11,2	9,0	134,2	43,8	13,0	5,4	1,5	0,8	—	2,5
4.V	23,2	29,6	3,3	6,9	13,2	13,5	102,5	42,9	11,3	6,1	1,5	1,0	—	3,9
31.V	15,2	30,6	3,2	10,5	5,5	8,9	65,9	43,6	5,6	4,8	1,3	1,6	—	3,1
17.VI	22,0	28,4	8,3	17,5	4,0	4,1	103,9	43,8	8,4	4,6	2,3	1,6	—	4,3
17.VII	19,9	28,1	6,4	15,1	6,0	6,8	97,6	45,4	6,8	4,0	0,7	0,6	—	3,4
22.VIII	17,1	33,4	2,6	8,3	5,2	8,3	70,8	45,7	4,6	3,9	0,3	0,4	—	5,9
29.IX	17,6	27,7	5,7	14,8	6,0	7,5	90,3	46,6	5,0	3,1	0,4	0,3	—	3,4
19.X	19,8	30,5	5,1	13,0	5,2	6,5	85,4	43,2	6,1	4,0	3,1	2,8	—	—
20.XI	30,3	31,3	7,9	13,5	6,2	5,2	131,1	44,6	7,1	3,1	3,9	2,3	—	—
31.XII	27,8	33,1	6,1	11,9	5,2	5,0	109,8	42,9	8,7	4,3	4,1	2,8	—	2,7

Объяснение указанным различиям, как нам кажется, надо искать в изменении условий зимнего питания реки в отдельные годы. Очевидно, что в зависимости от перемерзания тех или иных водоносных горизонтов, питающих реку зимой, меняется как общая минерализация речной воды, так и сезонные колебания этой минерализации. В частности, в холодные годы, когда верхние водоносные горизонты, несущие менее минерализованную воду, полностью перемерзают, питание реки осуществляется в основном за счет более глубоких горизонтов; создаются условия стабилизации содержания основных ионов зимой при достаточно высокой общей минерализации воды.

С началом весеннего паводка, в апреле, содержание всех ионов в водах р. Селенги резко падет, достигая к концу апреля — маю своего весеннего минимума, который обычно является одновременно и годовым минимумом.

По окончании весеннего паводка общая минерализация воды Селенги начинает повышаться. При этом, если содержание гидрокарбонатов, кальция, магния и хлоридов достигает своего летнего максимума как раз в период летней межени (половина июля), то содержание сульфатов и суммы щелочных металлов достигает максимума еще задолго до этого срока — во второй половине июня — при значительных расходах воды в реке. Так, например, в 1944 г. максимальное содержание сульфатов в летний период в водах р. Селенги было отмечено 20 июня — 24,5 мг/л при расходах воды 1320 м³/сек. К моменту летней межени с расходами воды в 670—680 м³/сек содержание сульфатов упало уже до 15—13 мг/л. Аналогичная картина наблюдалась и в другие годы. Такое несоответствие содержания указанных компонентов с расходами воды в реке объясняется смывом значительного количества сульфатов щелочных металлов с поверхности почв степных районов Забайкалья в период половодья. При этом, если в начале половодья в силу интенсивного разбавления огромными количествами паводочных вод концентрации сульфатов щелочных металлов в водах р. Селенги понижаются, то к концу половодья, когда количество паводочных вод начинает уменьшаться, а количества вымываемых из почв сульфатов остаются еще достаточно большими, создаются условия, обеспечивающие быстрый рост концентрации последних в речных водах. На возможность повышения концентрации сульфатов щелочных металлов в водах р. Селенги в результате их смыва из почв указывала в своей работе И. Я. Дегопик (1948). Следующий за периодом летней межени паводок вновь ведет к падению содержания всех ингредиентов ионного состава воды р. Селенги до второго, летнего минимума.

Содержание соединений биогенных элементов в водах р. Селенги изучено менее подробно, чем ионный состав воды. Некоторые данные имеются лишь по кремнию и общему железу. На основании этих данных можно утверждать, что содержание кремния в водах Селенги в течение года лежит в пределах 3—7 мг/л, считая на элементарный кремний. Максимум его содержания падает на зимний подледный период и период летней межени, минимум приходится на периоды паводков. Что касается общего железа, то содержание последнего в водах Селенги подвержено очень резким сезонным колебаниям. Так как определение общего железа велось обычно в нефильтрованных образцах воды, то в его сумму частично входит и железо взвешенных частиц. Минимальное содержание железа наблюдается зимой подо льдом — около 0,02—0,05 мг/л, а также в период летней межени — 0,04 мг/л. В периоды паводков содержание общего железа резко возрастает, достигая, нередко до 0,5 мг/л и выше. Несомненно, что основную массу в эти периоды составляет железо взвешенных частиц.

Содержание органического вещества в воде Селенги, судя по величинам перманганатной окисляемости, сравнительно невелико. Наименьшую окисляемость вода Селенги имеет зимой подо льдом — 1,3—2,7 мг/л кислорода. В свободный от льда период, особенно во время паводков, окисляемость воды Селенги возрастает, достигая в среднем 3,0—4,5 мг/л кислорода, а в отдельные моменты времени — 6—8 мг/л кислорода и выше.

Газовый режим Селенги вполне благоприятен (рис. 2). Содержание растворенного кислорода в период, когда река свободна от льда, лежит

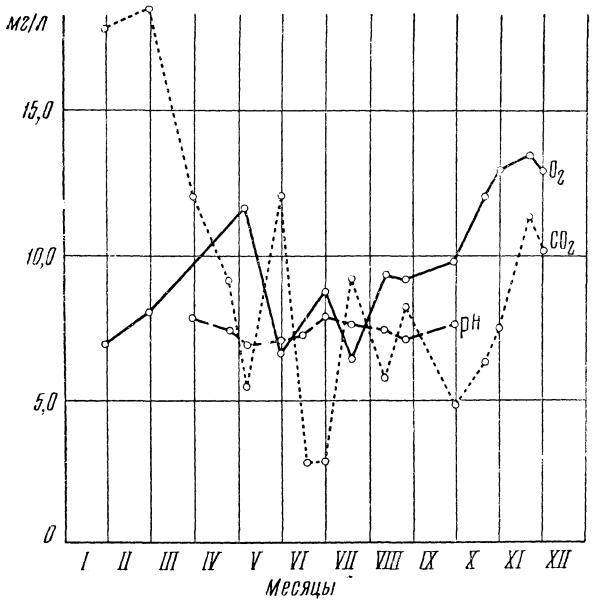


Рис. 2. Сезонные изменения содержания кислорода, свободной CO_2 и величин pH в водах р. Селенги (1951 г.)

в пределах 70—90% насыщения (8,5—13,5 мг/л). Только в периоды паводков, когда в реку сносится большое количество легкоокисляющихся органических веществ, содержание растворенного кислорода падает до 50% насыщения (6,0—6,5 мг/л). В подледный период содержание кислорода также остается достаточно высоким — до 50—55% насыщения.

Содержание свободной CO_2 летом лежит в пределах 3—6 мг/л; зимой подо льдом количество свободной CO_2 заметно повышается, достигая к февралю — марту 12—14 мг/л.

Активная реакция воды Селенги лежит в нейтрально-щелочной области с колебаниями pH в течение года от 6,90 до 7,80.

Химический сток Селенги уже был недавно освещен в литературе Б. Н. Форш (1954) на примере 1935—1936 гидрологического года. Однако полученные Б. Н. Форш данные не могли удовлетворить нас, так как все расчеты цитируемый автор проводил на основании только 10 анализов воды. Имея более обширный материал по ионному составу воды Селенги, включающий, в частности, систематические наблюдения за 1943, 1944 и 1951 гг., было решено провести расчеты ионного стока этой реки заново и сравнить полученные данные с опубликованными данными Б. Н. Форш. Основные результаты этих расчетов представлены в табл. 9 и 10.

Таблица 9

Химический сток р. Селенги в 1943, 1944 и 1951 гг. (в тыс. т)

Месяц	Расход воды, м³/сек	$Ca^{\cdot\cdot}$	$Mg^{\cdot\cdot}$	$Na^{\cdot}+K^{\cdot}$	HCO_3'	SO_4''	Cl'	Si	Органическое вещество	Сумма ионов
				1943 год						
I	146	12,4	2,6	0,2	59,7	4,0	0,8	1,9	—	79, 7
II	88,6	6,6	1,7	0,1	33,2	2,3	0,6	1,1	—	44,2
III	101	7,2	1,5	0,1	33,2	1,9	0,2	1,3	—	44,1
IV	791	50,7	16,6	0,1	208,7	17,0	7,5	16,4	—	300,6
V	1810	79,9	6,2	1,8	353,9	19,0	5,2	37,5	—	466,0
VI	2190	117,9	28,8	0,1	452,4	25,9	15,5	45,4	—	640,6
VII	2050	136,8	37,7	0,2	536,0	36,1	19,4	42,5	—	766,2
VIII	1570	99,8	37,1	0,2	414,2	27,2	16,9	32,6	—	595,4
IX	1880	112,6	27,7	2,8	595,3	24,7	16,3	21,9	—	779,4
X	1190	80,4	14,7	1,6	377,5	21,2	6,2	14,8	—	501,6
XI	277	22,7	2,8	0,4	102,6	4,9	0,8	4,4	—	134,2
XII	243	20,0	1,8	0,5	91,2	4,3	2,3	3,0	—	120,1
Итого . . .		749,4	178,7	185,0	3257,9	198,9	91,9	222,0	—	4661,8
				1944 год						
I	176	14,7	3,1	8,8	71,0	9,3	1,0	—	—	107,9
II	112	8,2	2,1	5,5	41,4	5,8	0,7	—	—	63,7
III	103	7,0	1,1	1,9	28,6	2,7	0,2	—	—	41,5
IV	681	29,6	9,9	10,1	136,8	19,8	3,3	—	—	209,5
V	1710	89,5	5,8	40,7	329,8	56,7	4,9	—	—	527,4
VI	1390	76,4	14,8	48,0	314,2	88,3	4,7	—	—	546,4
VII	882	75,7	14,0	45,0	266,3	35,2	4,6	—	—	440,8
VIII	1110	54,7	6,0	13,1	173,2	39,7	3,7	—	—	290,4
IX	1030	75,2	14,4	13,5	276,8	40,8	4,8	—	—	425,5
X	836	53,3	11,2	10,7	218,2	22,1	1,7	—	—	317 2
XI	216	15,8	2,6	4,7	65,2	5,4	1,1	—	—	94 8
XII	147	10,9	3,1	2,4	44,1	8,4	0,2	—	—	69,1
Итого . . .		511,2	88,2	204,6	1965,7	334,2	30,9	—	—	3134,8
				1951 год						
I	119	11,3	2,2	1,7	45,1	2,2	0,9	—	0,8	63,5
II	84,2	8,1	1,6	1,0	32,3	1,8	0,5	—	0,6	45,3
III	89,0	8,5	1,7	1,0	33,9	1,8	0,4	—	0,6	47,3
IV	215	15,3	4,7	6,2	74,8	7,2	0,8	—	2,8	109,0
V	3150	156,7	26,1	75,9	685,8	69,4	11,4	—	57,2	1025,3
VI	1640	93,7	35,3	15,8	447,2	34,9	5,5	—	36,6	632,4
VII	1140	58,8	18,9	17,7	288,4	20,1	2,1	—	20,0	406,0
VIII	1500	72,3	15,9	10,9	299,0	19,0	1,9	—	45,9	419,0
IX	1490	68,0	22,0	23,2	348,7	19,3	1,5	—	26,3	482,7
X	1110	59,5	15,8	15,8	258,9	18,7	9,5	—	17,3	378,2
XI	357	27,1	7,4	5,2	118,4	6,3	3,2	—	5,5	168,6
XII	204	14,7	3,2	2,7	58,0	4,6	2,2	—	2,8	85,4
Итого . . .		594,1	154,0	177,3	2690,7	205,4	40,1	—	216,4	3861,6

Таблица 10

Химический сток р. Селенги (в % от годового)

Месяц	$Ca^{\cdot\cdot}$	$Mg^{\cdot\cdot}$	$Na^{\cdot}+K^{\cdot}$	$HCO_3^{\prime}$	$SO_4^{\prime\prime}$	$Cl^{\prime}$
			1944 год			
I	2,8	3,5	4,3	3,6	2,7	3,2
II	1,6	2,4	2,6	2,1	1,7	2,2
III	1,3	1,3	0,9	1,5	0,8	0,7
IV	5,8	11,2	4,9	6,9	5,9	10,8
V	17,6	6,5	19,8	16,9	16,9	15,8
VI	15,0	16,8	23,6	16,2	26,8	15,3
VII	14,9	15,9	22,3	13,5	10,5	14,8
VIII	10,7	6,8	6,4	8,8	11,8	12,1
IX	14,7	16,4	6,6	14,0	12,2	15,5
X	10,4	12,8	5,2	11,1	6,6	5,6
XI	3,1	2,9	2,3	3,3	1,6	3,4
XII	2,1	3,5	1,1	2,2	2,5	0,6
			1951 год			
I	1,9	1,4	0,9	1,6	1,0	2,2
II	1,3	1,1	0,6	1,2	0,8	1,3
III	1,4	1,1	0,5	1,2	0,8	1,1
IV	2,6	3,0	3,5	2,7	3,5	2,1
V	26,8	17,0	42,8	25,9	33,9	28,5
VI	15,8	22,5	8,9	16,6	17,3	13,8
VII	9,8	12,2	10,0	10,7	9,8	5,2
VIII	12,1	10,3	6,1	11,1	9,2	4,8
IX	11,4	14,3	13,2	12,9	9,4	3,8
X	10,0	10,2	9,0	9,6	9,1	23,7
XI	4,5	4,8	3,0	4,4	3,0	8,1
XII	2,4	2,1	1,5	2,1	2,2	5,4

Как показывают данные табл. 9, Селенга ежегодно вносит в Байкал от 3135 тыс. т до 4662 тыс. т растворенных солей (не включая сюда соединений кремния, железа и органических веществ). Основную массу — до 70% от общего количества ионов — составляют при этом гидрокарбонаты.

Максимальные величины ионного стока в Селенге приурочены к весеннему (май — июнь) и летнему (сентябрь) паводкам. В мае он достигает 50 тыс. т, в июне — 550—650 тыс. т, в сентябре — 400—770 тыс. т. В июле — августе величины ионного стока несколько понижаются, оставаясь все же очень высокими. В осенне-зимний период наблюдается падение величин ионного стока р. Селенги, и к марту они достигают минимума — около 40—45 тыс. т.

Интересно отметить, что летний максимум химического стока в р. Селенге оказывается приуроченным не к пику паводка, приходящегося на август, а к началу спада паводочных вод (сентябрь). В этот период в водах р. Селенги наблюдается заметное повышение содержания основных ионов при близких к максимальным расходах воды.

В табл. 11 приведены годовые величины химического стока р. Селенги, полученные путем суммирования среднемесячных показателей, и

Таблица 11

Годовой химический сток р. Селенги (в тыс. т)

Годы	Водный сток, км³/год	$Ca^{··}$	$Mg^{··}$	$Na^{·}+K^{·}$	$HCO_3^{'}$	$SO_4^{''}$	$Cl^{'}$	Si	$Fe_{общ}$	Органическое вещество	Сумма ионов
1943	32,04	749,4	178,7	185,0	3257,9	199,0	92,0	—	—	—	4661,8
1944	21,74	561,7	116,1	137,7	2198,1	128,5	59,1	—	—	—	3134,8
1951	28,76	594,1	154,0	177,3	2690,7	205,4	40,1	—	—	—	3861,6
Среднее за 1935—1936 гг.	27,51	615,1	149,6	166,7	2515,9	177,6	63,7	132,0	7,7	220,0	3886,1
(по Форш)	36,78	465,4	160,9	—	2154,5	140,2	156,2	124,2	—	307,2	—

Примечание. Органическое вещество дано в пересчете на сухой беззольный вес.

средний химический сток за все годы наблюдений, вычисленный с учетом водного стока реки. Для сравнения здесь же приводятся данные Б. Н. Форш за 1935—1936 гидрологический год, пересчитанные нами из молярных в весовые. Годовой сток кремния и общего железа подсчитан, исходя из всех имевшихся данных по содержанию этих компонентов в водах р. Селенги за все годы наблюдений, путем выведения средних многолетних за каждый месяц, так как результаты систематических круглогодичных наблюдений за этими ингредиентами страдают неполнотой и не всегда надежны. Аналогично рассчитывался и сток органического вещества. При этом условно принят для рек — притоков Байкала коэффициент пересчета от величин перманганатной окисляемости к весу сухого беззольного органического вещества, равный 2,0 (Скопинцев, 1950).

Сравнивая величины годового стока отдельных компонентов, а также общий химический сток р. Селенги в разные годы, видим большие различия отдельных лет, объяснения которым можно найти в величинах водного стока реки лишь частично. Эти межгодовые различия, достигающие подчас 1,5 млн. т или 32% от максимальных величин химического стока Селенги, заставляют с особой осторожностью подходить к расчетам химического баланса озера и объясняют те ошибки в расчетах химического стока в Байкал, которые уже были допущены в литературе (Князева, 1954).

Значительные различия наблюдаются в отдельные годы и в сезонном распределении величин химического стока (см. табл. 10). Различия эти, проявляющиеся главным образом в летний период, определяются как временем паводков, так и расходами воды во внепаводочное время. Зимой, в подледный период межгодовые различия химического стока выражены, напротив, слабо.

2. РЕКА ВЕРХНЯЯ АНГАРА

Река Верхняя Ангара впадает в северную оконечность Байкала, образуя довольно обширную болотистую дельту со значительным числом озер. Длина реки около 640 км, площадь бассейна 23 600 км². В геологическом строении бассейна р. В. Ангары доминирующую роль играют массивные кристаллические породы.

Химический состав воды р. В. Ангары и ее гидрохимический режим изучены еще очень слабо. До самого последнего времени исследователи

располагали лишь несколькими единичными и далеко не полными химическими анализами воды р. В. Ангары (Форш, 1931; Кузнецов и Щербаков, 1930; Бочкарев, 1932). В последние годы ряд анализов воды р. В. Ангары был проведен Байкальской лимнологической станцией АН СССР (Толмачева, 1954).

Воды р. В. Ангары относятся к слабоминерализованным гидрокарбонатно-кальциевым водам. Общая минерализация воды этой реки не превышает 130 мг/л. Средний же химический состав воды р. В. Ангары, рассчитанный на основании данных по химическому стоку реки, показывает, что минерализация ее составляет всего около 70 мг/л, т. е. ниже, чем минерализация байкальской воды (табл. 12).

Таблица 12

Средний химический состав воды р. Верхней Ангары (в мг/л)

$Ca^{\cdot\cdot}$	$Mg^{\cdot\cdot}$	$Na^{+}+K^{+}$	$HCO_3^{\prime}$	$SO_4^{\prime\prime}$	$Cl^{\prime}$	Si	Окисляемость	Сумма ионов
12,4	1,6	2,9	47,8	3,6	0,3	2,9	2,7	68,6

Как можно судить по имеющимся данным, гидрохимический режим В. Ангары близок к таковому Селенги (табл. 13). Максимальное содержание ионов наблюдается зимой в подледный период (январь—февраль), минимальное, очевидно, в периоды весеннего и летнего паводков. Однако нельзя говорить об этом утвердительно, так как химические анализы воды В. Ангары в паводковые периоды отсутствуют. В то же время резкое падение содержания в водах В. Ангары всех ионов от мая к июню и не менее резкое возрастание их содержания от августа к сентябрю подтверждают этот вывод.

Режим биогенных элементов, компонентов газов, а также органического вещества в водах В. Ангары остается еще не изученным. Можно лишь сказать, что в летне-осенний период воды В. Ангары достаточно насыщены кислородом, содержат незначительные количества свободной CO_2 и органических веществ и относительно бедны кремнием. В зимний период содержание органического вещества в водах В. Ангары очевидно еще несколько понижается, что должно благоприятно сказываться на газовом режиме реки подо льдом.

Отсутствие круглогодичных гидрохимических наблюдений крайне затрудняет проведение расчетов по химическому стоку В. Ангары в Байкал. Поэтому полученные цифры могут рассматриваться лишь как первая попытка оценки годового химического стока этой реки.

Для В. Ангары имеются данные анализов за январь—февраль, май—сентябрь и ноябрь—декабрь месяцы. Аналитические данные за март, апрель и октябрь отсутствуют, и величины химического стока за эти месяцы получены путем интерполяции.

Годовой сток кремния и органического вещества вычислялся так же, как и для Селенги.

Результаты, сведенные в табл. 14, показывают, что годовой сток В. Ангары составляет около 650 тыс. т, из которых 450 тыс. т, т. е. более двух третей от общей суммы ионов составляет $HCO_3^{\prime}$. Как и в Селенге основная масса солей — до 70% — сносится водами В. Ангары в летний период (май—сентябрь) и только около 30% в остальную часть года (табл. 15).

Таблица 13

Сезонные изменения химического состава воды р. В. Ангары (по Толмачевой, 1954)

Дата	$Ca^{\cdot\cdot}$		$Mg^{\cdot\cdot}$		$Na^{\cdot} + K^{\cdot}$		$HCO_3^{\prime}$		$SO_4^{\prime\prime}$		$Cl^{\prime}$		$NO_3^{\prime}$		Si	Окисляемость	O_2	$CO_{2\text{своб}}$
	мг/л	% экв	мг/л	% экв	мг/л	% экв	мг/л	% экв	мг/л	% экв	мг/л	% экв	мг/л	% экв	мг/л	мг/л	мг/л	мг/л
1950 год																		
21.VIII	12,4	36,7	1,3	6,5	2,6	6,7	43,9	42,7	4,9	6,1	0,5	0,8	0,40	0,4	6,60	3,28	9,34	2,82
1.XI	14,8	37,7	2,4	10,2	1,0	2,1	50,5	42,3	6,2	6,6	0,4	0,5	0,57	0,5	7,40	2,01	11,77	4,08
1951 год																		
1.XI	14,1	30,8	2,3	8,3	5,7	10,9	57,6	41,4	7,7	7,0	1,0	1,3	0,35	0,3	4,60	1,63	12,87	2,62
1952 год																		
4.VIII	8,3	34,8	0,9	6,3	2,4	8,9	30,7	42,2	4,0	7,0	0,2	0,4	0,26	0,4	4,40	2,29	8,97	2,82
3.IX	16,7	37,9	3,2	12,1	—	—	58,6	43,7	6,4	6,1	—	—	0,26	0,2	9,00	1,96	—	—
10.XI	21,9	35,1	2,4	6,4	6,0	8,4	89,1	46,9	3,9	2,6	0,5	0,5	—	—	—	—	—	—
10.XII	20,8	34,0	4,1	11,1	3,4	4,9	86,6	46,3	4,7	3,2	0,5	0,5	—	—	—	—	—	—
1953 год																		
10.I	20,8	33,7	4,7	12,5	2,7	3,8	86,6	45,9	4,7	3,2	1,0	0,9	—	—	—	—	—	—
10.II	19,8	30,9	5,3	13,7	4,0	5,4	87,8	45,0	7,0	4,6	0,5	0,4	—	—	—	—	—	—
10.V	18,2	34,7	3,0	9,4	3,5	5,9	75,6	47,2	3,5	2,8	—	—	—	—	—	—	—	—
10.VI	10,9	32,7	0,9	4,6	4,9	12,7	50,0	49,0	0,8	1,0	—	—	—	—	—	—	—	—

Таблица 14

Химический сток р. В. Ангары (в тыс. т) (среднее за ряд лет)

Месяц	Расход воды, м³/сек	$Ca^{\cdot\cdot}$	$Mg^{\cdot\cdot}$	$Na^{\cdot}+K^{\cdot}$	HCO_3'	SO_4''	Cl'	Si	Органическое вещество	Сумма ионов
I	82	4,4	1,0	0,6	18,5	1,0	0,2	—	—	25,7
II	74	3,8	1,0	0,8	16,8	1,3	0,1	—	—	23,8
III	68	(3,5)	(1,0)	(0,5)	(15,0)	(1,2)	0,1	—	—	21,3
IV	84	(3,5)	(1,0)	(0,5)	(15,0)	(1,2)	0,1	—	—	21,3
V	195	9,2	1,5	1,8	38,2	1,8	0,1	—	—	52,6
VI	773	21,8	1,8	9,8	100,2	1,6	0,2	—	—	135,4
VII	810	17,4	1,9	5,0	64,5	8,4	0,4	—	—	97,6
VIII	600	19,3	2,0	3,7	68,3	7,0	0,8	—	—	101,1
IX	500	15,0	1,0	2,0	60,0	5,0	0,5	—	—	83,5
X	261	(10,0)	(0,8)	(1,5)	(18,0)	(3,0)	0,3	—	—	33,6
XI	115	4,3	0,7	0,9	15,9	1,9	0,2	—	—	23,9
XII	199	5,9	1,2	0,9	24,5	1,3	0,1	—	—	33 9
Итого . .		118,1	14,9	28,0	454,9	34,8	3,1	27,6	51,1	653,8

Примечание. Цифры в скобках получены путем интерполяции.

Таблица 15

Химический сток р. В. Ангары (в % от годового)

Месяц	$Ca^{\cdot\cdot}$	$Mg^{\cdot\cdot}$	$Na^{\cdot}+K^{\cdot}$	HCO_3'	SO_4''	Cl'	Месяц	$Ca^{\cdot\cdot}$	$Mg^{\cdot\cdot}$	$Na^{\cdot}+K^{\cdot}$	HCO_3'	SO_4''	Cl
I	3,7	6,7	2,0	4,0	2,8	6,7	VII	14,8	12,7	18,7	14,2	24,4	13,2
II	3,2	6,8	2,7	3,7	3,8	3,0	VIII	16,6	13,6	13,3	15,0	20,4	25,3
III	2,9	6,7	1,8	3,2	3,4	2,9	IX	12,6	6,7	7,1	13,1	14,3	16,0
IV	2,9	6,7	1,8	3,2	3,4	2,9	X	8,4	5,3	5,2	3,9	8,6	9,5
V	7,7	10,2	6,3	8,4	5,0	3,1	XI	3,6	4,6	3,1	3,5	5,5	6,6
VI	18,7	12,2	34,5	22,5	4,6	6,3	XII	4,9	7,8	3,4	5,3	3,8	4,5

3. РЕКА БАРГУЗИН

Река Баргузин — третий по величине приток Байкала — впадает в залив того же названия, расположенный на восточном берегу озера в его средней части. Длина реки достигает 200 км, площадь бассейна реки 23 000 км². Долина реки проходит между двумя хребтами Баргузинским и Икатским, сложенными изверженными кристаллическими породами.

В настоящее время имеются материалы систематических гидрохимических исследований с августа 1950 г. по ноябрь 1951 г. (Толмачева, 1954), а также значительное число отдельных анализов воды Баргузина, выполненных различными исследованиями в разное время.

По своему химическому составу воды Баргузина, так же как и воды рек Селенги и В. Ангары, относятся к маломинерализованным гидрокарбонатно-кальциевым водам. Средний химический состав воды Баргузина, вычисленный по данным химического стока, показывает, что эта река несет воду несколько более минерализованную, по сравнению с водами Байкала (табл. 16).

Гидрохимический режим Баргузина в 1950—1955 гг. выглядел следующим образом. Максимальное содержание компонентов ионного со-

Таблица 16

Средний химический состав воды р. Баргузина (в мг/л)

$Ca^{\cdot\cdot}$	$Mg^{\cdot\cdot}$	$Na^{\cdot} + K^{\cdot}$	$HCO_3^{\prime}$	$SO_4^{\prime\prime}$	$Cl^{\prime}$	Si	Окисляемость	Сумма ионов
24,1	2,1	5,3	86,8	7,7	1,8	3,8	2,9	127,6

става наблюдалось зимой в феврале—марте. В июне содержание всех ингредиентов упало до годового минимума, в июле вновь несколько возросло, в августе снова упало, а в последующие осенние месяцы вновь начало возрастать. Следует указать на некоторое несовпадение сезонных изменений содержания основных ионов с величинами расходов воды. Весной падение содержания их наблюдалось в полном соответствии с увеличением расхода воды в реке. Однако дальнейшее увеличение расхода воды летом с июня по июль сопровождалось не падением, а, напротив, возрастанием общей минерализации воды до летнего максимума, затем наблюдалось параллельное снижение минерализации воды и ее расходов с июля по август, новый параллельный рост обеих величин в сентябре, и только в октябре дальнейший рост минерализации воды шел уже при понижающихся расходах последней. Надо полагать, что наблюдаемый летний гидрохимический режим р. Баргузина объясняется поступлением в воды реки в период паводков более минерализованных вод из многочисленных минеральных озер и источников, расположенных в долине последней. На это же косвенно указывают не вполне закономерные сезонные изменения таких компонентов, как сульфаты, сумма щелочных металлов и отчасти магний (табл. 17, рис. 3).

Химический сток Баргузина подсчитан для 1951 г. (табл. 18). Ионный сток Баргузина в этом году составлял около 500 тыс. т, а с кремнием и органическим веществом — 530 тыс. т, причем около 70% приходилось на $HCO_3^{\prime}$.

Основная масса солей — до 80% от годовой суммы — сносится Баргузином, так же как рр. Селенгой и В. Ангарой, летом с мая по октябрь. Зимнее полугодие составляет в общем годовом ионном стоке всего около 20% (табл. 19).

4. РЕКА ТУРКА

Четвертый по величине приток Байкала — р. Турка — впадает на восточном берегу озера несколько южнее Баргузинского залива. Площадь бассейна реки составляет 5580 км^2; годовой дебет — около 1,3 км^3.

По химическому составу воды р. Турки, как и воды всех описанных выше притоков, относятся к слабоминерализованным гидрокарбонатно-кальциевым водам. Средняя минерализация ее воды несколько ниже минерализации байкальских вод — всего 50 мг/л. Средний химический состав воды Турки представлен в табл. 20.

Мы располагаем лишь сведениями о химизме вод р. Турки за июнь—август 1950 г., август—декабрь 1951 г., а также и отдельными анализами за другие годы, относящимися почти целиком к летним месяцам. Исходя из данных за 1950—1951 гг. (табл. 21), можем предполагать, что гидрохимический режим р. Турки во многом сходен с режимом Селенги и Баргузина. Минимальное содержание основных ионов в водах р. Турки наблюдается в июле и сентябре, т. е. в периоды паводков. В подледный период (декабрь) минерализация воды заметно возрастает. Некоторый рост минерализации воды заметен и в период летней межени (июль—август).

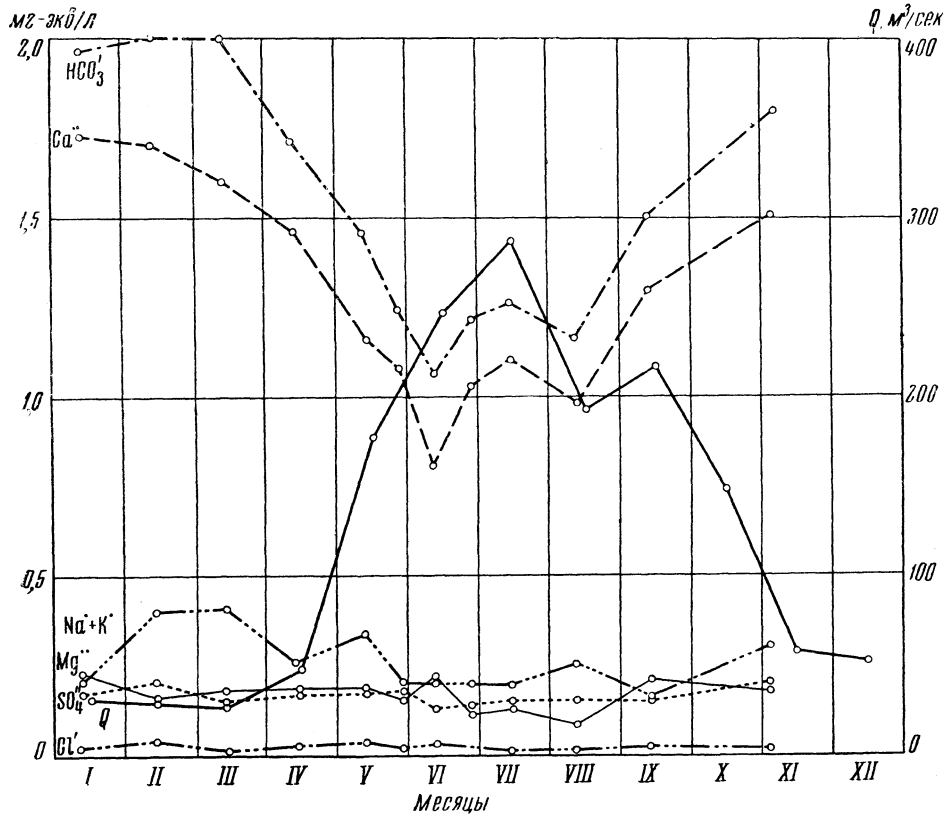


Рис. 3. Сезонные изменения содержания компонентов и расходы воды (Q) в р. Баргузине (1951 г.).

Окисляемость воды р. Турки в 1950—1951 гг. была невелика — не выше 3,1 мг/л кислорода. В настоящее время в связи с использованием реки для целей лесосплава окисляемость воды сильно возросла и достигает, судя по отдельным определениям, проведенным в 1955 г., 10—12 мг/л кислорода и выше.

Отсутствие круглогодичных гидрохимических наблюдений не позволяет вычислить с необходимой точностью химический сток этой реки. Для того чтобы все же составить себе представление о нем, мы подсчитали химический сток ее в отдельные месяцы 1950 и 1951 гг., а затем, приняв по аналогии с другими притоками Байкала, что химический сток в летний период (май—сентябрь) составляет в среднем около 80% годового стока и что (как и в Баргузине) химический сток р. Турки в мае и июне не имеет больших различий, подсчитали ее годовой химический сток (табл. 22), которой оказался равным в среднем около 60—70 тыс. т растворенных солей и до 8 тыс. т органического вещества.

Следует заметить, что полученные величины являются весьма приближенными, однако такой метод расчета годового стока реки можно считать значительно более точным, нежели допускает О. А. Алекин (1948), указывающий на возможность проведения подобных расчетов только лишь на основании трех анализов воды (по пробам, отобранным в зимний период, в период весеннего половодья и летней межени).

Таблица 17

Сезонные изменения химического состава воды р. Баргузина (по Толмачевой, 1954)

Дата	$Ca^{\cdot\cdot}$		$Mg^{\cdot\cdot}$		$Na^{\cdot} + K^{\cdot}$		$HCO_3^{\prime}$		$SO_4^{\prime\prime}$		$Cl^{\prime}$		$NO_3^{\prime}$		Si	Окисляемость
	мг/л	% экв	мг/л	% экв	мг/л	% экв	мг/л	% экв	мг/л	% экв	мг/л	% экв	мг/л	% экв	мг/л	мг/л кислорода
1949 год																
19.X	31,7	36,5	4,0	7,6	6,0	6,0	116,1	43,9	11,5	5,5	0,8	0,5	0,18	0,1	3,25	5,66
1950 год																
11.VIII	24,1	35,9	3,8	9,3	3,6	4,7	90,3	44,2	9,2	5,7	—	—	0,06	—	3,36	3,59
10.IX	25,4	37,4	4,1	9,8	2,2	2,8	91,7	44,2	7,7	4,7	1,0	0,8	0,38	0,2	3,64	3,09
10.X	24,9	35,4	4,4	10,3	3,6	4,4	95,4	44,5	7,7	4,6	1,0	0,8	0,32	0,1	4,73	3,26
27.X	29,1	37,6	4,0	8,6	3,4	3,8	106,6	45,2	6,9	3,7	1,2	0,9	0,32	0,1	3,88	2,31
10.XI	33,2	35 1	4,8	8,4	7,1	6,5	129,3	44,2	10,1	4,5	1,0	0,6	—	—	6,35	—
10.XII	34,7	39,9	1,7	3,2	6,9	6,9	117,1	44,1	10,5	5,1	0,7	0,4	0,96	0,4	6,35	—
1951 год																
10.I	34,7	39,8	2,8	5,3	4,9	4,9	119,6	45,1	8,0	3,8	0,8	0,5	1,60	0,6	7,56	—
10.II	34,2	37,5	2,0	3,6	9,2	8,8	122,0	44,0	9,7	4,4	1,6	1,0	1,60	0,6	7,56	—
10.III	32,1	36,5	2,2	4,1	9,4	9,4	122,0	45,6	7,2	3,4	0,6	0,3	1,60	0,6	7,56	1,15
10.IV	29,5	38,5	2,1	4,6	6,1	7,0	104,9	44,8	8,0	4,4	0,9	0,7	—	—	6,86	1,24
10.V	23,3	34,7	2,1	5,2	7,9	10,2	89,1	43,5	8,9	5,5	1 0	0,9	0,30	0,1	3,55	1,32
28.V	21,8	37,8	2,0	5,6	4,6	6,9	75,6	42,7	8,9	6,4	0,7	0,7	0,30	0,2	4,39	4,78
10.VI	17,6	32,6	2,7	9,2	4,6	8,2	64,7	43,2	6,3	5,4	1,0	1,2	0,30	0,2	3,55	2,68
28.VI	20,7	37,9	1,5	4,5	4,8	7,6	74,4	44,6	6,7	5,1	—	—	0,30	0,2	4,73	3,34
10.VII	22,3	38,7	1,6	4,7	4,4	6,6	77,1	43,9	7,5	5,4	0,2	0,2	0,58	0,3	2,47	3,41
9.VIII	19,7	37,1	1,0	3,2	5,9	9,6	70,7	43,8	7,1	5,6	0,4	0,5	0,24	0 1	1,64	4,05
10.IX	26,0	38,8	2,6	6,5	3,7	4,8	91,5	44,8	7,3	4,6	0,7	0,6	0,14	0,1	3,55	2,50
2.XI	30,2	37,6	2,3	4,7	7,1	7,7	109,3	44,7	9,6	5,0	0,2	0,1	0,32	0,1	6,26	1,97

Таблица 18

Химический сток р. Баргузина в 1951 г. (в тыс. т)

Месяц	Расход воды, м³/с	$Ca^{\cdot\cdot}$	$Mg^{\cdot\cdot}$	$Na^{\cdot} + K^{\cdot}$	HCO_3'	SO_4''	Cl'	Si	Окисляемость	Сумма ионов
I	34,6	3,1	0,2	0,4	10,7	0,7	0,2	0,7	0,05	15,3
II	31,7	2,8	0,2	0,8	10,0	0,8	0,1	0,6	0,05	14,7
III	28,5	2,4	0,2	0,7	9,0	0,5	0,1	0,5	0,04	12,9
IV	48,1	3,7	0,3	0,8	13,1	1,0	0,3	0,8	0,07	19,2
V	177	10,3	0,9	2,8	37,7	4,1	0,9	1,8	0,64	56,7
VI	246	12,2	1,3	3,0	44,3	4,1	1,3	2,6	0,9	66,2
VII	287	16,6	1,2	3,3	57,4	5,6	1,9	1,8	1,2	86,0
VIII	193	9,9	0,5	2,9	35,4	3,5	1,0	0,8	0,9	53,2
IX	217	14,6	1,4	2,1	51,5	4,1	0,4	1,9	0,6	74,1
X	147	10,7	0,9	1,9	38,1	3,0	0,3	1,8	0,5	54,9
XI	57,7	4,5	0,3	1,1	16,3	1,4	0,3	0,9	0,1	23,9
XII	52,1	4,3	0,7	1,3	17,8	1,3	0,4	0,8	0,1	25,8
Итого . . .		95,1	8,2	21,1	341,4	30,3	7,3	15,2	5,2	503,4

Таблица 19

Химический сток р. Баргузина (в % к годовому)

Месяц	$Ca^{\cdot\cdot}$	$Mg^{\cdot\cdot}$	$Na^{\cdot} + K^{\cdot}$	HCO_3'	SO_4''	Cl'	Si	Органическое вещество
I	3,2	3,0	2,1	3,1	2,4	2,4	4,5	0,9
II	2,9	2,0	3,6	2,9	2,7	1,7	4,0	0,9
III	2,4	2,0	3,5	2,6	1,7	2,0	3,6	0,7
IV	3,8	3,1	3,6	3,8	3,3	4,7	5,6	1,4
V	10,9	11,7	13,7	11,0	13,5	13,1	11,8	12,2
VI	12,8	15,4	14,0	12,9	13,6	17,5	16,7	17,0
VII	17,6	14,4	15,0	16,9	18,2	25,7	12,0	22,3
VIII	10,4	6,0	14,0	10,3	11,8	14,2	5,3	18,0
IX	15,6	17,7	9,8	15,4	13,5	5,5	12,8	12,5
X	11,2	11,1	9,5	11,1	10,0	3,9	12,0	9,6
XI	4,7	4,2	5,0	4,8	4,7	4,0	6,1	2,6
XII	4,5	8,4	6,5	5,2	4,6	5,3	5,6	1,9

Таблица 20

Средний химический состав воды р. Турки (в мг/л)

$Ca^{\cdot\cdot}$	$Mg^{\cdot\cdot}$	$Na^{\cdot} + K^{\cdot}$	HCO_3'	SO_4''	Cl'	Si	Окисляемость	$Fe_{общ}$	Сумма ионов
8,4	0,9	2,7	34,0	2,5	0,2	5,0	3,0	0,16	48,7

Таблица 21

Сезонные изменения химического состава воды р. Турки (по данным Гидрологического ежегодника)

Дата	$Ca^{\cdot\cdot}$		$Mg^{\cdot\cdot}$		$Na^{\cdot}+K^{\cdot}$		$HCO_3^{\prime}$		$SO_4^{\prime\prime}$		$Cl^{\prime}$		$NO_3^{\prime}$	$Fe_{общ}$	Si	Окисляемость
	мг/л	% экв	мг/л	% экв	мг/л	% экв	мг/л	% экв	мг/л	% экв	мг/л	% экв	мг/л	мг/л	мг/л	мг/л
1950 год																
9.VI	5,1	25,5	1,7	13,7	2,8	10,8	27,3	44,1	2,5	4,9	0,2	1,0	0,26	0,12	5,0	3,1
13.VI	11,4	40,2	0,7	4,2	2,0	5,6	39,0	45,1	2,7	4,2	0,0	0,0	0,62	0,24	5,4	2,6
10.VII	10,6	37,9	0,5	2,8	3,2	9,3	37,8	44,3	2,7	4,3	0,2	0,7	0,44	0,00	5,4	2,3
10.VIII	10,9	37,0	0,5	2,7	3,8	10,3	39,0	43,8	3,6	5,5	0,2	0,7	0,11	0,02	5,4	2,3
26.VIII	10,4	35,1	0,6	3,4	4,2	11,5	39,0	43,2	2,2	3,4	1,7	3,4	0,26	0,12	5,4	2,9
1951 год																
12.VIII	11,0	38,7	0,4	2,1	3,2	9,2	39,0	45,1	3,2	4,9	0,1	0,0	0,00	0,04	4,5	2,2
10.IX	6,2	25,4	1,7	11,5	4,0	13,1	34,2	45,9	2,0	3,3	0,5	0,8	0,21	0,00	3,8	2,9
10.X	6,2	25,0	1,7	11,3	4,2	13,7	34,2	45,2	2,4	4,0	0,5	0,8	0,14	0,06	3,8	2,3
26.X	5,7	25,0	1,8	13,4	3,2	11,6	31,2	45,5	2,0	3,6	0,5	0,9	0,16	0,12	5,6	2,1
10.XII	10,4	30,6	1,6	7,6	5,0	11,8	43,9	42,3	5,1	6,5	0,2	0,6	0,80	0,00	5,8	—

5. МАЛЫЕ ПРИТОКИ БАЙКАЛА

Из многочисленных малых притоков Байкала в гидрохимическом отношении изучены достаточно подробно лишь немногие. К их числу относятся р. Тыя (Северный Байкал), рр. Бугульдейка, Голоустная, Большие Коты и Половинная — притоки западного побережья Южного Байкала, а также рр. Утулик, Хара-Мурин, Снежная, Мантуриха, Мысовая и Большая — притоки восточного побережья Южного Байкала. Кроме того, некоторые сведения, характеризующие сезонные изменения химизма вод малых притоков Байкала, имеются для рр. Давши, Култучной, Второй Шестипалихи и некоторых других. Сведения о химическом составе воды остальных притоков Байкака ограничиваются, как уже говорилось, единичными эпизодическими наблюдениями. При этом наибольшее число анализов относится опять-таки к притокам Южного Байкала.

Таким образом, гидрохимическая характеристика малых притоков Байкала может быть дана по существу лишь на примерах отдельных рек. Учитывая, однако, однородность геологического строения отдельных районов Околобайкалья, отсутствие сколько-нибудь заметных различий в климатических и метеорологических условиях в этих районах, а также то, что свои воды малые притоки собирают с небольших водосборных площадей, ограничивающихся склонами горных хребтов окаймляющих Байкал, и что по химическому составу сво-

Таблица 22

Химический сток р. Турки (в тыс. т)

Дата	Расход воды, м³/сек	$Ca^{\cdot\cdot}$	$Mg^{\cdot\cdot}$	$Na^{\cdot}+K^{\cdot}$	HCO'_3	SO''_4	Cl'	$Fe_{общ.}$	Si	Органическое вещество	Сумма ионов
					1950 год						
V	97,0	2,4	0,3	0,7	10,0	0,7	0,0	0,05	1,5	2,0	14,1
VI	116,0	2,4	0,3	0,7	9,9	0,8	0,0	0,05	1,7	2,1	14,1
VII	74,2	2,0	0,1	0,6	7,3	0,5	0,0	0,00	1,0	0,9	10,5
VIII	43,5	1,2	0,1	0,4	4,4	0,3	0,1	0,08	0,7	0,8	6,5
					1950 год						
VIII	45,6	1,3	0,0	0,4	4,6	0,4	0,0	0,05	0,5	0,5	6 ,7
IX	42,4	0,7	0,2	0,4	3,8	0,2	0,0	0,00	0,4	0,6	5,3
X	38,0	0,6	0,2	0,3	3,2	0,2	0,0	0,09	0,5	0,4	4,5
XII	24,4	0,7	0,1	0,3	2,8	0,3	0,0	0,00	0,4	—	4,2
Среднее за —IX	—	8.8	1.0	2,9	35,3	2,6	0,2	0,18	5,3	6,3	50,8
Сток за од	—	10,98	1,22	3,57	44,25	3,27	0,21	0,22	0,50	7,87	68,5

их вод притоки отдельных районов озера очень похожи друг на друга, мы считаем возможным распространить наши выводы о гидрохимическом режиме перечисленных выше малых притоков и на все другие малые притоки Байкала. Правомочность такого обобщения основывается кроме того, и на однотипности гидрохимического режима всех изученных малых притоков Байкала, как то будет показано ниже. Некоторые различия, наблюдаемые в гидрохимическом режиме отдельных притоков, сводятся по существу лишь к сдвигу отдельных сезонных явлений во времени, что и понятно, если учесть особенности метеорологической обстановки в разные годы и различия климата в районах Северного и Южного Байкала.

Характеристику гидрохимического режима малых притоков Байкала начнем с притоков северной оконечности озера.

Река Тыя

Река Тыя впадает в Байкал близ его северо-западной оконечности. Это — типичная горная таежная река. Площадь ее бассейна равна 2980 км², годовой дебет воды — 0,6—1,0 км³.

Воды Тыи относятся к слабоминерализованным гидрокарбонатно-кальциевым водам. В среднем минерализация воды этой речки составляет только $^2/_3$ минерализации байкальской воды (сумма ионов равна 70 мг/л), из которой на долю гидрокарбоната кальция приходится около 60% экв. ионов. Средний химический состав воды Тыи представлен в табл. 23.

Гидрохимический режим р. Тыи хотя и близок к режиму крупных притоков Байкала, но имеет и свои особенности. Максимальная минерализация воды в реке наблюдается в зимний подледный период. В ию-

Таблица 23

Средний химический состав воды р. Тыи (в мг/л)

$Ca^{\cdot\cdot}$	$Mg^{\cdot\cdot}$	$Na^{\cdot}+K^{\cdot}$	$HCO_3^{\prime}$	$SO_4^{\prime\prime}$	$Cl^{\prime}$	Si	Окисляемость	Сумма ионов
11,2	2,8	2,0	47,1	4,0	3,7	1,8	4,1	70,8

не в момент максимальных расходов воды отмечается минимальное содержание всех компонентов, исключая органическое вещество. В последующие месяцы происходит плавный рост минерализации воды. Летний сентябрьский паводок не оказывает заметного влияния на содержание основных ионов в водах р. Тыи (табл. 24).

Сезонная динамика органического вещества также вполне типична и характеризуется минимумом величины окисляемости воды зимой под льдом и максимумом в период весеннего паводка. При этом максимальные величины окисляемости воды р. Тыи приурочены не к пику паводка, а наступают несколько ранее, еще в мае. От июня к августу происходит быстрое падение величин окисляемости до ее зимних значений.

Характерной особенностью химизма вод р. Тыи является относительно низкое содержание кремния — не свыше 3,0 мг/л.

Ионный сток р. Тыи, рассчитанный нами для 1950 и 1951 гг. (табл. 25), в целом невелик и равняется в среднем 80 тыс. т. Основную массу ионного стока составляет $HCO_3^{\prime}$ — до 70% от общей суммы ионов. Колебания химического стока по отдельным годам довольно значительны. Так, общий ионный сток р. Тыи в 1951 г. составлял всего 79% от ионного стока в 1950 г.

Около 80% от годовой суммы ионов сносится р. Тыей в течение пяти летних месяцев — май—сентябрь. Что же касается органического вещества, то 80% его стока падает на два месяца — май—июнь, а в зимний подледный период сток органического вещества составляет всего 1,5% (табл. 26).

Река Давша

Река Давша впадает в Байкал с предгорий Баргузинского хребта в 80 км севернее Чивыркуйского залива. Площадь ее бассейна равна всего 130 км^2. Сведения о годовом водном стоке отсутствуют. Судя по имеющимся данным за октябрь — декабрь 1951 г. (Гидрологический ежегодник, 1956), расходы воды этой речки очень незначительны — 0,33—1,45 м^3/сек. По аналогии с другими малыми притоками Байкала с хорошо изученным водным режимом Давша имеет годовой дебет воды не свыше 0,3 км^3.

По химическому составу воды Давши относятся, как и воды прочих рассмотренных притоков Байкала, к маломинерализованным гидрокарбонатно-кальциевым водам с общей минерализацией не свыше 100 мг/л и с колебаниями последней в течение года в 2—2,5 раза (табл. 27).

Гидрохимический режим Давши, видимо, близок к режиму р. Тыи Однако ограниченность водосборной площади этой речки влечет к тому, что минимальная минерализация ее воды в период весеннего паводка приходится на май, а в июне, очевидно, вместе с окончанием весеннего половодья минерализация воды уже начинает возрастать. В мае же наблюдается максимум содержания общего железа и органического вещества.

Таблица 24

Сезонные изменения химического состава воды р. Тыи в 1951 г. (по данным Гидрологического ежегодника)

Дата	$Ca^{\cdot\cdot}$		$Mg^{\cdot\cdot}$		$Na^{\cdot}+K^{\cdot}$		$HCO_3^{\prime}$		$SO_4^{\prime\prime}$		$Cl^{\prime}$		$NO_3^{\prime}$		Si	Окисляемость
	мг/л	% экв.	мг/л	% экв.	мг/л	% экв.	мг/л	% экв.	мг/л	% экв.	мг/л	% экв.	мг/л	% экв.	мг/л	мг/л кислорода
9.I	21,0	32,6	4,6	11,8	4,5	5,6	81,7	41,6	12,5	8,1	0,0	0,0	0,58	0,3	2,8	1,1
9.II	23,1	35,1	4,5	11,3	3,0	3,6	84,2	42,1	12,0	7,6	0,0	0,0	0,42	0,3	2,8	1,0
9.III	22,0	32,2	4,0	9,6	7,0	8,2	90,3	43,3	10,8	6,4	0,1	0,0	0,61	0,3	2,8	0,9
9.IV	22,0	31,6	4,0	9,5	7,8	8,9	92,7	43,7	10,8	6,3	0,0	0,0	—	—	—	1,5
9.V	8,4	31,4	2,0	11,9	2,2	6,7	36,8	44,8	3,2	5,2	0,1	0,0	—	—	2,0	13,5
9.VI	6,3	29,2	1,1	8,5	3,2	12,3	22,0	33,9	7,2	14,2	0,6	1,9	—	—	1,7	8,2
9.VII	10,5	31,7	3,4	17,1	0,5	1,2	46,6	46,3	2,8	3,7	0,1	0,0	0,24	0,0	2,3	3,4
9.VIII	11,4	28,8	5,0	20,7	0,2	0,5	54,5	45,0	3,6	4,0	0,4	0,5	0,40	0,5	2,8	1,5
9.IX	11,4	27,9	5,0	20,1	1,0	2,0	53,7	43,1	5,3	5,4	0,7	1,0	0,64	0,5	2,6	1,2
9.X	10,3	25,8	5,1	21,2	1,5	3,0	53,6	44,5	4,5	4,5	0,7	1,0	0,08	0,0	2,2	1,5
9.XI	16,6	32,7	4,0	13,0	2,8	4,3	68,1	44,1	6,4	5,1	0,4	0,1	0,80	0,4	2,0	1,1
9 XII	16,6	32,7	4,0	13,0	2,8	4,3	68,8	44,5	6,4	5,1	0,3	0,4	0,22	0,0	1,9	0,8

Таблица 25

Химический сток р. Тыи в 1950—1951 гг. (в тыс. т)

Месяц	Расход воды, м³/сек	$Ca^{\cdot\cdot}$	$Mg^{\cdot\cdot}$	$Na^{\cdot}+K^{\cdot}$	HCO_3'	SO_4''	Cl'	Si	Органическое вещество	Сумма ионов
				1950 год						
I	4,02	0,21	0,04	0,02	0,88	0,07	0,00	0,03	0,02	1,22
II	2,52	0,21	0,05	0,02	0,83	0,06	0,00	0,03	0,02	1,17
III	3,16	0,31	0,12	0,13	1,71	0,08	0,00	0,04	0,02	2,35
IV	2,87	0,14	0,01	0,07	0,59	0,05	0,01	0,02	0,02	0,87
V	52,8	3,67	0,62	2,49	18,16	1,47	0,09	0,41	2,40	26,50
VI	104,0	2,55	0,15	0,19	7,89	0,50	0,19	0,65	6,00	11,57
VII	30,4	2,10	0,53	0,00	7,88	0,83	0,09	0,32	0,41	11,43
VIII	27,1	1,38	0,37	0,13	5,62	0,47	0,05	0,21	0,24	9,02
IX	9,62	2,88	0,84	0,19	11,69	1,15	0,09	0,07	0,08	16,84
X	5,67	1,41	0,32	0,27	5,66	0,65	0,01	0,04	0,03	8,32
XI	4,18	0,55	1,12	0,05	2,07	0,24	0,01	0,03	0,02	3,04
XII	3,77	0,47	0,10	0,07	1,81	0,22	0,01	0,03	0,02	2,68
Итого . . .		15,88	3,27	3,63	64,77	5,79	0,55	1,88	4,63	92,89
				1951 год						
I	3,85	0,21	0,04	0,04	0,82	0,12	0,00	0,03	0,02	1,23
II	3,58	0,21	0,04	0,03	0,78	0,11	0,00	0,03	0,02	1,17
III	3,04	0,17	0,03	0,03	0,71	0,08	0,00	0,02	0,01	1,04
IV	2,96	0,17	0,03	0,03	0,71	0,08	0,00	0,03	0,02	1,05
V	89,0	1,94	0,46	0,51	8,49	0,74	0,02	0,51	2,90	12,16
VI	147,0	2,59	0,46	0,19	9,90	0,61	0,04	0,65	6,24	13,79
VII	71,2	1,94	0,63	0,09	8,60	0,52	0,07	0,42	1,25	11,85
VIII	42,9	1,27	0,56	0,02	6,06	0,40	0,04	0,31	0,33	8,35
IX	71,6	2,12	0,93	0,18	9,97	0,98	0,13	0,48	0,44	14,31
X	29,8	0,80	0,39	0,11	4,14	0,35	0,05	0,17	0,23	5,84
XI	10,2	0,44	0,11	0,07	1,80	0,17	0,01	0,05	0,60	2,60
XII	8,3	0,36	0,09	0,06	1,48	0,14	0,01	0,04	0,04	2,14
Итого . . .		12,20	3,77	1,43	53,46	4,30	0,38	2,74	11,58	75,54

Таблица 26

Химический сток р. Тыи (в % от годовых величин)

Месяц	$Ca^{\cdot\cdot}$	$Mg^{\cdot\cdot}$	$Na^{\cdot}+K^{\cdot}$	HCO_3'	SO_4''	Cl'	Si	Органическое вещество
I	1,7	1,3	3,0	1,3	2,8	0,5	1,0	0,1
II	1,7	1,2	2,0	1,5	2,5	0,5	0,9	0,1
III	1,4	0,9	3,9	1,3	2,0	0,5	0,8	0,1
IV	1,4	0,8	4,2	1,3	1,9	0,9	1,1	0,1
V	15,8	12,2	35,2	15,9	17,1	16,6	16,5	25,5
VI	21,7	12,1	13,2	18,6	14,1	34,8	23,9	54,9
VII	15,8	16,6	6,4	16,1	12,0	16,6	15,8	10,8
VIII	10,3	14,8	1,6	11,3	9,3	9,9	11,4	2,8
IX	17,3	24,6	12,9	18,9	23,1	16,6	19,0	3,8
X	6,5	10,5	8,0	7,7	8,1	1,2	6,1	1,1
XI	3,5	2,8	5,3	3,3	3,9	0,9	2,0	0,5
XII	2,9	2,2	4,3	2,8	3,2	1,0	1,5	0,2

Река Бугульдейка

Река Бугульдейка впадает в Байкал с западного берега на 106° восточной долготы. Площадь ее бассейна составляет около 1700 км², дебет — 0,3 км³.

Среди притоков Байкала с гидрохимической точки зрения Бугульдейка представляет особый интерес, так как в строении ее бассейна заметную роль играют известняки. Это одна из немногих речек со значительно большей по сравнению с байкальской минерализацией воды. Действительно, средний химический состав воды Бугульдейки, вычисленный по данным 1950—1951 гг. (табл. 28), показывает, что содержание в ее водах таких ионов, как кальций и гидрокарбонаты, примерно в 2 раза, а магния в 3 раза выше, нежели в водах Байкала, содержание же сульфатов в водах Бугульдейки превышает таковое в водах Байкала в среднем в 4,5 раза.

Еще более значительные различия в химическом составе воды р. Бугульдейки при сравнении его с составом байкальских вод проявляются в отдельные сезоны года, в частности в зимний период.

Гидрохимический режим р. Бугульдейки обычно аналогичен режиму крупных притоков Байкала (табл. 29). Максимальная минерализация воды реки приурочена к зимнему подледному периоду. Весенний паводок ведет к резкому падению минерализации воды с годовым минимумом в мае. От мая к июлю наблюдается рост содержания всех ионов. Августовский паводок вновь приводит к падению минерализации воды в реке, после чего идет ее новый рост в течение всего осенне-зимнего периода.

В некоторые годы, как, например, в 1951 г., гидрохимический режим р. Бугульдейки несколько изменяется, а именно: по окончании весеннего паводка уже к июлю устанавливается некоторая стабилизация содержания основных ионов в водах реки, удерживающаяся все лето и осень вплоть до ледостава (см. табл. 29). Объясняется это отсутствием летнего паводка, в результате чего в летне-осенний период (июль—декабрь) стабилизируются расходы воды в реке, а вместе с ними и гидрохимический режим последней.

Ионный сток р. Бугульдейки, вычисленный для 1951 г. и приведенный в табл. 30, составляет примерно 70 тыс. т в год. Количество выносимого органического вещества равно 5,5 тыс. т. При этом до 50—60% от годовой суммы ионов и до 90% органического вещества р. Бугульдейка в 1951 г. внесла в Байкал в течение всего двух месяцев — мая и июня, т. е. в период весеннего паводка. В остальную часть года сток всех компонентов не испытывал существенных изменений по месяцам. Отсутствие надежных данных о расходах воды за 1950 г. не позволяет сопоставить эти два года как по суммарному химическому стоку, так и по распределению его в отдельные месяцы и сезоны года. Судя по изменениям химического состава воды Бугульдейки, в 1950 г. распределение химического стока по месяцам было иным, нежели в 1951 г., приближаясь к наблюдаемому обычно в других притоках Байкала.

Интересно указать, что годовой химический сток Бугульдейки очень близок к химическому стоку Турки, в то время как по водному дебету Турка в 4 раза превосходит Бугульдейку.

Река Голоустная

Река Голоустная впадает в Байкал с западного побережья в 60 км севернее истока р. Ангары. Это небольшая горная речка длиной около 100 км с площадью бассейна 2260 км² и годовым дебетом 0,31 км³. Как

Таблица 27

Химический состав воды р. Давша в 1951 г. (по данным Гидрологического ежегодника)

Дата	$Ca^{\cdot\cdot}$		$Mg^{\cdot\cdot}$		$Na^{\cdot}+K^{\cdot}$		$HCO_3^{\prime}$		$SO_4^{\prime\prime}$		$Cl^{\prime}$		$NO_3^{\prime}$	$Fe_{общ}$	Si	Окисляемость
	мг/л	% экв.	мг/л	% экв.	мг/л	% экв.	мг/л	% экв.	мг/л	% экв.	мг/л	% экв.	мг/л	мг/л	мг/л	мг/л кислорода
10.V	7,3	34,6	1,6	12,5	0,8	2,9	25,6	40,4	4,4	8,6	0,3	1,0	0,00	0,20	4,8	20,1
10.VI	11,0	35,7	2,0	10,4	1,5	3,8	45,1	48,0	1,6	2,0	0,0	0,0	0,16	0,06	4,4	4,4
10.XI	17,1	36,1	1,6	5,4	5,8	9,5	69,0	46,7	3,6	3,3	0,0	0,0	0,26	0,00	6,0	1,5
10.XII	17,1	35,7	1,1	3,8	6,2	10,5	67,1	46,2	4,0	3,4	0,0	0,0	0,40	0,00	6,0	1,4

и р. Бугульдейка, она характеризуется несколько повышенным по сравнению с Байкалом содержанием компонентов ионного состава вод. В среднем общая сумма ионов в воде р. Голоустной равняется 130 мг/л (табл. 31).

Гидрохимический режим р. Голоустной может быть освещен достаточно подробно. В литературе опубликовано уже значительное число анализов воды этой речки, в том числе и результаты систематических круглогодичных наблюдений (Гидрологический ежегодник, 1956; Дегопик, 1948; Цурикова, 1954 и др.).

Из просмотренного нами аналитического материала по химизму вод р. Голоустной, состоящего более чем из 100 анализов, гидрохимический режим этой реки представляется вполне типичным, не имеющим существенных отличий от режима прочих притоков Байкала, с максимумом минерализации воды в подледный период (февраль-март) весенним (май-июнь) и летним (август) минимумами и летним меженным максимумом в июле (табл. 32).

Некоторые отклонения от обычного режима Голоустной были отмечены в 1950 г. В этом году вместо обычных двух минимумов минерализации в течение года наблюдалось три минимума: в конце апреля, конце июня и второй половине августа (табл. 33).

Химический сток Голоустной (табл. 34) подсчитан за два года — 1944 и 1950. Годовой суммарный сток ионов в оба эти года очень близок один к другому. В 1944 г. он составлял 38,5 тыс. т в 1950 г.— 41,3 тыс. т.

Однако сток отдельных компонентов имел существенные различия. Наиболее резко отличался сток щелочных металлов. В 1944 г. их сумма равнялась 2,77 тыс. т, а в 1950 г.— всего 0,52 тыс. т. Большие различия отмечены в стоке магния и сульфатов. В 1944 г. сток магния равнялся 1,12 тыс. т, в 1950 г.— 2,10 тыс. т; сульфатов в 1944 г.— 5,29 тыс. т и в 1950 г.— 3,59 тыс. т. Вероятно, различия эти обусловлены более интенсивным смывом сульфатов щелочных металлов в период летнего паводка 1944 г. (летний паводок в 1950 г. был незначительным).

Как и в других реках — притоках Байкала,— основная масса солей сносит-

Таблица 28

Средний химический состав воды р. Бугульдейки (в мг/л)

$Ca^{\cdot\cdot}$	$Mg^{\cdot\cdot}$	$Na^{\cdot}+K^{\cdot}$	$HCO_3^{\prime}$	$SO_4^{\prime\prime}$	$Cl^{\prime}$	Si	Окисляемость	Сумма ионов
31,7	10,8	7,1	135,3	25,3	0,5	4,1	8,1	210,7

ся водами Голоустной в летнее время — май—сентябрь до 80% от годового стока.

Годовой сток органического вещества составляет в Голоустной около 4,3 тыс. т, из которых примерно половина падает на период весеннего паводка.

Реки восточного побережья Южного Байкала

Район восточного побережья Байкала от р. Селенги на севере до южной оконечности озера наиболее подробно изучен в гидрохимическом отношении. Помимо значительного числа эпизодических наблюдений, охватывающих почти все притоки этой части Байкала, в литературе имеются данные круглогодичных исследований химизма воды шести рек этого района: Большой, Мантурихи, Мысовой, Снежной, Хара-Мурин и Утулика.

По своему характеру притоки восточного побережья Южного Байкала являются типичными горными речками, берущими свое начало на склонах хребта Хамар-Дабан и сохраняющими горный характер почти до места своего впадения в оз. Байкал. Только р. Большая, впадающая в Посольский сор, и соседние с ней речки в своем нижнем течении проходят по равнинной местности, образуя меандры и даже старицы.

Небольшая общая протяженность всех рассматриваемых притоков (длина речек не превышает 100 км, площадь бассейнов только у р. Снежной достигает 3 тыс. км^2, а у прочих составляет не более 1500 км^2) и однородность геологического строения их бассейнов, сложенных массивными кристаллическими породами Хамар-Дабана, определяет большую близость как химического состава их вод, так и гидрохимического режима.

Воды всех рассматриваемых притоков Байкала относятся к очень слабоминерализованным гидрокарбонатно-кальциевым водам. Их минерализация на протяжении всего года остается ниже минерализации байкальской воды. В периоды же паводков некоторые мелкие речки и ручьи несут воды очень близкие по содержанию отдельных компонентов ионного состава к водам атмосферных осадков, выпадающих в Прибайкалье.

Так, например, в р. Вторая Шестипалиха (табл. 35) в период весеннего паводка (апрель) содержание кальция падает до 2,4 мг/л, гидрокарбонатов (считая на $HCO_3^{\prime}$) до 6,7 мг/л, т. е. до величин, близких к среднему содержанию этих компонентов в водах атмосферных осадков Прибайкалья (см. главу III).

Гидрохимический режим притоков описываемого района аналогичен режиму р. Селенги и других притоков Байкала (табл. 35). Максимальная минерализация воды приходится на зиму. В периоды паводков минерализация достигает минимума. В период летней межени наблюдается рост минерализации воды. В целом в течение года максимальные величины минерализации воды превышают минимальные ее величины в 2—2,5 раза.

Таблица 29

Сезонные изменения химического состава воды р. Бугульдейки (по данным Гидрологического ежегодника)

Дата	$Ca^{\cdot\cdot}$		$Mg^{\cdot\cdot}$		$Na^{\cdot}+K^{\cdot}$		$HCO_3^{\prime}$		$SO_4^{\prime\prime}$		$Cl^{\prime}$		$NO_3^{\prime}$	$Fe_{общ}$	Si	Окисляемость
	мг/л	% экв.	мг/л	% экв.	мг/л	% экв.	мг/л	% экв.	мг/л	% экв.	мг/л	% экв.	мг/л	мг/л	мг/л	мг/л кислорода
1950 год																
18.V	37,0	31,2	12,5	17,4	2,0	1,4	155,4	43,1	17,8	6,3	0,6	0,3	1,20	0,10	6,2	—
18.VI	43,2	31,0	15,6	18,3	1,2	0,7	187,9	44,1	19,1	5,8	0,5	0,1	0,27	0,04	3,4	4,6
12.VII	43,2	28,1	20,1	21,5	0,8	0,4	205,0	43,7	22,0	6,0	0,6	0,3	0,26	0,04	—	—
19.VIII	26,4	34,6	6,6	14,1	1,2	1,3	100,5	43,2	12,1	6,5	0,2	0,3	0,22	—	4,5	17,0
7.IX	39,8	29,8	15,2	18,7	2,5	1,5	180,1	44,2	18,3	5,7	0,2	0,1	—	—	4,0	4,6
10.XI	56,9	31,3	20,3	18,4	0,8	0,3	244,0	44,1	25,2	5,7	0,5	0,1	0,45	—	4,1	—
10.XII	54,3	28,8	23,7	20,7	1,2	0,5	251,9	43,9	24,8	5,5	1,1	0,3	1,76	0,06	4,3	1,3
1951 год																
10.I	59,6	31,0	22,0	18,9	0,2	0,1	261,1	44,6	23,1	5,0	0,7	0,2	1,44	0,06	4,1	1,4
10.II	58,0	29,5	23,1	19,3	3,0	1,2	266,0	44,3	24,8	5,3	0,4	0,1	1,68	0,08	4,3	1,3
17.III	60,1	30,1	23,6	19,4	1,2	0,5	269,4	44,3	26,4	5,5	0,4	0,1	0,83	0,08	—	1,4
10.IV	41,7	30,2	15,4	18,5	2,2	1,3	178,1	42,4	23,1	7,0	0,7	0,3	1,04	—	5,1	6,2
10.V	20,0	25,8	6,3	13,4	10,5	10,8	83,0	35,1	26,9	14,4	0,7	0,5	—	—	4,2	11,4
10.VII	51,4	32,9	15,7	16,6	1,0	0,5	212,3	44,7	19,7	5,3	0,1	0,0	0,00	—	3,4	2,7
10.VIII	51,1	32,8	17,0	17,5	1,0	0,5	217,2	44,6	20,5	5,4	0,1	0,0	0,00	—	3,4	4,4
10.IX	51,1	32,1	17,0	17,6	0,5	0,3	217,2	44,9	19,3	5,0	0,2	0,1	0,08	—	3,6	2,4
10.X	52,1	31,5	18,1	18,0	1,0	0,5	222,0	44,1	22,9	5,8	0,2	0,1	0,08	—	3,6	2,1
10.XI	52,0	28,9	20,9	19,2	4,2	1,9	225,7	41,2	35,9	8,4	0,6	0,2	1,22	—	4,4	—
10.XII	54,9	28,6	23,7	20,3	2,8	1,1	246,4	42,1	33,4	7,3	0,9	0,2	2,66	—	4,4	—

Таблица 30

Химический сток р. Бугульдейки в 1951 г. (в тыс. т)

Месяц	Расход воды, м³/сек	$Ca^{\cdot\cdot}$	$Mg^{\cdot\cdot}$	$Na^{\cdot}+K^{\cdot}$	$HCO_3^{\prime}$	$SO_4^{\prime\prime}$	$Cl^{\prime}$	Si	Органическое вещество	Сумма ионов
I	4,0	0,62	0,23	0,00	2,71	0,24	0,01	0,04	0,03	3,81
II	3,5	0,53	0,21	0,03	2,41	0,22	0,00	0,04	0,02	3,40
III	3,0	0,47	0,18	0,01	2,09	0,20	0,00	0,04	0,02	2,95
IV	2,6	0,28	0,10	0,01	1,20	0,16	0,01	0,04	0,08	1,76
V	73,0	3,78	1,19	1,99	15,70	5,09	0,13	0,79	4,31	28,08
VI	20,0	1,80	0,57	0,25	7,70	1,10	0,01	0,20	0,70	11,43
VII	5,0	0,67	0,20	0,01	2,75	0,25	0,00	0,04	0,07	3,88
VIII	3,5	0,46	0,15	0,01	1,97	0,19	0,00	0,03	0,08	2,78
IX	4,1	0,54	0,18	0,01	2,31	0,20	0,00	0,04	0,05	3,21
X	3,5	0,47	0,16	0,01	2,01	0,21	0,00	0,03	0,04	2,86
XI	3,0	0,40	0,16	0,03	1,75	0,28	0,01	0,03	0,02	2,63
XII	4,5	0,64	0,28	0,03	2,87	0,39	0,01	0,05	0,03	4,22
Итого . .		10,66	3,62	2,39	45,49	8,54	0,18	1,38	5,46	70,88

Газовый режим притоков восточного побережья Южного Байкала изучен нами совместно с Бочкаревым и Щепетуниным (Бочкарев, Щепетунин и Ботинцев, 1938) на примере р. Большой. Он характеризуется достаточно устойчивым в течение года содержанием кислорода, процент насыщения вод которым даже зимой не падает ниже 85%, и небольшим содержанием свободной CO_2 — не свыше 5—6 мг/л в подледный период.

Таблица 31

Химический состав воды р. Голоустной (в мг/л)

$Ca^{\cdot\cdot}$	$Mg^{\cdot\cdot}$	$Na^{\cdot}+K^{\cdot}$	$HCO_3^{\prime}$	$SO_4^{\prime\prime}$	$Cl^{\prime}$	Si	Окисляемость	Сумма ионов
18,5	6,7	1,6	94,3	11,5	0,3	3,9	6,85	132,9

Следует оговориться, что ряд малых речек и ручьев зимой промерзает до дна, образуя мощные наледи. Понятно, что их зимний газовый режим не может быть благоприятным для обитателй этих водоемов. Тем не менее, многие организмы, как, например, личинки симулид, паденок, веснянок, ручейников и др. водных насекомых, перезимовывают и в этих речках на неперемерзающих участках.

Содержание и сезонный режим соединений биогенных элементов в речках рассматриваемого района менее изучены. Имеются данные круглогодичных наблюдений над содержанием кремния, нитратного азота и общего железа в водах рр. Снежной и Большой (Гидрологический ежегодник, 1956, Бочкарев и др., 1938). Судя по этим данным, содержание кремния в описываемых притоках хотя и невелико — не свыше 5 мг/л, но все же значительно выше его содержания в водах Байкала. При этом каких-либо закономерных изменений в содержании кремния в течение года отметить не удается. Содержание нитратного азота в водах р. Снежной очень велико. Зимой оно достигает 0,4 мг/л. В период весеннего паводка содержание нитратного азота падает до 0,04 мг/л, в летне-

Таблица 32

Сезонные изменения химического состава воды р. Голоустной

Дата	$Ca^{\cdot\cdot}$		$Mg^{\cdot\cdot}$		$Na^{\cdot}+K^{\cdot}$		$HCO_3^{\prime}$		$SO_4^{\prime\prime}$		$Cl^{\prime}$	
	мг/л	% экв.	мг/л	% экв.	мг/л	% экв.	мг/л	% экв.	мг/л	% экв.	мг/л	% экв.
						1943 год						
3.I	35,7	27,3	12,5	16,3	7,8	5,4	146,4	38,2	33,0	10,9	2,2	0,9
3.II	33,1	27,3	11,8	16,1	9,2	6,6	138,5	37,6	33,5	11,6	1,8	0,8
3.III	26,8	21,0	13,1	17,0	17,5	12,0	142,7	36,8	37,4	12,3	2,2	0,9
3.IV	38,9	28,7	6,8	8,3	20,2	13,0	155,6	37,8	36,7	11,2	2,6	1,0
4.V	23,4	31,6	4,0	8,9	8,0	9,5	81,1	36,0	17,3	9,7	5,5	4,3
3.VI	23,2	40,8	2,9	8,5	0,6	0,7	62,2	36,0	14,9	11,2	2,9	2,8
3.VII	24,4	30,8	5,6	11,6	6,9	7,6	88,5	36,6	20,4	10,6	4,0	2,8
3.IX	26,0	31,0	7,2	14,0	4,8	5,0	98,8	38,6	21,6	10,7	1,0	0,7
3.X	21,8	29,2	7,9	17,3	3,0	3,5	85,4	37,5	21,1	11,7	1,0	0,8
7.XI	30,5	29,4	8,4	13,3	8,7	7,3	123,2	39,0	25,7	10,4	1,2	0,6
.X I 3	32,5	30,5	8,9	13,7	7,1	5,8	128,2	39,6	25,7	10,0	0,6	0,4
						1944 год						
3.I	29,5	26,1	11,5	16,8	9,2	7,1	137,9	40,0	25,7	9,6	0,7	0,4
3.II	34,9	30,2	12,0	17,0	3,7	2,8	137,9	39,2	29,5	10,5	0,9	0,3
3.III	34,6	28,5	12,6	17,1	6,2	4,4	143,1	38,7	32,1	11,0	0,6	0,3
3.IV	35,3	29,7	10,6	14,7	7,6	5,6	140,3	38,9	30,7	10,8	0,8	0,3
3.V	17,4	32,2	3,2	9,5	5,1	8,3	59,2	35,8	16,7	12,9	1,2	0,3
3.IV	20,2	30,4	4,1	10,2	7,1	9,4	75,0	37,0	19,6	12,4	0,6	0,6
1.VII	23,2	29,9	1,4	3,1	15,2	17,0	90,9	38,4	20,0	10,8	1,2	0,8
3.VIII	23,6	26,5	5,6	10,3	15,1	13,2	106,1	39,1	22,8	10,5	0,6	0,4
5.VIII	12,8	24,4	6,3	19,8	3,4	5,8	64,1	40,2	11,9	9,6	0,5	0,2
3.X	22,6	28,0	7,1	14,4	7,1	7,6	97,0	39,4	19,6	10,1	0,6	0,5
3.XI	27,6	30,0	8,4	15,0	5,3	5,0	112,2	40,0	21,2	9,6	0,6	0,4
						1945 год						
3.I	36,5	32,7	6,9	10,4	9,0	6,9	132,4	39,0	27,8	10,4	1,1	0,6
3.II	33,1	29,7	2,6	3,8	20,9	16,5	133,6	39,4	27,0	10,1	1,0	0,5
1.III	34,5	28,7	2,7	3,7	24,4	17,6	142,1	38,9	31,4	10,8	0,8	0,3
3·IV	32,5	29,9	6,3	9,6	13,1	10,5	125,7	38,0	30,4	11,6	0,8	0,4

осенний период лежит в пределах 0,07—0,10 мг/л, т. е. в целом значительно превышает его содержание в водах Байкала. В р. Большой содержание нитратного азота ниже, чем в р. Снежной, и не превышает в течение года 0,07 мг/л.

Что касается содержания железа, то имеющиеся данные для притоков описываемого района, включая сюда и эпизодические наблюдения на отдельных речках, говорят о значительных колебаниях содержания этого компонента в течение года. Основная масса его, вероятно, представлена коллоидальными частицами, а также более грубодисперсными взвесями железосодержащих минералов — продуктов разрушения горных пород. Поэтому максимальные количества железа в водах рек приурочены к периодам паводков, а во внепаводочный период оно иногда полностью отсутствует (аналитический нуль).

Содержание органического вещества в притоках восточного побережья Южного Байкала, как о том можно судить по величинам

Таблица 33

Сезонные изменения химического состава воды р. Голоустной в 1959 г. (по данным Гидрологического ежегодника)

Дата	$Ca^{\cdot\cdot}$		$Mg^{\cdot\cdot}$		$Na^{\cdot}+K^{\cdot}$		$HCO_3^{\prime}$		$SO_4^{\prime\prime}$		$Cl^{\prime}$		$NO_3^{\prime}$		Si	Окисляемость
	мг/л	% экв.	мг/л	% экв.	мг/л	% экв.	мг/л	% экв.	мг/л	% экв.	мг/л	% экв.	мг/л	% экв.	мг/л	мг/л кислорода
10.II	38,1	30,5	12,4	16,3	5,0	3,2	152,3	40,1	27,1	9,0	0,6	0,3	2,40	0,6	6,2	—
10.III	37,6	30,7	13,6	18,3	1,5	1,0	153,0	41,0	24,2	8,2	0,6	0,3	2,00	—	5,3	—
29.IV	14,4	34,3	3,0	11,9	2,0	3,8	52,5	40,9	8,9	8,6	0,4	0,5	—	—	4,0	—
5.V	20,1	29,8	7,5	18,4	1,5	1,8	85,9	42,0	11,9	7,4	0,4	0,3	0,43	0,3	3,1	—
12.VI	22,6	29,9	8,4	18,3	1,8	1,8	95,2	41,2	15,0	8,2	0,3	0,3	0,76	0,3	3,3	4,9
28.VI	8,2	26,6	3,4	18,2	2,0	5,2	34,2	36,4	10,2	13,6	0,1	—	0,08	—	3,3	11,8
30.VI	9,3	26,1	4,9	22,7	0,5	1,2	44,5	41,5	7,4	8,5	0,0	0,0	0,00	0,0	3,4	6,5
1.VII	9,3	26,1	4,7	22,2	0,8	1,7	43,9	40,9	7,4	8,5	0,2	0,6	0,02	—	3,3	6,0
3.VII	16,5	25,6	8,3	21,3	2,5	3,1	81,7	41,9	11,9	7,8	0,3	0,3	0,18	—	3,4	4,0
18.VIII	11,9	30,4	3,6	15,5	2,0	4,1	48,8	41,2	8,0	8,8	0,0	0,0	—	—	5,6	11,3
19.VIII	9,8	29,2	2,4	11,9	3,8	8,9	43,9	42,9	5,8	7,1	0,0	0,0	—	—	6,8	16,4
9.IX	12,4	26,5	5,2	18,4	3,0	5,1	60,7	42,7	8,0	7,3	0,0	0,0	—	—	5,6	11,6
10.X	21,4	32,2	6,4	16,0	1,5	1,8	85,0	41,9	12,4	7,8	0,3	0,3	0,21	—	4,1	3,3
10.XII	38,0	33,2	11,4	16,4	0,5	0,4	140,3	40,2	24,3	8,9	0,4	0,2	2,40	0,7	4,1	1,2

Таблица 34

Химический сток р. Голоустной (в т)

Месяц	Расход воды, м³/сек	$Ca^{\cdot\cdot}$	$Mg^{\cdot\cdot}$	$Na^{\cdot}+K^{\cdot}$	$HCO_3^{\prime}$	$SO_4^{\prime\prime}$	$Cl^{\prime}$	Si	Органическое вещество	Суммы ионов
				1944 год						
I	0,61	47	18	14	218	40	1	—	—	338
II	0,63	57	19	6	225	48	1	—	—	356
III	0,36	32	12	6	133	30	0,5	—	—	213,5
IV	1,10	100	30	21	400	87	2	—	—	640
V	22,2	1001	184	290	3406	960	70	—	—	5911
VI	10,2	534	108	188	1982	518	16	—	—	3346
VII	26,7	1605	97	1050	6291	1384	83	—	—	10470
VIII	27,9	1706	405	982	7673	1648	43	—	—	12457
IX	5,32	300	100	92	1000	200	8	—	—	1700
X	3,85	225	75	71	968	195	5	—	—	1539
XI	2,32	166	50	32	674	127	5	—	—	1054
XII	0,85	70	20	15	282	56	1	—	—	444
Итого		5843	1118	2767	23252	5293	236	—	—	38509
				1950 год						
I	1,33	124	39	3	460	84	1,6	20	50	711,6
II	1,07	131	43	17	525	93	2	20	50	811
III	0,90	88	32	3	357	56	1	12	50	537
IV	2,25	84	17	12	306	52	2	23	50	473
V	62,1	3235	1207	241	18827	1915	64	499	2000	25579
VI	11,4	668	248	53	2813	443	9	97	454	4234
VII	9,99	241	127	13	1153	192	3	85	260	1729
VIII	15,4	475	144	80	1948	320	4	247	700	2971
IX	7,92	254	107	62	1246	164	2	115	476	1835
X	4,70	261	78	18	1035	151	4	50	80	1547
XI	1,85	75	27	11	350	48	1	30	50	512
XII	1,20	128	35	1	436	76	1	12	50	667
Итого . .		5754	2104	515	29357	3594	95	1200	4270	41419

окисляемости воды, испытывает в течение года резкие колебания. Большую часть года содержание органического вещества остается крайне незначительным — окисляемость воды притоков не поднимается выше 2,0—2,5 мг/л кислорода, но в периоды паводков количество органического вещества в речных водах резко возрастает. Так, весной, окисляемость воды этих притоков нередко достигает 10—15 мг/л кислорода и выше. В период летнего паводка величины окисляемости хотя и не поднимаются так высоко, но все же также заметно возрастают.

Химический сток рек изучаемого района может быть показан на тех же примерах — рр. Мантурихе, Снежной, Утулике и др. Годовые величины его (табл. 36) для указанных рек невелики. Так, годовой сток минеральных солей в р. Мантурихе составляет всего около 11 тыс. т, в р. Хара-Мурин — 23 тыс. т, в р. Утулике — 33 тыс. т. Лишь сток р. Снежной поднимается несколько выше — до 64—73 тыс. т.

Сток органического вещества относительно более значителен, составляя в среднем 10—12% от годового стока солей.

Таблица 35

Сезонные изменения химического состава воды некоторых рек восточного побережья Южного Байкала (по данным Гидрологического ежегодника)

Дата	$Ca^{\cdot\cdot}$		$Mg^{\cdot\cdot}$		$Na^{\cdot}+K^{\cdot}$		$HCO_3^{\prime}$		$SO_4^{\prime\prime}$		$Cl^{\prime}$		Si	$NO_3^{\prime}$	$Fe_{общ}$	Окисляемость
	мг/л	% экв.	мг/л	% экв.	мг/л	% экв.	мг/л	% экв.	мг/л	% экв.	мг/л	% экв.	мг/л	мг/л	мг/л	мг/л кислорода
Р. Мантурихa, 1946 год																
26.II	11,3	29,5	3,6	15,8	2,2	4,7	51,4	44,2	4,4	4,7	0,8	1,1	—	—	—	2,1
28.III	9,1	41,7	1,0	7,4	0,2	0,9	28,1	42,6	3,0	5,5	0,6	1,9	—	—	—	2,2
28.IV	11,1	—	3,2	—	—	—	44,5	—	7,4	—	—	—	—	—	—	4,8
22.VI	9,9	29,9	2,1	10,4	4,0	9,7	39,7	39,7	6,7	8,5	1,2	1,8	—	—	—	—
7.VII	10,6	39,6	1,0	5,9	1,5	4,5	35,9	44,0	3,1	4,5	0,6	1,5	—	—	—	2,6
21.VIII	11,4	39,6	1,1	6,2	1,5	4,2	40,2	45,8	2,3	3,5	0,3	0,7	—	—	—	2,1
24.IX	10,6	42,8	1,0	6,4	0,2	0,8	34,1	45,2	2,3	4,0	0,2	0,8	—	—	—	—
17.X	11,8	41,6	1,0	5,6	1,0	2,8	39,9	45,1	3,0	4,2	0,4	0,7	—	—	—	—
15.XI	11,6	43,3	1,0	5,9	0,2	0,8	37,1	45,5	2,6	3,7	0,2	0,8	—	—	—	2,2
30.XI	12,5	43,1	1,1	6,2	0,2	0,7	38,4	43,8	4,0	5,5	0,2	0,7	—	—	—	3,2
29.XII	13,7	43,6	1,0	5,1	0,5	1,3	42,0	44,3	3,6	5,1	0,3	0,6	—	—	—	—
Р. Мысовая, 1944 год																
31.I	9,6	36,4	1,7	10,6	0,9	3,0	35,4	43,9	3,5	5,3	0,5	0,8	—	—	—	—
27.II	9,6	35,0	1,2	6,5	2,7	8,5	37,2	43,6	3,5	5,0	0,8	1,4	—	—	—	—
30.III	9,6	33,8	2,2	12,7	1,1	3,5	37,2	43,0	4,0	5,6	0,6	1,4	—	—	—	—
5.IV	2,5	25,0	0,8	14,6	1,1	10,4	10,4	35,4	1,4	6,3	1,6	8,3	—	—	—	1,1
28.IV	6,4	39,0	0,1	1,2	1,8	9,8	15,9	31,7	5,3	13,4	1,6	4,9	—	—	—	—
30.V	5,2	28,9	1,8	16,7	0,9	4,4	23,7	43,3	2,3	5,6	0,5	1,1	—	—	—	2,7
2.VII	10,2	37,5	1,7	10,3	0,7	2,2	37,2	44,8	2,4	3,7	0,6	1,5	—	—	—	—
30.VII	8,0	—	2,2	—	—	—	31,7	—	2,1	—	0,8	—	—	—	—	—
29.XII	6,7	28,9	2,2	15,8	1,4	5,3	31,1	44,5	1,0	1,8	1,4	3,5	—	—	—	2,0

Таблица 35 (продолжение)

Дата	$Ca^{\cdot\cdot}$		$Mg^{\cdot\cdot}$		$Na^{\cdot}+K^{\cdot}$		$HCO_3^{\prime}$		$SO_4^{\prime\prime}$		$Cl^{\prime}$		Si	$NO_3^{\prime}$	$Fe_{общ}$	Окисляемость
	мг/л	% экв.	мг/л	% экв.	мг/л	% экв.	мг/л	% экв.	мг/л	% экв.	мг/л	% экв.	мг/л	мг/л	мг/л	мг/л кислорода
Р. Вторая Шестипалиха, 1946 год																
18.VI	4,2	30,9	0,4	4,4	2,5	14,7	14,6	35,2	4,1	11,8	0,9	3,0	—	—	—	—
31.VIII	3,4	36,9	0,6	10,9	0,2	2,2	12,7	45,6	0,5	2,2	0,4	2,2	—	—	—	—
27.IX	3,0	35,7	0,6	11,9	0,2	2,4	10,9	42,8	1,0	4,8	0,2	2,4	—	—	—	—
То же, 1947 год																
27.II	3,9	27,0	0,7	8,1	2,8	14,9	15,8	35,1	2,3	6,8	2,0	8,1	—	—	—	2,7
15.IV	3,2	30,8	0,4	5,7	1,8	13,5	9,2	28,9	2,3	9,6	2,0	11,5	—	—	—	15,6
30.IV	2,4	28,6	0,5	9,5	1,2	11,9	6,7	26,2	2,6	11,9	1,7	11,9	—	—	—	10,7
31.VIII	3,4	32,7	0,4	5,8	1,5	11,5	11,5	36,5	2,3	9,6	0,6	3,9	—	—	—	12,5
31.X	2,5	35,3	0,4	8,8	0,5	5,9	8,6	41,2	1,0	5,9	0,3	2,9	—	—	—	4,9
Р. Снежная, 1947 год																
31.I	11,8	36,0	1,0	4,9	3,8	9,1	40,3	40,3	7,2	9,1	0,3	0,6	—	—	—	1,5
27.II	12,5	34,4	1,1	5,0	4,8	10,6	42,1	38,3	9,2	10,6	0,6	1,1	—	—	—	1,3
26.III	12,5	34,4	1,2	5,6	4,5	10,0	42,6	38,9	8,2	9,4	1,0	1,7	—	—	—	—
29.IV	10,3	38,1	0,4	2,2	3,2	9,7	29,8	36,6	8,1	12,7	0,4	0,7	—	—	—	3,0
31.V	5,3	36,1	0,4	4,2	1,8	9,7	12,1	27,8	6,9	19,4	0,6	2,8	—	—	—	5,0
30.VI	7,6	38,0	0,7	6,0	1,5	6,0	23,7	39,0	4,6	10,0	0,3	1,0	—	—	—	5,9

Таблица 35 (продолжение)

Дата	$Ca^{\cdot\cdot}$		$Mg^{\cdot\cdot}$		$Na^{\cdot}+K^{\cdot}$		$HCO_3^{\prime}$		$SO_4^{\prime\prime}$		$Cl^{\prime}$		Si	$NO_3^{\prime}$	$Fe_{общ}$	Окисляемость
	мг/л	% экв.	мг/л	% экв.	мг/л	% экв.	мг/л	% экв.	мг/л	% экв.	мг/л	% экв.	мг/л	мг/л	мг/л	мг/л кислорода
Р. Снежная, 1947 год																
12.VII	8,4	37,5	0,5	3,6	2,5	8,9	26,2	38,4	5,3	9,8	0,6	1,8	—	—	—	4,5
31.VII	5,7	37,8	0,6	6,8	1,0	5,4	15,8	35,1	4,3	12,2	0,6	2,7	—	—	—	6,4
31.VIII	7,7	38,8	0,7	6,1	1,2	5,1	22,5	37,8	4,3	9,2	1,0	3,0	—	—	—	—
31.IX	12,7	41,4	0,4	2,0	2,5	6,6	38,4	41,4	4,9	6,6	1,0	2,0	—	—	—	2,0
20.XI	14,1	42,7	0,5	2,4	2,0	4 9	42,0	42,1	5,6	7,3	0,3	0,6	—	—	—	1,9
То же, 1951 год																
10.II	—	—	—	—	3,2	6,4	50,8	40,6	7,1	7,4	0,7	1,0	4,8	1,00	0,06	0,9
10.III	—	—	—	—	3,0	5,9	49,8	40 6	6,7	6,9	0,7	1,0	4,8	2,00	0,06	0,9
10.IV	16,2	39,0	1,0	3,8	3,8	7,2	52,5	41,3	7,1	7,2	0,4	0,5	4,8	1,00	0,00	1,1
10.V	8,4	35,6	1,9	13,6	0,2	0,8	32,3	44,9	3,0	5,1	0,0	0,0	3,9	0,16	0,16	7,9
10.VI	7,3	31,6	2,2	15,8	0,8	2,6	28,4	41,2	4,2	7,9	0,0	0,0	3,9	0,42	0,00	2,2
10.VII	8,4	35,6	1,9	13,6	0,2	0,8	29,3	40,7	5,4	9,3	0,1	0,0	3,9	0,26	0,00	5,0
10.VIII	10,4	42,7	0,2	1,6	1,8	5,7	31,7	42,6	3,9	6,6	0,0	0,0	3,6	0,48	0,00	2,6
15.VIII	7,8	39,8	0,2	2,0	2,0	8,2	24,4	40,8	4,5	9,2	0,0	0,0	3,6	0,26	0,94	1,6
2.IX	8,8	37,9	0,1	0,9	3,2	11,2	29,3	41,4	4,9	8,6	0,0	0,0	4,2	0,32	—	10,9
10.IX	9,3	40,4	0,5	3,5	1,8	6,1	30,5	43,8	2,9	5,3	0,0	0,0	3,6	0,42	0,02	4,2
10.X	13,0	47,1	0,5	2,9	0,0	0,0	35,4	42,0	4,3	6,6	0,2	0,7	3,6	0,61	0,00	1,9
10.XI	14,1	41,2	1,2	5,9	1,2	2,9	45,1	43,5	4,3	5,3	0,2	0,6	2,8	0,67	0,00	2,0
10.XII	14,5	40,5	1,0	4,5	2,2	5,0	46,4	42,7	5,9	6,7	0,0	0,0	4,7	0,80	0,00	—

Таблица 35 (окончание)

Дата	$Ca^{\cdot\cdot}$		$Mg^{\cdot\cdot}$		$Na^{\cdot}+K^{\cdot}$		$HCO_3^{\prime}$		$SO_4^{\prime\prime}$		$Cl^{\prime}$		Si	$NO_3^{\prime}$	$Fe_{общ}$	Окисляемость
	мг/л	% экв.	мг/л	% экв.	мг/л	% экв.	мг/л	% экв.	мг/л	% экв.	мг/л	% экв.	мг/л	мг/л	мг/л	мг/л кислорода
Р. Хара-Мурин, 1946 год																
27.II	7,0	29,2	1,4	10,0	3,5	10,8	27,4	37,5	6,6	11,7	0,5	0,8	—	—	—	2,1
31.III	7,1	26,9	2,4	15,4	2,5	7,7	27,4	34,6	8,6	13,9	0,9	1,5	—	—	—	2,3
30.IV	6,7	28,4	2,3	16,4	1,5	5,2	23,8	33,6	8,7	15,5	0,2	0,9	—	—	—	4,3
31.V	5,9	27,4	1,2	9,4	3,5	13,2	23,8	36,8	5,8	11,3	0,7	4,7	—	—	—	4,7
30.VI	5,9	25,0	1,1	7,8	5,0	17,2	23,4	32,8	8,4	15,5	0,9	1,7	—	—	—	6,8
21.VII	3,8	27,2	0,6	7,1	2,8	15,7	10,9	25,7	3,8	11,4	3,1	12,9	—	—	—	10,2
16.VIII	4,6	32,0	0,9	9,7	1,5	8,3	13,4	30,5	6,4	18,1	0,2	1,4	—	—	—	—
29.IX	4,2	—	0,6	—	—	—	—	—	7,2	—	1,9	—	—	—	—	—
30.X	—	—	—	—	—	—	14,6	—	5,1	—	0,1	—	—	—	—	2,4
29.XII	7,0	33,0	1,2	9,4	2,0	7,6	24,3	37,7	6,3	12,3	0,1	0,0	—	—	—	—
Р. Утулик, 1946 год																
31.I	—	—	—	—	—	—	58,3	37,8	13,8	11,4	0,9	0,8	—	—	—	2,8
25.II	18,0	37,2	3,0	10,3	1,5	2,5	54,9	37,2	13,9	12,0	0,8	0,8	—	—	—	1,8
24.III	17,0	35,1	3,9	13,2	1,0	1,7	54,9	37,2	13,9	12,0	0,0	0,8	—	—	—	1,7
30.IV	14,8	35,6	1,5	5,8	4,5	8,6	47,6	37,5	12,3	12,5	0,1	0,0	—	—	—	4,6
31.V	7,0	19,9	2,2	10,2	8,8	19,9	30,9	29,0	11,0	13,0	4,8	8,0	—	—	—	7,9
5.VI	12,0	39,0	1,2	6,5	1,8	4,5	30,9	33,1	11,7	15,6	0,6	1,3	—	—	—	2,5
17.VI	9,4	30,5	1,0	5,2	5,5	14,3	33,5	35,7	9,4	13,0	0,8	1,3	—	—	—	—
12.VII	12,1	25,2	4,0	13,9	6,5	10,9	54,9	37,8	13,0	11,4	0,9	0,8	—	—	—	—
18.VIII	15,4	42,8	1,5	6,7	0,2	0,5	42,0	38,3	9,7	11,1	0,2	0,6	—	—	—	2,6
5.IX	13,5	36,4	1,2	5,4	3,8	8,2	40,2	35,9	11,5	13,0	0,6	1,1	—	—	—	—
30.IX	16,8	42,4	1,5	6,1	0,8	1,5	42,6	35,4	13,4	14,1	0,4	0,5	—	—	—	—
31.X	15,5	37,0	1,2	4,8	4,2	8,2	44,5	35,1	13,8	13,9	0,6	1,0	—	—	—	3,3
18.XI	16,4	38,7	0,9	3,3	4,2	8,0	46,9	36,3	13,7	13,2	0,2	0,5	—	—	—	2,1
30.XI	17,5	37,2	1,2	4,3	5,0	8,5	50,6	35,5	16,0	14,1	0,2	0,4	—	—	—	2,3
31.XII	18,2	41,0	1,5	5,4	2,0	3,6	51,8	38,3	12,4	11,7	0,1	0,0	—	—	—	2,2

Таблица 36

Химический сток притоков восточного побережья Южного Байкала (в т)

Месяц	Расход воды, м³/сек	$Ca^{\cdot\cdot}$	$Mg^{\cdot\cdot}$	$Na^{\cdot}+K^{\cdot}$	HCO_3'	SO_4''	Cl'	Si	Органическое вещество	Сумма ионов
				Р. Мантуриха, 1946 год						
I	3,04	89	28	17	405	35	6	—	32	580
II	3,08	90	28	17	410	35	6	—	32	586
III	3,18	75	8	2	232	25	5	—	36	347
IV	8,04	231	66	10	927	154	10	—	200	1398
V	15,6	350	70	100	1300	200	30	—	400	2050
VI	12,5	320	68	130	1286	217	38	—	400	2059
VII	6,71	184	17	26	624	54	10	—	90	915
VIII	5,69	168	16	22	593	34	4	—	60	837
IX	5,67	155	15	3	501	34	3	—	50	711
X	5,87	179	15	15	594	46	6	—	50	855
XI	2,62	81	7	1	260	27	1	—	36	377
XII	1,87	66	5	3	203	17	1	—	20	295
Итого . .		1988	343	346	7335	878	120	—	1400	11010
				Р. Снежная, 1947 год						
I	2,95	90	8	29	308	55	2	—	—	492
II	3,55	115	10	44	387	85	5	—	—	646
III	3,37	109	10	39	372	71	9	—	—	610
IV	14,6	390	15	121	1127	306	15	—	—	1974
V	63,6	874	65	296	1994	1137	98	—	—	4464
VI	109,0	2147	198	424	6696	1299	85	—	—	10849
VII	114,0	2482	148	738	7742	1566	177	—	—	12853
VIII	126,0	2514	228	391	7348	1404	326	—	—	12211
IX	59,1	1945	61	383	5882	750	153	—	—	9174
X	40,4	1400	47	230	4000	540	60	—	—	6277
XI	16,4	599	21	85	1785	238	13	—	—	2741
XII	12,5	300	15	50	1100	160	10	—	—	1635
Итого . . .		12965	825	2830	38741	7610	952	—	—	53923
				То же, 1951 год						
I	8,40	326	21	70	1014	155	15	104	40	1601
II	4,74	184	12	39	624	87	8	59	22	954
III	4,04	157	10	31	521	70	7	50	18	796
IV	6,68	280	17	66	909	122	7	83	38	1401
V	132	2874	650	68	11051	1026	10	1334	5406	15679
VI	87,5	1655	499	181	6441	952	10	884	500	9338
VII	67,4	1467	332	35	5119	943	17	681	1747	7913
VIII	87,8	2367	45	410	7214	887	10	820	1184	10933
IX	94,6	2280	122	441	7479	711	10	883	2060	11043
X	30,8	1038	40	10	2826	343	16	287	300	4273
XI	12,8	468	40	40	1496	142	7	93	132	2193
XII	10,4	390	26	59	1250	159	7	126	50	1891
Итого . . .		13486	1814	1382	45944	5597	124	5404	11497	68347
				Р. Хара-Мурин, 1946 год						
I	6,27	114	21	48	445	107	8	—	68	743
II	4,81	87	17	44	342	82	6	—	52	578
III	2,84	52	17	18	202	63	7	—	32	359

Таблица 36 (окончание)

Месяц	Расход воды, м³/сек	$Ca^{··}$	$Mg^{··}$	$Na^{·}+K^{·}$	$HCO_3^{'}$	$SO_4^{''}$	$Cl^{'}$	Si	Органическое вещество	Сумма ионов
				Р. Хара-Мурин, 1946 год						
IV	8,49	147	50	33	523	191	4	—	190	948
V	45,5	696	141	414	2806	684	83	—	1108	4824
VI	48,1	735	137	623	2917	1047	112	—	1696	5571
VII	39,8	392	62	288	1124	392	319	—	2104	2577
VIII	41,1	490	97	160	1428	682	21	—	—	2878
IX	26,9	294	42	90	906	502	133	—	—	1967
X	20,2	200	30	60	764	267	5	—	254	1356
XI	9,42	100	20	40	400	150	2	—	—	712
XII	4,38	79	13	23	276	71	2	—	—	464
Итого . . .		3386	647	1841	12133	4238	701	—	—	22946
				Р. Утулик, 1946 год						
I	3,65	168	28	14	551	130	8	—	54	899
II	3,03	143	24	12	437	110	6	—	28	732
III	3,20	142	32	8	461	116	7	—	28	766
IV	5,05	198	20	59	635	163	1	—	120	1076
V	17,4	370	96	361	1555	530	20	—	712	2932
VI	25,4	627	66	367	2236	627	53	—	330	3976
VII	31,6	913	249	382	3570	996	66	—	400	6166
VIII	31,5	1175	115	99	3311	802	24	—	424	5526
IX	19,5	773	66	117	2121	640	25	—	300	3742
X	14,5	507	45	192	1589	500	22	—	248	2855
XI	6,64	293	17	80	851	258	3	—	76	1505
XII	4,00	191	15	21	544	130	1	—	45	902
Итого . . .		5503	773	1712	17861	5002	217	—	2765	31068

Судя по р. Снежной, годовые величины ионного стока описываемых малых притоков Байкала подвержены хотя и заметным, но все же меньшим межгодовым колебаниям, по сравнению с крупными притоками этого озера, в частности р. Селенги. Если межгодовые различия величин ионного стока Селенги достигают, как было указано, 32%, то для р. Снежной величина ионного стока в 1947 г. была всего на 10% (в среднем) ниже наблюдаемой в 1951 г.

Рассматривая сезонные изменения величины ионного стока, видим, что между отдельными реками имеются значительные различия (табл. 37). Так, в 1946 г. в р. Мантурихе максимальные величины ионного стока были в апреле — июне, в то время, как в р. Хара-Мурин этот максимум отмечался в мае — сентябре, а в р. Утулике в основном приходился на июнь — август. Причины этих различий следует искать в местных особенностях, наблюдаемых в бассейнах указанных речек в 1946 г. В частности, более раннее нарастание величин ионного стока в р. Мантурихе, начавшееся еще в апреле, объясняется небольшой площадью бассейна этой речки, ограничивающегося лишь предгорьями хребта Хамар-Дабан, где таяние снегов начинается раньше чем, скажем, в верхних участках бассейнов рр. Хара-Мурин и Утулик, собирающих свои воды и с гольцовой зоны хребта, где таяние снегов сильно запаздывает.

Таблица 37

Химический сток рек восточного побережья Южного Байкала (в % от годового)

Месяц	$Ca^{\cdot\cdot}$	$Mg^{\cdot\cdot}$	$Na^{\cdot} + K^{\cdot}$	$HCO_3^{\prime}$	$SO_4^{\prime\prime}$	$Cl^{\prime}$	Si	Органическое вещество
Р. Мантуриха, 1946 год								
I	4,5	8,2	4,9	5,5	3,9	5,0	—	2,3
II	4,5	8,2	4,9	5,5	3,9	5,0	—	2,3
III	3,8	2,3	0,5	3,1	2,8	4,1	—	2,6
IV	11,6	19,2	2,9	12,6	17,5	8,2	—	14,3
V	17,6	20,5	20,2	17,9	22,9	25,2	—	28,0
VI	16,1	19,8	37,9	17,7	25,0	31,9	—	28,0
VII	9,2	4,9	7,5	8,5	6,1	8,2	—	7,0
VIII	8,5	4,8	6,3	8,1	3,9	3,3	—	4,3
IX	7,8	4,7	0,8	6,8	3,9	2,5	—	3,6
X	9,0	4,7	4,0	8,1	5,2	5,0	—	3,6
XI	4,1	2,3	0,3	3,5	3,0	0,8	—	2,6
XII	3,3	1,4	0,8	2,7	1,9	0,8	—	1,4
Р. Снежная, 1947 год								
I	2,4	1,1	5,0	2,2	2,7	12,2	1,9	0,3
II	1,3	0,7	2,8	1,3	1,5	6,4	1,1	0,2
III	1,2	0,6	2,2	1,1	1,2	5,6	0,9	0,2
IV	2,0	0,9	4,8	1,9	2,1	5,6	1,6	0,3
V	21,5	35,9	4,8	24,2	18,5	8,0	24,8	47,2
VI	12,2	27,6	13,2	14,0	17,2	8,0	16,4	4,3
VII	10,8	18,3	2,5	11,1	16,9	13,9	12,6	15,2
VIII	17,6	2,4	27,0	16,0	15,9	8,1	15,1	10,2
IX	17,0	6,7	30,0	16,2	12,6	8,1	16,3	17,9
X	7,6	2,2	0,7	6,1	6,1	12,9	5,3	2,6
XI	3,5	2,2	2,8	3,2	2,5	5,6	1,7	1,2
XII	2,9	1,4	4,2	2,7	2,8	5,6	2,3	0,4
Р. Хара-Мурин, 1946 год								
I	3,4	3,2	2,6	3,6	2,5	1,1	—	—
II	2,5	2,6	2,6	2,8	1,9	0,9	—	—
III	1,5	2,6	0,9	1,7	1,4	0,9	—	—
IV	4,3	7,7	1,8	4,3	4,5	0,5	—	—
V	20,6	21,7	22,4	23,2	16,2	11,8	—	—
VI	21,8	21,2	33,9	24,2	24,9	15,9	—	—
VII	11,5	9,5	15,6	9,2	9,3	46,0	—	—
VIII	14,5	14,9	8,6	11,7	17,0	2,9	—	—
IX	8,7	6,4	4,9	7,4	11,8	18,9	—	—
X	5,9	4,7	3,3	6,3	6,3	0,7	—	—
XI	3,0	3,2	2,2	3,3	3,5	0,3	—	—
XII	2,3	2,3	1,2	2,3	1,7	0,1	—	—

Таблица 37 (окончание)

Месяц	Ca^{++}	Mg^{++}	$Na^{+} + K^{+}$	HCO_3^{-}	SO_4^{--}	Cl^{-}	Si	Органическое вещество
			Р. Утулик, 1946 год					
I	3,0	3,6	0,8	2,8	2,6	3,6	—	1,9
II	2,6	3,1	0,7	2,2	2,2	2,7	—	1,0
III	2,6	4,1	0,5	2,4	2,3	3,2	—	1,0
IV	3,6	2,6	3,5	3,3	3,3	0,5	—	4,3
V	6,0	12,4	21,3	8,4	10,6	9,2	—	25,9
VI	11,5	8,5	21,0	12,3	12,5	24,4	—	11,9
VII	16,6	32,5	22,0	22,4	20,0	30,5	—	14,6
VIII	21,8	15,0	6,0	18,4	16,0	11,0	—	15,4
IX	14,9	8,5	7,0	11,7	12,8	11,1	—	10,8
X	9,2	6,6	11,3	8,9	10,0	10,0	—	8,9
XI	5,4	2,1	4,7	4,4	5,1	1,3	—	2,7
XII	3,5	2,0	1,2	2,8	2,6	0,5	—	1,6

Таблица 38

Сезонные изменения химического состава воды р. Половинной в 1947 г. (по данным Гидрологического ежегодника)

Дата	Ca^{++}		Mg^{++}		$Na^{+} + K^{+}$		HCO_3^{-}		SO_4^{--}		Cl^{-}		Окисляемость
	мг/л	% экв.	мг/л	% экв.	мг/л	% экв.	мг/л	% экв.	мг/л	% экв.	мг/л	% экв.	мг/л
31.I	19,0	42,8	1,1	4,1	1,8	3,1	61,6	45,5	4,4	4,0	0,3	0,5	11,8
28.II	20,9	46,8	0,9	3,2	0,0	0,0	60,4	44,6	5,9	5,4	0,1	0,0	3,2
31.III	19,0	—	1,1	—	—	—	54,9	—	—	—	6,8	—	5,1
15.IV	3,4	38,7	0,4	6,8	0,5	4,5	10,4	38,7	1,6	6,8	0,6	4,5	28,2
30.IV	4,2	36,2	0,5	6,9	1,0	6,9	14,0	39,7	2,0	6,9	0,6	3,4	14;2
31.V	5,3	40,6	0,6	7,8	0,2	1,6	18,2	46,8	0,7	1,6	0,3	1,6	8,8
30.VI	5,7	37,8	0,7	8,1	0,8	4,1	20,7	45,9	0,3	1,4	0,6	2,7	7,3
18.VII	4,9	38,7	0,5	6,5	0,8	4,8	16,4	43,6	1,0	3,2	0,6	3,2	11,3
31.VII	4,9	40,0	0,6	8,3	0,2	1,7	15,9	43,4	1,0	3,3	0,6	3,3	—
31.VIII	7,2	42,8	0,6	6,0	0,2	1,2	22,5	44,0	1,3	3,6	0,6	2,4	7,3
30.IX	7,7	39,6	0,9	7,3	0,8	3,1	27,4	46,9	0,7	1,0	0,6	2,1	6,9
31.X	9,9	37,7	0,6	3,8	2,8	8,5	32,9	41,6	2,3	3,8	2,0	4,6	4,7
30.XI	13,2	38,4	0,6	2,9	3,8	8,7	42,6	40,7	1,7	2,3	4,1	7,0	4,1
31.XII	14,5	38,7	1,0	4,3	3,2	7,0	45,1	39,8	2,3	2,7	4,8	7,5	2,8

Таблица 39

Химический состав воды р. Большие Коты в 1948 г. (в мг/л)

Дата	Ca^{++}	Mg^{++}	$Na+K^{+}$	HCO_3^{-}	Cl^{-}	Окисляемость	P (фосфатный)	N (нитратный)	O_2	CO_2 (свободная)
20.III	16,9	0,9	5,6	56,1	1,6	6,20	0,195	0,138	10,87	6,52
28.V	14,9	2,1	—	45,9	2,0	6,80	0,270	0,090	11,06	3,52
2.VI	10,3	1,2	—	36,8	2,0	19,93	0,068	0,235	13,81	5,10
7.VI	14,7	2,0	—	43,2	1,9	7,81	2,205	0,158	12,86	3,46
10.IX	14,7	0,9	5,4	48,2	2,1	3,81	0,208	0,081	12,96	2,84
30.XI	14,7	0,9	5,4	48,9	1,9	3,71	0,163	0,095	13,06	4,40

Реки западного побережья Южного Байкала

По гидрохимии рек западного побережья Южного Байкала также имеется довольно значительный материал. Однако сведения о гидрохимическом режиме притоков этого района озера весьма малочисленны и ограничиваются лишь данными о рр. Большие Коты и Половинная.

Воды обеих этих речек имеют минерализацию ниже байкальской воды. Основными компонентами минерализации их вод являются гидрокарбонаты и кальций.

Сезонные изменения общей минерализации воды р. Половинной весьма значительны. Если зимой общая минерализация воды этой речки достигает почти 90 мг/л, то в период весеннего паводка (апрель) она падает до 17 мг/л, т. е. почти в 5,5 раз (табл. 38).

В р. Большие Коты сезонные изменения общей минерализации воды выражены менее резко, но и здесь они достаточно велики. При этом следует указать, что на химический состав воды таких малых речек, как р. Большие Коты, огромное влияние оказывают не только обычные весенний и летний паводки, но и каждый сколько-нибудь значительный дождь. Примером такого влияния дождей на химизм воды р. Большие Коты может служить анализ от 2 июня 1948 г. В этот день и накануне его была дождливая погода. В результате, как показал анализ воды (табл. 39), в водах речки заметно упало содержание таких компонентов, как гидрокарбонаты, кальций, магний, фосфатный фосфор, и резко возросла окисляемость, а также содержание нитратного азота. После установления ясной погоды химический состав воды р. Большие Коты в течение нескольких дней пришел к своим преддождевым показателям.

Весьма интересным является высокое содержание соединений биогенных элементов в водах р. Большие Коты. Мы не знаем сейчас является ли это особенностью химизма вод данной речки или присуще вообще всем малым притокам Байкала. Судя по имеющимся данным, для рр. Большой и Снежной (см. выше) относительно высокое содержание нитратного азота присуще всем малым рекам — притокам Байкала. Возможно, что это относится и к фосфатному фосфору. На это, в частности, указывает высокое содержание соединений азота и фосфора в соседних с р. Большие Коты притоках Байкала (табл. 40).

Таблица 40

Химический состав воды некоторых малых притоков западного побережья Байкала в 1948 г. (в мг/л)

Река	Дата	Температура воды, °С	pH	CO_2 (свободная)	O_2	Ca^{++}	Mg^{++}	HCO_3^-	Cl^-	Si	P (фосфатный)	N (нитратный)	Окисляемость
Жилище	16.VII	11,2	7,09	2,87	10,69	21,7	3,1	41,5	2,4	7,00	0,217	0,141	4,88
Малые Коты . .	16.VII	9,1	7,00	3,17	7,25	18,0	3,7	40,0	1,8	6,02	0,224	0,128	5,48
Черная	16.VII	7,3	7,17	2,68	10,17	18,6	2,6	39,1	2,7	6,12	0,200	0,120	7,47
Сенная	21.VII	13,8	7,09	3,08	10,00	23,6	0,5	45,4	2,4	6,42	0,256	0,150	5,64
Кадильная . . .	13.VII	8,7	7,70	2,46	10,04	48,4	0,1	105,7	1,9	5,83	0,147	0,087	3,43

Содержание органического вещества в обоих рассматриваемых притоках несколько выше, чем в притоках восточного побережья Байкала. Максимальные величины окисляемости приурочены, как и в других притоках, к периодам паводков, минимальные — к зимнему подледному периоду.

Газовый режим притоков западного побережья Южного Байкала известен только для р. Большие Коты. В этой речке он достаточно устойчив в течение года, чему, видимо, способствует низкая температура воды в ней и достаточно высокое насыщение кислородом тех грунтовых вод, за счет которых идет питание ее в зимний подледный период.

Что касается химического стока, то проведенные для р. Половинной расчеты (табл. 41, 42) дают ту же картину его сезонных изменений, ко-

Таблица 41

Химический сток р. Половинной в 1947 г. (в т)

Месяц	Расход воды, м³/сек	$Ca^{\cdot\cdot}$	$Mg^{\cdot\cdot}$	$Na^{\cdot} + K^{\cdot}$	$HCO_3^{\prime}$	$SO_4^{\prime\prime}$	$Cl^{\prime}$	Органическое вещество	Сумма ионов
I	0,30	15	1	1	48	3	0	18	68
II	0,29	16	1	0	45	4	0	6	66
III	0,12	6	0	0	17	3	0	3	26
IV	0,60	16	2	3	58	8	2	175	89
V	3,19	44	5	2	152	6	2	145	211
VI	4,57	68	8	9	244	4	7	173	340
VII	5,83	75	7	7	245	15	9	340	358
VIII	4,35	81	7	2	254	15	7	165	366
IX	3,53	70	8	7	251	6	5	126	347
X	3,35	86	5	24	286	20	17	82	438
XI	1,07	37	2	10	118	5	11	23	183
XII	0,74	28	2	6	86	4	9	11	135
Итого . . .		537	48	71	1804	93	69	1266	2622

Таблица 42

Химический сток р. Половинной в 1947 г. (в % от годового)

Месяц	$Ca^{\cdot\cdot}$	$Mg^{\cdot\cdot}$	$Na^{\cdot} + K^{\cdot}$	$HCO_3^{\prime}$	$SO_4^{\prime\prime}$	$Cl^{\prime}$	Органическое вещество
I	2,7	2,1	1,4	2,7	3,1	0,0	1,4
II	2,8	2,1	0,0	2,6	4,2	0,0	0,4
III	1,1	0,0	0,0	0,9	3,1	0,0	0,2
IV	2,8	4,2	4,3	3,2	9,4	2,8	13,8
V	8,2	10,4	2,9	8,4	6,1	2,8	11,4
VI	10,6	16,6	12,5	13,5	4,0	10,0	13,8
VII	13,8	14,6	10,0	13,5	16,1	13,2	26,8
VIII	15,0	14,6	2,8	14,0	16,1	10,0	13,0
IX	13,0	16,6	10,0	14,0	6,1	7,1	10,0
X	16,0	10,4	33,3	15,6	22,8	24,9	6,4
XI	6,8	4,2	14,3	6,5	5,0	16,1	1,9
XII	5,2	4,2	8,5	5,1	14,0	13,1	0,9

торую мы наблюдали и в реках восточного побережья Южного Байкала. Можно лишь отметить, судя по данным за 1947 г., значительные величины химического стока в октябре. В других притоках Байкала в этом месяце химический сток уже заметно уменьшается. Возможно, впрочем, что наблюдаемые в р. Половинной высокие показатели химического стока в октябре 1947 г. были вызваны какими-то случайными причинами и не являются типичными для этой речки.

6. ОБЩАЯ ГИДРОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПРИТОКОВ БАЙКАЛА

Изложенные в настоящей главе материалы, а также многочисленные литературные данные по химическому составу вод притоков Байкала (Б. Форш. 1930; Т. Форш. 1930; 1931; Бочкарев 1934 и 1935; Дегопик, 1951 и др.) показывают, что воды последней относятся к гидрокарбонатно-кальциевым с малой общей минерализацией, не превышающей 200—300 мг/л. Как отмечено еще Т. Б. Форш (1931), по степени минерализации воды притоков Байкала могут быть поделены на две группы. Первую из них составляют притоки, минерализация вод которых в целом выше минерализации байкальской воды. Сюда относятся прежде всего рр. Селенга и Баргузин — основные притоки Байкала. Сумма ионов составляет в этих реках в среднем для р. Селенги 141,2 мг/л, для р. Баргузина — 127,6 мг/л. Кроме того, к этой же группе притоков относятся несколько малых рек, впадающих в озеро с его западного берега на участке от р. Кадильной на юге до южной оконечности Малого Моря на севере. В цитированной уже работе Т. Б. Форш (1931) принимала значительно более широкие границы этого района с повышенной минерализацией воды притоков, а именно: от юго-западной оконечности озера до р. Онгурен на севере с перерывом от р. Маритуйки до р. Большие Коты. Однако, как показывают наши исследования, притоки, впадающие в Байкал в районе Малого Моря, исключая р. Кучелгу (Халури), впадающую в южную оконечность Малого Моря,— зал. Мухор, несут воды с минерализацией ниже байкальской (табл. 43).

Таблица 43

Химический состав воды притоков Байкала, впадающих на участке от р. Анги до р. Курмы (в мг/л)

Река	Дата	$Ca^{\cdot\cdot}$	$Mg^{\cdot\cdot}$	$Na^{\cdot} + K^{\cdot}$	HCO_3'	SO_4''	Cl'	Si	P (фосфатный)	N (нитратный	Окисляемость
Анга . . .	23.VI	15,2	4,5	4,2	68,1	8,1	1,2	4,71	0,020	0,030	6,38
Кучелга . .	3.VII	38,3	7,1	10,8	151,2	12,7	1,2	8,06	0,012	—	3,65
Сарма . . .	28.VI	11,1	3,0	2,4	48,8	6,6	0,9	3,92	0,014	—	6,06
Курма . . .	20.VII	4,7	2,0	2,4	26,1	2,0	0,8	3,08	0,008	—	3,42

Судя по данным О. А. Алекина (1949) и А. П. Цуриковой (1954), притоки юго-западной оконечности Байкала рр. Култучная и Слюдянка заметно разнятся по степени минерализации их вод. Если р. Слюдянку можно с полным правом отнести к притокам с повышенной по сравнению с водами Байкала минерализацией воды, то р. Култучную относить к этой группе уже нет оснований (табл. 44).

С другой стороны, в районе ст. Байкал в озеро впадает несколько

Таблица 44

Химический состав воды рр. Култучной и Слюдянки (в мг/л)

Река	Дата	$Ca^{\cdot\cdot}$	$Mg^{\cdot\cdot}$	$Na^{\cdot} + K^{\cdot}$	HCO_3'	SO_4''	Cl'	Si	$Fe_{общ}$	Окисляемость
Култучная (по Цуриковой, 1954)	12.XII 1935г.	14,8	4,4	—	73,63	3,2	—	2,80	0,01	5,83
	1.VI 1936 г.	5,6	1,9	—	24,28	1,3	—	2,57	0,04	47,94
	17.VIII1936г.	8,8	2,2	—	44,77	1,3	—	4,58	0,01	3,36
Слюдянка (по Алекину, 1949)	30.V 1941 г.	23,1	2,9	0,5	79, 3	5,3	Нет	—	—	—
	18.IX 1941 г.	34,2	6,6	1,3	127, 0	8,8	1,4	—	—	—

мелких ручьев с явно повышенной минерализацией воды (Янко, 1953). К ним относятся следующие речки: Малый Баранчик, Щелка, Зобушка, Марьянная, Большой Баранчик, Пыловка и Малая Шумиха. Сумма ионов вод этих речек в августе 1939 г. составляла примерно 102—300 мг/л, т. е. была выше минерализации воды Байкала.

Таким образом, в районе юго-западного побережья Байкала, как нам кажется, имеется не один общий участок, притоки в районе которого характеризуются повышенной минерализацией своих вод, а по крайней мере три небольших локальных участка, хорошо отграниченных от соседних районов Байкала особенностями своего геологического строения, в котором значительную роль играют карбонатные породы (известняки и мраморы). Первый из этих участков, наибольший по своей протяженности, расположен между р. Кадильной на юге и южной оконечностью Малого Моря на севере, второй лежит к югу от истока р. Ангары между р. М. Баранчиком и р. Малой Шумихой, и, наконец, третий приурочен к юго-западной оконечности озера.

Вторая группа притоков Байкала характеризуется пониженной по сравнению с водами озера минерализацией воды. Это наиболее многочисленная группа притоков Байкала, охватывающая все остальное побережье озера. Сюда же следует включить и р. Верхнюю Ангару. Минерализация вод этих притоков редко достигает минерализации байкальской воды. Чаще средняя минерализация их вод в 1,5—2 раза ниже минерализации воды Байкала. В отдельных же малых притоках, как, например, речке Муринке, Выдриной и некоторых других, сумма основных ионов едва достигает 20—25 мг/л. Столь низкая общая минерализация воды этих притоков находится в полном соответствии с геологическим строением их бассейнов, сложенных изверженными кристаллическими породами или местами конгломератами.

Таким образом, химический состав воды всех малых притоков Байкала, дающих около 20% годового поверхностного водного стока, в значительной мере определяется геологическим строением непосредственно примыкающих к Байкалу районов. Преобладание же изверженных массивных кристаллических пород в бассейнах крупных притоков Байкала — рр. Селенге, В. Ангаре и Баргузине — обусловливает невысокую минерализацию воды и этих крупных рек.

Гидрохимический режим притоков Байкала за немногими исключениями однотипен. Он характеризуется наличием двух максимумов и двух минимумов минерализации воды в течение года. Первый, больший максимум приходится на вторую половину подледного периода (февраль — март), второй, выраженный менее резко, но вполне отчетливо — на период летней межени (июль — август). Минимумы падают на весенний (май — июнь) и летний (сентябрь) паводки. В отдельные годы в отдельных притоках Байкала в силу особенностей метеорологической обстановки наблюдается иногда смещение сроков максимумов и минимумов минерализации воды, но общий характер гидрохимического режима реки при этом сохраняется.

Исключением среди изученных притоков Байкала является р. Тыя, гидрохимический режим которой несколько отличен от режима всех прочих притоков озера. Как уже было указано выше, на изменение минерализации воды этой реки летний (сентябрьский) паводок не оказывает сколько-нибудь заметного влияния. В связи с этим в водах р. Тыи после июньского минимума минерализации наблюдается плавный рост содержания всех ионов в течение последующих летне-осенних месяцев. Указанная особенность гидрохимического режима р. Тыи не является, как видно, случайной, так как прослеживается на протяжении трех лет наблюдений (1949—1951 гг.).

Не исключена возможность, что среди притоков Байкала имеются и другие с аналогичным р. Тые гидрохимическим режимом.

Ионный сток притоков Байкала находится в прямой зависимости от водного стока. Зимой, несмотря на повышенную минерализацию воды, ионный сток в соответствии с низкими расходами воды оказывается минимальным в году. В среднем за весь подледный период от ноября по апрель включительно ионный сток воды притоков составляет всего около 20% от годового стока. В период весеннего паводка реки вносят от 30 до 40% годового количества солей. На летнюю межень приходится около 20% и на осенний паводок тоже 20% годового стока солей. В разные годы в отдельных притоках цифры эти могут несколько меняться.

Содержание кремния, число определений которого в водах притоков Байкала достаточно велико, в среднем в 4 раза выше, чем в поверхностных слоях воды Байкала. Чаще содержание его лежит в пределах 3—6 мг/л, считая на элементарный кремний, однако в отдельных случаях может достигать 10 мг/л и более. Притоки с пониженным по сравнению с Байкалом содержанием кремния неизвестны. Указания Т. Б. Форш (1931) на низкое содержание кремния в водах некоторых притоков, стекающих с хребта Хамар-Дабан (речки Переемная, Танхой, Выдрина, Утулик и др.), видимо, основаны на недоразумении, так как позднейшими исследованиями не подтвердились.

Сезонные изменения содержания кремния в водах притоков не всегда отчетливо выражены. Обычно его содержание достигает максимума к концу подледного периода (март). В период весеннего паводка происходит резкое падение содержания этого компонента в водах рек часто до годового минимума. В последующий весенне-летне-осенний период наблюдаются частые, иногда довольно значительные, колебания содержания кремния, связанные с характером водного питания реки.

Хотя данные по содержанию соединений азота и фосфора в водах притоков Байкала и немногочисленны, все же уже сейчас обращает на себя внимание высокое содержание нитратного азота и фосфатного фосфора в исследованных притоках. Так, например, содержание фосфатного фосфора в р. Б. Коты по нашим данным не опускается ниже 68 мг/м^3, а обычно лежит в пределах 160—200 мг/м^3 и выше. В водах р. Баргузина 12 июля 1955 г. было найдено 48 мг/м^3 фосфатного фосфора и т. д. Высокое содержание нитратного азота отмечено для ряда притоков Байкала — рр. Селенги, Баргузина, Снежной, Большой, Б. Коты, Голоустной и др. В водах р. Голоустной, например, содержание нитратного азота достигало в феврале — марте 1950 г. до 450—500 мг/м^3, р. Снежной в марте 1951 г. — до 400 мг/м^3. Эти количества в 10—12 раз превышают среднегодовое содержание нитратного азота в верхних слоях воды Байкала.

Невольно возникает вопрос о том, за счет каких источников происходит обогащение вод притоков Байкала соединениями азота и фосфора.

Проще всего было бы предположить, что высокое содержание нитратного азота и фосфатного фосфора в водах притоков обусловлено поступлением этих соединений из органических остатков, попадающих в воды рек. Таежный характер большинства притоков Байкала как будто бы подтверждает правильность такого предположения. Однако объяснение это является справедливым лишь частично и может быть принято лишь для тех рек, которые имеют повышенную окисляемость воды. В притоках же с низкими величинами окисляемости воды, как, например, в р. Снежной, а также ряде других, нитратный азот и фосфатный фосфор, вероятно, в большей части уже не связаны в своем происхождении с остатками организмов, а являются продуктами разрушения

минералов и горных пород. На минеральное происхождение этих компонентов в водах некоторых притоков Байкала косвенно указывают также сезонные изменения в их содержании, а именно: максимум зимой под льдом, когда, казалось бы, количество органических веществ, попадающих в воды притоков, уменьшается до минимума (как о том можно судить по величинам окисляемости воды) и пониженное содержание в свободный от льда период, в течение которого как раз и происходит интенсивное обогащение вод притоков органическим веществом.

По содержанию органического вещества притоки Байкала достаточно разнообразны. Подавляющее большинство рек содержит, судя по величинам окисляемости воды, повышенное по сравнению с водами Байкала количество органического вещества. В среднем окисляемость воды всех притоков Байкала равняется 4,3 мг/л кислорода, что в пересчете на сухой беззольный вес органического вещества составляет 8,6 мг/л.

Сезонные изменения величин окисляемости воды притоков Байкала в большинстве своем довольно резки и закономерны. В зимний подледный период величины окисляемости минимальны и, как правило, не превышают 2,0 мг/л кислорода. Вслед за вскрытием реки от льда величины окисляемости очень быстро возрастают, достигая вскоре (обычно в период весеннего паводочного пика) своих максимальных в году значений. За два месяца — май — июнь с водами притоков сносится в Байкал в среднем около 50% годовой суммы органического вещества. В июле — августе, т. е. в период летней межени и осеннего паводка, количество органического вещества, выносимого притоками в Байкал, несколько падает, но в целом остается еще достаточно высоким. За эти два месяца реки сносят до 25% годовой суммы органического вещества. Интересно, что в период осеннего паводка роста содержания органического вещества в водах притоков Байкала не наблюдается, напротив, в большинстве из них окисляемость воды заметно уменьшается, в результате чего и общий сток органического вещества в Байкал в этот период падает, составляя всего около 10% от его годового стока. В последующие осенние месяцы происходит дальнейшее уменьшение величин окисляемости воды.

Характер сезонных изменений содержания органического вещества в водах притоков Байкала в зимне-весенне-летний период не вызывает особых недоумений. Действительно, зимний минимум окисляемости воды объясняется питанием рек грунтовыми водами, бедными органическим веществом, весенний максимум и высокое содержание органического вещества в летние месяцы — сносом огромных количеств органических веществ в реки талыми снеговыми водами и водами дождей. Несколько неожиданно низкое содержание органического вещества в период осеннего паводка. Видимо, явление это объясняется тем, что основная масса органического вещества смывается в реки весной и летом, в период же осеннего паводка количества смываемого с окружающей местности органического вещества уже не так велики.

7. ХИМИЧЕСКИЙ СТОК ПРИТОКОВ БАЙКАЛА

Основные материалы по химическому стоку отдельных притоков Байкала приведены выше при описании химизма вод этих притоков. Там же рассмотрены и методы применяемых расчетов.

Переходя к общей характеристике химического стока притоков Байкала, необходимо прежде всего указать, что имеющиеся в настоящее время данные по химическому стоку отдельных рек — притоков Байкала — еще крайне малочисленны и ограничиваются большей частью лишь

основными ионами. Почти не имеется данных по стоку таких важных ингредиентов, как соединения азота, фосфора, железа, немногим больше данных имеется по стоку кремния и органического вещества (в форме окисляемости).

Основную долю как водного, так и химического стока в Байкал составляют три главных притока этого озера — рр. Селенга, Верхняя Ангара и Баргузин. Их водный сток составляет в сумме 38 км³ в год, т. е. около 80% от поверхностного стока в озеро. Оставшиеся 20% водного стока приходятся на долю многочисленных малых притоков Байкала. Химический сток р. Селенги мог быть рассчитан довольно точно, исходя из данных трехлетних круглогодичных гидрохимических исследований. Сток рр. В. Ангары и Баргузина также удалось рассчитать, хотя и с некоторыми приближениями, достаточно реально. Что же касается химического стока малых притоков Байкала, то вопрос этот значительно осложняется. В самом деле, из 330 малых притоков Байкала круглогодичные гидрохимические наблюдения, позволяющие более или менее точно подсчитать химический сток реки, имеются только для очень ограниченного числа этих рек (около 15). Пользуясь разрозненными аналитическими материалами, можно было подсчитать химический сток еще нескольких притоков Байкала. Однако для огромного большинства малых притоков озера в нашем распоряжении были в лучшем случае результаты единичных, подчас далеко не полных анализов, выполненных к тому же в разные месяцы и в разные годы, а для некоторых притоков не было даже и этих данных.

Учитывая, что малые притоки Байкала составляют в его водном балансе всего 20% от годового поверхностного стока в озеро и что в подавляющем большинстве воды их по своему химическому составу относятся к слабоминерализованным гидрокарбонатно-кальциевым водам и в целом все же очень близки как по составу, так и по минерализации к водам Байкала, было решено хотя бы приближенно определить роль этих притоков в общем химическом стоке в озеро.

Вычисление химического стока малых притоков Байкала можно было вести наиболее просто следующим образом. Зная химический состав воды, а также химический и водный сток некоторых малых притоков озера, нужно пойти по пути аналогий, а для этого попытаться свести все малые притоки Байкала в какие-то группы, объединяющие близкие по своему химическому составу и водному режиму, а следовательно, и по химическому стоку реки. Реки с неизученным химическим составом вод, а также с неизученным водным режимом отнести к той или иной группе, пользуясь аналогиями с соседними притоками, для которых имеются указанные сведения. Разбив все притоки Байкала на такие группы, провести сравнение последних с хорошо изученными притоками, подобрать к каждой группе наиболее близкий из изученных притоков и, таким образом, определить их примерный химический сток, после чего простым суммированием найти общий химический сток всех малых притоков Байкала. Понятно, что результаты, полученные описанным методом расчетов, могут считаться лишь сугубо ориентировочными, не претендующими хотя бы даже на относительную точность. Поэтому для наших расчетов был избран иной путь.

При вычислении химического стока всех изученных малых притоков Байкала было замечено, что месячные величины стока отдельных компонентов, выраженные в процентах от годового стока последних (мы называем их месячными показателями стока), у всех изученных притоков за один и тот же месяц года довольно близки. Даже крупные притоки Байкала не составляют исключение из этого правила. Обстоятельство это позволило вывести среднемесячные показатели стока каждого ком-

понента для всех исследованных притоков Байкала. Так как притоки, данные по которым использованы для вычисления среднемесячных показателей стока компонентов, расположены в разных районах Байкала — от его северной оконечности до юго-восточного угла озера,— то с полным правом можно распространить эти показатели и на все прочие притоки Байкала. Величины среднемесячных показателей стока отдельных компонентов для всех притоков Байкала приводятся в табл. 45. Зная среднемесячные показатели стока отдельных компонентов, нетрудно вычислить и общий химический сток притоков Байкала. Для этого нужно знать еще годовой водный сток всех притоков и средний химический состав их воды хотя бы за один месяц, лучше с высокими показателями химического стока.

Таблица 45

Среднемесячные показатели стока отдельных компонентов в малых притоках Байкала (в % к годовому)

Месяц	$Ca^{\cdot\cdot}$	$Mg^{\cdot\cdot}$	$Na^{\cdot}+K^{\cdot}$	$HCO_3^{\prime}$	$SO_4^{\prime\prime}$	$Cl^{\prime}$	Si	Органическое вещество
I	2,9	3,4	2,7	3,0	2,6	3,7	2,5	1,1
II	2,4	3,0	2,2	2,6	2,5	2,4	2,0	0,8
III	2,0	2,2	1,5	1,9	1,9	2,1	1,8	0,8
IV	4,0	5,9	3,5	4,3	5,5	3,9	2,8	5,7
V	15,3	15,8	19,8	16,0	16,1	13,4	17,7	25,0
VI	15,9	17,3	21,4	17,0	16,0	17,0	19,0	23,7
VII	13,5	15,2	13,0	13,6	14,3	18,7	13,5	16,1
VIII	13,7	10,3	10,2	12,5	13,1	10,2	10,6	10,6
IX	13,2	12,3	10,2	13,0	12,0	10,5	16,0	7,9
X	9,4	7,8	8,9	8,8	9,3	9,7	7,8	5,3
XI	4,2	3,3	4,3	4,3	3,8	4,7	3,3	1,9
XII	3,4	3,5	3,3	3,3	2,9	3,7	3,0	1,1

Водный сток малых притоков Байкала известен. Необходимо было найти средний химический состав воды притоков за один из месяцев года. Просмотрев с этой целью все аналитические материалы по малым притокам Байкала, мы установили, что подавляющее большинство анализов их вод относится к июлю — августу. Исключив из списка притоков Байкала, помимо рр. Селенги, В. Ангары и Баргузина как крупных его притоков, также р. Турку как четвертый по величине приток и рр. Бугульдейку и Голоустную как наиболее крупные притоки специфического для Байкала района с повышенной минерализацией воды, мы вычислили средний химический состав воды всех прочих исследованных притоков озера для июля и августа месяцев (табл. 46), а отсюда рассчитали и общий химический сток малых притоков Байкала (табл. 47). Представленные в табл. 47 данные показывают, что годовой сток важнейших компонентов ионного состава воды малых притоков Байкала составляет в сумме около 600—620 тыс. т. Сток органического

Таблица 46

Средний химический состав воды малых притоков Байкала (в мг/л)

Месяц	Количество анализов	$Ca^{\cdot\cdot}$	$Mg^{\cdot\cdot}$	$Na^{\cdot}+K^{\cdot}$	$HCO_3^{\prime}$	$SO_4^{\prime\prime}$	$Cl^{\prime}$	Si	$Fe_{общ}$	Окисляемость
VII	418	12,2	2,4	2,85	42,3	7,3	0,95	2,80	0,22	3,80
VIII	73	12,3	3,7	3,0	48,0	7,3	1,9	2,60	0,31	6,80

Таблица 47

Годовой химический сток малых притоков Байкала (в тыс. т)

Месяц	$Ca^{\cdot\cdot}$	$Mg^{\cdot\cdot}$	$Na^{\cdot}+K^{\cdot}$	HCO_3'	SO_4''	Cl'	Si	$Fe_{общ}$	Окисляемость	Органическое вещество	Сумма ионов
VII	107,2	23,7	24,1	374,6	68,0	11,6	24,6	2,9	39,8	79,7	609,2
VIII	110,2	24,9	20,1	398,2	60,1	12,8	18,2	2,6	47,4	94,7	626,3
Среднее . . .	108,7	24,3	22,1	386,4	64,1	12,2	21,4	2,7	43,6	87,2	617,8

Таблица 48

Годовой химический сток притоков Байкала (в тыс. т)

Приток	Водный сток, км³/год	$Ca^{\cdot\cdot}$	$Mg^{\cdot\cdot}$	$Na^{\cdot}+K^{\cdot}$	HCO_3'	SO_4''	Cl'	Si	$Fe_{общ}$	Окисляемость	Органическое вещество	Сумма ионов
Селенга	27,51	615,1	149,6	166,7	2515,9	177,6	63,7	132,0	7,7	110,0	220,1	3688,6
В. Ангара	6,28	78,0	9,8	18,5	300,2	22,9	2,1	27,6	0,3	25,5	51,1	431,5
Баргузин	4,21	101,5	8,8	22,5	364,6	32,4	7,8	15,2	2,5	11,4	22,8	537,6
Турка	1,3	11,0	1,2	3,6	44,2	3,3	0,2	6,5	0,2	3,9	7,9	63,5
Тыя	0,7	14,0	3,5	2,5	59,1	5,0	0,5	2,3		5,2	10,4	84,6
Бугульдейка	0,34	10,7	3,6	2,4	45,5	8,5	0,2	1,4		2,7	5,5	70,9
Голоустная	0,31	5,8	1,6	1,6	26,3	4,4	0,2	1,2		2,1	4,3	39,9
Прочие реки	6,51	108,7	24,3	22,1	386,4	64,1	12,2	21,4	2,7	43,6	87,2	617,8
Итого	47,16	944,8	202,5	239,9	3742,2	318,3	86,8	207,6	13,4	204,6	409,2	5534,5

вещества этих рек составляет 80—90 тыс. т. Сравнивая эти величины с величинами химического стока крупных притоков Байкала, нетрудно заметить, что суммарный химический сток малых рек очень близок к годовому химическому стоку р. Баргузин и лишь немного превышает сток р. Верхней Ангары.

Изложенные выше материалы позволяют перейти к рассмотрению годового поверхностного химического стока в оз. Байкал. Основные данные по этому вопросу сведены в табл. 48. В ней, помимо величин годового химического стока крупных притоков озера — рр. Селенги, Верхней Ангары и Баргузина, отдельно приводятся данные по химическому стоку рр. Тыи, Турки, Бугульдейки и Голоустной. Указанные реки были выделены из числа малых притоков, так как первые две все же достаточно велики по своей водности, а рр. Бугульдейка и Голоустная являются наиболее крупными представителями рек с повышенной минерализацией воды, о чем уже говорилось ранее.

Общий годовой сток основных компонентов ионного состава воды притоков Байкала достигает 5,5 млн. т. Из этого количества на долю р. Селенги приходится 66,7%, р. Баргузина — 9,7%, р. Верхней Ангары — 7,8% и на долю всех прочих притоков Байкала — 15,8% от общей суммы солей.

Интересно сопоставить величины годового ионного стока некоторых рек с годовым водным стоком их. Так, р. Верхняя Ангара вносит в Байкал ежегодно 6,28 км^3 воды, что составляет 13,3% от годового поверхностного стока в озеро, р. Баргузин — всего 4,21 км^3 воды в год или 8,9%, т. е. в 1,5 раза менее. Ионный же сток р. Баргузина в 1,3 раза больше ионного стока р. В. Ангары. Реки Бугульдейка и Голоустная по своему водному стоку очень близки между собой (годовой дебет р. Бугульдейки равен 0,34 км^3, р. Голоустной — 0,31 км^3). Ионный же сток р. Бугульдейки в 1,8 раза больше ионного стока р. Голоустной.

Сток органического вещества составляет ежегодно около 40 тыс. т, считая на сухой беззольный вес. Из этого количества около 53% приходится на долю р. Селенги, 12,5% — на долю р. В. Ангары, 5% — на долю р. Баргузина и до 30% — на долю прочих притоков Байкала.

Количество ежегодно вносимого кремния в Байкал с водами притоков достигает 200 тыс. т. Эти цифры несколько выше, нежели полученные ранее — 150 тыс. т. (Вотинцев, 1955а) на ограниченном аналитическом материале.

Сравнивая годовую сумму солей, вносимых в Байкал с водами притоков, с суммой солей, вносимых атмосферными осадками, видим, что атмосферные осадки вносят почти такие же количества солей, как р. Бугульдейка или р. Тыя. От общего годового поверхностного химического стока в Байкал атмосферные осадки составляют весьма незначительную долю — всего около 1,5% с колебаниями для отдельных ингредиентов от 0,2 до 3,1%. Исключением является органическое вещество, количество которого, вносимое в Байкал с водами атмосферных осадков, составляет 7,4% от общего его годового стока в озеро.

Пользуясь данными химического стока, можно рассчитать средний химический состав воды притоков Байкала. Расчеты эти представлены в табл. 49.

Таблица 49

Средний химический состав воды притоков Байкала (в мг/л)

$Ca^{\cdot\cdot}$	$Mg^{\cdot\cdot}$	$Na^{\cdot}+K^{\cdot}$	$HCO_3^{\prime}$	$SO_4^{\prime\prime}$	$Cl^{\prime}$	Si	$Fe_{общ}$	Окисляемость	Сумма ионов
20,0	4,3	5,1	79,3	6,7	1,8	4,4	0,28	4,3	117,2

Глава V

ВЕРТИКАЛЬНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ, СЕЗОННЫЕ И СУТОЧНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ОТДЕЛЬНЫХ ИНГРЕДИЕНТОВ В ВОДАХ ОТКРЫТОГО БАЙКАЛА

В настоящей главе мы приводим характеристику вертикального распределения и сезонных и суточных изменений отдельных ингредиентов в водах Байкала. Для ее составления использованы главным образом результаты наших исследований, проведенных в 1948—1955 гг. в районе пос. Большие Коты. Результаты более поздних наблюдений, проведенных нами в районе пос. Лиственичного в 1956—1958 гг. обсуждаются лишь частично, в основном при описании ионного состава воды озера. Дело в том, что определение основных ионов в водах Байкала велось нами в первые годы исследований частично старыми полевыми методами, не обладающими большой точностью (например, кальций определялся олеинатным методом Винклера, хлориды — по методу Мора и пр.), частично весовыми методами. Трудоемкость последних не позволяла получить массовый материал. В последние годы в практику гидрохимических исследований Байкала нами были введены новейшие быстрые методы анализа, такие, как трилонометрическое определение кальция и жесткости, меркурометрическое определение хлоридов, были внесены некоторые изменения в методику определения других компонентов, как, например, титрование гидрокарбонатов до стандартного оттенка цитратного буфера и пр. Понятно, что результаты анализов, полученные этими методами, следует считать более надежными по сравнению с полученными прежними полевыми методами.

1. КИСЛОРОД

Над изучением кислородного режима Байкала работали многие исследователи, и в литературе накопился солидный фактический материал, характеризующий содержание, вертикальное и горизонтальное распределение, а также суточные и отчасти сезонные изменения в содержании растворенного в байкальских водах кислорода.

Впервые содержание кислорода в поверхностной воде Байкала было определено в 1916 г. Г. Ю. Верещагиным (1918). Эти первые данные, по мнению самого автора, отрывочны, не могут претендовать на точность и в дальнейшем им игнорируются (Верещагин, 1927в). Более обстоятельные сведения о кислородном режиме Байкала получены Г. Ю. Верещагиным в 1925—1926 гг. (Верещагин, 1927в). Они позволили ему уже тогда правильно констатировать богатство вод Байкала кислородом, содержание которого, как оказалось, не падало ниже 80%

насыщения даже на глубине 1000 м и оставалось высоким зимой подо льдом. Почти одновременно в печати появились результаты небольших по объему, но тщательных по выполнению гидрохимических исследований В. М. Гортикова (Яснитский, Бланков, Гортиков, 1927; Гортиков, 1930), проведенных в прибрежной полосе Байкала в районе пос. Большие Коты, в которых автор значительное внимание уделял газовому режиму озера, в частности описанию суточных колебаний растворенного в водах Байкала кислорода и свободной углекислоты. Более подробно суточный ход кислорода и свободной CO_2 в водах Байкала был освещен несколько позднее Г. Ю. Верещагиным (1932).

В дальнейшем изучение кислородного режима Байкала входило в программу всех проводившихся на озере гидрохимических исследований (Кузнецов и Щербаков, 1930; Бочкарев, 1934, 1935; Карноухов, 1936 и др.). Наконец, в последние годы была опубликована работа П. Ф. Бочкарева, Н. А. Власова и М. П. Козяр (1947), посвященная выяснению сезонных изменений суточного хода некоторых гидрохимических факторов в водах Байкала.

Не останавливаясь здесь на подробном критическом разборе результатов изучения кислородного режима Байкала, полученных его исследователями, укажем лишь, что, несмотря на кажущееся обилие аналитического материала, до сих пор в литературе нет сколько-нибудь подробных данных о круглогодичном кислородном режиме Байкала, отсутствуют сведения о сезонных изменениях интенсивности суточного хода кислорода, о глубине проникновения суточного хода в толщу вод Байкала и т. д.

Изучение кислородного режима Байкала проводилось нами в 1948—1951 гг. до глубины 250 м. В 1952 и 1953 гг. удалось отобрать ряд серий до глубины 1200—1350 м, характеризующих распределение кислорода в глубинной зоне озера. Определение кислорода велось методом Винклера. Объем склянок для фиксации проб на кислород варьировал от 105 до 180 мл. Титрование проводили 0,02 *N* раствором гипосульфита. Результаты анализов выражены в миллиграммах кислорода на литр. Выражение содержания кислорода в % насыщения, по-видимому, мало показательно, так как до сих пор в литературе нет ясности по вопросу о том, какое давление атмосферы следует принимать при расчетах — среднегодовое или наблюдаемое в день отбора проб. Поэтому содержание кислорода выражено в % насыщения лишь в отдельных случаях, там, где необходимо было особо подчеркнуть степень насыщенности вод Байкала кислородом.

Как правило, работы велись в ясные штилевые дни. Впрочем, внезапные изменения погоды иногда нарушали наши планы и даже прерывали начатые серии суточных наблюдений.

Всего было проведено свыше 80 вертикальных разрезов до глубины 250 м, 11 разрезов до глубины 1200—1350 м, 22 суточные серии наблюдений до глубины 50 м, 19 суточных серий в прибрежной зоне озера, 65 серий наблюдений методом «склянок» и, кроме того, отобрано для разных иных целей свыше 100 проб в прибрежной части озера. Общее число определений кислорода достигает 1700. Сюда не включены определения кислорода (около 1500), производимые при постановке опытов методом «склянок». Желая избежать загромождения работы цифровым табличным материалом, приводим аналитические данные лишь частично.

Рассматривая вертикальное распределение кислорода и других ингредиентов в водах Байкала, мы вслед за Г. Ю. Верещагиным (1927 и 1936) признаем гидрохимическую неоднородность этого озера в вертикальном направлении и разбиваем его водные массы на ряд зон. Подробная характеристика вертикальной гидрохимической зональности Байкала приводится ниже. Здесь же мы ограничиваемся рассмотрением этого вопроса лишь в части, касающейся вертикального распределения кислорода. При этом для удобства изложения материала по вертикальному распределению кислорода условно отступаем от принятой нами схемы вертикальной гидрохимической зональности Байкала, принимая во внимание только распределение кислорода.

В вертикальном распределении кислорода в водах открытого Байкала, исключая иловые воды, пропитывающие толщу донных отложений озера, намечается три ясно выраженные зоны.

Первая зона — зона фотосинтеза — простирается от поверхности озера до глубины зимой в подледный период 5—30 м, летом — 70—80 м. Она охватывает две верхние подзоны альтернирующей зоны Г. Ю. Верещагина (1936) — подзону волнового перемешивания и подзону суточной конвекции. Характерной чертой этой зоны является наличие правильных суточных изменений в содержании растворенного кислорода в течение всего года, обусловленных фотосинтетической деятельностью фитопланктона, и наиболее резкие сезонные колебания в абсолютных величинах его содержания. Количество растворенного в водах этой зоны кислорода обычно лежит вблизи нормального насыщения (87—98% насыщения). В периоды максимального развития фитопланктона весной и летом здесь наблюдается слабое пересыщение воды кислородом — до 107—117% насыщения. В вертикальном направлении зимой в подледный период в годы с низкой численностью диатомеи — мелозиры (*Melosira* sp.) содержание кислорода здесь падает с глубиной. Падение это бывает, однако, невелико и в пределах верхних 25—50 м, как правило, не превышает 0,5 мг/л кислорода. В годы с массовым развитием мелозиры, как, например, 1950 г., картина вертикального распределения кислорода в верхней 50-метровой зоне глубин в подледный период осложняется. Так, в 1950 г. в январе — марте, т. е. в период, когда численность мелозиры была еще низка и биомасса ее в слое 0—25 м не превышала 0,26 г/м^3 градиент падения в содержании кислорода в пределах верхних 25 м оставался небольшим — 0,2—0,3 мг/л кислорода. В начале апреля вместе с ростом численности мелозиры, которая оставалась сосредоточенной в верхней 25-метровой зоне глубин, произошел резкий рост этого градиента до 0,9—1,0 мг/л кислорода при общем повышении содержания кислорода в поверхностном слое воды и некотором понижении его на глубине 25—50 м по сравнению с предыдущим периодом. К половине апреля численность мелозиры резко возросла. Биомасса ее в слое 0—25 м достигла 2,5 г/м^3, причем значительное число колоний этой водоросли проникло на глубины свыше 25 м. Результатом этого явился значительный рост содержания кислорода на глубине 25 м с 12,2 мг/л (13 апреля) до 13,6 мг/л (20 апреля) с образованием здесь ясно выраженного по вертикали кислородного максимума. Заметно возросло в этот период содержание кислорода и на глубине 50 м — до 13,0 мг/л.

В целом в период массового развития мелозиры вертикальное распределение кислорода в трофогенном слое озера полностью определяется вертикальным распределением водорослей. В качестве примера на рис. 4 приведены данные по вертикальному распределению в толще вод Байкала мелозиры, по материалам Н. Л. Антиповой, и содержания кислорода, по своим наблюдениям за 28 апреля 1950 г. Легко видеть, что кривая вертикального распределения кислорода точно повторяет все особенности вертикального распределения мелозиры.

К началу мая 1950 г. содержание кислорода во всей верхней 50-метровой зоне глубин еще несколько возросло. Последующее массовое отмирание мелозиры и опускание ее из слоя 25—50 м на глубины свыше 50 м повлекло за собой резкое падение содержания кислорода на глубинах 25—50 м в половине мая до 11,08—10,86 мг/л. В поверхностном слое воды, где численность мелозиры в мае оставалась высокой, содержание кислорода понизилось лишь немного. В результате к моменту вскрытия Байкала от льда (половина мая) в верхнем 25-метровом слое воды установилась довольно резкая вертикальная стратификация кислорода с градиентом его падения в 2,4 мг/л.

Вслед за вскрытием Байкала от льда и во весь последующий весенне-летне-осенний период содержание кислорода в зоне фотосинтеза обычно более или менее выравнивается. При этом максимальное его содержание в дневные часы нередко оказывается приуроченным не к поверхностному слою воды, а к глубинам 5—10—25 м (табл. 50), что несомненно связано с большей интенсивностью процесса фотосинтеза на этих глубинах [1].

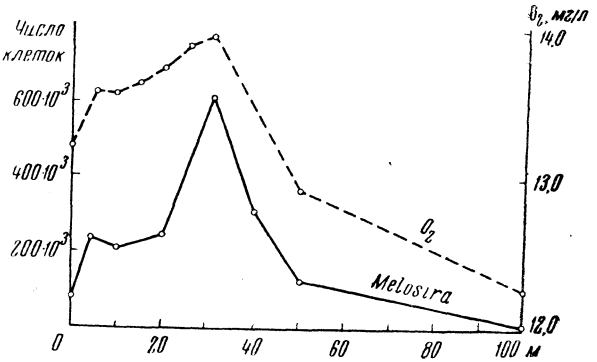


Рис. 4. Вертикальное распределение кислорода и водоросли мелозиры в водах Байкала (пос. Большие Коты, 28.IV 1950 г.).

Вторая зона — зона сезонных изменений в содержании растворенного кислорода — охватывает область глубин до 250—300 *м*, а возможно и несколько глубже. Она соответствует подзоне сезонной конвекции в схеме Г. Ю. Верещагина и вместе с зоной фотосинтеза составляет альтернирующую зону этого автора. Характерной чертой кислородного режима этой зоны является наличие лишь сезонных колебаний в содержании растворенного кислорода. Суточный ход кислорода здесь отсутствует, так как фотосинтез сюда уже не проникает.

В вертикальном направлении наблюдается небольшое падение в содержании растворенного кислорода с глубиной. Градиент падения содержания кислорода обычно не превышает 0,5 мг/л кислорода на каждые 100 м. В период весенней и осенней гомотермии содержание кислорода выравнивается во всей этой зоне. Часто благодаря более низкой температуре воды и ничтожности протекающих здесь окислительных процессов содержание кислорода в этой зоне оказывается несколько выше, нежели у нижней границы зоны фотосинтеза.

Наконец, третья глубинная зона, охватывающая область глубин от нижней поверхности альтернирующей зоны до дна, характеризуется отсутствием как суточных, так и закономерных сезонных изменений в содержании растворенного кислорода. Наблюдающиеся здесь различия в содержании кислорода в отдельные сезоны года носят, очевидно, более сложный характер и обусловлены как динамическими процессами водных масс озера, так и жизнедеятельностью обитающих здесь организмов и процессами разложения трупов животных и растительных организмов, попадающих сюда из верхних слоев воды.

---

[1] Как удалось показать, при изучении интенсивности фотосинтеза у донных макрофитов Байкала (Бочкарев, Вотинцев, Яснитский, 1950) в дневные часы летом в поверхностном слое воды озера фотосинтез водорослей идет менее интенсивно, нежели на глубинах 10—25 м, что, по-видимому, связано с угнетением водорослей под воздействием слишком яркого освещения. Явление это распространено и на других водоемах (Винберг, 1956б).

Таблица 50

Содержание кислорода в водах Байкала (в мг/л)

Дата	Глубина, м						
	0	5	10	25	50	100	250
				1948 год			
10.I	12,79	—	—	12,71	10,37	—	10,31
29.I	12,66	13,01	13,24	12,28	10,78	13,32	13,52
26.II	13,98	13,72	13,91	13,81	13,04	13,48	13,58
18.III	13,64	13,35	13,23	12,92	12,21	12,18	13,66
4.IV	13,39	13,38	13,27	13,23	12,12	12,51	12,27
29.V	12,51	13,17	13,17	13,15	12,68	12,76	12,87
9.VI	11,39	11,54	11,65	11,64	11,57	11,80	11,80
29.VI	10,84	10,56	10,63	10,77	10,74	10,64	10,46
7.VII	10,82	10,65	10,82	10,64	10,75	10,95	10,75
20.VII	11,45	11,55	11,36	11,62	11,60	11,48	11,60
1.VIII	11,74	11,59	11,45	11,62	11,88	11,51	11,65
19.VIII	11,12	10,81	10,97	10,92	10,80	10,90	—
25.VIII	10,11	10,51	9,74	10,49	10,68	11,22	11,19
9.IX	9,90	9,70	9,85	9,72	11,68	10,53	10,50
17.IX	9,64	9,76	9,89	10,00	9,96	—	—
3.X	10,00	10,44	9,95	10,16	9,88	10,57	10,76
5.XI	11,58	—	—	—	11,65	—	—
30.XI	11,99	11,74	11,73	11,80	11,92	—	11,87
				1949 год			
24.I	12,69	12,76	12,09	12,43	12,44	12,27	—
28.II	13,09	13,48	12,23	13,00	12,90	12,83	12,04
21.III	13,29	12,83	12,50	11,74	11,41	11,42	11,06
4.IV	12,75	12,67	12,59	12,50	12,26	11,45	10,81
11.IV	12,35	12,65	12,67	12,64	11,84	11,25	11,04
18.IV	11,77	12,00	11,82	11,63	11,75	—	—
27.IV	10,68	10,61	10,57	10,53	10,28	10,91	10,23
10.V	10,29	10,28	10,39	10,38	10,30	10,72	10,21
23.V	10,01	10,03	9,85	9,85	9,92	10,16	9,71
4.VI	10,21	11,17	10,43	10,51	10,42	10,95	10,94
14.VI	10,38	10,42	10,42	10,40	10,37	10,84	10,95
25.VI	10,30	10,52	10,41	10,52	10,52	10,47	10,14
5.VII	10,96	11,06	10,96	10,69	10,92	10,79	10,35
16.VII	10,56	10,54	10,45	10,27	10,22	10,16	10,10
27.VII	9,97	10,16	10,36	10,41	10,22	10,21	10,35
6.VIII	10,25	10,80	10,55	10,76	10,68	10,45	10,48
17.VIII	10,68	10,86	10,84	10,63	10,63	10,48	10,51
1.IX	10,69	10,54	10,56	10,75	10,64	10,57	10,52
11.IX	10,49	10,68	10,67	10,44	10,45	10,53	10,53
20.IX	9,85	10,00	10,00	9,82	9,57	10,53	10,54
2.X	10,17	10,18	10,32	9,97	9,95	10,66	10,46
13.X	10,21	10,18	10,32	10,13	10,25	10,31	10,56
29.X	10,29	—	—	10,35	10,48	10,67	—
19.XI	11,10	—	11,27	11,11	11,47	10,84	10,94
9.XII	11,35	—	—	11,38	11,23	—	11,31
				1950 год			
12.I	12,03	—	—	11,80	11,65	—	11,65

Таблица 50 (окончание)

Дата	Глубина, м						
	0	5	10	25	50	100	250
13.II	12,10	—	—	11,89	11,67	—	11,64
9.III	13,29	—	—	13,03	12,81	—	12,27
20.III	13,30	—	—	13,03	12,80	—	12,27
3.IV	13,64	—	—	12,69	11,89	—	11,07
13.IV	13,13	—	—	12,20	11,30	—	10,65
20.IV	13,42	—	—	13,61	13,03	—	10,62
2.V	13,93	—	—	14,01	13,38	—	10,54
17.V	13,52	—	—	11,08	10,86	—	10,50
28.V	12,36	—	—	12,40	12,23	—	10,81
12.VI	12,43	—	—	12,08	12,08	—	10,56
22.VI	12,11	—	—	12,16	12,08	—	12,13
4.VII	11,72	—	—	11,92	11,77	—	11,83
14.VII	11,98	—	—	12,13	12,03	—	11,28
24.VII	10,71	—	—	10,86	11,31	—	10,98
5.VIII	10,19	—	—	10,44	11,84	—	11,66
2.IX	10,81	—	—	10,89	11,94	—	11,92
21.X	10,96	—	—	10,89	10,98	—	11,43
11.XI	12,17	—	—	11,72	12,00	—	11,70
9.XII	12,24	—	—	11,62	11,72	—	11,75
				1951 год			
15.I	13,37	—	—	12,80	12,96	—	11,51
16.II	13,93	—	—	12,42	11,84	10,37	10,92
15.III	13,82	—	—	12,32	12,00	11,67	10,97
4.IV	13,98	—	—	13,27	12,34	11,65	11,03
21.IV	12,60	—	—	13,07	11,96	12,84	12,67
23.V	12,89	—	—	13,17	12,41	11,25	11,27
5.VI	11,94	—	—	11,93	11,84	10,92	10,69
18.VI	12,23	—	—	11,91	11,79	11,85	11,71
3.VII	10,85	—	—	11,02	11,19	11,05	10,96
12.VII	11,44	—	—	11,36	11,20	11,35	11,10
23.VII	11,36	—	—	11,39	11,32	10,96	10,75
2.VIII	11,98	—	—	11,98	11,96	11,97	11,81
14.VIII	11,45	—	—	11,34	11,06	11,14	11,12
25.VIII	11,35	—	—	11,45	11,23	11,32	11,15
9.IX	11,39	—	—	11,38	11,35	11,27	11,48

Содержание кислорода в водах этой зоны всегда несколько ниже нормального насыщения, причем с глубиной процент насыщения вод кислородом падает, достигая на глубине 1200—1500 м 80—75% насыщения. Градиент падения кислорода на 100 м в глубинной зоне обычно лежит в пределах 0,02—0,07 мг/л, однако иногда поднимается до 0,1—0,4 мг/л. Для иллюстрации вертикального распределения кислорода в водах Байкала приведем результаты наших исследований глубинной зоны озера и среднегодовые величины содержания кислорода в водах верхней 250-метровой зоны за 1948—1951 гг. (табл. 51, 52).

Что касается вертикального распределения кислорода в литоральной зоне озера, то здесь имеем довольно пеструю картину благодаря огромному влиянию на воды литорали вод открытого Байкала (табл. 53). Дей-

Таблица 51

Вертикальное распределение кислорода в водах Байкала в районе пос. Большие Коты (в мг/л)

Глубина, м	1952 год				1953 год			
	19.III	2.IV	29.VIII	12.IX	16.III	24.IV	21.V	13.VIII
0	12,76	12,90	10,83	11,14	12,76	14,45	11,80	11,63
25	12,94	12,98	10,97	11,30	12,35	13,81	11,61	11,24
50	11,55	11,70	10,67	10,86	12,28	13,86	11,46	11,01
100	10,78	10,83	10,78	10,96	11,60	11,09	11,08	10,93
250	10,59	10,51	10,43	10,42	11,03	10,78	11,08	10,97
500	10,48	10,46	10,30	10,30	10,90	10,63	10,76	10,86
600	10,04	10,10	—	—	—	—	—	—
750	—	—	10,20	10,17	10,18	10,11	10,38	10,30
800	9,92	9,87	—	—	—	—	—	—
1000	9,74	9,77	10,14	10,08	9,83	9,78	10,14	10,26
1200	9,62	9,71	10,03	10,00	9,70	9,69	9,78	9,74
1350	9,56	9,63	—	—	—	—	—	—

Таблица 52

Среднегодовые величины содержания кислорода в водах Байкала в районе пос. Большие Коты (в мг/л)

Годы	Глубина, м							
	0	5	10	25	50	100	250	0—250
1948	11,65	11,59	11,55	11,61	11,35	11,70	11,79	11,61
1949	11,06	11,15	11,00	10,95	10,86	10,38	10,61	10,86
1950	12,30	—	—	12,02	11,89	—	11,43	11,91
1951	12,29	—	—	12,07	11,67	11,46	11,26	11,75
Среднее . .	11,32	—	—	11,66	11,44	11,18	11,27	11,53

ствительно, при том слабом развитии прибрежной платформы, какое наблюдается вдоль западных берегов Байкала, уже легкое волнение на озере создает настолько интенсивный водообмен в литорали, что ее кислородный режим оказывается совершенно идентичным с режимом вод открытого Байкала, и каких-либо различий в вертикальном распределении кислорода в водах литорали подметить уже не удается. Даже зимой в подледный период сильные ветры создают интенсивный водообмен в литорали. Только в сравнительно редкие дни и часы штилевой погоды здесь устанавливается свое определенное распределение кислорода. Летом в период пышного развития донных макрофитов в дневные часы в литорали наблюдается обычно несколько повышенное по сравнению с поверхностными водами открытого Байкала содержание кислорода. При этом у дна, как и следовало ожидать, содержание кислорода обычно бывает выше, чем на поверхности. Ночью содержание кислорода в литорали падает. Нередко наблюдается некоторый дефицит кислорода, особенно в предрассветные часы, когда его содержание достигает минимума (80% насыщения и даже ниже). При наличии в вечерние часы береговых бризов, известных на Байкале под названием «холода», содержание кислорода в литорали в ночные часы часто выравнивается с его содержанием в водах открытого Байкала, а вертикальная стратификация полностью исчезает.

Таблица 53

Содержание кислорода свободной CO_2 и изменение pH в водах литорали Байкала в районе пос. Большие Коты

Дата	O_2, мг/л		$CO_{2своб}$, мг/л		pH	
	0	2,5	0	2,5	0	2,5
			1948 год			
11.I	—	12,27	1,32	1,32	7,38	7,30
31.I	13,60	13,58	1,50	1,36	7,36	7,23
28.II	14,63	13,89	1,05	1,07	7,48	7,48
19.III	12,78	12,59	1,85	1,85	7,48	7,48
6.IV	13,19	13,38	1,41	1,58	7,60	7,48
28.V	13,05	13,17	1,54	1,41	7,69	7,69
10.VI	11,58	11,65	1,58	1,36	7,60	7,60
29.VI	11,46	11,09	—7,80*	1,32	8,40	7,60
9.VII	10,95	11,09	1,76	1,85	7,69	7,69
20.VII	11,20	12,06	0,89	0,80	7,78	7,88
31.VII	12,06	11,70	0,00	0,44	8,20	8,08
19.VIII	9,96	11,27	0,62	0,18	8,20	7,78
9.IX	9,61	9,64	0,79	0,97	7,94	7,78
17.IX	9,81	9,94	0,28	0,31	8,00	7,94
3.X	10,12	10,18	0,36	0,32	7,88	7,94
5.XI	11,83	11,75	1,58	1,67	7,60	7,60
30.XI	11,94	11,91	1,76	1,72	7,60	7,60
18.XII	12,51	12,51	1,86	1,86	7,36	7,36
			1949 год			
28.II	12,83	13,20	1,76	1,85	7,48	7,48
22.III	12,97	13,06	1,77	2,17	7,48	7,48
5.IV	12,95	12,61	1,89	1,98	7,48	7,36
11.IV	12,86	12,58	1,84	2,06	7,69	7,69
18.IV	12,03	—	1,84	—	7,60	—
28.IV	10,73	10,85	2,78	3,05	7,36	7,36
23.V	10,04	9,67	1,50	2,11	7,60	7,48
16.VI	10,56	10,98	1,62	1,79	7,60	7,60
19.VII	10,80	—	0,36	—	7,94	—
17.VIII	11,30	—	0,00	—	8,20	—

* В воде наблюдались карбонаты.

Зимой в подледный период содержание кислорода в поверхностном слое воды литорали оказывается несколько выше, чем у дна.

Интересно отметить что значительного пересыщения воды литорали кислородом в летнее время в штилевую погоду не наблюдается. Только близ уреза воды в зоне массового развития улотрикса вода летом в дневные часы оказывается пересыщенной растворенным кислородом. В ясные штилевые дни процент насыщения воды кислородом возрастает здесь до 150—175%. В такие дни свободная CO_2 в зоне улотрикса оказывается полностью исчерпанной, в воде появляются в заметных количествах карбонаты, в связи с чем pH ее сдвигается в щелочную область до 8,4—8,6.

К характеристике сезонных изменений в содержании растворенного в водах Байкала кислорода, как впрочем и в водах любого водоема, следует подходить с большой осторожностью. Наличие суточных изменений в содержании кислорода, изменения интенсивности фотосинтеза водорослей

в зависимости от внешних метеорологических условий ветровое и термическое перемешивание водных масс, влекущее за собой изменение условий газообмена водоема с атмосферой,— все это оказывает огромное влияние на содержание кислорода и его распределение, особенно в верхних слоях воды, и подчас может привести к резкому искажению истинной картины сезонных изменений этого компонента.

Чтобы избежать возможных ошибок, исследования приходилось проводить днем по возможности в ясную и безветренную погоду. Для 1948 и 1955 гг. до глубины 50 м удалось собрать более надежные данные суточных наблюдений.

В течение января во всей альтернирующей зоне открытого Байкала продолжается перемешивание водных масс, в результате чего содержание кислорода на глубинах 100—250 м заметно возрастает, приближаясь к его содержанию в верхних слоях воды. Одновременно, несмотря на наличие на озере ледяного покрова, происходит рост содержания кислорода на всех исследованных глубинах. Этот рост на глубинах до 100 м продолжается в 1948—1949 гг. до марта — зимний максимум. На глубине 250 м зимний максимум проявляется несколько позднее — в половине или конце марта, когда в вышележащих слоях воды содержание кислорода уже заметно снижается.

Зимний кислородный максимум обусловлен, по нашему мнению, жизнедеятельностью фитопланктона. Действительно, даже в годы с низкой численностью фитопланктона (диатомей) зимний кислородный максимум сопровождается некоторым падением содержания свободной CO_2 и соединений биогенных элементов (азота и фосфора), а также наличием ясно выраженного суточного хода кислорода в верхних слоях воды. В годы же массового развития диатомеи — мелозиры зависимость сезонных изменений в содержании кислорода в верхних слоях воды Байкала от количественного развития водорослей уже бесспорно проявляется в течение всего подледного периода. Утверждение В. Н. Яснитского (1930) о количественной бедности фитопланктона в январе — марте является справедливым, очевидно, лишь для некоторых лет. В своей более поздней работе (Яснитский, 1934) цитируемый автор сам указывает, что начало развития весенних форм фитопланктона приходится на февраль, а к апрелю фитопланктон уже достигает максимума развития. По наблюдениям в 1950 г. (Вотинцев, 1952а) развитие мелозиры в районе пос. Большие Коты началось еще в январе, а к апрелю биомасса этой водоросли в верхнем 25-метровом слое воды достигала 1,5—2,5 г/м^3.

Наблюдаемое увеличение содержания кислорода в водах Байкала в зимний период находится, на первый взгляд, в явном противоречии с наблюдениями других исследователей. Действительно, в литературе, касающейся газового режима Байкала в зимний подледный период, утверждается, что с установлением на озере ледяного покрова и до вскрытия содержание кислорода в водах Байкала падает. Так, Г. Ю. Верещагин (1827в), разбирая сезонные изменения в количествах кислорода в водах Байкала, указывает, что максимальное содержание кислорода в водах этого озера приходится на ноябрь, а далее в течение всего подледного периода количества его уменьшаются. П. Ф. Бочкарев, Н. А. Власов и М. П. Козяр (1947), исследовавшие суточный ход кислорода в Байкале в поверхностной воде в зимний период, прямо указывают, что в течение зимы содержание кислорода в воде падает, достигая минимальных величин в апреле, т. е. перед вскрытием озера от льда.

Внимательный анализ данных, полученных указанными авторами, приводит нас к иным выводам. В упомянутой выше работе Г. Ю. Верещагина на стр. 82—83 приведена таблица глубоководных разрезов, произведенных в 1925—1926 гг. в районе ст. Маритуй (южная оконечность озера).

Из цифр этой таблицы становится совершенно ясным, что зимой 1925—1926 гг. содержание кислорода в абсолютных величинах (миллиграммах на литр) растет с ноября к марту по крайней мере до глубины 25 м. В процентах насыщения этот рост, исключая быть может поверхностный слой воды, заметен еще на глубине 75 м. То же самое видно при анализе цифр, приведенных в работе П. Ф. Бочкарева и др. (1947). Здесь как в абсолютных величинах, так и по степени насыщения воды кислородом содержание последнего возрастает от февраля к марту.

Падение содержания кислорода в верхних слоях воды Байкала начинается в бедные мелозирой годы в марте — начале апреля и продолжается до конца мая — начала июня — первый весенний минимум.

В течение июля вследствие хорошей аэрации воды под действием частых ветров содержание кислорода заметно возрастает, достигая на поверхности величин, близких к нормальному насыщению, и постепенно падая с глубиной. Последующее развитие летних форм фитопланктона ведет к дальнейшему, хотя и небольшому росту содержания кислорода, в результате чего в конце июля—августе поверхностные воды Байкала оказываются иногда даже несколько пересыщенными кислородом (до 102—120% насыщения) — летний максимум. С отмиранием фитопланктона в конце августа и первой половине сентября содержание кислорода заметно понижается, причиной чего является его потребление при разложении отмирающего планктона (летний минимум).

Снижение температуры воды и усиление осенней циркуляции способствует новому росту содержания кислорода в последующие осенне-зимние месяцы. В период осенней гомотермии (конец ноября) кислород равномерно распределяется во всей альтернирующей зоне озера. В последующий период вплоть до ледостава содержание кислорода, особенно в верхних слоях воды, продолжает возрастать за счет поглощения его из воздуха.

В годы с массовым развитием мелозиры, как, например, в 1950 г., сезонные изменения в содержании растворенного в водах Байкала кислорода протекают несколько иначе. Благодаря высокой численности мелозиры в течение всего весеннего периода зимний кислородный максимум в 1950 г. в поверхностных слоях воды был растянут во времени с середины марта до середины мая. С мая по август здесь наблюдалось непрерывное падение содержания кислорода, после чего начался его рост, продолжавшийся до конца года.

На глубинах 25—50 м в 1950 г. зимний мартовский максимум кислорода сохранился. К половине апреля содержание кислорода здесь заметно понизилось, после чего, в связи с опусканием водорослей на большие глубины (см. выше) к началу мая на глубине 25 м и к середине этого месяца на глубине 50 м вновь значительно возросло до второго максимума. В последующие месяцы сезонный ход кислорода на этих глубинах существенно не отличался от такового в поверхностном слое воды.

Рассматривая общий характер сезонных изменений в содержании в водах Байкала растворенного кислорода (рис. 5 и 6, табл. 50), необходимо отметить, что в абсолютных величинах максимальные его количества содержатся зимой, т. е. зимний максимум является одновременно и годовым максимумом. Содержание кислорода в этот период в поверхностной воде Байкала возрастает обычно до 13—14 мг/л. В период летнего максимума содержание кислорода оказывается значительно более низким — не выше 12 мг/л. Годовой минимум кислорода падает в Байкале на сентябрь — октябрь, а в богатые мелозирой годы — на август. Содержание кислорода на поверхности озера в это время лежит в пределах 9,5—10,0 мг/л. Весенний минимум проходит на несколько

более высоком уровне — 10—11 мг/л. Амплитуда сезонных колебаний кислорода в водах Байкала оказывается, таким образом, довольно значительной. В табл. 54 приводятся данные, характеризующие мак-

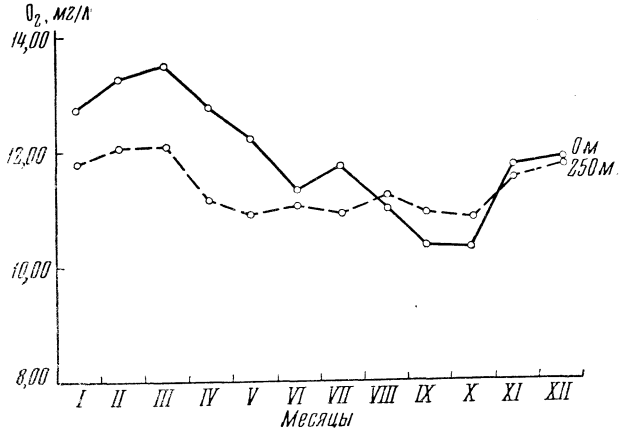


Рис. 5. Сезонные изменения содержания кислорода в водах Байкала (пос. Большие Коты, 1948—1951 гг.)

симальное и минимальное содержание кислорода и амплитуду его колебаний в водах Байкала в отдельные годы на разных глубинах.

Легко видеть, что маскимальная амплитуда сезонных колебаний кислорода наблюдается в поверхностных слоях воды Байкала и равна в среднем 3,67—3,52 мг/л на глубинах 0—25 м. На больших глубинах

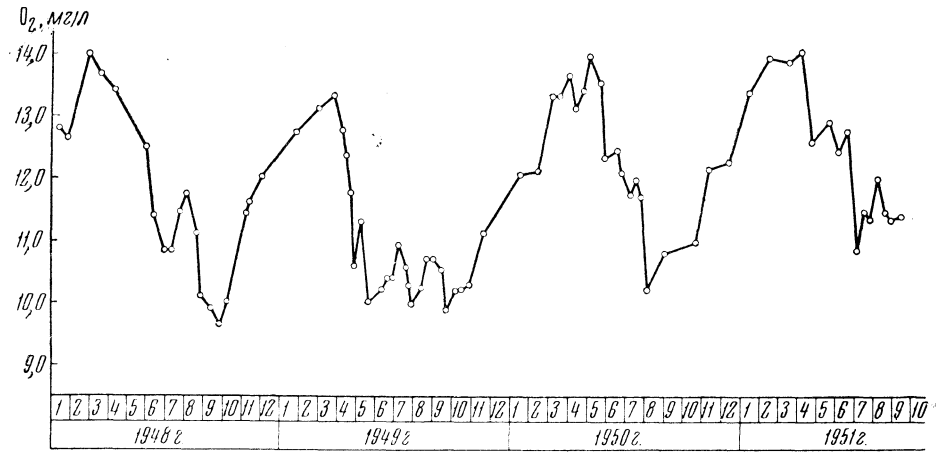


Рис. 6. Сезонные изменения содержания кислорода в водах Байкала (поверхностные пробы)

амплитуда сезонных колебаний кислорода уменьшается. Что касается изменений амплитуды по годам, то здесь также наблюдаются значительные различия.

Сезонные изменения содержания кислорода в водах байкальской литорали в силу постоянного водообмена с водами открытого озера принципиально ничем не отличаются от таковых в поверхностном слое воды открытого Байкала. Можно лишь указать на несколько большую амплитуду колебаний кислорода в течение года в литорали по сравнению с водами

открытого озера, обусловленную влиянием жизнедеятельности мощных зарослей донных макрофитов (см. табл. 53).

Выше уже указывалось на наличие в водах Байкала суточного хода кислорода. Изучением этого широко распространенного на всех озерах, морях и даже реках явления на Байкале занимались В. М. Гортиков (1930), Г. Ю. Верещагин (1932), П. Ф. Бочкарев, Н. А. Власов и М. П. Козяр (1947).

Таблица 54

Максимальное и минимальное содержание кислорода и амплитуда его сезонных колебаний в водах Байкала (в мг/л)

Глубина, м	1948 г.		1949 г.		1950 г.		1951 г.		Среднее за все годы
	Макс.	Мин.	Макс.	Мин.	Макс.	Мин.	Макс.	Мин.	
0	13,98	9,64	13,29	9,85	13,93	10,19	13,98	10,85	
	4,34		3,44		3,74		3,13		3,67
25	13,81	9,72	13,00	9,82	14,01	10,44	13,27	11,02	
	4,09		3,18		3,57		3,25		3,52
50	13,04	9,88	12,90	9,57	13,38	10,86	12,96	11,06	
	3,16		3,33		2,52		1,90		2,73
100	13,48	10,53	12,83	10,10	—	—	12,84	10,37	
	2,95		2,67		—		2,47		2,69
250	13,66	10,31	12,04	9,71	12,27	10,50	12,67	10,69	
	3,35		2,33		1,77		1,98		2,36

В. М. Гортиков проводил наблюдения над суточным ходом кислорода только в поверхностном слое воды озера в летний период 1927 г. в районе пос. Большие Коты. Г. Ю. Верещагин вел наблюдения в нескольких пунктах озера на разных глубинах также летом. П. Ф. Бочкарев с сотрудниками исследовал суточный ход кислорода в поверхностной воде открытого Байкала и в его литорали в зимний подледный период, весной и летом, также в районе пос. Большие Коты.

Результаты исследований цитированных выше авторов показали, что суточный ход кислорода, а также свободно CO_2 и изменение pH имеет место как летом, так и зимой под льдом. Наиболее резко суточный ход выражен в летний период в зоне уреза воды, где в дневные часы в штилевую погоду процент насыщения воды кислородом поднимается значительно выше 100%. Максимальная величина насыщения воды кислородом в зоне уреза воды летом была констатирована Г. Ю. Верещагиным в районе ст. Маритуй в 10 час утра 24 июля 1926 г. и равнялась 175,5% насыщения (17,81 мг/л). Высокое содержание кислорода в зоне уреза отмечает и В. М. Гортиков: в 12 час. дня 30 июня 1927 г. в районе пос. Большие Коты содержание кислорода равнялось 152,53% насыщения (17,83 мг/л), а в 9 час. утра 1 июля 1927 г. — 151,18% насыщения (17,99 мг/л).

В открытом Байкале максимальное насыщение воды кислородом на поверхности наблюдалось Г. Ю. Верещагиным в 16 час. дня 24 июля 1926 г. в районе ст. Маритуй и равнялось 117% насыщения (11,49 мг/л).

Наибольшая амплитуда суточных колебаний растворенного кислорода в поверхностном слое воды открытого Байкала констатирована Г. Ю. Ве-

рещагиным в районе ст. Маритуй 24—25 июля 1926 г., равная 1,75 мг/л. В урезе воды максимум амплитуды суточного хода кислорода отмечен В. М. Гортиковым в районе пос. Большие Коты 30 июня —1 июля 1927 г., равный 9,99 мг/л и Верещагиным у мола ст. Маритуй 24—25 июля 1926 г. — 9,98 мг/л.

Глубина проникновения суточного хода кислорода в толщу вод Байкала в летний период, по мнению Г. Ю. Верещагина, превышает 25 м.

В течение 1948 и части 1949 гг. нами было предпринято изучение суточного хода кислорода, а также температуры воды, содержания свободной CO_2 и изменения pH в водах открытого Байкала и его литорали. Ряд суточных серий наблюдений был проведен и в последующие годы. Перед нами стояла задача проследить характер этого явления на разных глубинах и в разные сезоны года, а затем на основе полученных данных подойти

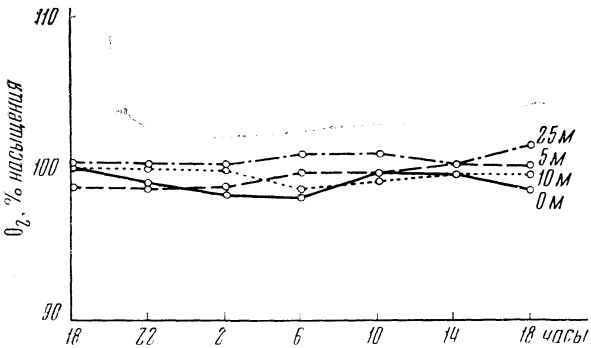


Рис. 7. Суточные изменения содержания кислорода в водах Байкала (пос. Большие Коты, 26—27.II 1948 г.).

к определению первичной биологической продуктивности Байкала. Результаты исследований 1948 г. в части, касающейся первичной биологической продуктивности Байкала, кратко изложены ранее (Вотинцев, 1953а). Здесь же рассматривается сам процесс суточного хода кислорода в водах Байкала.

Суточный ход кислорода в водах Байкала имеет место круглый год (табл. 55, рис. 7—10). В январе в водах открытого Байкала суточный ход кислорода в 1948 и 1949 гг. был выражен наиболее слабо даже на поверхности. В феврале слабый суточный ход наблюдался до глубины 5 м (рис. 7). Амплитуда суточных колебаний кислорода 26—27 февраля 1948 г. на поверхности была равна 0,12 мг/л, на глубине 5 м —0,07 мг/л. На глубинах 10—25 м колебания кислорода в течение суток были незакономерны. В марте в верхнем 5-метровом слое воды суточный ход кислорода был выражен несколько более отчетливо, хотя его амплитуда и оставалась почти прежней — 0,2 мг/л 18—19 марта. В апреле 1948 г. напряженность этого процесса заметно упала. Только на поверхности суточный ход оставался вполне отчетливым, на прочих же исследованных глубинах был сильно нарушен какими-то динамическими процессами, протекающими в толще вод Байкала.

С момента вскрытия озера от льда и в течение всех последующих месяцев, включая сентябрь, суточный ход кислорода в поверхностных слоях воды открытого Байкала принял более резко выраженный характер. С глубиной амплитуда его обычно заметно падала. Однако правильные суточные изменения в содержании кислорода удавалось

проследить летом еще на глубине 50 м. При этом в июне — начале июля суточный ход с глубиной заметно ослабевал. Так, амплитуда суточных изменений содержания кислорода 9—10 июня 1948 г. на поверхности озера равнялась 1,37 мг/л, на глубине 5м — 0,54 мг/л, на глубине 10 м — 0,55 мг/л, на глубинах 25—50 м — около 0,2 мг/л (рис. 8).

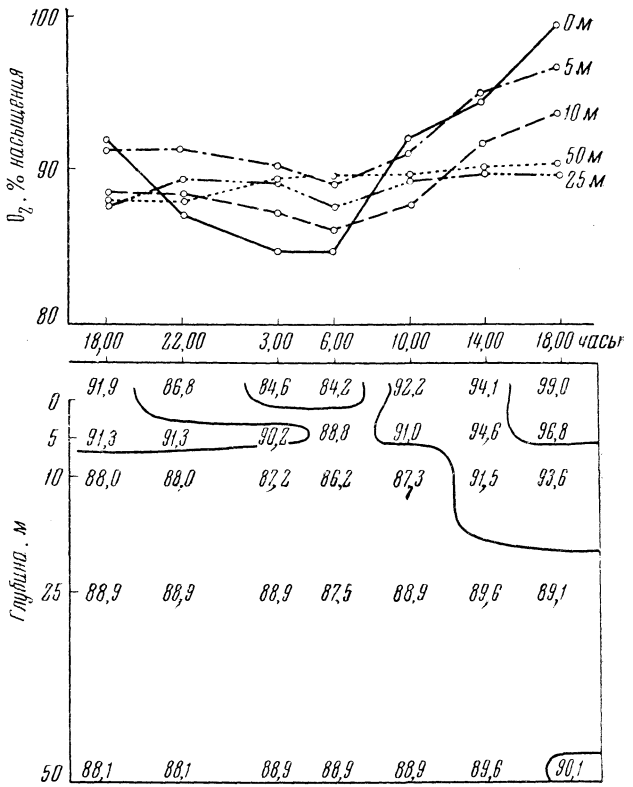


Рис. 8. Суточные изменения содержания кислорода в водах Байкала (пос. Большие Коты, 9—10.VI 1948 г.)

С конца июля по сентябрь суточный ход кислорода, очевидно, в связи с более равномерным распределением водорослей в толще вод Байкала оставался достаточно высоким на всех исследованных глубинах, причем максимум амплитуды суточных изменений кислорода нередко перемещался в этот период в более глубокие слои воды. Примером может служить серия от 19—20 августа 1948 г. Амплитуда суточных изменений кислорода в эти сутки на поверхности равнялась 0,87 мг/л, на глубине 5 м она поднималась до 1,00 мг/л, на глубинах 10 и 25 м падала соответственно до 0,83 и 0,64 мг/л, а на глубине 50 м вновь возрастала до 1,11 мг/л (рис. 9).

В октябре ясный суточный ход кислорода был заметен до глубины 10 м. В ноябре и декабре наши наблюдения не могли быть продолжены в связи с крайне неустойчивой погодой.

Как уже говорилось, Байкал в 1948 г. характеризовался бедностью весеннего фитопланктона, чем и обусловливалась относительно низкая интенсивность суточного хода кислорода весной под льдом. Интересно

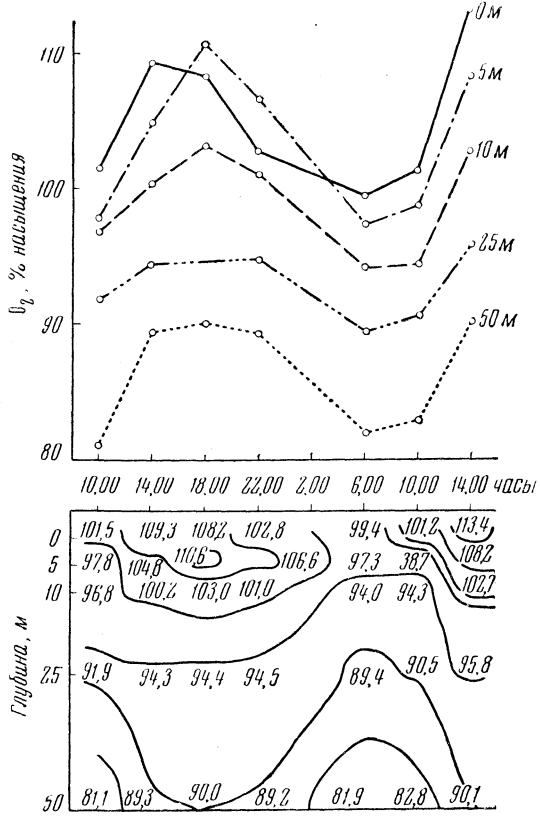


Рис. 9. Суточные изменения содержания кислорода в водах Байкала (пос. Большие Коты, 19—20.VIII 1948 г.).

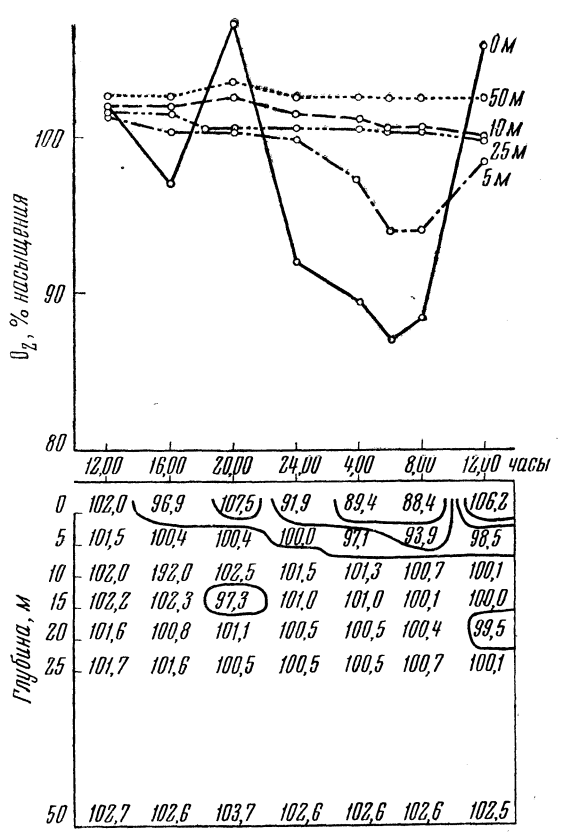


Рис. 10. Суточные изменения содержания кислорода в водах Байкала (пос. Большие Коты, 22—23.IV 1953 г.).

Таблица 55

Суточный ход кислорода в водах Байкала в 1948 г. в районе пос. Большие Коты (в мг/л)

Дата	Часы	Глубина, м				
		0	5	10	25	50
29—30.I	18.00	12,66	13,00	13,23	12,08	—
	22.00	12,80	12,90	13,23	12,85	—
	2.00	13,12	13,02	13,23	12,85	—
	6.00	13,12	13,02	13,23	12,85	—
	10.00	13,06	13,02	13,13	12,85	—
	14.00	13,12	12,68	12,92	12,85	—
	18.00	13,00	12,78	12,92	12,85	—
26—27.II	18.00	13,98	13,72	13,91	13,81	—
	22.00	13,84	13,72	13,91	13,81	—
	2.00	13,78	13,72	13,91	13,81	—
	6.00	13,78	13,85	13,72	13,91	—
	10.00	13,90	13,85	13,78	13,91	—
	14.00	13,90	13,92	13,85	13,81	—
	18.00	13,78	13,92	13,78	13,98	—
18—19.III	13.00	13,64	13,35	13,23	12,92	12,21
	18.00	13,19	13,24	13,17	13,14	—
	22.00	13,51	13,57	13,46	13,46	13,48
	2.00	13,38	13,46	13,34	13,30	—
	6.00	13,38	13,41	13,23	13,30	12,79
	10.00	13,07	12,26	12,78	12,59	—
	14.00	13,26	12,75	13,00	12,70	12,61
	18.00	13,19	12,81	12,67	12,70	12,61
4—5.IV	14.30	13,39	13,38	13,27	13,23	12,12
	18.00	13,39	12,93	12,79	12,80	12,68
	22.00	13,20	12,71	12,79	12,92	12,50
	6.00	13,20	13,04	12,91	12,92	12,37
	10.00	13,30	12,90	12,93	12,62	12,24
	14.00	13,49	13,36	13,23	13,27	12,71
	18.00	13,39	13,32	13,32	12,92	12,62
9—10.VI	18.00	11,88	11,79	11,43	11,57	11,46
	22.00	11,18	11,79	11,43	11,57	11,46
	3.00	10,96	11,65	11,32	11,57	11,58
	6.00	10,96	11,52	11,21	11,38	11,58
	10.00	11,88	11,79	11,43	11,57	11,58
	14.00	11,64	11,79	11,65	11,57	11,58
	18.00	12,33	12,06	11,76	11,57	11,70
10—11.VII	10.00	10,79	10,90	10,86	10,74	10,74
	14.00	11,14	10,82	10,92	10,70	10,63
	18.00	10,79	10,70	10,74	10,42	10,55
	22.00	10,79	10,70	10,62	10,36	10,38
	2.00	10,79	10,64	10,52	10,28	10,24
	6.00	10,79	10,70	10,73	10,66	10,65
	10.00	10,94	10,83	10,86	10,74	10,70
	14.00	11,23	10,94	10,96	10,78	10,68

Таблица 55 (окончание)

Дата	Часы	Глубина, м				
		0	5	10	25	50
26—27.VII	14.00	10,87	11,55	11,48	11,30	11,10
	18.00	11,36	11,78	11,59	11,30	11,19
	22.00	11 23	11,55	11,25	—	11,01
	2.00	11,21	11,55	11,25	11,17	11,01
	6.00	11,29	11,55	11,25	11,17	11,01
	10.00	11,23	11,46	11,48	11,20	11,19
	14.00	11,28	11,66	11,68	11,29	11,19
19—20.VIII	10.00	11,12	10,81	10,97	10,92	10,20
	14.00	11,55	11,48	11,30	11,18	11,23
	18.00	11,36	11,80	11,40	11,21	11,30
	22.00	11,14	11,56	11,28	11,23	11,21
	6.00	10,96	10,80	10,73	10,68	10,30
	10.00	11,03	10,96	10,86	10,81	10,40
	14.00	11,83	11,60	11,56	11,32	11,31
9—10.IX	18.00	9,90	9,70	9,85	9,72	11,68
	6.00	9,78	9,61	9,64	9,56	11,20
	10.00	9,90	9,68	9,70	9,63	11,38
	18.00	9,96	9,81	9,86	10,03	11,78

было выяснить, насколько интенсивно протекает суточный ход кислорода в водах Байкала в подледный период в годы с массовым развитием диатомей (мелозиры). Нам удалось провести с указанной целью несколько суточных серий наблюдений весной 1953 г. Эти серии показали, что в период массового развития мелозиры весной под льдом в Байкале имеет место резкий суточный ход кислорода (рис. 10). Амплитуда суточных колебаний растворенного кислорода достигала при этом в подледном слое в конце апреля 2,79 мг/л (22—23 апреля 1953 г.), т. е. значительно превышала максимальные величины, наблюдаемые в Байкале до сих пор даже в летний период.

Большое влияние на суточный ход кислорода в некоторые годы перед вскрытием Байкала от льда оказывают, несомненно, перидинеи, в массе развивающиеся в поверхностном слое воды озера. Покажем это на следующем примере. Весной 1953 г. перед вскрытием Байкала от льда перидинеи в массе развивались в прорубях, из которых жители поселка брали воду. Воспользовавшись этим, 17 апреля нами была пробита прорубь для получения массовой «культуры» перидиней. Уже на утро следующего дня вода в проруби приобрела характерный при массовом развитии перидиней коричневатый оттенок, а прозрачность ее упала с 7 м до 0,6 м. С 20 час. 18 апреля до 18 час. 19 апреля здесь была проведена серия наблюдений в поверхностном слое воды. Амплитуда суточных колебаний растворенного кислорода оказалась равной 1,85 мг/л, а суточная продукция его 2,04 мг/л. Так как численность мелозиры и других водорослей у берегов в период наших наблюдений была на поверхности озера незначительной, то эту продукцию кислорода можно целиком отнести за счет фотосинтеза перидиней. К сожалению, нам не удалось подсчитать численность этих водорослей и сопоставить продукцию с последней, так как при фиксации проб формалином клетки перидиней разрушались.

Что касается суточного хода кислорода в водах байкальской литорали, то основные различия здесь сводятся к количественной стороне процесса. На протяжении большей части года суточные колебания растворенного кислорода в водах литорали в штилевую погоду выражены значительно более резко, чем вдали от берега (рис. 11), что и

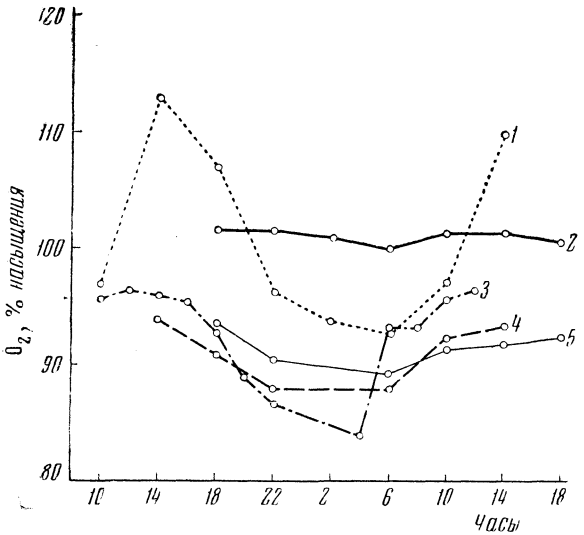


Рис. 11. Суточный ход кислорода в водах байкальской литорали (пос. Большие Коты, 1948 г.).

1—10—11.V II; *2*—26—27.II; *3*—18—19.III; *4*—22—23.XII; *5*—4—5.IV

естественно, если вспомнить о влиянии на кислородный режим этой зоны донных водорослей. Во время волнений на озере, когда водообмен между литоралью и открытым Байкалом резко усиливается, различия в суточном ходе кислорода здесь более или менее стираются (табл. 56).

Резкие суточные и отчасти сезонные колебания в содержании кислорода в водах байкальской литорали, несомненно, оказывают большое влияние на обитающих здесь животных. Можно смело утверждать, что обитатели байкальской литорали, особенно зоны прибоя и зоны малых глубин, находящиеся под постоянным влиянием этих изменений, являются наиболее «эвриоксибионтными» видами в составе фауны Байкала.

2. СВОБОДНАЯ УГЛЕКИСЛОТА

Определение свободной CO_2, как и растворенного кислорода, проводилось почти при всех гидрохимических исследованиях Байкала. Однако в литературе до сих пор нет сведений о круглогодичном режиме свободной CO_2 в водах озера.

Наши систематические исследования охватывают период с 1948 по 1950 г. Кроме того, в 1952—1953 гг. было проведено несколько вертикальных разрезов для изучения распределения свободной CO_2 в глубинной зоне Байкала, а в 1948 г. изучался ее суточный ход в верхнем 50-метровом слое озера.

Определение свободной CO_2 велось титрованием 100 мл испытуемой пробы воды 0,02 *N* раствором соды в присутствии фенолфталеина. Общее число определений свободной CO_2, выполненных нами, достигает 900.

Суточный ход кислорода в водах литорали Байкала в районе пос. Большие Коты (в мг/л)

Дата	Часы	Глубина, м		Дата	Часы	Глубина, м	
		0	2,5			0	2,5
29—30.I	22.00	13,00	—	26—27.VII	14.00	12,16	11,90
	2.00	13,07	—		18.00	11,46	11,90
	6.00	11,48	—		22.00	11,46	11,23
	10.00	13,07	—		2.00	11,46	11,12
	14.00	12,89	—		6.00	11,46	11,34
	18.00	12,89	—		10.00	11,46	11,46
					14.00	11,04	11,90
26—27.II	18.00	14,17	14,05	19—20.VIII	10.00	9,91	8,22
	22.00	14,17	14,11		14.00	9,65	8,08
	2.00	14,12	14,00		18.00	9,33	9,92
	6.00	14,57	14,41		22.00	9,09	9,65
	10.00	14,17	14,35		6.00	9,79	10,17
	14.00	14,17	14,17		10.00	10,03	10,05
	18.00	14,12	13,52		14.00	10,03	10,17
18—19.III	13.00	14,00	13,85	9—10.IX	10.00	9,47	9,61
	18.00	13,99	13,80		14.00	9,47	10,61
	22.00	14,00	13,75		18.00	10,00	10,07
	2.00	13,75	13,41		22.00	9,47	9,61
	6.00	13,27	13,04		2.00	9,31	9,38
	10.00	12,26	12,05		6.00	9,22	9,38
	14.00	12,80	12,95		10.00	9,86	9,73
	18.00	13,04	13,04		14.00	10,00	10,03
				4— 5.X	14.00	9,78	9,83
4— 5.IV	18.00	12,89	13,32		18.00	10,03	10,17
	22.00	12,53	13,15		22.00	10,01	10,11
	6.00	12,09	13,04		6.00	9,73	9,60
	10.00	12,71	12,92		10.00	9,78	9,80
	14.00	12,71	13,48		14.00	9,89	9,92
	18.00	11,71	12,92		18.00	10,13	10,18
9—10.VI	18.00	10,41	10,89	4— 5.XI	14.00	11,54	11,75
	22,00	10,41	10,66		18.00	10,68	11,04
	3.00	10,15	10,66		6.00	10,79	10,81
	6.00	10,15	10,89		10.00	11,27	11,51
	10.00	10,91	11,35		14.00	11,73	11,56
	14.00	11,42	11,79				
	18.00	12,06	12,48				
10—11. VII	10.00	10,79	11,41	20—21.XII	14.00	11,78	12,88
	14.00	11,81	12,06		18.00	11,41	11,97
	18.00	11,66	11,27		22.00	11,04	11,52
	22.00	11,37	11,03		6.00	11,04	11,52
	2.00	11,14	10,86		10.00	11,62	11,70
	6.00	11,08	10,75		14.00	11,73	11,73
	10.00	11,08	11,54				
	14.00	11,64	12,28				

Содержание свободной CO_2 в водах Байкала весьма невелико. В поверхностных слоях воды обычно присутствует 0,5—2,0 мг/л CO_2. За период 1948—1950 гг. среднегодовые величины ее содержания в поверхностной воде озера равнялись в 1948 г.— 1,11 мг/л, в 1949 г.— 1,26 мг/л и в 1950 г.— 0,92 мг/л, а в среднем за три года — 1,11 мг/л. С глубиной наблюдается некоторый, правда небольшой, рост содержания свободной CO_2. На глубине 250 м содержание ее достигает в среднем 2,0 мг/л, а на глубинах 1000—1500 м — 5—6 мг/л (табл. 57).

Таблица 57

Вертикальное распределение свободной CO_2 в водах Байкала в районе пос. Большие Коты (в мг/л)

Дата	Глубина, м											
	0	25	50	100	250	500	600	750	800	1000	1200	1350
1952 год												
19.III	2,3	1,9	2,3	3,2	3,0	4,1	5,0	—	5,0	5,1	5,1	5,2
2.IV	1,3	1,7	2 3	3,1	3,1	3,9	5,1	—	5,1	5,2	5,2	5,2
29.VIII	0,6	0,8	0,8	1,3	2,4	2,9	—	3,7	—	5,0	5,3	—
12.IX	1,2	1,3	1,9	2,4	2,4	3,6	—	3.8	—	5,1	5,1	—
1953 год												
16.III	2,3	2,3	2,7	2,8	3,0	3,7	—	4,1	—	4,2	4,7	—
24.IV	0,2	0,3	0,8	2,9	3,1	3,5	—	4,0	—	4,2	4,7	—
21.VII	1,4	1,4	1,8	2,7	3,4	3,6	—	3,7	—	4,3	5,4	—
13.VIII	1,0	2,0	2,2	2 4	3 1	3 5	—	3 8	—	4 3	5,1	—

Рассматривая сезонные изменения в содержании свободной CO_2 в водах Байкала (табл. 58, рис. 12), легко видеть, что они в целом обратны таковым кислорода. Исключение составляет лишь осенний период, о чем будет сказано ниже.

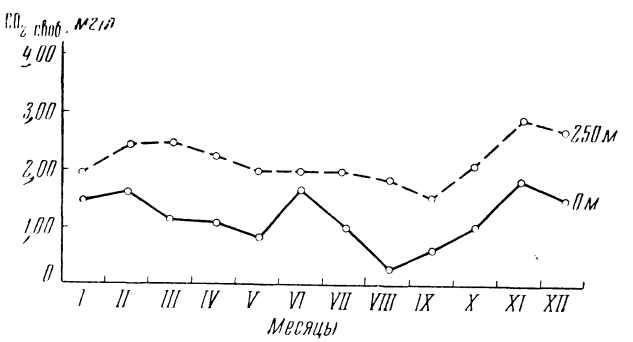


Рис. 12. Сезонные изменения содержания свободной CO_2 в водах Байкала (пос. Большие Коты, 1948—1950 гг.).

Максимальное содержание свободной CO_2 в верхних слоях воды Байкала наблюдается зимой под льдом обычно в январе — феврале и равняется 2,0—2,5 мг/л. К апрелю содержание ее падает. В годы с низкой численностью весеннего фитопланктона содержание свободной CO_2, в этот период, лежит в пределах 1,0—1,2 мг/л, в богатые же

Содержание свободной CO_2 в водах Байкала в районе пос. Большие Коты (в мг/л)

Дата	Глубина, м						
	0	5	10	25	50	100	250
				1948 год			
10.I	1,02	—	—	2,20	2,42	1,76	2,20
29.I	1,28	1,23	1,23	1,32	1,19	1,97	1,84
26.II	1,06	1,45	1,06	1,36	1,16	1,76	1,82
18.III	1,23	2,40	1,85	1,85	3,87	2,29	2,76
4.IV	1,36	1,58	1,63	1,82	2,20	1,67	1,76
29.V	1,58	1,54	1,54	1,32	1,32	1,23	1,32
9.VI	1,36	1,36	1,58	1,85	2,02	1,98	2,38
29.VI	2,24	2,24	1,72	1,80	2,28	2,36	2,58
7.VII	1,76	1,36	1,36	2,02	1,67	1,67	1,58
20.VII	0,84	0,86	0,86	1,01	0,82	0,92	0,90
1.VIII	0,26	0,53	0,88	1,14	1,41	1,50	1,85
19.VIII	0,35	0,66	0,66	0,88	0,88	0,94	—
25.VIII	0,44	0,44	0,66	0,66	1,32	1,50	2,11
9.IX	0,62	0,62	0,79	0,88	1,23	1,32	1,67
17.IX	0,53	0,53	0,70	0,88	1,23	—	—
3.X	0,92	0,96	0,60	0,88	1,36	2,12	2,48
5.XI	1,46		—	—	1,56	—	3,43
30.XI	1,76	2,11	2,16	2,38	2,38	—	—
				1949 год			
24.I	2,24	2,38	2,38	2,46	2,55	3,52	—
28.II	1,85	1,94	2,07	2,20	2,20	2,29	2,55
21.III	1,20	1,98	1,98	2,20	2,29	2,73	2,86
4.IV	1,67	1,76	1,76	1,32	2,20	3,48	2,99
11.IV	1,36	1,80	1,94	2,29	2,73	2,99	3,30
18.IV	1,76	1,76	1,94	2,16	2,33	—	—
27.IV	1,64	1,64	1,82	2,52	2,78	2,83	3,31
10.V	1,02	1,20	1,38	1,33	1,20	1,99	2,65
23.V	1,64	1,64	1,77	1,99	1,64	1,82	2,21
4.VI	1,64	1,64	1,68	1,64	1,68	1,68	1,74
14.VI	1,58	1,56	1,58	1,64	1,64	1,74	1,74
25.VI	1,36	1,50	1,50	1,67	1,67	1,67	1,89
5.VII	1,23	1,23	1,41	1,41	1,80	1,94	2,77
16.VII	0,62	0,79	0,92	1,14	2,11	2,20	2,55
27.VII	0,44	0,44	0,62	0,88	1,14	1,28	1,36
6.VIII	0,62	0,88	0,97	1,14	1,14	1,41	1,58
17.VIII	0,40	0,53	0,79	0,88	1,14	1,23	1,50
1.IX	0,88	0,92	0,92	1,23	1,23	1,50	1,94
11.IX	0,40	0,70	0,79	0,97	0,97	1,23	1,32
20.IX	0,79	0,79	0,79	0,88	1,32	1,67	1,76
2.X	0,97	1,06	1,14	1,23	1,23	1,58	1,80
13.X	0,87	0,90	0,96	1,11	1,14	1,63	1,94
29.X	0,88	—	—	1,01	1,23	1,58	—
19.XI	2,64	—	2,64	2,64	2,64	2,99	3,08
9.XII	1,76	—	—	1,94	2,02	—	2,73

Таблица 58 (окончание)

Дата	Глубина, м						
	0	5	10	25	50	100	250
				1950 год			
12.I	11,32	1,41	1,41	1,41	1,58	—	1,76
13.II	2,11	—	—	2,20	2,64	—	2,82
9.III	1,06	—	—	1,23	1,36	—	2,11
20.III	1,06	—	—	1,23	1,32	—	2,16
3.IV	0,48	—	—	1,14	1,28	—	1,58
13.IV	0,40	—	—	1,10	1,28	—	1,54
20.IV	0,35	—	—	1,01	1,10	—	1,32
2.V	0,26	—	—	0,48	0,79	—	1,52
17.V	0,35	—	—	1,14	1,36	—	1,50
28.V	0,31	—	—	0,53	0,79	—	2,77
12.VI	0,58	—	—	0,71	0,78	—	1,94
22.VI	1,36	—	—	0,84	1,49	—	1,76
4.VII	1,32	—	—	2,11	2,64	—	2,82
14.VII	1,23	—	—	1,32	1,32	—	2,24
24.VII	0,79	—	—	1,14	1,23	—	2,38
5.VIII	0,40	—	—	0,35	1,50	—	2,24
2.IX	0,31	—	—	0,48	0,80	—	0,96
21.X	1,36	—	—	1,50	1,58	—	2,23
11.XI	1,58	—	—	1,62	1,78	—	2,18
9.XII	1,76	—	—	1,89	2,04	—	2,64

диатомеями годы опускается значительно больше — до 0,5—0,3 мг/л. Следует указать, что весной даже в годы массового развития диатомеи — мелозиры, несмотря на значительную интенсивность фотосинтеза последней, о чем можно судить по резкому суточному ходу кислорода, содержание свободной CO_2 в водах Байкала никогда не падает до аналитического нуля.

Вслед за вскрытием озера от льда содержание свободной CO_2 в поверхностных слоях воды Байкала заметно возрастает, достигая 1,5 мг/л и даже более. Объясняется это, вероятнее всего, поступлением свободной CO_2 в поверхностные слои из нижележащих слоев воды под действием ветрового и термического перемешивания вод озера, а также усилением окислительных процессов в водоеме. Действительно, в это время происходит разложение отмирающего весеннего фитопланктона, а также того аллохтонного органического вещества, которое поступает в воды озера с его ледяного покрова после таяния последнего (главным образом различных растительных остатков, попадающих на поверхность льда зимой с побережий).

Повышенное содержание свободной CO_2 наблюдается в Байкале, как правило, до половины июля. Лишь с началом прогревания вод озера и развитием летних форм водорослей содержание свободной CO_2 в поверхностных слоях воды озера падает, достигая в августе — сентябре своего второго, летнего минимума. В этот период иногда в дневные часы в поверхностном слое воды Байкала свободная CO_2 полностью потребляется фитопланктоном, и в воде появляются карбонаты. Количество последних не превышает, однако, 0,5—1,0 мг/л. Лишь в литорали, особенно в прибойной полосе ее с зарослями улотрикса, содержание карбонатов в этот период достигает подчас 6—8 мг/л.

Начиная с октября и в течение всех последующих месяцев, вплоть до ледостава, содержание свободной CO_2 повышается. Характерно, что параллельно с ростом содержания свободной CO_2 в этот период растет и содержание растворенного кислорода, т. е. обратная зависимость, наблюдаемая обычно в сезонных изменениях содержания этих ингредиентов, нарушается. Объясняется это тем, что, с одной стороны, в результате усиления окислительных процессов в водоеме (деструкции отмирающего фитопланктона и пр.), а также поступления из нижележащих слоев воды при ветровом перемешивании водных масс Байкала, создаются благоприятные условия для обогащения верхних слоев воды свободной углекислоты, а с другой — интенсивная ветровая аэрация воды при понижающихся температурах последней способствует обогащению ее растворенным кислородом.

Суточные изменения содержания свободной CO_2 наиболее хорошо выражены в верхних слоях воды. Их характер обратен характеру суточных изменений кислорода; поэтому подробно останавливаться на этом вопросе не целесообразно. Укажем лишь, что наиболее резко закономерные суточные изменения в содержании свободной CO_2 проявляются в летний период, особенно в прибрежной зоне в штилевую погоду (табл. 59).

Несмотря на относительно низкое содержание свободной CO_2, воды Байкала почти постоянно обладают агрессивным действием на бетон. Объясняется это, с одной стороны, низким содержанием гидрокарбонатов, в силу чего постоянно нарушается равновесие даже при относительно малых изменениях содержания свободной CO_2 в водах озера, с другой — тем, что низкая общая минерализация воды Байкала ведет к проявлению выщелачивающей агрессивности его вод.

Произведенные вычисления количеств агрессивной CO_2 в байкальских водах (по таблицам Лемана и Ройса) показали, что последняя отсутствует только летом в период максимального развития летних форм фитопланктона (конец июля — август), да и то только в поверхностных слоях воды. В остальное время года количества агрессивной CO_2 лежат в пределах 0,3—1,5 мг/л на поверхности, поднимаясь на глубине 250 м до 0,6—2,9 мг/л (табл. 60). Максимальные количества агрессивной CO_2 отмечаются весной в июне и осенью в ноябре, т. е. в периоды гомотермии, что указывает на поступление относительно больших количеств ее в верхние слои воды озера из глубжележащих горизонтов при ветровом и термическом перемешивании водных масс.

3. АКТИВНАЯ РЕАКЦИЯ

Определение активной реакции воды Байкала велось колориметрическим методом Кларка с индикаторами метиловым красным и тимоловым синим. pH буферных растворов, употребляемых для изготовления постоянной шкалы, проверялась электрометрически.

Активная реакция воды Байкала лежит в нейтрально-щелочной области с колебаниями в поверхностных слоях от 7,4 до 8,1 единиц pH. В среднем за 1948—1950 гг. pH поверхностной воды озера равнялась 7,71. С глубиной наблюдается постепенное подкисление воды. Уже на глубине 250 м pH равно в среднем 7,4, а на глубине 1000—1200 м падает до 7,1—7,0.

В связи с постоянством ионного состава воды Байкала (на что подробно обращается внимание ниже) и, в частности, постоянством содержания гидрокарбонатов, а также благодаря незначительности содержания органических веществ, растворенных в водах Байкала, изменения активной реакции байкальской воды почти полностью

Таблица 59

Суточный ход свободной CO_2 в водах Байкала в районе пос. Большие Коты в 1948 г. (в мг/л)

Дата	Часы	Глубина, м				
		0	5	10	25	50
29—30.I	18.00	1,28	1,23	1,23	1,32	—
	22.00	1,14	1,06	1,06	1,10	—
	2.00	1,14	1,32	1,28	1,14	—
	6.00	1,54	1,45	1,54	1,58	—
	10.00	1,14	1,06	1,14	1,28	—
	14.00	1,32	1,32	1,41	1,41	—
	18.00	1,58	1,58	1,76	1,58	—
26—27.II	18.00	1,06	1,45	1,06	1,36	—
	22.00	1,32	1,32	1,36	1,50	—
	2.00	1,54	1,58	1,41	1,50	—
	6.00	1,76	1,85	2,02	1,85	—
	10.00	1,28	1,28	1,19	1,19	—
	14.00	1,36	1,36	1,58	1,58	—
	18.00	1,63	1,63	1,54	1,54	—
18—19.III	13.00	1,23	4,40	1,85	1,58	3,87
	18.00	2,24	1,85	1,85	1,85	—
	22.00	2,20	1,94	1,85	1,85	1,94
	2.00	2,11	1,89	1,85	1,98	—
	6.00	2,55	1,67	1,85	2,55	1,85
	10.00	1,72	1,85	1,85	1,85	—
	14.00	1,54	1,58	1,67	1,85	2,29
4—5.IV	18.00	1,98	1,85	1,76	2,11	2,29
	14.30	1,36	1,58	1,63	2,00	2,20
	18.00	1,89	1,72	1,67	1,80	1,76
	6.00	2,38	2,16	2,64	2,24	2,29
	10.00	1,45	1,77	1,76	1,77	1,76
	14.00	1,32	1,36	1,36	1,38	2,44
	18.00	1,54	1,54	1,63	1,63	1,72
9—10.VI	18.00	1,52	1,72	1,80	2,55	2,46
	22.00	1,58	1,72	1,72	1,80	2,46
	3.00	1,80	1,76	1,87	2,24	2,33
	6.00	1,32	1,41	1,71	1,58	2,41
	10.00	1,41	1,32	1,58	1,54	2,46
	14.00	1,32	1,36	1,41	1,32	2,20
	18.00	1,06	1,14	1,10	1,06	1,36
10—11.VII	10.00	1,67	1,89	1,89	2,11	2,02
	14.00	0,92	1,67	1,58	2,11	1,89
	18.00	1,02	1,67	2,06	2,12	1,94
	22.00	1,36	1,67	2,11	2,11	2,02
	2.00	1,94	1,89	2,17	2,21	2,02
	6.00	1,23	1,28	1,76	2,02	1,98
	10.00	1,04	1,21	1,67	1,89	1,89
	14.00	0,88	1,10	1,46	1,76	1,89

Таблица 59 (окончание)

Дата	Часы	Глубина, м				
		0	5	10	25	50
26—27.VII	14.00	0,53	0,66	0,79	1,06	1,01
	18.00	1,18	0,35	0,57	1,06	1,06
	22.00	0,44	0,53	0,66	1,01	1,33
	2.00	0,53	0,53	0,62	0,92	1,06
	6.00	0,53	0,66	0,62	0,92	1,06
	10.00	0,53	0,66	0,66	1,14	1,06
	14.00	0,35	0,53	0,79	1,14	1,06
9—20.VIII	10.00	0,35	0,66	0,66	0,88	0,88
	14.00	0,18	0,34	0,56	0,78	0,88
	18.00	0,22	0,68	0,72	0,88	0,96
	22.00	0,32	0,68	0,88	0,88	0,96
	6.00	0,42	0,62	0,78	0,92	0,96
	10.00	0,28	0,30	0,64	0,88	0,92
	14.00	0,14	0,28	0,30	0,68	0,72
9—10.IX	18.00	0,62	0,62	0,79	0,88	1,23
	6.00	0,78	0,81	0,88	1,20	1,36
	10.00	0,88	0,94	0,98	1,14	1,26
	18.00	0,42	0,48	0,56	0,78	0,92

Таблица 6

Содержание агрессивной CO_2 в водах Байкала в 1948 г. (в мг/л)

Дата	Содержание CO_2 (агрессивной)		Дата	Содержание CO_2 (агрессивной)	
	Глубина, м			Глубина, м	
	0	250		0	250
10.I	0,6	0,8	20.VII	0,4	0,6
29.I	0,9	1,4	1.VIII	0,1	1,5
26.II	0,6	0,8	19.VIII	0,0	Нет данных
18.III	1,1	2,3	25.VIII	0,0	1,7
4.IV	1,0	1,4	9.IX	0,3	1,2
29.V	1,1	1,0	17.IX	0,3	—
9.VI	1,0	1,9	3.X	0,5	2,0
29.VI	1,5	1,5	5.XI	1,0	—
7.VII	1,3	1,2	30.XI	1,2	2,9

обусловлены изменениями в содержании в водах озера свободной CO_2. Поэтому как вертикальное распределение, так и суточный и сезонный ход активной реакции в водах Байкала целиком зависят от тех изменений, какие происходят в равновесной системе:

$$CO_2 + HOH \rightleftarrows H_2CO_3 \rightleftarrows H^{\cdot} + HCO_3^{\prime} \rightleftarrows 2H^{\cdot} + CO_3^{\prime\prime}$$

Сезонные изменения активной реакции вод открытого Байкала выглядят следующим образом (табл. 61). В зимний подледный период pH воды имеет минимальные значения. В поверхностных слоях воды

Сезонные изменения величин pH в водах Байкала в районе пос. Большие Коты

Дата	Глубина, м						
	0	5	10	25	50	100	250
				1948 год			
10.I	7,60	—	—	7,17	7,17	7,17	7,17
29.I	7,48	7,48	7,48	7,48	7,36	7,36	7,36
26.II	7,48	7,22	7,36	7,22	7,36	7,36	7,36
18.III	7,48	7,09	7,28	7,17	7,22	7,36	7,22
4.IV	7,48	7,48	7,48	7,22	7,36	7,48	7,48
29.V	7,60	7,60	7,60	7,60	7,60	7,60	7,60
9.VI	7,60	7,60	7,48	7,48	7,36	7,36	7,36
29.VI	7,48	7,48	7,60	7,60	7,36	7,36	7,22
7.VII	7,48	7,60	7,60	7,48	7,48	7,48	7,36
20.VII	7,78	6,78	7,69	7,69	7,78	7,60	7,60
1.VIII	8,08	7,88	7,78	7,60	7,48	7,36	7,36
19.VIII	7,94	7,90	7,90	7,69	7,69	7,60	—
25.VIII	8,08	8,08	7,94	7,94	7,69	7,60	7,36
9.IX	7,88	7,88	7,83	7,78	7,60	7,60	7,48
17.IX	7,88	7,88	7,83	7,78	7,60	—	—
3.X	7,78	7,78	7,88	7,78	7,69	7,60	7,36
5.XI	7,60	—	—	7,60	7,60	—	7,36
30.XI	7,60	7,48	7,48	7,36	7,36	—	7,28
				1949 год			
24.I	7,36	7,26	7,26	7,26	7,26	7,26	—
28.II	7,48	7,48	7,36	7,36	7,36	7,36	7,20
21.III	7,69	7,60	7,48	7,48	7,60	7,36	7,30
4.IV	7,60	7,60	7,60	7,60	7,36	7,17	7,20
11.IV	7,78	7,60	7,60	7,48	7,48	7,20	7,17
18.IV	7,60	7,60	7,60	7,48	7,48	—	—
27.IV	7,48	7,48	7,48	7,36	7,36	7,36	7,36
10.V	7,60	7,60	7,48	7,48	7,60	7,36	7,36
23.V	7,48	7,48	7,36	7,36	7,48	7,48	7,36
4.VI	7,60	7,60	7,60	7,60	7,60	7,60	7,60
14.VI	7,60	7,60	7,60	7,60	7,60	7,48	7,48
25.VI	7,69	7,69	7,69	7,69	7,69	7,60	7,60
5.VII	7,78	7,78	7,78	7,69	7,69	7,69	7,48
16.VII	7,88	7,83	7,78	7,78	7,60	7,60	7,60
27.VII	7,94	7,94	7,88	7,83	7,60	7,48	7,48
6.VIII	7,78	7,69	7,69	7,69	7,69	7,60	7,60
17.VIII	7,94	7,88	7,78	7,78	7,60	7,60	7,48
1.IX	7,69	7,69	7,69	7,60	7,60	7,60	7,60
11.IX	7,94	7,88	7,88	7,78	7,78	7,60	7,60
20.IX	7,88	7,88	7,88	7,84	7,69	7,48	7,48
2.X	7,78	7,78	7,78	7,78	7,78	7,60	7,48
13.X	7,78	7,78	7,78	7,78	7,78	7,60	7,48
29.X	7,78	7,69	7,69	7,69	7,69	7,69	—
19.XI	7,60	—	7,60	7,60	7,60	7,48	7,48
9.XII	7,60	—	—	7,60	7,48	—	7,36

Таблица 61 (окончание)

Дата	Глубина, м						
	0	5	10	25	50	100	250
				1950 год			
12.I	7,48	—	—	7,48	7,48	—	7,48
13.II	7,60	—	—	7,60	7,48	—	7,48
9.III	7,60	—	—	7,60	7,48	—	7,48
20.III	7,69	—	—	7,60	7,60	—	7,48
3.IV	7,88	—	—	7,69	7,60	—	7,48
13.IV	7,94	—	—	7,69	7,60	—	7,48
20.IV	7,94	—	—	7,69	7,60	—	7,48
2.V	8,08	—	—	7,94	7,78	—	7,48
17.V	8,00	—	—	7,60	7,60	—	7,60
28.V	8,00	—	—	7,94	7,78	—	7,20
12.VI	7,88	—	—	7,78	7,78	—	7,48
22.VI	7,69	—	—	7,78	7,60	—	7,60
4.VII	7,60	—	—	7,48	7,36	—	7,36
14.VII	7,60	—	—	7,60	7,60	—	7,48
24.VIII	7,78	—	—	7,60	7,60	—	7,48
5.VII	7,94	—	—	7,94	7,60	—	7,48
2.IX	7,78	—	—	7,69	7,60	—	7,60
21.X	7,60	—	—	7,60	7,60	—	7,48
11.XI	7,60	—	—	7,60	7,60	—	7,48
9.XII	7,60	—	—	7,60	7,60	—	7,48

pH в это время лежит в пределах 7,48—7,60, на глубине 250 м опускается до 7,36—7,17.

С началом весенней вегетации фитопланктона активная реакция поверхностного слоя воды сдвигается немного в щелочную область. Особенно значительное повышение pH весной наблюдается в годы массового развития мелозиры. Так, в апреле 1950 г. pH поверхностной воды Байкала доходила до 8,0—8,08, тогда как в 1948 г., характеризующемся крайней бедностью весеннего фитопланктона, pH воды к концу мая поднялась только до 7,60.

После вскрытия Байкала от льда происходит заметное подкисление поверхностных слоев воды, длящееся до половины июля. Лишь с началом развития летних форм водорослей pH вновь возрастает, достигая в августе второго, летнего максимума. Иногда в этот период наблюдается сдвиг активной реакции поверхностного слоя воды в щелочную область до 8,0—8,4 единиц pH. В последующие осенние месяцы pH постепенно опускается до зимних величин.

Резкие сезонные изменения величин pH ограничиваются в Байкале лишь самыми верхними слоями воды, не проникая, как правило, глубже 25 м. На глубинах 100—250 м амплитуда сезонных изменений активной реакции заметно уменьшается. В литоральной зоне озера сезонные изменения активной реакции выражены более резко, особенно в летний период. Общий характер их здесь остается аналогичным характеру их изменений в водах открытого Байкала.

Суточные изменения активной реакции в поверхностном слое воды открытого Байкала довольно велики (табл. 62). Особенно значительны они в водах литорали в летний период (табл. 63). Их амплитуда достигает здесь подчас 1,0 единиц pH.

Таблица 62

Суточный ход величин pH в водах Байкала в районе пос. Большие Коты в 1948 г.

Дата	Часы	Глубина, м				
		0	5	10	25	50
29—30.I	18.00	7,47	7,60	7,60	7,60	—
	22.00	7,47	7,47	7,47	7,47	—
	2.00	7,47	7,47	7,47	7,47	—
	6.00	7,36	7,36	7,36	7,36	—
	10.00	7,47	7,47	7,47	7,47	—
	14.00	7,47	7,47	7,47	4,47	—
	18.00	7,36	7,36	7,36	7,36	—
26—27.II	18.00	7,48	7,22	7,36	7,36	—
	22.00	7,48	7,48	7,36	7,36	—
	2.00	7,36	7,36	7,36	7,36	—
	6.00	7,36	7,36	7,22	7,48	—
	10.00	7,48	7,48	7,48	7,36	—
	14.00	7,48	7,48	7,36	7,48	—
	18.00	7,36	7,36	7,36	7,48	—
18—19.III	13.00	7,60	7,09	7,48	7,36	7,22
	18.00	7,48	7,60	7,48	7,48	—
	22.00	7,60	7,60	7,48	7,36	7,36
	2.00	7,60	7,60	7,48	7,36	—
	6.00	7,48	7,48	7,48	7,36	7,48
	10.00	7,60	7,48	7,48	7,36	—
	14.00	7,60	7,60	7,60	7,48	7,48
	18.00	7,48	7,36	7,48	7,48	7,48
4—5.IV	14.30	7,48	7,48	7,48	7,22	7,36
	18.00	7,48	7,48	7,48	7,36	7,48
	22.00	7,36	7,36	7,48	7,22	7,48
	6.00	7,36	7,36	7,36	7,22	7,22
	10.00	7,48	7,48	7,48	7,48	7,48
	14.00	7,48	7,48	7,48	7,48	7,48
	18.00	7,48	7,48	7,48	7,48	7,48
9—10.VI	18.00	7,48	7,48	7,48	7,36	7,36
	22.00	7,48	7,48	7,48	7,48	7,36
	3.00	7,48	7,48	7,48	7,36	7,36
	6.00	7,60	7,60	7,48	7,48	7,36
	10.00	7,60	7,60	7,48	7,48	7,36
	14.00	7,60	7,60	7,60	7,48	7,36
	18.00	7,69	7,69	7,60	7,60	7,48
10—11.VII	10.00	7,60	7,60	7,60	7,60	7,60
	14.00	7,88	7,60	7,60	7,60	7,60
	18.00	7,69	7,48	7,60	7,48	7,60
	22.00	7,60	7,48	7,48	7,48	7,60
	2.00	7,60	7,36	7,36	7,48	7,60
	6.00	7,60	7,60	7,60	7,60	7,60
	10.00	7,60	7,60	7,60	7,60	7,60
	14.00	7,78	7,69	7,60	7,60	7,60

Таблица 62 (окончание)

Даты	Часы	Глубина, м				
		0	5	10	25	50
26—27.VII	14.00	7,94	7,88	7,88	7,69	7,69
	18.00	8,08	7,94	7,78	7,69	7,69
	22.00	8,08	7,88	7,78	7,60	7,69
	2.00	7,94	7,88	7,78	7,60	7,60
	6.00	7,88	7,88	7,82	7,60	7,60
	10.00	8,08	7,78	7,78	7,60	7,60
	14.00	8,08	7,88	7,69	7,60	7,60
9—20.VIII	10.00	7,94	7,90	7,90	7,69	7,69
	14.00	8,08	7,94	7,90	7,69	7,69
	18.00	7,94	7,78	7,78	7,69	7,69
	22.00	7,88	7,78	7,69	7,69	7,60
	6.00	7,78	7,78	7,69	7,60	7,60
	10.00	7,88	7,88	7,78	7,69	7,60
	14.00	8,08	7,90	7,90	7,69	7,69
9—10.IX	18.00	7,88	7,88	7,83	7,78	7,60
	6.00	7,69	7,69	7,69	7,60	7,60
	10.00	7,78	7,78	7,73	7,69	7,60
	18.00	7,94	7,94	7,88	7,78	7,69

4. ФОСФАТНЫЙ ФОСФОР

Распределение и динамика фосфатного фосфора, так же как и некоторых других биогенных элементов, в водах Байкала не подвергались еще детальному изучению.

Наши исследования в районе Биостанции охватывают период с 1948 по 1950 и с 1952—1955 гг. Определение фосфатного фосфора велось по методу Дениже из 10 мл воды. Результаты выражены в миллиграммах фосфора на 1 $м^3$ воды.

Содержание фосфатного фосфора в водах Байкала в течение года значительно меняется (табл. 64, рис. 13). Закономерные сезонные изменения этого компонента удается проследить до глубины около 100 м. Как будет показано ниже, эти изменения обусловлены, с одной стороны, сезонными явлениями в жизни байкальского фитопланктона, с другой — динамикой водных масс озера.

В составе байкальского фитопланктона, как указывалось, исключительное положение занимает диатомея — мелозира. Численность этой водоросли в некоторые годы весной достигает десятков миллиардов клеток под 1 $м^2$ поверхности озера в слое 0—50 м с общим весом до 3,0—3,5 $г/м^3$. Напротив, в другие годы мелозира встречается в Байкале в очень ограниченном количестве (Вотинцев, 1952а; Антипова и Кожов, 1953). Столь резкие колебания численности этой водоросли в разные годы оказывают заметное влияние и на динамику биогенных элементов в водах озера, особенно весной, в том числе и на динамику фосфатного фосфора.

Обычно к январю содержание фосфатного фосфора в водах Байкала достигает своего зимнего максимума — 30—40 $мг/м^3$. В январе —

Суточный ход величин pH в водах литорали Байкала в районе пос. Большие Коты в 1948 г.

Часы	Дата							
	29—30.I		26—27.II		18—19.III		4—5.IV	
	Глубина, м							
	0	2,5	0	2,5	0	2,5	0	2,5
18.00	—	—	7,36	7,36	7,60	7,60	7,48	7,48
22.00	7,60	—	7,48	7,48	7,48	7,48	7,48	7,48
2.00	7,47	—	7,36	7,36	7,48	7,48	7,22	7,22
6.00	7,36	—	7,48	7,48	7,48	7,48	7,22	7,22
10.00	7,47	—	7,48	7,60	7,36	7,36	7,22	7,36
14.00	7,47	—	7,36	7,48	7,48	7,48	7,36	7,36
18.00	7,36	—	7,36	7,48	7,48	7,48	7,36	7,36
10.00	—	—	7,60	7,60	—	—	7,94	7,94
14.00	—	—	8,08	7,88	8,40	8,20	7,94	7,94
18.00	7,60	7,60	8,40	7,88	8,40	8,30	7,78	7,88
22.00	7,48	7,60	8,20	7,94	8,20	8,20	7,78	7,78
2,00	7,48	7,36	7,69	7,48	7,94	7,94	7,78	7,69
6.00	7,60	7,69	7,60	7,60	7,94	7,83	7,78	7,78
10.00	7,60	7,69	7,78	7,78	8,08	8,00	7,94	7,88
14.00	7,88	7,92	8,20	7,94	8,20	8,08	—	—
18.00	7,92	7,92	—	—	—	—	—	—
	14—15.IX		4—5.X		4—5.XI		20—21.XII	
10.00	7,78	7,78	—	—	—	—	—	—
14.00	7,88	7,83	7,78	7,78	7,60	7,60	7,60	7,60
18.00	8,00	8,00	7,88	7,93	7,60	7,60	7,60	7,60
22.00	7,88	7,83	7,88	7,88	—	—	7,60	7,60
2.00	—	—	—	—	7,60	7,60	—	—
6.00	7,78	7,69	7,69	7,69	7,48	7,48	—	7,48
10.00	7,78	7,69	7,78	7,69	7,60	7,60	7,36	7,36
14.00	—	—	7,88	7,83	7,60	7,60	7,60	7,60
18.00	—	—	7,93	7,93	—	—	—	—

феврале, т. е. в первую половину подледного периода, его содержание не претерпевает существенных изменений. С началом весенней вегетации фитопланктона содержание фосфатного фосфора в трофогенном слое начинает понижаться, достигая ко второй половине апреля (реже к маю) первого весеннего минимума. При этом в бедные мелозирой годы содержание фосфатного фосфора остается достаточно высоким — 13—18 мг/м^3. В годы с массовым развитием мелозиры весенний минимум фосфатного фосфора проявляется более резко: его содержание в трофогенном слое падает до 3—8 мг/м^3.

Вслед за вскрытием озера от льда, благодаря усиленному ветровому и термическому перемешиванию водных масс озера, создаются благоприятные условия для обогащения верхних слоев воды озера фосфатным фосфором из нижележащих слоев. Кроме того, фосфатный фосфор поступает в воду в результате его регенерации при разложении отмершего фитопланктона. Все это ведет к довольно быстро-

Таблица 64

Содержание фосфатного фосфора в водах Байкала (в мг/л)

Дата	Глубина, м								
	0	25	50	100	250	500	750	1000	1200
				1948 год					
10.I	41	41	37	43	47	—	—	—	—
26.II	34	31	39	39	37	—	—	—	—
18.III	55	72	72	72	71	—	—	—	—
4.IV	22	23	21	22	31	—	—	—	—
29.V	28	33	39	—	44	—	—	—	—
29.VI	52	36	33	38	60	—	—	—	—
20.VII	57	54	54	71	71	—	—	—	—
25.VIII	7	7	10	10	14	—	—	—	—
9.IX	13	18	20	16	16	—	—	—	—
3.X	15	21	21	26	28	—	—	—	—
5.XI	18	—	24	—	—	—	—	—	—
30.XI	23	23	23	—	29	—	—	—	—
				1949 год					
24.I	29	29	29	29	—	—	—	—	—
28.II	16	26	28	29	36	—	—	—	—
21.III	16	25	25	28	34	—	—	—	—
27.IV	13	20	20	25	44	—	—	—	—
23.V	16	20	20	20	28	—	—	—	—
25.VI	18	18	18	18	23	—	—	—	—
16.VII	13	15	15	16	16	—	—	—	—
17.VIII	10	16	18	25	29	—	—	—	—
20.IX	8	10	13	33	36	—	—	—	—
13.X	3	5	5	10	29	—	—	—	—
19.XI	39	23	28	36	42	—	—	—	—
9.XII	23	34	34	—	41	—	—	—	—
				1950 год					
12.I	33	36	39	—	42	—	—	—	—
13.II	39	39	42	—	42	—	—	—	—
20.III	23	23	29	—	34	—	—	—	—
20.IV	8	13	20	—	24	—	—	—	—
17.V	10	28	23	—	24	—	—	—	—
22.VI	22	28	28	—	23	—	—	—	—
14.VII	23	24	24	—	24	—	—	—	—
5.VIII	10	10	24	—	28	—	—	—	—
2.IX	24	24	24	—	29	—	—	—	—
21.X	20	23	24	—	39	—	—	—	—
11.XI	28	28	29	—	31	—	—	—	—
9.XII	39	39	39	—	49	—	—	—	—
				1952 год					
4.II	36	36	36	38	38	41	—	—	—
27.II	40	38	38	40	41	42	—	—	—
19.III	41	41	42	42	44	44	48	50	54
2.IV	29	29	34	36	44	—	—	49	66
22.IV	18	18	21	29	36	—	—	—	—
15.V	30	33	39	46	53	57	—	—	—

Таблица 64 (продолжение)

Дата	Глубина, м								
	0	25	50	100	250	500	750	1000	1200
18.VI	20	21	21	23	30	36	—	62	64
6.VIII	15	12	15	18	18	29	—	—	—
29.VIII	9	9	18	18	23	35	35	39	41
9.IX	9	9	15	18	23	35	37	39	40
12.X	9	9	15	15	21	30	34	37	37
20.XI	9	9	9	15	18	—	—	—	—
1953 год									
20.I	13	13	13	24	26	—	—	—	—
12.II	13	16	16	23	23	—	—	—	—
16.III	13	13	16	19	19	28	28	32	37
24.IV	6	6	16	19	26	26	—	—	—
21.V	3	3	8	16	21	26	—	—	37
20.VI	16	18	23	23	20	32	—	—	—
14.VII	26	26	26	26	29	29	—	—	—
13.VIII	13	13	32	32	34	37	39	42	42
14.IX	10	23	32	32	31	32	39	39	39
10.X	19	19	24	26	29	29	34	36	42
12.XI	34	48	48	32	32	29	29	42	42
7.XII	36	36	36	39	39	39	41	43	45
1954 год									
18.II	39	39	39	40	42	45	—	—	—
16.III	16	19	19	22	26	45	—	—	—
12.IV	8	18	18	22	26	33	—	—	—
21.IV	28	10	14	22	26	30	—	—	—
15.V	8	10	10	11	19	26	—	—	—
14.VI	8	8	8	8	11	19	—	—	—
19.VII	8	10	12	19	24	26	—	—	—
28.VII	11	11	14	19	28	37	—	—	—
15.VIII	8	14	18	19	19	26	—	—	—
15.IX	8	8	10	12	16	18	—	—	—
2.X	8	8	14	21	26	—	—	—	—
16.X	8	10	14	16	24	26	—	—	—
5.XI	8	8	8	14	22	23	—	—	—
30.XI	17	17	17	17	19	22	—	—	—
1955 год									
12.I	18	33	36	38	73	—	—	—	—
19.II	8	13	13	15	24	28	—	—	—
3.III	8	15	16	18	23	25	—	—	—
30.III	8	15	15	17	23	23	—	—	—
12.IV	10	12	12	15	21	20	—	—	—
22.IV	13	10	10	12	13	13	—	—	—
3.V	15	15	16	—	—	—	—	—	—
23.V	15	16	16	17	17	20	—	—	—
6.VI	10	13	13	15	16	20	—	—	—
20.VI	20	20	23	23	24	28	—	—	—
1.VII	22	22	22	23	23	25	—	—	—
10.VII	29	31	29	33	33	38	—	—	—

Таблица 64 (окончание)

Дата	Глубина, м								
	0	25	50	100	250	500	750	1000	1200
20.VII	16	16	16	27	29	30	—	—	—
3.VIII	13	19	19	24	26	26	—	—	—
15.VIII	10	12	12	12	15	19	—	—	—
24.VIII	7	16	16	18	18	18	—	—	—
13.IX	10	18	16	16	18	18	—	—	—
25.X	10	18	18	20	23	28	—	—	—

му росту содержания фосфатного фосфора в трофогенном и прилегающих к нему слоях воды озера. К июлю, а в некоторые годы даже к концу июня, содержание фосфатного фосфора достигает второго, летнего максимума. Максимум этот чаще проходит на несколько более низком уровне, нежели зимний: содержание фосфатного фосфора не поднимается выше 20—30 мг/м³.

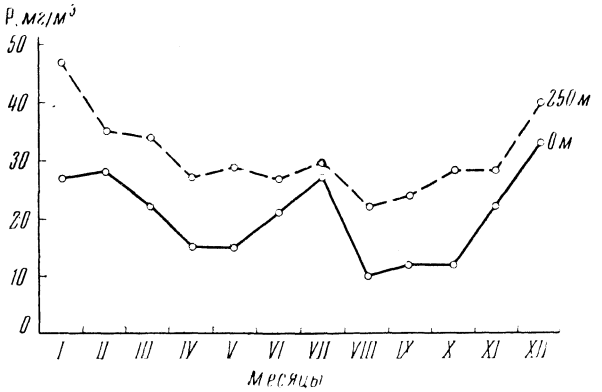


Рис. 13. Сезонные изменения содержания фосфатного фосфора в водах Байкала (пос. Большие Коты, 1948—1955 гг.).

По мере летнего прогрева воды и развития летних форм фитопланктона, потребляющих биогенные элементы из верхних слоев воды, содержание фосфатного фосфора здесь вновь начинает падать. Поэтому летний максимум содержания фосфатного фосфора в трофогенном слое озера, как правило, бывает кратковременным. Уже к августу, а подчас даже к концу июля происходит быстрое падение содержания фосфатного фосфора до второго, летнего минимума в 9—20 мг/м³. Летний минимум обычно также бывает непродолжительным. С началом падения температуры верхних слоев воды Байкала в сентябре и отмиранием летнего фитопланктона содержание фосфатного фосфора начинает постепенно возрастать. Рост этот продолжается в течение всех последующих осенних месяцев. Однако в некоторые годы по не вполне еще ясным причинам период летнего минимума бывает сильно растянутым во времени. Так, в 1954 г. низкое содержание фосфатного фосфора в верхних слоях воды Байкала наблюдалось с начала июля по ноябрь, причем пониженное по сравнению с обычным содержание этого компонента охватывало и глубжележащие слои воды до глубины 100—250 м.

В летний период 1949 г. в августе — сентябре наблюдались резкие скачки в содержании фосфатного фосфора и других биогенных элементов в водах Байкала, отсутствующие в другие годы (см. табл. 64). Незакономерные изменения содержания биогенных элементов в указанный период объясняются, по нашему мнению, временными течениями, возникающими в озере под действием ветров. При сравнении наблюдаемых изменений содержания фосфатного фосфора и других биогенных элементов с изменениями величин окисляемости воды в те же месяцы можно легко увидеть, что аномальному росту содержания биогенных элементов соответствует резкий рост окисляемости воды. С другой стороны, оказывается, что в течение всего августа и большей части сентября 1949 г. преобладали ветры северо-восточного направления (верховики), а в периоды, предшествующие разрезам 6 августа и 1 сентября, верховики были особенно сильными. Отсюда становится совершенно очевидным, что под действием верховиков возникло течение, принесшее в район наших исследований селенгинскую воду, богатую биогенными элементами и органическим веществом (что и обусловило высокие величины окисляемости воды).

Сезонные изменения содержания фосфатного фосфора в воде литорали носят более сложный и незакономерный характер. Очевидно, на динамику фосфатного фосфора здесь сказывается, с одной стороны, влияние донных макрофитов, пышно развивающихся в литорали летом, с другой — постоянный водообмен между литоралью и открытым Байкалом, особенно интенсивный в летний и осенний периоды.

Как уже было указано, закономерные сезонные изменения в содержании фосфатного фосфора прослеживаются в Байкале до глубины около 100 м. В этой же области глубин наиболее отчетливо проявляются и сезонные изменения вертикального распределения фосфатного фосфора. Глубже 100 м в Байкале наблюдается постоянное в течение всего года увеличение содержания фосфатного фосфора с глубиной. Исследования глубинных вод Байкала, проведенные в 1952—1953 гг., показывают, что в среднем на глубине 1200 м содержание фосфатного фосфора возрастает по сравнению с его содержанием в поверхностных слоях воды в 2—4 раза. Наиболее быстрый рост содержания фосфатного фосфора с глубиной происходит в верхних слоях воды. Так, в слое 0—50 м содержание фосфатного фосфора возрастает в среднем на 9 мг/м^3, на глубинах же 50—1200 м градиент роста не превышает 1—2 мг/м^3 на каждые 100 м глубины.

Количественное развитие фитопланктона оказывает большое влияние не только на содержание соединений биогенных элементов в трофогенном и непосредственно прилегающих к нему слоях воды озера, но и на их вертикальное распределение.

В период зимнего максимума фосфатного фосфора наблюдается рост его содержания с глубиной. Весеннее понижение содержания этого компонента в трофогенном слое влечет к тому, что к моменту вскрытия озера от льда (конец апреля — первая половина мая), вертикальная стратификация фосфатного фосфора в верхней 100-метровой зоне глубин Байкала становится значительно более резкой. Так, если содержание фосфатного фосфора на глубинах 0—100 м в январе — феврале возрастает всего на 3—6 мг/м^3, то в конце апреля — мае этот рост достигает уже 10—18 мг/м^3.

Повышение содержания фосфатного фосфора, происходящее вслед за вскрытием Байкала от льда, ведет к сглаживанию разницы в его вертикальном распределении. К моменту весенней гомотермии содержание фосфатного фосфора выравнивается до глубины 100 м и даже несколько более.

Летний минимум содержания фосфатного фосфора в верхних слоях воды Байкала вновь приводит к усилению его вертикальной стратификации, так как ветровое и термическое перемешивание водных масс в этот период оказывается недостаточным для выравнивания содержания фосфатного фосфора по вертикали. В результате к августу вертикальная стратификация этого ингредиента в верхней 100-метровой зоне глубин приближается по своей амплитуде к весенней. Такое вертикальное распределение фосфатного фосфора наблюдается, как правило, весь август и сентябрь. В последующие месяцы под влиянием усиливающегося перемешивания вод содержание фосфатного фосфора в пределах верхней 100-метровой зоны глубин постепенно выравнивается (рис. 14).

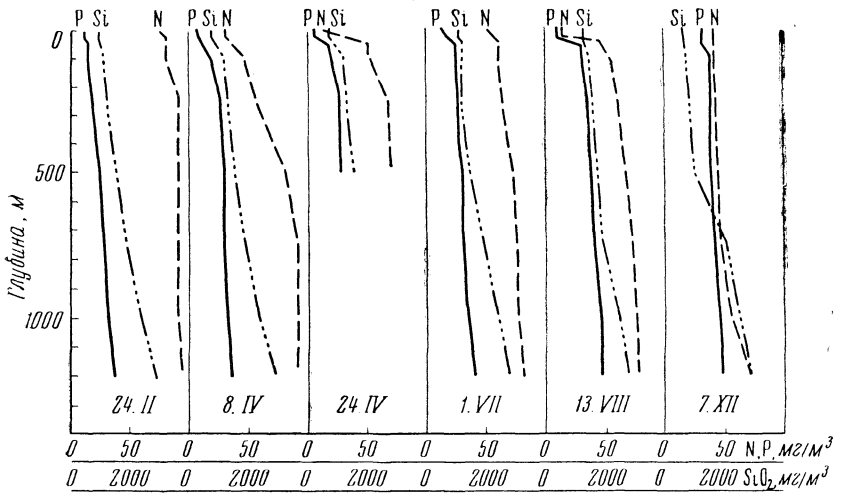


Рис. 14. Вертикальное распределение фосфатного фосфора, нитратного азота и кремния в водах Байкала (пос. Большие Коты, 1953 г.).

В годы с высокой численностью мелозиры, как, например, 1950 и 1953 гг., весенняя вертикальная стратификация фосфатного фосфора в верхних слоях воды бывает выражена особенно отчетливо. Потребляя соединения биогенных элементов, мелозира резко снижает их содержание в трофогенном слое озера. В период, последующий за массовым отмиранием этой водоросли, т. е. обычно в конце мая — июне, иногда в начале июля, в верхнем 100-метровом слое наблюдается промежуточный максимум содержания фосфатного фосфора на глубинах 25—50 м (см. табл. 64, разрезы от 17 мая и 22 июня 1950 г.). Максимум этот возникает в результате регенерации соединений фосфора из отмирающих клеток мелозиры при опускании их ко дну озера.

Помимо сезонных изменений, содержание фосфатного фосфора в водах Байкала испытывает довольно сильные колебания в отдельные годы (табл. 65). За период наших семилетних исследований максимальные величины содержания фосфатного фосфора в водах верхней 250-метровой зоны озера в среднем в 2 раза превышали его минимальное содержание. Наиболее высокое содержание фосфатного фосфора отмечено в 1948 г.— 33 мг/м³ в среднем для слоя 0—250 м. Наименьшее содержание фосфатного фосфора в том же слое было в 1954 г.— 17 мг/м³.

Наиболее резко годовые колебания в содержании фосфатного фосфора проявляются в верхних слоях воды Байкала. С глубиной ампли-

Таблица 65

Среднегодовые величины вертикального распределения фосфатного фосфора в водах Байкала (в мг/м³)

Год	Глубина, м							
	0	5	10	25	50	100	250	0—250
1948	31	31	30	32	33	37	42	33
1949	16	17	18	19	20	25	31	20
1950	20	—	—	24	27	—	32	26
1952	20	—	—	21	25	28	32	25
1953	15	—	—	19	23	25	27	22
1954	12	—	—	13	15	19	24	17
1955	19	—	—	19	25	28	29	25
Среднее за все годы	19	—	—	21	24	27	31	24

туда их несколько уменьшается, но все же остается еще достаточно высокой даже на глубинах 100—250 м.

Изучения суточного хода биогенных элементов, в том числе и фосфатного фосфора, на Байкале еще не производилось. С целью предварительного знакомства с указанными явлениями летом 1948 г. было проведено две серии наблюдений над суточным ходом фосфатного фосфора, нитратного азота и кремния в водах Байкала. Наблюдения проводились в открытом озере на глубинах 0, 5, 10 и 25 м. Первая серия наблюдений была проведена 10—11 июля, т. е. в период, когда содержание фосфатного фосфора было близко к годовому максимуму. Обнаружить правильный суточный ход фосфатного фосфора в этот период не удалось. Вторая серия наблюдений проведена 19—20 августа. Фосфор в этот период находился в водах Байкала в минимуме. Правильный суточный ход его вновь обнаружен не был. Так как 1948 год характеризовался бедностью количественного развития фитопланктона в Байкале, было решено повторить наблюдения над суточным ходом биогенных элементов весной 1950 г., в период массового развития мелозиры. Серия наблюдений была проведена 22—23 апреля 1950 г. Закономерных изменений содержания фосфатного фосфора в водах озера вновь обнаружено не было.

Проведенных нами наблюдений, конечно, еще не достаточно для окончательного решения вопроса о наличии или отсутствии в водах Байкала суточного хода фосфатного фосфора и других биогенных элементов. Учитывая, однако, что суточный ход фосфатного фосфора отсутствовал как в период максимального его содержания в водах Байкала, так и в период минимума, равно как и в период интенсивной вегетации мелозиры, а также относительно медленную регенерацию фосфатного фосфора при разложении отмирающего планктона в силу низких температур воды Байкала (см. гл. XII), можно полагать, что процесс этот в водах Байкала вообще отсутствует.

5. АЗОТ АММИАЧНЫЙ, НИТРИТНЫЙ И НИТРАТНЫЙ

При исследованиях Байкала мы вели определение аммиачного, нитритного и нитратного азота. Аммиачный азот определялся методом Ваттенберга, нитритный — методом Грисса, нитратный — методом Гранвальда и Ляжу. Результаты анализов выражены в миллиграммах азота на кубический метр воды.

Из неорганических соединений азота в водах Байкала до глубины по крайней мере 500 м, а вероятно до значительно больших глубин, в аналитически определимых количествах присутствует только азот нитратов. Судя по тому, что аммиачный азот в значительных количествах присутствует в грунтовых растворах (иловых водах) Байкала и лишь в небольших количествах найден нами в придонных слоях воды на глубинах 270—430 м, отсутствие его, а также азота нитритов в вышележащих слоях воды можно объяснить большой скоростью протекания процессов нитрификации соединений азота до нитратов, чему во многом способствует богатство вод Байкала кислородом. Кроме того, судя по данным Н. В. Нечаевой и А. Г. Салимовской — Родиной (1935) и С. Н. Кузнецова (1957), скорость процессов аммонификации в Байкале довольно низка. Отсюда, учитывая, что большую часть года количества окисляющихся в водах озера органических веществ мало (см. раздел, посвященный биохимическому потреблению кислорода в водах Байкала), концентрации образующихся здесь соединений аммиачного и нитритного азота настолько малы, что не поддаются определению существующими методами. Эти ингредиенты накапливаются в водах Байкала в связи с большой скоростью процессов нитрификации.

Ожидать появления нитритного и аммиачного азота в водах Байкала можно только в периоды массового отмирания фитопланктона, так как в такие моменты происходит заметный рост количества разлагающегося в верхних слоях воды озера органического вещества. Действительно, весной 1950 г., когда в Байкале наблюдалось исключительное обилие диатомей (мелозиры), в моменты массового отмирания последних, 17 мая и 4 июля нам удалось констатировать в поверхностных слоях воды озера следы аммонийного азота и до 0,002 мг азота нитритов (разрез 4 июля 1950 г.). Весной 1953 г., однако, аммоний и нитритный азот обнаружены не были, несмотря на обилие мелозиры и в этом году. Возможно, впрочем, что время отбора проб в 1953 г. не совпало с периодом массового отмирания водорослей.

Содержание нитратного азота в водах Байкала подвержено большим сезонным изменениям (рис. 15). Общий характер этих изменений настолько сходен с сезонной динамикой фосфатного фосфора, что подробно останавливаться на его описании излишне. Отметим лишь наиболее существенные черты сезонных изменений этого компонента.

В период зимнего максимума, совпадающего во времени с максимумом содержания фосфатного фосфора, содержание нитратного азота в поверхностных слоях воды озера достигает 45—50 мг/м^3, а в некоторые годы даже 70—80 мг/м^3. Весеннее развитие фитопланктона ведет к резкому обеднению поверхностных слоев воды оз. Байкал нитратным азотом, особенно в богатые мелозирой годы, когда в период расцвета этой водоросли его содержание падает до аналитического нуля. Летом, обычно к июлю, содержание нитратного азота вновь возрастает, достигая летнего максимума. Правда, летний максимум содержания нитратного азота, как правило, бывает несколько ниже зимнего. В конце июля — августе происходит новое падение содержания нитратного азота до 7—20 мг/м^3, сменяющееся вскоре постепенным ростом его содержания в последующие осенне-зимние месяцы.

Закономерные сезонные изменения содержания нитратного азота в Байкале прослеживаются, как и у фосфатного фосфора, до глубины около 100 м.

В вертикальном направлении содержание нитратного азота возрастает с глубиной. Наиболее значительный рост содержания этого компонента наблюдается в верхней 100-метровой зоне глубин — в среднем на 19 мг/м^3. На глубинах 100—1200 м градиент роста его содержа-

ния на каждые 100 м глубины не превышает в среднем 1,0—2,5 мг/м³ (см. рис. 11). Наиболее резко вертикальная стратификация нитратного азота в верхней 100-метровой зоне проявляется в богатые мелозирой годы. Как и у фосфатного фосфора, в эти годы в период, последующий за массовым отмиранием мелозиры, наблюдается промежуточный максимум нитратного азота на глубинах 25—50 м (табл. 66).

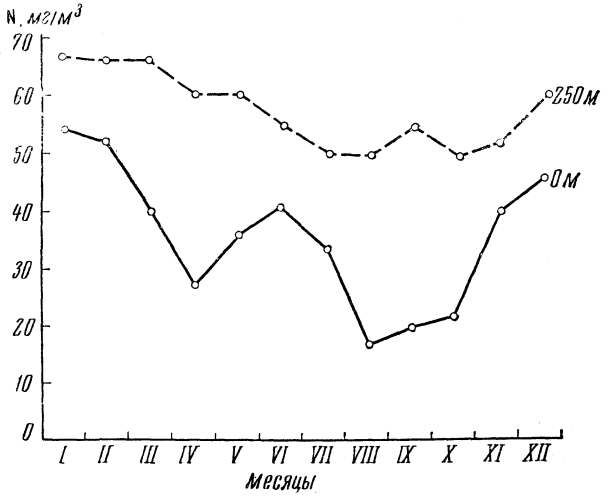


Рис. 15. Сезонные изменения содержания нитратного азота в водах Байкала (пос. Большие Коты, 1948—1955 гг.).

Ясно выражены у нитратного азота и годовые различия в его содержании. Наиболее высокое содержание этого компонента за годы наших исследований отмечено в 1952 г.— в среднем 62 мг/м³ в слое 0—250 м. Наименьшее содержание отмечено в 1954 г.—23 мг/м³ в том же слое (табл. 67).

Суточные изменения в содержании нитратного азота, как показали наши наблюдения, проведенные одновременно с таковыми над фосфатным фосфором (см. выше), видимо отсутствуют.

6. КРЕМНИЙ

Кремний в Байкале относится к числу тех органогенных элементов, динамика которых тесно связана с живым веществом.

Содержание кремния, который определялся колориметрически методом Винклера, в водах Байкала невелико. В поверхностных слоях, до глубины около 50—100 м, он содержится обычно в количествах не свыше 1400 мг/м³, считая на элементарный кремний. В среднем за период наших исследований (1948—1955 гг.) содержание кремния в водах Байкала составляло на поверхности 1003 мг/м³, на глубине 25 м — 1017 мг/м³, на глубине 50 м — 1049 мг/м³, на глубине 100 м — 1141 мг/м³ и на глубине 250 м — 1165 мг/м³, а во всем верхнем 250-метровом слое — 1066 мг/м³.

Вертикальная стратификация кремния в пределах верхних 250 м выражена не всегда ясно. Наиболее отчетливо она выражена была в 1950 и 1953 гг., когда наблюдалось значительное его увеличение с глубиной. В 1949 г., напротив, кремний был распределен в пределах верхних

Таблица 66

Сезонные изменения содержания нитратного азота в водах Байкала в районе пос. Большие Коты (в мг/м³)

Дата	Глубина, м								
	0	25	50	100	250	500	750	1000	1200
1948 год									
10.I	45	45	45	38	54	—	—	—	—
26.II	45	43	45	45	59	—	—	—	—
18.III	50	61	70	57	70	—	—	—	—
4.IV	36	59	59	45	66	—	—	—	—
29.V	41	45	48	54	66	—	—	—	—
29.VI	75	88	68	68	75	—	—	—	—
20.VII	64	55	64	55	55	—	—	—	—
25.VIII	7	20	36	45	59	—	—	—	—
9.IX	14	23	27	50	63	—	—	—	—
3.X	23	36	41	61	70	—	—	—	—
5.XI	50	—	50	—	—	—	—	—	—
30.XI	70	72	72	—	79	—	—	—	—
1949 год									
24.I	48	48	48	54	—	—	—	—	—
28.II	32	45	32	45	68	—	—	—	—
21.III	23	27	34	48	70	—	—	—	—
27.IV	32	43	48	59	72	—	—	—	—
23.V	54	54	54	54	54	—	—	—	—
25.VI	45	45	45	45	54	—	—	—	—
16.VII	16	34	32	38	38	—	—	—	—
17.VIII	14	27	41	45	52	—	—	—	—
20.IX	9	11	18	45	50	—	—	—	—
13.X	7	7	9	11	50	—	—	—	—
19.XI	29	36	52	52	56	—	—	—	—
9.XII	34	38	45	—	57	—	—	—	—
1950 год									
12.I	47	60	66	—	68	—	—	—	—
13.II	57	66	66	—	68	—	—	—	—
20.III	23	36	43	—	59	—	—	—	—
20.IV	0	0	11	—	45	—	—	—	—
17.V	16	95	95	—	50	—	—	—	—
22.VI	37	45	41	—	23	—	—	—	—
14.VII	47	54	54	—	45	—	—	—	—
5.VIII	20	20	61	—	68	—	—	—	—
2.IX	68	57	57	—	72	—	—	—	—
21.X	50	54	54	—	79	—	—	—	—
11.XI	68	68	79	—	86	—	—	—	—
9.XII	66	79	79	—	86	—	—	—	—
1952 год									
4.II	70	70	72	72	78	80	—	—	—
27.II	74	74	76	76	78	80	—	—	—
19.III	77	77	79	79	84	84	86	88	88
2.IV	69	73	73	73	79	—	—	88	88
22.IV	48	50	62	69	78	—	—	—	—
15.V	46	50	60	74	80	87	87	89	91

Таблица 66 (окончание)

Дата	Глубина, м								
	0	25	50	100	250	500	750	1000	1200
				1952 год					
18.VI	59	59	60	62	78	80	—	90	90
6.VIII	39	28	41	41	46	50	—	—	—
2.VIII	48	48	62	80	87	88	91	91	91
9.IX	23	23	64	74	87	87	90	91	91
12.X	23	28	64	87	87	89	91	92	90
20.XI	32	34	34	34	64	—	—	—	—
				1953 год					
20.I	83	83	83	80	90	—	—	—	—
12.II	78	85	85	85	92	—	—	—	—
16.III	69	73	76	76	78	92	92	92	95
24.IV	11	27	50	50	69	69	—	—	—
21.V	28	28	35	69	69	69	—	—	—
20.VI	57	57	59	59	69	71	—	—	—
14.VII	46	55	55	60	69	69	69	75	80
13.VIII	14	14	46	52	62	69	78	80	83
14.IX	14	34	48	50	50	55	62	66	69
16.X	27	27	34	48	50	66	70	73	73
12.XI	39	39	39	39	44	50	55	69	—
7.XII	41	41	41	41	41	44	48	59	69
				1954 год					
18.II	43	43	43	45	52	59	—	—	—
16.III	25	29	34	34	41	59	—	—	—
12.IV	9	23	23	34	41	59	—	—	—
21.IV	18	23	23	34	41	59	—	—	—
15.V	20	23	23	27	32	45	—	—	—
14.VI	27	27	29	34	36	—	—	—	—
19.VII	11	13	20	23	27	32	—	—	—
28.VII	7	9	18	25	27	32	—	—	—
15.VIII	7	13	18	20	23	27	—	—	—
15.IX	7	7	11	23	23	25	—	—	—
2.X	2	5	16	20	23	27	—	—	—
16.X	7	7	7	16	20	25	—	—	—
5.XI	11	11	11	13	16	23	—	—	—
30.XI	21	21	22	22	22	28	—	—	—
				1955 год					
12.I	45	45	52	52	56	—	—	—	—
19.II	38	38	38	41	45	56	—	—	—
3.III	32	38	38	41	56	56	—	—	—
30.III	25	38	38	45	56	56	—	—	—
12.IV	45	38	38	—	—	—	—	—	—
22.IV	23	35	35	49	52	63	—	—	—
3.V	45	32	32	—	—	—	—	—	—
23.V	35	41	41	45	56	63	—	—	—
6.VI	45	45	48	48	48	59	—	—	—
20.VI	45	45	45	49	56	59	—	—	—
1.VII	29	32	33	35	38	41	—	—	—
10.VII	44	45	48	49	52	55	—	—	—
20.VII	20	23	77	56	59	62	—	—	—
3.VIII	18	41	41	43	43	45	—	—	—
15.VIII	20	47	43	45	45	47	—	—	—
24.VIII	16	47	47	52	52	52	—	—	—
13.IX	7	18	43	43	45	45	—	—	—
25.X	14	14	14	29	29	31	—	—	—

Таблица 67

Среднегодовые величины содержания нитратного азота в водах Байкала в районе пос. Большие Коты (в мг/м³)

Год	Глубина, м							
	0	5	10	25	50	100	250	0—250
1948	45	47	48	51	51	52	66	51
1949	28	30	31	32	37	47	56	37
1950	37	—	—	46	52	—	60	49
1952	49	—	—	50	60	71	79	62
1953	38	—	—	43	50	56	68	51
1954	15	—	—	20	23	27	32	23
1955	30	—	—	37	42	42	46	39
Среднее за все годы	35	—	—	40	45	51	60	45

250 м более или менее равномерно в течение всего года. Объяснение указанных различий в вертикальном распределении кремния легко найти в количественном развитии диатомей. Действительно, годы, когда вертикальная стратификация кремния в пределах верхней 250-метровой зоны глубин была выражена слабо, характеризовались крайней бедностью диатомей в Байкале. Напротив, весной 1950 и 1953 гг. наблюдалось, как уже указано выше, массовое развитие мелозиры. Потребляя огромное количество кремния из верхних слоев воды озера, эта водоросль и вызвала ясно выраженную вертикальную стратификацию кремния в верхней 25-метровой зоне глубин (табл. 68, рис. 16).

Следует отметить, что даже в годы со слабым количественным развитием диатомей в Байкале содержание кремния в верхних 250 м все же закономерно повышается с глубиной, если рассматривать среднегодовые величины его содержания на отдельных горизонтах (табл. 69).

На глубинах свыше 250 м содержание кремния уже постоянно возрастает с глубиной, достигая на глубине 1200—1600 м до 2500 мг/м³ (см. табл. 68). Еще более резко, как будет видно ниже, содержание кремния возрастает в придонных слоях воды и иловых водах озера на больших глубинах.

Сезонные изменения в содержании кремния в водах Байкала (см. табл. 68, рис. 16) аналогичны изменениям фосфатного фосфора и нитратного азота, что говорит за единство процессов, управляющих динамикой всех этих ингредиентов.

Максимальные количества кремния в водах трофогенного и прилегающих к нему слоях воды озера наблюдаются в зимний период (декабрь — январь). В феврале — марте, т. е. с началом вегетации весенних форм диатомовых, содержание кремния начинает уменьшаться и в апреле — мае достигает своего минимума. В течение последующих летних и осенних месяцев содержание кремния вновь возрастает. Рост этот даже в годы с массовым развитием весенних форм диатомовых, когда потребление кремния этими водорослями достигает огромных величин, происходит в трофогенном слое после отмирания водорослей довольно быстро (рис. 17). В годы с массовым развитием диатомеи — мелозиры среднегодовые величины содержания кремния в верхних слоях воды оказываются все же значительно ниже, нежели в предыдущий год и последующий за «мелозирным» годы. Это говорит о том, что большая часть поглощенного диатомовыми водорослями кремния увлекается после их отмирания в виде панцырей этих водорослей в донные отложения озера. Наши исследования процесса разложения отмершей мелозиры

Таблица 68

Сезонные изменения содержания кремния в водах Байкала в районе пос. Большие Коты (в мг/м³)

Дата	Глубина, м								
	0	25	50	100	250	500	750	1000	1200
1948 год									
10.I.	1793	1793	1793	1681	1681	—	—	—	—
29.I	1158	1158	1251	1251	1345	—	—	—	—
26.I	1009	1009	1009	1009	1233	—	—	—	—
18.III	1251	1251	1251	1326	1326	—	—	—	—
4.IV	803	803	803	953	971	—	—	—	—
29.V	1308	1308	1214	1308	1308	—	—	—	—
9.VI	1438	1270	1643	1643	1737	—	—	—	—
29.VI	2242	2242	2242	2242	2335	—	—	—	—
7.VII	1793	1793	1793	1793	1793	—	—	—	—
20.VII	710	710	710	710	710	—	—	—	—
1.VIII	747	672	672	672	598	—	—	—	—
19.VIII	411	411	411	523	—	—	—	—	—
25.VIII	374	374	374	523	523	—	—	—	—
9.IX	448	560	560	560	635	—	—	—	—
17.IX	336	374	448	—	—	—	—	—	—
3.X	542	551	551	551	551	—	—	—	—
5.XI	523	—	523	—	—	—	—	—	—
30.XI	560	560	560	—	635	—	—	—	—
1949 год									
24.I	598	672	672	672	—	—	—	—	—
28.II	598	672	672	672	672	—	—	—	—
21.III	644	644	644	682	682	—	—	—	—
4.IV	756	747	756	831	822	—	—	—	—
11.IV	616	560	635	710	859	—	—	—	—
18.IV	747	747	747	—	—	—	—	—	—
27.IV	803	803	803	878	1139	—	—	—	—
10.V	1158	1158	1158	1158	1158	—	—	—	—
23.V	1345	1345	1345	1345	1345	—	—	—	—
4.VI	1345	1345	1345	1345	1345	—	—	—	—
14.VI	1345	1345	1345	1345	1345	—	—	—	—
25.VI	1177	1177	1177	1177	1177	—	—	—	—
5.VII	1046	1046	1046	1046	1046	—	—	—	—
16.VII	897	897	897	897	897	—	—	—	—
27.VII	1270	1270	1270	1270	1270	—	—	—	—
6.VIII	1793	1793	2036	2036	2036	—	—	—	—
17.VIII	1177	1177	1177	1177	1177	—	—	—	—
1.IX	1364	1364	1364	1364	1364	—	—	—	—
11.IX	1289	1289	1289	1289	1289	—	—	—	—
20.IX	1046	1046	1046	1046	1046	—	—	—	—
2.X	1158	1158	1158	1158	1158	—	—	—	—
13.X	1083	1083	1083	1083	1083	—	—	—	—
29.X	1083	1083	1083	1083	1083	—	—	—	—
19.XI	897	897	897	897	897	—	—	—	—
9.XII	897	897	897	—	897	—	—	—	—

Таблица 68 (продолжение)

Дата	Глубина, м								
	0	25	50	100	250	500	750	1000	1200
1950 год									
12.I	1260	1260	1260	—	1260	—	—	—	—
13.II	1260	1260	1260	—	1260	—	—	—	—
9.III	950	950	950	—	1120	—	—	—	—
20.III	780	780	840	—	1010	—	—	—	—
3.IV	750	750	950	—	950	—	—	—	—
13.IV	750	750	950	—	950	—	—	—	—
20.IV	650	650	650	—	930	—	—	—	—
2.V	480	480	560	—	930	—	—	—	—
17.V	350	640	650	—	650	—	—	—	—
28.V	340	340	370	—	650	—	—	—	—
12.VI	490	490	490	—	800	—	—	—	—
22.VI	620	620	620	—	810	—	—	—	—
4.VII	850	850	850	—	930	—	—	—	—
14.VII	850	850	850	—	1010	—	—	—	—
24.VII	850	850	850	—	1010	—	—	—	—
5.VIII	1210	1210	850	—	1020	—	—	—	—
2.IX	930	930	930	—	930	—	—	—	—
21.X	930	930	930	—	930	—	—	—	—
11.XI	930	930	930	—	930	—	—	—	—
9.XII	930	930	930	—	930	—	—	—	—
1951 год									
4.II	1261	1261	1261	1261	1261	1370	—	—	—
27.II	1386	1386	1386	1440	1440	1480	—	—	—
19.III	1449	1449	1449	1606	1662	1797	1868	2167	2447
2.IV	1683	1683	1870	1870	1870	—	—	2587	3126
22.IV	1473	1713	1713	1869	1870	—	—	—	—
15.V	1473	1612	1713	1713	1825	1870	—	—	—
31.V	1510	1510	1591	1727	1732	1870	1978	2418	2871
18.VI	1510	1510	1591	1694	1740	1796	—	2418	2914
6.VIII	1473	1473	1473	1473	1473	1680	—	—	—
19.VIII	1473	1473	1473	1612	1649	1680	—	—	—
29.VIII	1141	1141	1200	1293	1293	1411	1916	2500	2896
9.IX	1122	1122	1234	1293	1293	1418	1916	2488	2896
30.IX	1122	1122	1234	1293	1293	—	—	—	—
12.X	1141	1141	1141	1215	1293	1293	1876	2398	2904
20.XI	778	972	972	972	1278	—	—	—	—
1953 год									
20.I	1065	1065	1065	1139	1139	—	—	—	—
12.II	841	841	1065	1139	1139	—	—	—	—
24.II	841	841	915	1046	1139	1139	—	—	—
16.III	747	841	1120	1158	1233	1457	1775	2223	2727
8.IV	710	710	784	1083	1158	1420	—	—	—
14.IV	710	710	784	1083	1158	1420	—	—	—
24.IV	635	635	747	1083	1120	1345	—	—	—
21.V	467	691	691	953	1027	1158	—	—	—
1.VI	897	897	971	971	971	1120	—	—	—
20.VI	897	971	1046	1046	1046	1076	—	—	—
1.VII	971	971	1008	1008	1008	1076	—	—	—
7.VII	—	—	—	—	—	1298	1792	2288	2634

Таблица 68 (окончание)

Дата	Глубина, м								
	0	25	50	100	250	500	750	1000	1200
1953 год									
14.VII	1028	1120	1120	1120	1251	—	—	—	—
21.VII	—	—	—	—	—	1233	1810	2204	2634
24.VII	1046	1120	1218	1218	1368	1536	—	—	—
4.VIII	1138	1345	1120	1401	1532	1718	1755	2213	2616
13.VIII	1120	1120	1120	1270	1345	1550	1756	2222	2690
1.IX	934	990	990	990	990	1345	1792	2297	2708
14.IX	1026	1026	1026	1026	1026	1261	1831	2297	2681
23.IX	1026	1026	1083	1083	1083	1298	—	2195	—
2.X	617	617	691	691	1104	1354	1729	2278	2616
16.X	617	617	691	691	1252	1335	1729	2205	2616
12.XI	635	635	635	710	1076	1354	1822	2204	2616
7.XII	617	617	617	635	1076	1354	1859	2289	2616
1954 год									
18.II	617	636	636	655	710	934	—	—	—
2.III	692	692	692	728	812	878	—	—	—
16.III	765	765	765	841	841	858	—	—	—
29.III	841	841	858	916	990	990	—	—	—
12.IV	841	841	916	990	990	990	—	—	—
21.IV	841	841	916	1009	1041	1102	—	—	—
15.V	728	728	934	934	934	1027	—	—	—
25.V	934	934	934	934	1027	1120	—	—	—
4.VI	934	934	934	971	1009	1120	—	—	—
14.VI	934	934	934	934	1009	—	—	—	—
28.VI	898	897	897	971	1046	—	—	—	—
8.VII	897	897	897	971	1046	1120	—	—	—
19.VII	1345	1120	1120	1120	1233	1399	—	—	—
28.VII	1334	1334	1369	1384	1358	1370	—	—	—
15.VIII	1298	1298	1298	1209	1220	1295	—	—	—
24.VIII	1297	1297	1297	1299	1284	1295	—	—	—
3.IX	1102	1196	1196	1307	1307	1457	—	—	—
15.IX	1202	1207	1207	1234	1227	1229	—	—	—
2.X	1252	1252	1269	1269	1281	1295	—	—	—
16.X	1252	1252	1252	1269	1258	1323	—	—	—
5.XI	1227	1227	1227	1262	1277	1316	—	—	—
1955 год									
12.I	1397	1397	1397	1369	1369	—	—	—	—
19.II	1259	1259	1259	1259	1271	1297	—	—	—
3.III	1034	1034	1034	1071	1069	1209	—	—	—
30.III	1027	1027	1027	1121	1121	1214	—	—	—
12.IV	616	616	785	—	—	—	—	—	—
22.IV	709	709	709	785	934	1027	—	—	—
3.V	560	785	785	785	934	1027	—	—	—
23.V	635	635	635	719	804	897	—	—	—
6.VI	897	897	1046	1046	1121	1178	—	—	—
20.VI	859	895	934	934	934	1121	—	—	—
1.VII	1195	1195	1195	1234	1234	1234	—	—	—
10.VII	1157	1121	1157	1138	1214	1233	—	—	—
20.VII	1027	1034	1071	1071	1071	1096	—	—	—
3.VIII	1059	1059	1071	1076	1076	1102	—	—	—
15.VIII	1085	1085	1085	1085	1097	1098	—	—	—
24.VIII	1121	1121	1121	1121	1121	1121	—	—	—
13.IX	1121	1121	1121	1121	1121	1121	—	—	—
25.X	1257	1257	1257	1295	1295	1295	—	—	—

(см. ниже) показывают, что в результате регенерации из отмерших клеток этой водоросли в воду переходит действительно лишь небольшая часть кремния, содержащегося в панцырях мелозиры — не свыше 20%. Массовое нахождение в донных отложениях Байкала панцырей диатомовых полностью подтверждает сказанное. Отсюда, можно заключить,

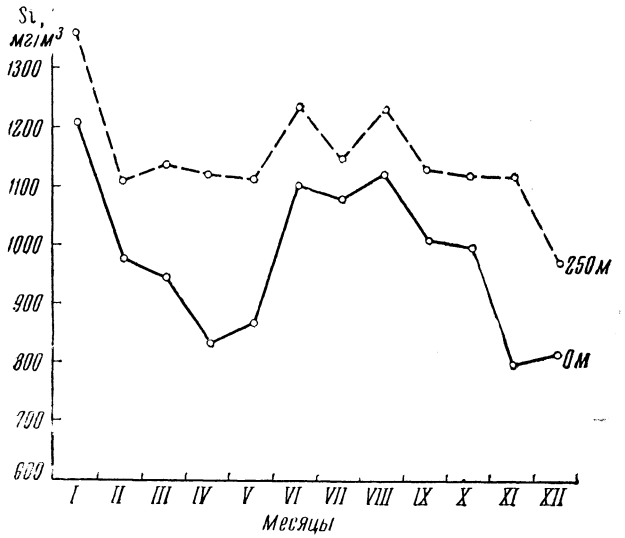


Рис. 16. Сезонные изменения содержания кремния в водах Байкала (пос. Большие Коты, 1948—1955 гг.)

что основным источником, за счет которого восстанавливаются запасы кремния в трофогенном слое, служат, несомненно, воды притоков Байкала, а также более глубокие слои воды озера с повышенным содержанием этого элемента, откуда в результате ветрового и термического

Таблица 69

Среднегодовые величины содержания кремния в водах Байкала (в мг/м³)

Год	Глубина, м					
	0	25	50	100	250	0—250
1948	969	978	989	1116	1159	1026
1949	1045	1048	1062	1093	1123	1084
1950	812	820	863	—	1000	870
1952	1336	1374	1423	1489	1532	1431
1953	844	881	932	1021	1147	965
1954	1011	1006	1035	1057	1090	1040
1955	1002	1012	1036	1071	1105	1044
Среднее за все годы	1003	1017	1049	1141	1165	1066

перемешивания водных масс озера кремний и выносится наверх. Накопление же кремния в глубинных слоях воды идет, главным образом, за счет его дальнейшей частичной регенерации из отмерших диатомей.

В некоторые годы, как, например, в 1948—1949 гг., наблюдается второй минимум содержания кремния в июле или августе. Причины

возникновения этого минимума пока еще не совсем ясны. Вероятнее всего он объясняется потреблением кремния летними диатомеями.

Как известно, содержание кремния в водах Байкала значительно ниже его содержания в водах притоков этого озера. Указанный факт дает возможность использовать распределение кремния в озере для суждения о распространении вод притоков. К сожалению, этот крайне интересный и важный вопрос еще почти не изучен. Можно указать лишь на следующие интересные факты. Еще в 1927 г. В. М. Гортиков (Яснитский, Бланков, Гортиков, 1927; Гортиков, 1930) предполагал, что воды р. Селенги распространяются на значительную акваторию озера, достигая западных берегов его в районе пос. Большие Коты. Однако его исследования не смогли подтвердить этой гипотезы (для обнаружения струй селенгинской воды Гортиков пользовался как раз изучением распределения кремния). В 1948 и 1949 гг. нам удалось обнаружить в июле — августе струи воды с повышенным содержанием кремния в районе пос. Большие Коты. Эти струи «селенгинской» воды были обнаружены на глубине около 5 м. При этом в 1948 г. время их обнаружения совпало со временем понижения содержания кремния в водах Байкала, а в 1949 г. было отмечено тотчас вслед за минимальным летним содержанием кремния (табл. 70). Таким образом, можно с достаточным основанием утверждать, что воды р. Селенги действительно достигают в летний период западных берегов Байкала, и их можно обнаружить по повышенному содержанию кремния на расстоянии около 100 км от места впадения реки в озеро.

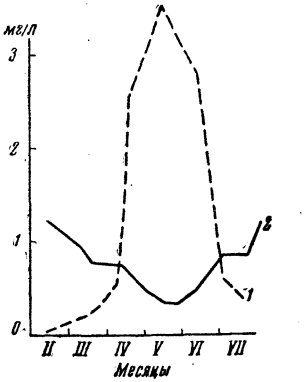


Рис. 17. Сезонные изменения биомассы водоросли-мелозиры (*1*) и содержания кремния (*2*) в поверхностном слое воды (0—25 м) Байкала (пос. Большие Коты, весна 1950 г.).

Таблица 70

Распределение кремния в водах Байкала в районе пос. Большие Коты (в мг/м³)

Дата	Глубина, м			
	0	5	10	25
1948 год				
29.VI	2242	2335	2148	2242
7.VII	1793	2204	1793	1793
20.VII	710	1457	710	710
1949 год				
27.VII	1270	2839	1270	1270
6.VIII	1793	2055	1793	1793

7. ЖЕЛЕЗО

Сведения по содержанию и распределению железа в водах Байкала почти отсутствуют. Некоторые данные имеются лишь для Северного Байкала (Кузнецов и Щербаков, 1930) и Баргузинского залива (Карноухов, 1936). Большинство же авторов, базируясь на данных А. Г. Франк-Каменецкого (1926), считало, что соединения железа в водах Байкала отсутствуют и определения их не проводили.

Действительно, определение соединений железа в водах Байкала встречает большие трудности из-за слишком ничтожного его содержания. Наиболее чувствительный родановый метод определения железа не всегда дает хорошие результаты при работе с естественными пробами байкальской воды, так как развивающаяся окраска роданида железа обычно очень бледна и плохо поддается колориметрированию. Обстоятельство это лишило нас возможности вести раздельное определение закисных и окисных соединений железа в водах Байкала и заставило пойти по пути определения его общего (суммарного) содержания. При этом возникла необходимость предварительного упаривания проб воды. Обычно для анализа отбиралось 500 мл исследуемой воды, упаривалось ее до объема 30—40 мл, после чего добавляли реактивы (соляная кислота и роданид калия), доводили общий объем пробы до 50 мл и колориметрировали в колориметре Дюбоска.

Принятый нами метод позволял, таким образом, учесть не только сумму соединений железа, находящихся в водах Байкала в растворенном состоянии, но также и железо, находящееся в форме коллоидов, и частично железо взвешенных частиц терригенного происхождения (частиц железосодержащих минералов).

Полученные результаты по определению железа дают лишь самое общее представление о динамике этого компонента в водах Байкала, но, несмотря на это, они позволяют все же сделать некоторые небезынтересные выводы.

Содержание общего железа в поверхностных слоях воды открытого Байкала колеблется в течение года в довольно широких пределах — от 0,010—0,020 мг/л в зимние и весенние месяцы, до 0,060 мг/л — осенью (табл. 71).

Таблица 71

Содержание общего железа в поверхностной воде Байкала в районе пос. Большие Коты (в мг/л)

Дата	мг/л	Дата	мг/л	Дата	мг/л
1948 год				1949 год	
10.I	0,020	20.VII	0,028	24.I	0,020
29.I	0,020	1.VIII	0,031	28.II	0,020
26.II	0,022	19.VIII	0,033	21.III	0,010
18.III	0,023	25.VIII	0,032	18.IV	0,014
4.IV	0,018	9.IX	0,060	23.V	0,018
29.V	0,023	17.IX	0,060	14.VI	0,031
9.VI	0,019	3.X	0,040	17.VIII	0,033
29.VI	0,024	5.XI	0,030	11.IX	0,056
7.VII	0,030	30.XI	0,016	19.XI	0,021

С глубиной содержание железа обычно возрастает. Рост этот, однако, не всегда бывает ясно выражен и весной, например, практически отсутствует до глубины по крайней мере 250 м. Для иллюстрации вертикального распределения железа в толще вод озера приводим несколько серий наблюдений, проведенных нами в 1948—1949 гг. (табл. 72).

Особенно резко содержание железа возрастает в придонных слоях воды и иловых водах Байкала (см. гл. 7).

Рассматривая сезонные изменения содержания железа и сопоставляя их с его вертикальным распределением, мы приходим к выводу, что основная масса соединений этого элемента находится в водах Байкала в форме коллоидов и более грубых взвесей. Действительно, вряд ли можно ожидать присутствия в водах озера в заметных количествах соединений железа в растворенном состоянии. Богатство вод Байкала кислородом на всех его глубинах исключает, как нам кажется, наличие в его водах солей закисного железа. Эти соли могут быть только в иловых водах озера в восстановительной зоне. Соли окисного железа, поступающие с водами притоков, вероятно, очень быстро подвергаются

Таблица 72

Вертикальное распределение общего железа в водах Байкала в районе пос. Большие Коты (в мг/л)

Глубина, м	1948 год						1949 год
	29.I	4.IV	9.VI	9.IX	3.X	30.XI	24.I
0	0,020	0,018	0,019	0,060	0,040	0,016	0,020
5	0,020	—	—	0,060	0,050	0,016	0,020
10	0,020	—	—	0,065	0,050	0,016	0,020
25	0,022	—	—	0,065	0,050	0,016	0,020
50	0,022	—	—	0,065	0,060	0,016	0,020
100	0,023	0,020	—	0,070	0,060	—	0,020
250	0,028	0,020	0,019	0,080	0,060	0,016	—

гидролизу. В результате в водах Байкала практически присутствуют лишь коллоидная гидроокись железа, да частицы железосодержащих минералов терригенного происхождения.

Главная масса коллоидного и взвешенного железа вносится в Байкал с водами притоков летом, что и приводит к росту общего содержания его в верхних слоях воды от весны к осени. В осенне-зимний период большая часть коллоидного железа подвергается коагуляции и осаждению. Осаждаются и взвешенные частицы железосодержащих минералов. Благодаря этому содержание общего железа в водах Байкала значительно понижается и к весне достигает своего минимума.

На процессы накопления железа в донных отложениях Байкала указывает высокое содержание его в грунтах озера, особенно в глубоководных илах (Верещагин, 1947; Гильзен, 1915; Страхов, 1948; Князева, 1954а).

Наши материалы не позволяют определить роль коллоидного и взвешенного железа в его общем балансе. Однако можно предположить, что применяемый метод определения в основном учитывает коллоидное железо. Что же касается железа взвешенных частиц железосодержащих минералов, то последнее в связи с большой устойчивостью этих минералов вряд ли учитывалось полностью. Можно предполагать, лишь, что в сумму общего железа входили и окисные соединения последнего, представленные во взвешенных частицах терригенного происхождения.

8. МАРГАНЕЦ

Содержание и распределение марганца в водах Байкала ранее не изучалось.

В наших исследованиях марганец определялся колориметрическим методом в виде перманганата после окисления его персульфатом аммония. Определение велось из 500 мл испытуемой воды с предварительным упариванием ее до объема 10 мл.

Сезонные изменения марганца в поверхностной воде Байкала довольно значительны. В течение осенне-зимнего периода содержание марганца заметно возрастает и к апрелю достигает своего годового максимума. В 1948 и 1949 гг. максимум этот равнялся 0,0023 мг/л. Вслед за вскрытием озера от льда содержание марганца заметно падает — до 0,0014—0,0013 мг/л и в этих пределах с небольшими колебаниями держится в течение всего лета (табл. 73).

Для характеристики вертикального распределения марганца в водах Байкала можно было использовать результаты нескольких серий наблю-

дений (табл. 74). Судя по этим сериям, содержание марганца несколько возрастает с глубиной.

Наши данные по содержанию и вертикальному распределению марганца в водах Байкала еще совершенно недостаточны для того, чтобы

Таблица 73

Сезонные изменения содержания марганца в водах Байкала (в мг/л)

Дата	мг/л	Дата	мг/л	Дата	мг/л
1948 год					
29.I	0,0018	19.VIII	0,0012	21.III	0,0022
26.II	0,0018	25.VIII	0,0013	18.IV	0,0023
18.III	0,0019	9.IX	0,0013	23.V	0,0014
4.IV	0,0023	17.IX	0,0013	14.VI	0,0013
29.V	0,0014	5.IX	0,0014	16.VII	0,0011
9.VI	0,0012	3.X	0,0016	17.VIII	0,0012
7.VII	0,0012	30.XI	0,0016	11.IX	0,0014
1949 год					
20.VII	0,0012	24.I	0,0016	13.X	0,0016
1.VIII	0,0012	28.II	0,0018	9.XII	0,0017

на основе их делать какие-либо обобщения. Можно лишь предполагать, что сезонные изменения в содержании этого компонента, в частности, увеличение его содержания зимой и понижение в весенне-летний период, обусловлены влиянием биологических факторов.

Таблица 74

Вертикальное распределение марганца в водах Байкала (в мг/л)

Дата	Глубина, м						
	0	5	10	25	50	100	250
29.I 1948 г.	0,0018	—	—	—	—	—	0,0021
9.IX	0,0013	0,0013	0,0015	0,0015	0,0015	0,0016	0,0015
3.X	0,0014	—	—	0,0014	0,0014	0,0017	0,0018
10.V 1949 г.	0,0013	—	0,0013	—	0,0014	0,0014	0,0018

9. КАЛЬЦИЙ

Определение кальция велось в 1948—1955 гг. в основном методом Винклера. Только часть определений была выполнена весовым методом. В 1956 г. кальций определяли объемным оксалатным методом, а с 1957 г.— трилонометрически. Для данной работы мы используем только результаты весовых и трилонометрических определений.

Кальций составляет основную долю катионов воды Байкала. Его содержание лежит в пределах 14—16 мг/л, что составляет 60—64% экв. ионов. Сколько-нибудь существенных изменений содержания кальция в течение года не наблюдается (табл. 75). Можно лишь отметить некоторую тенденцию к снижению его содержания в водах озера в июне — августе. Однако такая тенденция проявляется не ежегодно и бывает выражена крайне незначительно.

В вертикальном направлении кальций распределен, как правило, более или менее равномерно (см. табл. 75). Нет различий между его содержанием в водах открытого Байкала и в водах его литорали.

Таблица 75

Содержание кальция в поверхностных водах Байкала (в мг/л)

Дата	Глубина, м				
	0	25	50	100	250
			1948 год		
29.I	15,7	15,7	15,0	15,6	15,6
26.II	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0
18.III	15,6	15,6	15,6	15,6	15,6
4.IV	15,6	15,6	15,6	15,6	15,6
29.V	15,1	15,1	14,4	14,8	14,8
29.VI	14,8	14,8	14,8	14,8	14,8
20.VII	14,9	14,9	14,9	14,9	14,9
19.VIII	15,5	15,5	15,5	15,5	15,5
17.IX	15,4	15,4	15,4	—	—
3.X	15,4	15,6	15,4	15,4	15,5
5.XI	15,1	—	15,1	—	—
30.XI	15,1	15,1	15,1	15,1	15,1
			1949 год		
24.I	15,7	15,7	15,9	15,9	15,9
28.II	15,8	15,7	15,8	15,6	15,8
21.III	15,6	15,6	15,6	15,6	15,6
18.IV	15,5	16,0	16,1	15,9	15,5
23.V	15,1	15,1	15,1	15,1	15,1
14.VI	14,9	14,9	14,9	14,9	14,9
16.VII	14,8	14,8	14,8	14,7	14,7
17.VIII	14,8	14,8	14,8	14,8	14,8
11.IX	15,3	15,3	15,3	15,3	15,3
13.X	15,4	15,4	15,4	15,4	15,4
19.XI	15,4	15,4	15,4	15,4	15,4
9.XII	15,4	15,4	15,4	—	15,4

Вертикальное распределение кальция в водах

Глубина, м	1957 год																
	24.VII	1.VIII	14.VIII	20.VIII	31.VIII	12.IX	24.IX	5.X	12.X	31.X	15.XI	27.XI	9.XII	17.II	28.II	12.III	21.III
0	15,5	15,1	15,8	15,4	15,4	15,4	16,2	15,5	15,7	16,1	15,7	15,5	15,7	15,7	15,7	15,7	16,1
5	15,3	15,1	15,8	15,4	15,4	15,4	16,2	15,5	15,5	15,7	15,7	15,5	15,7	15,7	15,7	15,7	16,1
10	15,7	15,1	15,8	15,4	15,4	15,4	16,2	15,5	15,5	15,7	15,7	15,5	15,5	15,7	15,7	15,7	16,1
25	15,7	15,1	15,8	15,4	15,4	15,4	16,2	15,5	15,5	15,7	15,7	15,5	15,5	15,7	15,7	15,7	16,1
50	15,5	15,1	15,8	15,4	15,4	15,4	16,2	15,5	15,5	15,7	15,7	15,5	15,5	15,7	15,7	15,7	16,1
100	15,7	15,1	15,8	15,4	15,4	15,4	16,2	15,5	15,5	15,5	15,7	15,5	15,5	15,7	15,7	15,7	15,7
200	15,7	15,1	15,8	15,4	15,4	15,4	16,2	15,5	15,5	15,5	15,7	15,5	15,5	15,7	15,7	15,7	15,7
300	15,7	15,1	15,8	15,4	15,4	15,4	16,2	15,5	15,5	15,5	15,7	15,5	15,5	15,7	15,7	15,7	15,7
500	15,5	15,1	15,8	15,4	15,4	15,4	16,2	15,5	15,5	15,5	15,7	15,5	15,5	15,7	15,7	15,7	15,7
750	15,5	15,1	—	15,4	15,4	15,4	16,2	15,5	15,5	15,5	15,7	15,5	15,5	15,7	15,7	15,7	15,7
1000	15,5	15,1	—	15,4	15,4	15,4	16,2	15,5	15,5	15,5	15,7	15,5	15,5	15,7	15,7	15,7	15,7
1200	15,7	15,1	—	15,4	15,4	15,4	16,2	15,5	15,5	15,5	15,7	15,5	15,5	15,7	15,7	—	—
1395	—	—	—	15,4	15,4	15,0	16,2	15,5	—	15,5	—	15,5	15,5	15,7	15,7	—	—

В вертикальном направлении распределение кальция в водах Байкала также однородно (табл. 76).

Нет различий в содержании кальция и между водами открытого Байкала и водами его литорали.

10. МАГНИЙ

Отсутствие достаточно быстрого и точного метода определения магния в полевых и полустационарных условиях вынудило нас прибегать к вычислению его содержания, исходя из общей жесткости и содержания кальция. Только в части проб было проведено определение магния весовым методом.

Данные эти, представленные в табл. 77, показывают, что содержание магния аналогично содержанию кальция и не претерпевает закономерных изменений в течение года. В вертикальном направлении магний распределен также равномерно (табл. 78).

11. НАТРИЙ И КАЛИЙ

Натрий в 1948—1949 гг. в водах Байкала определялся колориметрически уранилацетатным методом, путем осаждения его реактивом Барбера и Кольтгоффа с последующим колориметрированием уранила. Калий в те же годы определялся весовым методом после осаждения всех катионов реактивом Шавготта. В последующие годы раздельного определения натрия и калия не производилось, а сумма их находилась вычислением по разности между суммой эквивалентов анионов и суммой кальция и магния.

Содержание натрия и калия в водах Байкала не претерпевает резких изменений в течение года. Среднее содержание натрия в поверхностных слоях воды Байкала равно 3,8 мг/л, калия — 2,0 мг/л.

В вертикальном направлении, по крайней мере до глубины 250 м, натрий и калий распределены равномерно (табл. 79). Судя по распределению кальция и магния, а также анионов, содержание калия и натрия в глубинных слоях воды озера также не должно меняться по вертикали.

Таблица 76

Байкала в 7 км от пос. Лиственичного в 1957—1958 гг. (в мг/л)

1958 год																	
2.IV	21.V	30.V	14.VI	21.VI	1.VII	11.VII	20.VII	1.VIII	11.VIII	23.VIII	1.IX	21.IX	23.X	13.XI	28.XI	10.XII
15,9	15,6	15,5	15,9	16,3	16,3	16,4	16,0	16,3	16,3	16,3	16,3	16,5	16,1	16,2	15,7	15,5
15,9	15,6	15,5	15,9	16,3	16,3	16,4	16,0	16,3	16,3	16,3	16,3	16,5	16,1	16,2	15,7	15,7
15,9	15,6	15,5	15,5	16,3	16,3	16,4	15,6	16,3	16,3	16,3	16,3	16,1	16,1	16,2	15,7	15,7
15,9	15,6	15,5	15,5	16,3	16,3	16,4	15,6	16,3	16,3	16,3	16,3	16,1	16,1	16,0	15,7	15,7
15,9	15,6	15,5	15,5	16,3	16,1	16,4	15,6	16,3	16,3	16,3	16,3	16,1	16,1	16,0	15,7	15,7
15,5	15,6	15,5	15,5	16,3	16,0	16,4	15,4	16,3	16,3	16,3	16,3	16,1	16,1	16,0	15,7	15,7
15,5	15,6	15,5	15,5	16,3	16,0	16,4	15,4	16,3	16,3	16,3	16,3	16,1	16,1	—	15,7	15,7
15,5	15,6	15,5	15,5	16,3	16,0	16,4	15,2	16,3	16,3	16,3	16,3	16,1	16,1	16,2	15,7	15,7
15,5	15,6	15,5	15,5	16,3	16,0	16,2	15,2	16,3	16,3	16,3	16,3	16,1	16,1	16,0	15,7	15,7
15,5	15,4	15,5	15,5	16,3	16,0	16,2	15,2	16,3	16,3	16,3	16,3	16,1	16,1	16,0	15,7	15,7
15,7	15,4	15,5	15,5	16,3	16,0	16,2	15,2	16,3	16,3	16,3	16,3	16,1	16,1	16,0	15,7	15,7
—	—	15,5	15,5	16,3	16,0	16,2	15,2	16,1	16,3	16,3	16,3	16,1	16,1	—	15,7	15,7
—	—	15,5	15,5	16,3	16,0	16,2	15,2	16,1	16,3	16,3	16,3	16,1	16,1	16,0	—	—

Таблица 77

Содержание магния в водах Байкала в 1948—1949 гг. (в мг/л)

Дата	Глубина, м					Дата	Глубина, м				
	0	25	50	100	250		0	25	50	100	250
	1948 год						1949 год				
29.I	3,0	2,6	3,0	3,0	3,0	24.I	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7
26.II	3,0	3,0	3,0	3,0	3,6	28.II	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2
18.III	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	21.III	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6
4.IV	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	18.IV	4,3	4,3	4,3	5,0	4,3
29.V	5,3	4,7	5,3	5,3	4,7	23.V	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1
29.VI	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	14.VI	2,6	2,6	2,0	2,6	2,6
20.VII	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	16.VII	3,2	3,1	3,1	3,1	3,1
19.VIII	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	17.VIII	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6
17.IX	4,6	4,6	4,6	—	—	11.IX	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
3.X	4,6	4,6	4,6	4,6	4,6	13.X	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
5.XI	4,7	—	4,7	—	—	19.XI	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6
30.XI	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	9.XII	2,6	2,6	2,6	—	2,6

Таблица 78

Вертикальное распределение магния в водах Байкала в 7 км от пос. Лиственичного в 1958 г. (в мг/л)

Глубина, м	17.II	28.II	12.III	21.III	2.IV	21.V	30.V	14.VI	21.VI	1.VII	11.VII	20.VII	1.VIII	11.VIII	23.VIII	1.IX	21.IX	23.X	13.XI	28.XI	10.XII
0	3,2	3,2	3,2	3,3	3,2	4,2	4,3	4,0	4,0	3,0	2,7	2,4	2,8	3,0	3,1	3,2	2,9	2,8	2,7	2,9	3,0
5	3,2	3,2	3,2	3,3	3,2	4,2	4,3	4,0	4,0	3,0	2,7	2,4	2,8	3,0	3,1	3,2	2,9	2,9	2,7	2,9	2,9
10	3,2	3,3	3,2	3 1	3,2	4,2	4,3	4,3	4,0	3,0	2,7	2,7	2,8	3,0	3,1	3,2	3,2	2,9	2,7	2,9	2,9
25	3,2	3,3	3,2	3,0	3,2	4,2	4,3	4,3	4,0	3,0	2,7	2,7	2,8	3,0	3,1	3,2	3,2	2,9	2,8	2,9	2,9
50	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	4,2	4,3	4,3	4,0	3,0	2,7	2,7	2,8	3,0	3,1	3,2	3,2	2,9	2,8	2,9	2,9
100	3,2	3,2	3,2	3,2	3,4	4,2	4,3	4,3	4,0	3,0	2,7	2,8	2,8	3,0	3,1	3,2	3,2	—	2,8	2,9	2,9
200	3,2	3,2	3,2	3,2	3,4	4,2	4,3	4,3	4,0	3,0	2,7	2,8	2,8	3,0	3,1	3,2	3,2	2,9	2,7	2,9	2,9
300	3,2	3,1	3,2	3,2	3,2	4,2	4,3	4,3	4,0	3,0	2,7	2,9	2,8	3,0	3,0	3,2	3,2	2,9	2,8	2,9	2,9
500	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	4,2	4,3	4,3	4,0	3,0	2,7	2,9	2,8	3,0	3,0	3,2	3,2	2.9	2,8	2,9	2,9
750	3,2	3,1	3,2	3,2	3,2	4,4	4,3	4,3	4,0	3,0	2,9	2,9	2,8	3,0	3,0	3,2	3,2	2,9	2,8	2,9	2,9
1000	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	4,4	4,3	4,3	4,0	3,0	2,9	2,9	2,8	3,0	3,0	3,2	3,2	2,9	—	2,9	2,9
1200	3,2	3,2	—	—	—	—	4,3	4,3	4,0	3,0	2,9	2,9	2,8	3,0	3,0	3,2	3,1	2,9	—	2,9	2,9
1395	3,2	3,2	—	—	—	—	4,3	—	4,0	3,5	2,9	2,9	2,8	3,0	3,0	3,2	3,1	—	2,8	2,9	2,9

12. ГИДРОКАРБОНАТЫ

Определение гидрокарбонатов велось титрованием 100 мл воды 0,04 *N* раствором соляной кислоты в присутствии метилоранжа. С 1957 г. мы ввели титрование до стандартного оттенка по цитратному буферу, что значительно повысило точность самого титрования.

Содержание гидрокарбонатов в водах Байкала лежит в разные годы в пределах 64—72 мг/л, считая на HCO_3'. В сезонном аспекте колебания эти остаются, однако, незакономерными (табл. 80, 81).

В вертикальном направлении в районе пос. Большие Коты гидрокарбонаты распределены равномерно. Что касается района пос. Лиственичн-

ного, то, как было недавно выяснено И. В. Глазуновым в вертикальном распределении гидрокарбонатов намечается хотя и небольшое, но вполне отчетливое уменьшение их содержания на глубинах 0—50—100 м, иногда до 300 м. Это уменьшение содержания гидрокарбонатов от поверхности озера до глубины 50—300 м И. В. Глазунов справедливо связывает с влиянием вод р. Селенги. По его мнению воды Селенги, поступая в Байкал, направляются к западному берегу озера и далее распространяются к югу, достигая района истока р. Ангары. Более ясная вертикальная стратификация гидрокарбонатов в зимний период (подо льдом) по сравнению с летним, подтверждает эту гипотезу.

Необходимо указать также на незначительное увеличение содержания гидрокарбонатов в грунтовых растворах, пропитывающих верхние слои донных отложений озера на больших глубинах, что связано, вероятно, с накоплением здесь кальция из хитиновых покровов отмерших ракообразных.

Таблица 79

Содержание натрия и калия в водах Байкала (в мг/л)

Дата	0 м		25 м		50 м		100 м		250 м	
	Na	K	Na	K	Na	K	Na	K	Na	K
					1948 год					
10.I	4,1	2,1	—	—	—	—	—	—	—	—
29.I	4,2	2,1	4,2	2,1	4,2	2,1	4,2	2,1	4,2	2,1
26.II	4,2	2,1	4,3	2,1	4,1	2,1	4,4	2,2	4,1	2,1
18.III	4,2	2,1	4,2	—	4,3	—	4,2	—	4,2	—
4.IV	4,2	2,1	—	—	—	—	—	—	—	—
29.V	3,9	2,0	3,9	2,0	3,9	2,0	3,9	2,0	3,9	2,0
9.VI	3,8	2,0	—	—	—	—	—	—	—	—
29.VI	3,8	2,0	3,8	2,0	3,8	1,9	3,8	1,9	3,8	1,9
7.VII	3,7	1,9	—	—	—	—	—	—	—	—
20.VII	3,7	1,9	3,7	1,9	3,7	1,9	3,7	1,9	3,7	1,9
1.VIII	4,3	1,9	—	—	—	—	—	—	—	—
19.VIII	4,1	2,0	4,1	1,9	4,0	1,9	4,0	1,9	4,0	1,9
25.VIII	4,2	2,0	—	—	—	—	—	—	—	—
9.IX	4,1	2,0	—	—	—	—	—	—	—	—
17.IX	3,7	2,0	—	—	—	—	—	—	—	—
3.X	3,9	2,1	3,9	2,1	3,9	2,1	3,9	2,1	3,9	2,1
5.XI	3,7	—	—	—	—	—	—	—	—	—
30.XI	3,9	2,1	3,9	2,1	3,8	2,1	3,8	2,1	3,8	2,1
					1949 год					
24.I	3,9	2,1	3,9	2,1	3,9	2,1	3,9	2,1	3,9	2,1
28.II	3,9	2,2	—	—	—	—	—	—	—	—
21.III	3,8	2,2	—	—	—	—	—	—	—	—
18.IV	3,6	2,0	—	—	—	—	—	—	—	—
23.V	3,9	2,0	4,0	2,0	4,0	2,0	4,0	2,0	3,9	2,0
14.VI	3,9	2,1	—	—	—	—	—	—	—	—
16.VII	3,6	2,1	—	—	—	—	—	—	—	—
17.VIII	3,6	2,1	—	—	—	—	—	—	—	—
11.IX	3,7	2,1	3,7	2,1	3,7	2,1	3,7	2,1	3,7	2,1
13.X	4,1	2,1	—	—	—	—	—	—	—	—
19.XI	4,2	1,9	—	—	—	—	—	—	—	—
9.XII	4,2	1,9	4,2	1,9	4,2	1,9	—	—	4,2	1,9

13. СУЛЬФАТЫ И ХЛОРИДЫ

Сульфаты определялись вначале весовым методом в форме сернокислого бария. В дальнейшем определение их велось микрометодом Ланга (Коренман, 1936). Этот очень изящный метод был специально сопоставлен нами с весовыми данными и показал прекрасные результаты. К сожалению, отсутствие необходимых реактивов вынудило нас в последние годы вести определение сульфатов несколько измененным методом Комаровского. Низкое содержание сульфатов в водах Байкала лишает возможности получить этим методом надежные результаты. Поэтому в настоящей работе мы используем только результаты определений сульфатов, полученные весовым методом и методом Ланга.

Хлориды определялись первоначально методом Мора с введением добавки хлор-иона в количестве 10 мг/л и внесением поправки на слепой опыт. Конечно, претендовать на большую точность получаемых методом Мора результатов не приходилось. Поэтому с 1957 г. мы перешли на меркурометрический метод их определения. Сравнение обоих методов показало, что метод Мора дает резко завышенные величины содержания хлоридов в водах Байкала. Обстоятельство это заставило нас в настоящей работе использовать только результаты, полученные меркурометрическим методом.

Опубликованные в литературе материалы по содержанию хлоридов как в водах Байкала, так и в водах его притоков до последнего времени были получены в основном методом Мора. Это крайне затрудняет их использование для целей сравнения с нашими данными, а также для расчета баланса хлоридов в Байкале. Для получения хотя бы ориентировочных данных по балансу хлоридов мы вынуждены были вводить поправки в величины содержания хлоридов.

В водах Байкала сульфаты и хлориды содержатся в очень малых количествах. В среднем содержание сульфатов равно 5,2 мг/л, считая на SO_4'', хлоридов — 0,5 мг/л. Их сезонные изменения практически отсутствуют. В вертикальном направлении они распределены более или менее равномерно (табл. 82, 83).

14. ОБЩЕЕ СОДЕРЖАНИЕ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА

Общее содержание органического вещества в водах Байкала определялось методом мокрого хромового сожжения (Винберг, Ивлев, Платова, Россолимо, 1934; Винберг и Платова, 1951).

Для анализа отбирали 200 мл неотфильтрованной воды и упаривали досуха на водяной бане. Избыток бихромата оттитровывали иодометрически (Кузнецов, 1945). Для пересчета на сухой беззольный вес принят коэффициент 0,75 (Винберг, Захаренков, 1950; Скопинцев, 1947).

Хотя метод мокрого хромового сожжения (бихроматная окисляемость) и не является универсальным, так как не обеспечивает полного окисления всех органических веществ, содержащихся в природных водах (Скопинцев, 1950), он все же дает возможность получить вполне сравнимый материал, позволяющий судить об общем содержании органического вещества.

Для удобства дальнейших сравнений величин бихроматной окисляемости с величинами перманганатной окисляемости и биохимического потребления кислорода (БПК) общее содержание органического вещества в байкальских водах выражается в количествах кислорода, потребного на его окисление.

Определение бихроматной окисляемости велось в районе Байкальской биостанции с 1951 по 1955 г. Всего за период исследований выполнено свыше 540 определений. В 1951 г. исследования проводились до глубины 250 м, в 1953 г.— до 1200 м, в остальные годы — до 500 м.

Общее содержание органического вещества в верхнем 25-метровом слое воды Байкала лежит в пределах 4,0—5,5 мг/л кислорода, что соответствует 3—4 мг/л сухого беззольного органического вещества (табл. 84, рис. 18).

На протяжении всего года максимальное содержание органического вещества наблюдается в трофогенном слое озера. С глубиной содержание его постепенно падает, доходя на глубине 1200 м до 3,9—3,2 мг/л кислорода. Только в придонных слоях воды и грунтовых растворах, пропитывающих верхний слой иловых отложений озера, содержание органического вещества, судя по величинам нейтральной перманганатной окисляемости, вновь резко возрастает.

Таблица 80

Содержание гидрокарбонатов в водах Байкала (в мг/л)

Дата	Глубина, м					Дата	Глубина, м				
	0	25	50	100	250		0	25	50	100	250
	1948 год						1949 год				
10.I	68,3	68,3	68,3	—	68,3	24.I	68,7	68,7	68,7	68,7	68,7
29.I	68,3	68,3	68,3	68,3	68,3	28.II	72,0	73,2	73,2	73,2	73,2
26.II	70,6	70,6	70,8	70,8	70,8	21.III	71,9	71,9	71,9	71,9	71,9
18.III	70,2	70,2	70,5	68,0	70,5	4.IV	68,3	68,3	68,3	68,3	68,3
4.IV	69,3	68,3	68,3	68,3	68,3	18.IV	68,3	68,3	68,3	68,3	68,3
29.V	69,3	70,3	68,3	69,3	69,3	10.V	68,3	68,3	68,3	68,3	68,3
9.VI	69,2	69,7	70,2	69,7	69,7	23.V	67,1	67,0	67,1	67,1	67,1
29.VI	69,3	68,3	67,3	65,4	65,4	4.VI	68,3	68,3	68,3	68,3	68,3
7.VII	68,8	69,8	69,8	69,8	69,8	14.VI	68,3	68,3	68,3	68,3	68,3
20.VII	68,3	68,3	68,3	68,3	68,3	25.VI	66,8	66,8	66,8	66,8	66,8
1.VIII	67,9	68,4	68,4	68,4	68,4	5.VII	65,4	65,4	65,4	65,4	65,4
19.VIII	68,8	68,8	68,8	68,8	68,8	27.VII	65,8	65,8	65,8	65,8	65,9
25.VIII	67,7	67,7	67,7	67,7	67,7	17.VIII	64,4	64,4	64,4	64,4	64,4
9.IX	64,9	64,9	64,9	64,9	64,9	1.IX	66,8	66,8	66,9	66,8	66,8
17.IX	65,9	65,9	65,9	65,9	65,9	11.IX	67,3	67,3	67,3	67,3	67,3
3.X	68,2	68,2	68,2	68,2	68,2	20.IX	67,3	67,3	67,3	67,3	67,3
5.XI	70,7	—	70,7	—	—	13.X	67,3	67,3	67,3	67,3	67,3
03.XI	70,8	70,8	70,8	70,8	70,8	29.X	68,4	68,4	68,4	68,4	—
						19.XI	68,3	68,3	68,3	68,3	68,3
						9.XII	68,3	68,3	68,3	—	68,3

Отметим, что в периоды весенней и осенней гомотермии, а также под воздействием ветров происходит нарушение обычной вертикальной стратификации органического вещества. Часто его содержание при этом выравнивается до глубины 100—250 м и более.

В табл. 85 приводятся среднегодовые величины содержания органического вещества в водах Байкала.

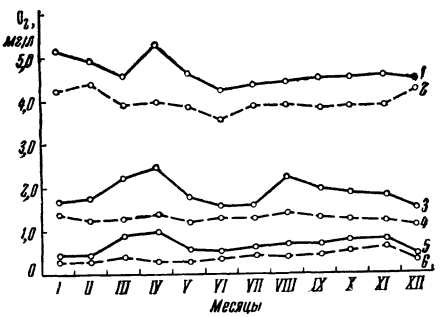


Рис. 18. Сезонные изменения бихроматной (*1*, *2*), перманганатной (*3*, *4*) окисляемости и $БПК_5$ в водах Байкала (пос. Большие Коты, 1951—1955 гг.)

—— поверхность озера; — — — — глубина 250 м.

Наиболее резкое падение содержания органического вещества происходит в верхних слоях воды озера. В среднем за все годы исследований градиент падения содержания органического вещества в пересчете на сухой беззольный вес в верхнем 100-метровом слое глубин равен 0,45 м/гл, на глубинах же 100—500 м он составляет всего 0,043 м/гл на каждые 100 м глубины.

Глубина, м	1957 год													1958 год			
	24.VII	1.VIII	14.VIII	20.VIII	31.VIII	12.IX	24.IX	5.X	12.X	31.X	15.XI	27.XI	9.XII	17.II	28.II	12.III	21.III
0	65,9	67,1	65,9	67,1	67,1	67,1	65,9	68,3	68,3	68,3	68,3	65,9	65,9	65,9	68,3	68,3	68,3
5	65,9	67,1	65,9	67,1	67,1	65,9	65,9	68,3	68,3	68,3	68,3	65,9	65,9	67,1	67,1	67,1	68,3
10	65,9	65,9	65,9	67,1	67,1	65,9	65,9	68,3	68,3	68,3	68,3	65,9	65,9	65,9	65,9	67,1	68,3
25	65,9	65,9	65,9	67,1	67,1	65,9	65,9	68,3	68,3	68,3	68,3	65,9	65,9	65,9	65,9	67,1	68,3
50	65,9	65,9	65,9	68,3	67,1	65,9	65,9	68,3	68,3	67,1	67,1	65,9	65,9	65,9	65,9	65,9	67,1
100	65,9	65,9	65,9	68,3	67,1	65,9	65,9	68,3	68,3	67,1	67,1	65,9	65,9	65,9	65,9	65,9	67,1
200	65,9	65,9	65,9	68,3	67,1	65,9	65,9	67,1	67,1	67,1	67,1	65,9	65,9	65,9	65,9	65,9	67,1
300	65,9	65,9	65,9	68,3	67,1	65,9	65,9	67,1	67,1	67,1	67,1	65,9	65,9	65,9	65,9	65,9	67,1
500	65,9	65,9	65,9	68,3	67,1	65,9	65,9	67,1	67,1	67,1	67,1	65,9	65,9	65,9	65,9	65,9	65,9
750	65,9	65,9	65,9	68,3	67,1	65,9	65,9	67,1	67,1	67,1	67,1	65,9	65,9	65,9	65,9	69,5	65,9
1000	65,9	65,9	65,9	68,3	67,1	65,9	65,9	67,1	67,1	67,1	67,1	65,9	65,9	65,9	65,9	65,9	65,9
1200	65,9	65,9	—	68,3	67,1	65,9	65,9	67,1	67,1	67,1	67,1	65,9	65,9	65,9	65,9	—	—
1395	65,9	—	—	68,3	67,1	65,9	65,9	67,1	67,1	67,1	—	65,9	65,9	65,9	65,9	—	—

В 1953 г. общее содержание органического вещества на глубине 1200 м было в среднем на 23% ниже, чем в поверхностной воде озера.

Общее содержание органического вещества в воде Байкала испытывает значительные сезонные изменения, наиболее резко и закономерно выраженные в поверхностном слое воды озера. С глубиной амплитуда сезонных изменений в содержании органического вещества довольно быстро падает, причем колебания эти в течение года принимают незакономерный характер.

Минимальные величины бихроматной, а также, как будет показано ниже, и перманганатной окисляемости в водах трофогенного слоя озера наблюдаются в зимний подледный период и летом в июне — июле. Максимумы падают на весну (апрель) и осень (октябрь), т. е. проявляются тотчас вслед за окончанием периодов весенней и летней вегетации фитопланктона. Это говорит за то, что наблюдаемые в водах трофогенного слоя озера сезонные изменения в содержании органического вещества связаны с количественными изменениями в развитии фитопланктона. Если учесть, что круговорот органического вещества, образуемого фитопланктоном, происходит в Байкале в основном, очевидно, в верхнем 50—70-метровом слое воды озера (см. гл. 14), то становится понятным, почему на больших глубинах Байкала амплитуда сезонных изменений в содержании органического вещества уменьшается и принимает незакономерный характер.

Рассматривая среднегодовые величины содержания органического вещества в водах озера, видим, что значительных различий в отдельные годы не наблюдается. Минимальные величины бихроматной окисляемости в слое 0—250 м в среднем составляли за период наших исследований 83% от максимальных ее величин. Факт этот ясно показывает, что общее содержание органического вещества в водах Байкала остается относительно стабильным.

15. ПЕРМАНГАНАТНАЯ ОКИСЛЯЕМОСТЬ

Определение перманганатной окисляемости велось по методу Кубеля. Всего за период исследований в районе пос. Большие Коты было выполнено около 850 определений перманганатной окисляемости в слое воды 0—250 м и более 150 определений на глубинах свыше 250 м.

от пос. Лиственичного в 1957—1958 гг. (в мг/л)

1958 год																	
2.IV	21.V	30.V	14.VI	21.VI	1.VII	11.VII	20.VII	1.VIII	11.VIII	23.VIII	1.IX	21.IX	23.X	13.XI	28.XI	10.XII
68,3	66,4	67,1	67,1	65,9	65,9	65,9	67,1	67,1	67,1	67,1	67,1	67,1	67,1	67,1	67,1	67,1
67,1	66,1	67,1	67,1	65,9	65,9	65,9	65,9	67,1	67,1	67,1	67,1	65,9	65,9	65,9	67,1	67,1
67,1	65,9	65,9	67,1	65,9	65,9	65,9	65,9	67,1	67,1	67,1	67,1	65,9	65,9	65,9	67,1	65,9
67,1	65,9	65,9	67,1	65,9	65,9	65,9	65,9	65,9	67,1	67,1	65,9	65,9	65,9	65,9	65,9	65,9
65,9	65,9	65,9	65,9	65,9	65,9	65,9	65,9	65,9	67,1	65,9	65,9	65,9	65,9	65,9	65,9	65,9
65,9	65,9	65,9	65,9	65,9	65,9	65,9	65,9	65,9	65,9	65,9	65,9	65,9	65,9	65,9	65,9	65,9
65,9	65,9	65,9	65,9	65,9	65,9	65,9	65,9	65,9	65,9	65,9	65,9	65,9	65,9	—	65,9	65,9
65,9	65,9	65,9	65,9	65,9	65,9	65,9	65,9	65,9	65,9	65,9	65,9	65,9	65,9	65,9	65,9	65,9
65,9	65,9	65,9	65,9	65,9	65,9	65,9	65,9	65,9	65,9	65,9	65,9	65,9	65,9	65,9	65,9	65,9
65,9	65,9	65,9	65,9	65,9	65,9	65,9	65,9	65,9	65,9	65,9	65,9	65,9	65,9	65,9	65,9	65,9
65,9	65,9	65,9	65,9	65,9	65,9	65,9	65,9	65,9	65,9	65,9	65,9	65,9	65,9	65,9	65,9	65,9
—	—	65,9	65,9	65,9	65,9	65,9	65,9	65,9	65,9	65,9	65,9	65,9	65,9	65,9	65,9	65,9
—	—	65,9	—	—	64,7	65,9	65,9	65,9	65,9	65,9	65,9	65,9	—	65,9	—	—

Таблица 82

Содержание сульфатов в водах Байкала в районе пос. Большие Коты в 1948, 1949 и 1953 гг. (в мг/л)

Дата	Глубина, м								
	0	25	50	100	250	500	750	1000	1200
1948 год									
10.I	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	—	—	—	—
29.I	5,0	5,0	4,9	5,3	5,0	—	—	—	—
26.II	5,3	4,6	5,1	4,6	4,2	—	—	—	—
18.III	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	—	—	—	—
4.IV	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	—	—	—	—
29.V	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	—	—	—	—
9.VI	5,4	5,4	5,4	5,4	5,4	—	—	—	—
29.VI	5,3	5,3	5,3	5,3	5,3	—	—	—	—
7.VII	5,3	5,3	5,3	5,3	5,3	—	—	—	—
20.VII	5,4	5,4	5,4	5,4	5,4	—	—	—	—
1.VIII	5,7	5,7	5,7	5,7	5,7	—	—	—	—
19.VIII	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	—	—	—	—
25.VIII	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	—	—	—	—
9.IX	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	—	—	—	—
17.IX	5,0	5,0	5,0	—	—	—	—	—	—
3.X	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	—	—	—	—
5.XI	5,4	—	5,4	—	—	—	—	—	—
30.XI	5,3	5,3	5,3	—	5,3	—	—	—	—
1949 год									
24.I	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	—	—	—	—
29.II	5,2	5,1	5,2	5,2	5,2	—	—	—	—
21.III	5,4	5,4	5,3	5,4	5,4	—	—	—	—
18.IV	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	—	—	—	—
23.V	5,0	5,0	5,0	5,0	5,1	—	—	—	—
14.VI	5,2	5,2	5,2	5,2	5,2	—	—	—	—
16.VII	5,1	5,1	5,1	5,1	5,1	—	—	—	—
17.VIII	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	—	—	—	—
11.IX	5,2	5,2	5,2	5,2	5,2	—	—	—	—
13.X	5,3	5,3	5,3	5,3	5,2	—	—	—	—
19.XI	5,3	5,3	5,3	5,3	5,3	—	—	—	—
9.XII	5,4	5,4	5,4	5,4	5,4	—	—	—	—
1953 год									
16.III	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9
8.IV	4,9	—	—	4,9	—	4,9	—	4,9	4,9
21.VII	5,1	5,1	5,1	5,1	5,1	5,1	5,1	5,1	5,1
13.VIII	4,7	4,7	4,7	—	4,7	4,8	4,8	4,8	4,8
14.IX	4,8	—	—	4,8	—	—	—	4,7	4,7
16.X	5,3	5,3	5,3	5,2	5,2	5,2	5,2	5,2	5,2
12.XI	5,1	5,1	5,1	5,1	5,1	5,1	5,1	5,1	5,1

Таблица 83

Содержание хлоридов в водах Байкала в районе пос. Лиственичного в 7 км от берега (в мг/л)

Дата	Глубина, м												
	0	5	10	25	50	100	200	300	500	750	1000	1200	1395
1957 год													
24.VII	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,
1.VIII	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	—	—
14.VIII	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	—	—
20.VIII	0,9	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
31.VIII	0,6	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
12.IX	0,6	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
24.IX	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
5.X	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
12.X	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	—
31.X	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
15.XI	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	—
27.XI	0,7	0,7	0,6	0,6	0,6	0,6	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
9.XII	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	—
1958 год													
17.II	0,7	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
28.II	0,7	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
12.III	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	—	—	—
21.III	0,8	0,6	0,6	0,6	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	—	—	—
2.IV	0,8	0,7	0,6	0,6	0,6	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	—	—	—
21.V	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	—	—	—
30.V	0,7	0,7	0,7	0,7	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
14.VI	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
21.VI	0,8	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	—
1.VII	0,8	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
11.VII	0,9	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
20.VII	0,9	0,7	0,7	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
1.VIII	0,6	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
11.VIII	0,7	0,5	0,5	0,5	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
23.VIII	0,6	0,6	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
1.IX	0,6	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
21.IX	0,6	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
23.X	0,7	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	—
13.XI	—	0,6	0,5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
28.XI	0,7	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	—
10.XII	0,6	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	—

Таблица 84

Величины бихроматной окисляемости воды Байкала (в мг/л кислорода)

Дата	Глубина, м								
	0	25	50	100	250	500	750	1000	1200
				1951 год					
25.VIII	4,78	4,90	4,75	4,66	4,58	—	—	—	—
20.IX	4,71	4,83	4,75	4,91	4,72	—	—	—	—
5.X	5,36	5,17	5,17	5,01	4,98	—	—	—	—
25.X	5,25	5,10	5,09	5,00	4,68	—	—	—	—
12.XI	4,83	4,63	4,63	4,53	4,62	—	—	—	—
8.XII	4,93	4,88	4,95	4,92	4,97	—	—	—	—
				1952 год					
4.II	4,92	4,92	4,92	4,92	4,87	—	—	—	—
27.II	4,65	4,65	4,65	4,60	4,70	4,55	—	—	—
19.III	4,85	4,53	4,53	4,44	4,39	4,36	—	—	—
2.IV	4,87	4,55	4,55	4,55	4,33	4,01	—	—	—
22.IV	6,09	5,36	5,36	4,07	3,93	—	—	—	—
15.V	4,84	4,84	4,84	4,84	4,09	3,90	—	—	—
31.V	5,14	4,83	4,17	4,17	4,17	3,98	—	—	—
18.VI	5,13	5,10	5,10	4,65	4,24	4,16	—	—	—
6.VIII	5,47	5,46	4,68	4,81	4,66	—	—	—	—
19.VIII	4,99	4,96	4,23	4,00	4,00	—	—	—	—
29.VIII	4,33	4,19	4,11	4,11	3,97	—	—	—	—
9.IX	4,21	4,21	4,07	4,07	4,00	—	—	—	—
30.IX	5,01	5,01	4,94	4,94	4,19	—	—	—	—
12.X	4,93	4,91	4,59	4,48	4,50	—	—	—	—
20.XI	4,62	4,60	4,60	4,53	4,17	—	—	—	—
12.XII	4,65	4,65	4,60	4,60	4,35	—	—	—	—
				1953 год					
20.I	4,68	4,68	4,60	4,60	4,60	—	—	—	—
12.II	4,85	4,73	4,73	4,67	4,67	4,60	—	—	—
24.II	4,80	4,80	4,70	4,64	4,64	4,56	—	—	—
16.III	4,43	4,19	4,19	4,19	4,13	4,13	4,01	4,01	3,66
8.IV	4,73	4,70	4,05	4,05	4,05	4,00	4,01	4,01	3,70
14.IV	4,95	4,90	4,80	4,50	4,30	4,12	4,00	4,00	3,80
24.IV	4,98	4,95	4,72	4,29	4,09	4,02	4,00	4,00	3,75
21.V	4,99	4,99	4,99	4,99	4,79	4,19	—	—	—
1.VI	4,62	4,44	4,17	4,17	4,14	4,03	—	—	—
20.VI	4,24	4,08	4,08	4,08	4,03	4,02	—	—	—
1.VII	4,90	4,45	4,35	4,29	4,29	4,03	—	—	—
7.VII	—	—	—	—	—	4,15	4,05	3,94	3,94
14.VII	4,79	4,76	4,76	4,73	4,54	4,37	4,06	4,06	3,82
21.VII	—	—	—	—	—	4,37	4,05	4,04	3,84
24.VII	4,57	4,46	4,46	4,31	4,13	4,13	—	—	—
4.VIII	4,92	4,81	4,81	4,75	4,24	4,24	4,24	4,24	3,80
13.VIII	4,65	4,60	3,92	3,92	3,84	3,84	3,78	3,74	3,74
22.VIII	4,54	4,54	3,95	3,90	3,90	3,85	3,85	3,75	3,50
1.IX	4,35	3,95	3,95	3,90	3,90	3,90	3,90	3,75	3,26

Таблица 84 (окончание)

Дата	Глубина, м								
	0	25	50	100	250	500	750	1000	1200
14.IX	4,39	3,72	3,72	3,72	3,72	3,72	3,72	3,72	3,30
23.IX	4,42	4,42	3,70	3,53	3,17	3,17	—	3,17	—
2.X	4,62	4,12	3,48	3,36	3,36	3,30	3,30	3,24	3,24
16.X	4,60	4,10	3,50	3,30	3,30	3,30	3,30	3,20	3,20
12.XI	4,20	3,53	3,53	3,30	3,30	3,30	3,30	3,20	3,12
17.XII	3,92	3,92	3,50	3,40	3,40	3,30	3,20	3,20	3,16
1954 год									
18.II	3,90	3,90	3,84	3,84	3,80	3,72	—	—	—
2.III	3,90	4,00	4,00	3,90	3,80	3,80	—	—	—
16.III	4,26	4,26	4,20	4,20	4,00	3,80	—	—	—
29.III	5,10	4,30	4,12	4,12	4,08	3,80	—	—	—
12.IV	7,38	4,39	4,17	4,17	4,00	3,60	—	—	—
21.IV	5,94	4,55	4,22	4,00	4,00	3,33	—	—	—
15.V	4,60	4,12	3,94	3,80	3,50	3,50	—	—	—
25.V	3,60	3,70	3,70	3,50	3,40	3,40	—	—	—
4.VI	4,20	4,00	4,00	4,00	3,40	3,40	—	—	—
14.VI	4,67	4,16	4,16	3,31	3,31	—	—	—	—
28.VI	3,44	3,44	3,44	3,18	3,18	—	—	—	—
8.VII	3,60	3,80	3,60	3,44	3,44	3,24	—	—	—
19.VII	4,85	4,62	4,62	4,36	4,28	4,28	—	—	—
28.VII	4,58	4,50	4,29	4,15	4,01	3,87	—	—	—
15.VIII	4,56	3,62	3,49	3,49	3,49	3,36	—	—	—
24.VIII	3,31	4,18	3,56	3,56	3,56	3,38	—	—	—
3.IX	4,50	4,36	4,18	3,80	3,60	3,30	—	—	—
15.IX	4,84	4,84	4,37	3,42	3,42	3,42	—	—	—
2.X	4,20	3,90	3,40	3,40	3,28	3,20	—	—	—
16.X	3,57	3,57	3,36	3,36	3,36	3,28	—	—	—
5.XI	4,70	4,61	4,61	3,57	3,57	3,30	—	—	—
1955 год									
12.I	5,60	3,80	3,90	3,90	3,86	—	—	—	—
19.II	6,48	4,75	3,70	3,70	3,77	3,60	—	—	—
3.III	4,90	4,14	3,81	3,81	3,74	3,60	—	—	—
30.III	4,74	4,00	4,00	3,70	3,60	3,60	—	—	—
12.IV	4,04	4,00	4,00	—	—	—	—	—	—
3.V	3,77	3,77	3,70	—	—	—	—	—	—
23.V	5,78	4,63	3,30	3,30	3,30	3,30	—	—	—
6.VI	3,90	3,40	3,40	3,32	3,32	3,32	—	—	—
20.VI	3,82	3,30	3,30	3,28	3,28	3,28	—	—	—
1.VII	3,88	3,53	3,40	3,40	3,40	3,40	—	—	—
10.VII	4,14	3,78	4,08	3,78	3,54	3,54	—	—	—
20.VII	4,07	4,07	4,00	3,71	3,48	3,48	—	—	—
3.VIII	4,11	4,06	3,98	3,80	3,46	3,38	—	—	—
24.VIII	4,25	3,94	3,94	3,70	3,56	3,56	—	—	—
13.IX	4,36	4,18	3,98	3,86	3,71	3,63	—	—	—
25.X	3,88	3,88	3,88	3,70	3,76	3,59	—	—	—

Таблица 85

Среднегодовые величины содержания органического вещества в водах Байкала (в мг/л беззольного сухого вещества)

Глубина, м	Годы				Среднее за все годы
	1951—1952	1953	1954	1955	
0	3,62	3,46	3,37	3,32	3,46
25	3,60	3,31	3,08	3,00	3,24
50	3,50	3,15	3,00	2,82	3,12
100	3,44	3,03	2,82	2,73	3,01
250	3,26	3,01	2,71	2,67	2,91
500	3,14	2,96	2,64	2,62	2,86
750	—	2,90	—	—	—
1000	—	2,79	—	—	—
1200	—	2,65	—	—	—

В соответствии с низким общим содержанием органического вещества перманганатная окисляемость байкальских вод также в целом невелика и обычно лежит в пределах 0,8—4,0 мг/л кислорода.

По данным Г. Ю. Верещагина (Справочник по водным ресурсам, 1936), наибольшие величины окисляемости имеют поверхностные слои воды озера. Далее, до глубины 300—400 м наблюдается некоторое падение ее величин, в слое 400—700 м окисляемость возрастает, затем снова падает и у дна опять возрастает.

Результаты наших исследований согласуются с предложенной Г. Ю. Верещагиным схемой вертикального распределения окисляемости лишь частично. Наибольшие величины окисляемости в течение всего года имеют действительно поверхностные слои воды озера до глубины примерно 25 м. На глубинах 25—50 м перманганатная окисляемость резко падает. В среднем градиент падения величин окисляемости в верхнем 50-метровом слое воды в 1948—1955 гг. равнялся 0,46 мг/л кислорода с колебаниями от 0,22 до 0,69 мг/л. Начиная с глубины 50 м и до максимальных глубин, наблюдается дальнейшее непрерывное, хотя и не столь значительное, падение величин окисляемости. Так, например, перманганатная окисляемость воды Байкала в 1953 г. в среднем была следующая:

0 м	1,59 мг/л	500 м	1,13 мг/л
25 »	1,44 »	750 »	1,00 »
50 »	1,37 »	1000 »	0,90 »
100 »	1,27 »	1200 »	0,83 »
250 »	1,21 »		

Следовательно, окисляемость воды Байкала на глубине 1200 м в 1953 г. составляла в среднем только 49% от ее величин на поверхности. Градиент падения величин окисляемости с глубиной равнялся в 1953 г. в среднем в верхнем 100-метровом слое 0,32 мг/л кислорода, на глубинах же 100—1200 м составлял всего 0,03—0,05 мг/л на каждые 100 м.

Резко возрастают величины окисляемости придонных слоев воды озера и особенно грунтовых растворов, окисляемость которых даже на малых глубинах в 3—8 раз превышает окисляемость поверхностных вод озера.

Таблица 86

Перманганатная окисляемость вод Байкала (в мг/л)

Дата	Глубина, м								
	0	25	50	100	250	500	750	1000	1200
				1948 год					
10.I	1,91	1,91	1,83	1,98	1,66	—	—	—	—
29.I	1,46	1,69	1,53	1,30	1,30	—	—	—	—
26.II	2,34	2,15	1,60	2,11	1,48	—	—	—	—
18.III	1,40	1,24	1,22	1,14	1,02	—	—	—	—
4.IV	1,94	1,70	1,70	1,65	1,65	—	—	—	—
29.V	1,62	1,57	1,62	1,53	1,57	—	—	—	—
9.VI	1,70	1,50	1,66	1,57	1,57	—	—	—	—
29.VI	1,63	1,33	1,56	1,38	1,42	—	—	—	—
7.VII	1,08	1,29	1,51	1,47	1,38	—	—	—	—
20.VII	1,54	1,50	1,46	1,34	1,34	—	—	—	—
7.VIII	1,64	1,57	1,51	1,48	1,48	—	—	—	—
19.VIII	2,09	1,52	1,52	1,46	—	—	—	—	—
25.VIII	2,45	1,91	1,86	1,84	1,85	—	—	—	—
9.IX	3,22	2,66	1,65	1,65	1,65	—	—	—	—
17.IX	3,28	2,66	1,60	—	—	—	—	—	—
3.X	3,31	2,68	1,60	1,60	1,60	—	—	—	—
5.XI	1,86	—	1,48	—	—	—	—	—	—
30.XI	1,49	0,74	0,66	—	1,12	—	—	—	—
				1949 год					
24.I	1,83	1,96	1,55	1,42	—	—	—	—	—
28.II	2,00	1,20	1,28	0,80	0,64	—	—	—	—
21.III	1,92	1,86	1,68	1,64	1,60	—	—	—	—
4.IV	2,77	2,15	2,36	1,64	1,74	—	—	—	—
11.IV	2,44	1,07	1,36	1,27	1,27	—	—	—	—
18.IV	2,34	1,66	1,95	—	—	—	—	—	—
27.IV	2,10	1,68	1,61	1,89	1,52	—	—	—	—
10.V	1,84	1,23	1,38	1,43	1,12	—	—	—	—
23.V	1,34	1,12	1,08	1,10	1,12	—	—	—	—
4.VI	0,99	0.94	1,08	1,03	1,14	—	—	—	—
14.VI	1,12	0,93	0,90	0,98	1,14	—	—	—	—
25.VI	1,28	1,44	1,12	1,12	1,12	—	—	—	—
5.VII	2,17	1,60	1,94	1,94	1,94	—	—	—	—
16.VII	1,70	0,85	0,68	0,68	0,51	—	—	—	—
27.VII	2,29	2,70	2,65	2,59	2,59	—	—	—	—
6.VIII	3,17	2,47	2,70	2,82	2,82	—	—	—	—
17.VIII	5,23	3,57	2,40	2,40	2,33	—	—	—	—
1.IX	1,60	1,23	0,98	0,74	0,74	—	—	—	—
11.IX	2,08	1,68	1,68	1,60	1,44	—	—	—	—
20.IX	2,16	1,76	1,52	1,36	1,36	—	—	—	—
2.X	1,60	1,36	1,36	1,20	1,04	—	—	—	—
13.X	2,08	1,76	1,76	1,68	1,60	—	—	—	—
29.X	1,38	1,49	1,49	1,09	—	—	—	—	—
19.XI	1,39	1,72	1,48	1,29	1,23	—	—	—	—
9.XII	1,35	0,80	0,86	—	0,55	—	—	—	—

Таблица 86 (продолжение)

Дата	Глубина, м								
	0	25	50	100	250	500	750	1000	1200
1950 год									
12.I	1,73	1,50	1,50	—	1,20	—	—	—	—
13.II	2,25	1,43	1,35	—	1,20	—	—	—	—
9.III	2,06	2,43	1,52	—	1,52	—	—	—	—
20.III	3,12	1,75	1,67	—	1,67	—	—	—	—
3.IV	2,00	1,46	1,46	—	1,33	—	—	—	—
13.IV	2,61	2,37	1,81	—	1,80	—	—	—	—
20.IV	2,00	1,87	1,87	—	1,87	—	—	—	—
2.V	2,05	1,54	1,54	—	1,54	—	—	—	—
17.V	1,33	1,08	1,02	—	1,02	—	—	—	—
28.V	1,53	1,27	1,20	—	1,20	—	—	—	—
12.VI	1,63	1,46	1,55	—	1,46	—	—	—	—
22.VI	3,10	1,73	1,80	—	1,80	—	—	—	—
4.VII	1,67	1,47	1,53	—	1,53	—	—	—	—
14.VII	2,35	1,50	1,39	—	1,39	—	—	—	—
24.VII	2,12	1,31	1,53	—	1,53	—	—	—	—
5.VIII	3,14	2,00	1,43	—	1,43	—	—	—	—
2.IX	1,23	1,23	1,23	—	1,02	—	—	—	—
21.X	1,32	1,76	1,76	—	1,34	—	—	—	—
11.XI	1,80	1,74	1,32	—	1,32	—	—	—	—
9.XII	1,95	1,95	1,64	—	1,64	—	—	—	—
1951 год									
15.I	1,25	1,20	1,20	1,20	1,10	—	—	—	—
16.II	1,46	1,40	1,24	1,19	1,19	—	—	—	—
15.III	3,82	1,53	1,27	1,27	1,27	—	—	—	—
4.IV	3,28	1,20	1,14	1,14	1,14	—	—	—	—
26.IV	2,46	1,26	1,26	1,26	1,26	—	—	—	—
23.V	2,28	1,43	1,43	1,43	1,43	—	—	—	—
5.VI	1,31	1,31	1,31	1,32	1,32	—	—	—	—
18.VI	1,43	1,30	1,30	1,30	1,30	—	—	—	—
3.VII	1,60	1,60	1,54	1,54	1,54	—	—	—	—
12.VII	2,00	1,86	1,65	1,65	1,59	—	—	—	—
23.VII	2,64	1,94	1,48	1,48	1,11	—	—	—	—
2.VIII	2,65	1,90	1,40	1,21	1,14	—	—	—	—
14.VIII	2,39	1,90	1,42	1,21	1,16	—	—	—	—
25.VIII	1,70	1,70	1,48	1,18	1,12	—	—	—	—
9.IX	1,71	1,41	1,33	1,27	1,20	—	—	—	—
20.IX	1,75	1,75	1,67	1,44	1,36	—	—	—	—
5.X	2,16	1,44	1,44	1,30	1,32	—	—	—	—
25.X	2,16	1,94	1,94	1,92	1,90	—	—	—	—
12.XI	1,92	2,01	2,01	1,92	1,92	—	—	—	—
8.XII	1,48	1,33	1,33	1,33	1,33	—	—	—	—
1952 год									
4.II	1,48	1,48	1,31	1,31	1,23	—	—	—	—
27.II	1,48	1,48	1,48	1,35	1,35	1,23	—	—	—
19.III	1,39	1,29	1,29	1,09	1,09	1,00	—	—	—
2.IV	1,38	1,38	1,38	1,38	1,09	1,00	—	—	—
22.IV	3,19	2,69	2,18	1,72	1,21	—	—	—	—

Таблица 86 (продолжение)

Дата	Глубина, м								
	0	25	50	100	250	500	750	1000	1200
1952 год									
15.V	1,84	1,70	1,70	1,53	1,22	1,23	—	—	—
31.V	2,30	2,06	1,81	1,75	1,25	1,25	—	—	—
18.VI	2,09	2,02	2,02	1,80	1,20	1,20	—	—	—
6.VIII	2,80	2,06	1,87	1,81	1,48	—	—	—	—
19.VIII	2,47	2,45	2,20	1,85	1,80	—	—	—	—
29.VIII	2,08	2,08	1,94	1,79	1,79	—	—	—	—
9.IX	2,30	2,21	1,96	1,96	1,79	—	—	—	—
30.IX	1,35	1,31	1,12	0,98	0,95	—	—	—	—
12.X	1,09	1,04	0,98	0,90	0,90	—	—	—	—
20.X	1,61	1,61	1,61	1,61	1,50	—	—	—	—
12.XII	1,48	1,48	1,35	1,35	1,00	—	—	—	—
1953 год									
20.I	1,47	1,47	1,42	1,38	1,38	—	—	—	—
12.II	1,61	1,42	1,61	1,52	1,38	1,30	—	—	—
24.II	1,56	1 56	1,42	1,42	1,40	1,34	—	—	—
16.III	1,15	0,90	0,80	0,80	0,80	0,80	0,76	—	—
8.IV	1,70	1,44	1,24	1,24	1,24	1,24	1,09	0,76	0,72
14.IV	1,85	1,50	1,40	1,15	1,10	1,05	1,05	1,89	0,84
24.IV	1,69	1,31	1,31	1,17	1,17	1,12	1,00	1,88	0,85
21.V	1,37	1,50	1,46	1,42	1,37	1,23	—	0,90	0,84
1.VI	1,03	1,03	1,07	0,99	0,94	—	—	—	—
20.VI	1,63	1,63	1,63	1,58	1,58	1,53	—	—	—
1.VII	1,74	1,68	1,68	1,57	1,52	1,35	—	—	—
7.VII	—	—	—	—	—	0,84	0,84	0,93	0,91
14.VII	1,50	1,21	1,10	1,10	1,10	1,10	—	—	—
21.VII	—	—	—	—	—	1,02	0,83	0,74	0,72
24.VII	1,85	1,66	1,57	1,47	1,47	1,28	—	—	—
4.VIII	2,20	2,07	1,95	1,07	0,89	0,89	0,82	0,79	0,76
13.VIII	1,66	1,62	1,26	1,18	1,10	1,10	1,10	0,94	0,86
22.VIII	1,88	1,65	1,30	1,20	1,20	1,08	1,05	0,95	0,84
1.IX	1,80	1,44	1,44	1,26	1,26	1,15	1,06	0,97	0,90
14.IX	1,70	1,62	1,62	1,42	1,26	1,12	1,12	0,95	0,86
23.IX	1,53	1,39	1,31	1,27	1,27	1,19	—	0,86	—
2.X	1,71	1,20	1,25	1,25	1,14	1,14	1,02	0,97	0,91
16.X	1,52	1,35	1,27	1,27	1,12	1,08	1,02	0,96	0,84
12.XI	1,19	1,19	1,19	1,19	1,09	1,09	1,02	0,92	0,80
7.XII	1,32	1,32	1,22	1,19	1,14	1,09	1,00	0,96	0,86
1954 год									
18.II	1,12	1,12	0,96	0,96	0,96	0,90	—	—	—
2.III	1,48	1,48	1,36	1,12	0,96	0,90	—	—	—
16.III	1,97	1,72	1,72	1,59	1,40	1,21	—	—	—
29.III	2,70	2,70	1,70	1,50	1,40	1,25	—	—	—
12.IV	5,86	1,70	1,70	1,53	1,40	1,20	—	—	—
21.IV	2,94	1,93	1,85	1,77	1,42	1,17	—	—	—
15.V	2,42	2,31	2,31	1,80	1,40	1,20	—	—	—
25.V	1,66	1,44	1,44	1,36	1,32	1,24	—	—	—
4.V	2,11	1,93	1,93	1,36	1,32	1,24	—	—	—

Таблица 86 (окончание)

Дата	Глубина, м								
	0	25	50	100	250	500	750	1000	1200
1954 год									
14.VI	2,00	1,83	1,83	1,67	1,60	—	—	—	—
28 VI	1,20	1,20	1,20	1,12	1,12	—	—	—	—
8.VII	1,20	1,36	1,20	1,12	1,12	1,04	—	—	—
19.VII	1,44	1,44	1,23	1,08	1,08	1,01	—	—	—
28.VII	1,52	1,42	1,29	1,14	1,14	1,06	—	—	—
15.VIII	2,09	1,29	1,22	1,22	1,22	1,22	—	—	—
24.VIII	1,86	1,70	1,22	1,22	1,18	1,14	—	—	—
3.IX	1,80	1,94	1,73	1,22	1,22	1,22	—	—	—
15.IX	1,65	1,79	1,58	1,44	1,44	1,37	—	—	—
2.X	2,37	2,15	1,70	1,63	1,63	1,42	—	—	—
16.X	2,17	2,15	1,60	1,48	1,48	1,40	—	—	—
5.XI	2,90	2,78	2,66	2,66	2,66	1,42	—	—	—
1955 год									
12.I	2,19	1,68	2,06	1,93	1,68	—	—	—	—
19.II	1,98	1,55	1,46	1,46	1,46	1,46	—	—	—
3.III	1,98	1,64	1,55	1,55	1,55	1,46	—	—	—
30.III	1,92	1,38	1,27	1,21	1,21	1,21	—	—	—
12.IV	4,80	2,16	1,68	—	—	—	—	—	—
22.IV	1,64	1,71	1,56	1,56	1,48	1,40	—	—	—
3.V	1,45	1,45	1,45	—	—	—	—	—	—
23.V	1,98	1,45	1,45	1,45	1,37	1,30	—	—	—
6.VI	2,24	2,11	2,11	2,00	1,70	1,48	—	—	—
20.VI	0,98	0,98	0,80	0,83	0,83	0,80	—	—	—
1.VII	0,69	0,97	0,69	0,69	0,64	0,64	—	—	—
10.VII	0,70	0,84	0,91	0,80	0,80	0,80	—	—	—
20.VII	0,89	0,94	0,89	0,84	0,84	0,84	—	—	—
3.VIII	1,45	1,32	1,45	1,19	1,25	1,25	—	—	—
15.VIII	0,96	0,91	0,91	0,87	0,81	0,81	—	—	—
24.VIII	1,34	0,96	0,96	0,96	0,86	0,81	—	—	—
13.IX	1,87	1,43	1,32	1,27	1,27	1,22	—	—	—
25.X	1,56	1,43	1,32	1,22	1,20	1,12	—	—	—

Сезонные изменения величин окисляемости воды открытого Байкала на всех исследованных нами глубинах (до глубины 250 м) носят одинаковый характер, с той лишь разницей, что амплитуда их уменьшается с глубиной. Наибольшая амплитуда сезонных колебаний окисляемости наблюдается в верхних слоях воды до глубины 25 м. На глубинах свыше 50 м резкие изменения величин окисляемости обычно отсутствуют. В течение января — февраля окисляемость воды Байкала несколько возрастает, после чего наблюдается некоторое ее падение в марте и новый, обычно больший рост к апрелю месяцу. С апреля и до конца мая — начала июня окисляемость заметно падает, достигая минимальных в году величин. От июня к сентябрю наблюдается новый рост величин окисляемости воды и в конце августа — середине сентября последняя достигает своего второго максимума. В последующие осенние месяцы окисляемость воды довольно быстро падает, достигая зимних величин.

Рассматривая сезонные изменения окисляемости воды открытого Байкала (табл. 86), легко видеть, что они обратны сезонным изменениям содержания биогенных элементов. Это обстоятельство дает возможность подтвердить наличие связи сезонных изменений биогенных элементов в водах Байкала с сезонными изменениями численности фитопланктона. Действительно, если понижение величин окисляемости воды, связанное с уменьшением количеств органического вещества в воде, совпадает во времени с увеличением содержания биогенных элементов, то это ясно указывает на то, что фитопланктон находится в минимуме, и в воде заканчивается деструкция органического вещества ранее отмершего планктона. Напротив, убыль биогенных элементов, совпадающая с ростом окисляемости воды, говорит о количественном росте фитопланктона. Именно такая связь между содержанием в водах соединений биогенных элементов и величинами окисляемости воды и наблюдается в Байкале. Максимум содержания биогенных элементов здесь точно совпадает с минимумом окисляемости воды, а максимальные величины окисляемости наблюдаются вслед за минимумом содержания биогенных элементов, т. е. как раз в период максимального количественного развития фитопланктона.

Предложенное объяснение наблюдаемых фактов будет правильно только в том случае, если скорость процессов минерализации органического вещества отмершего планктона при данной температуре будет достаточно велика, так что отмершие планктеры не успеют опуститься на дно водоема или в нижележащие слои воды в малоразрушенном состоянии. В последнем случае, т. е. когда скорость погружения отмерших планктеров будет достаточно велика, они будут увлекать на дно водоема или в нижние слои воды содержащиеся в них соединения биогенных элементов, обедняя ими верхние соли воды. При этом будет наблюдаться параллельное падение величин окисляемости и содержания соединений биогенных элементов в водах озера.

В Байкале как показано выше, одновременного падения величин окисляемости и содержания соединений биогенных элементов не наблюдается даже в самых верхних слоях воды.

При рассмотрении вертикального распределения окисляемости видно, что органические вещества в максимальных количествах содержатся в верхних слоях воды — до 25 м, самое большее до 50 м глубины. В слое воды 50—250 м их количество снижается, и распределение по вертикали не имеет уже резких различий. Сопоставляя данные по вертикальному распределению окисляемости с сезонными ее изменениями, в частности со значительностью сезонных изменений окисляемости в верхних слоях воды и с относительно небольшими изменениями на глубинах 50—250 м, и учитывая только что изложенные соображения по вопросу о связи между окисляемостью и содержанием биогенных элементов, мы приходим к выводу, что в Байкале основная масса органического вещества фитопланктона продуцируется и разлагается в верхних слоях воды предположительно до глубины 50—70 м.

Сезонные изменения величин окисляемости воды литоральной зоны Байкала более сложны, нежели в открытом озере. Различия в сезонных изменениях величин окисляемости воды литорали по сравнению с водами открытого озера объясняются главным образом влиянием донных макрофитов, пышно разрастающихся в литорали летом, а также стоком снеговых и дождевых вод с побережья озера, обогащенных органическими веществами. Наиболее резкое проявление своеобразных особенностей литорали должно наблюдаться и действительно наблюдается в подледный период и в периоды штилевой погоды, когда смена воды литорали водами открытого Байкала несколько затруднена.

Годовые различия величин окисляемости воды Байкала, так же как и различия в общем содержании органического вещества, невелики. Особенно примечательно постоянство среднегодовых величин перманганатной окисляемости воды всей альтернирующей зоны озера (табл. 87, рис. 19).

Таблица 87

Среднегодовые величины перманганатной окисляемости вод Байкала (в мг/л)

Глубина, м	Год								
	1938—1939	1948	1949	1950	1951	1952	1953	1954	1955
0	1,89	1,99	2,02	2,20	2,11	1,92	1,59	2,11	1,77
5	—	1,90	1,84	—	—	—	—	—	—
10	—	1,74	1,79	—	—	—	—	—	—
25	1,59	1,74	1,59	1,68	1,56	1,81	1,44	1,73	1,38
50	—	1,53	1,55	1,54	1,42	1,65	1,37	1,59	1,32
100	1,56	1,56	1,46	—	1,32	1,48	1,27	1,43	1,24
250	—	1,46	1,39	1,47	1,26	1,32	1,21	1,35	1,18
Среднее 0—250	1,69	1,69	1,66	1,72	1,56	1,64	1,37	1,64	1,38

Примечание. Каждая средняя цифра получена на 11—26 анализов.

Массовое развитие фитопланктона в отдельные годы не отражается заметно на среднегодовых величинах перманганатной окисляемости байкальских вод. Так, в 1950 г., в весенний период которого наблюдалось массовое развитие мелозиры (Вотинцев, 1952а), некоторое влияние последней на среднегодовые величины окисляемости воды было заметно лишь в поверхностных слоях. Весной 1953 г. мелозира вновь развива-

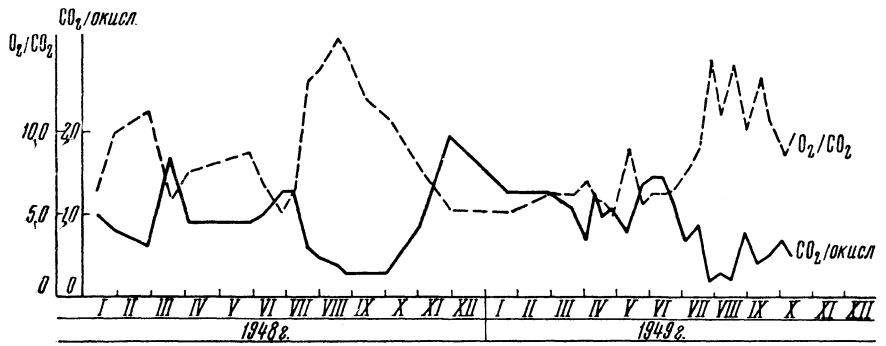


Рис. 19. Сезонные изменения отношений содержания кислорода к свободной CO_2 и содержания свободной CO_2 к окисляемости в водах Байкала (пос. Большие Коты, 1948—1949 гг.).

лась в Байкале в значительных количествах. Однако она не оказала влияния на среднегодовые величины окисляемости воды озера. Напротив, в 1953 г. наблюдалась несколько более низкая среднегодовая величина окисляемости, чем в предыдущие годы, бедные мелозирой.

Как известно, определение общего содержания органического вещества в природных водах, особенно в полевых экспедиционных условиях,

Таблица 88

Сезонные изменения $БПК_5$ в водах Байкала (в мг/л)

Дата	Глубина, м								
	0	25	50	100	250	500	750	1000	1200
				1951 год					
15.I	0,33	0,35	0,20	0,25	0,17	—	—	—	—
16.II	0,43	0,38	0,23	0,17	0,12	—	—	—	—
15.III	1,32	0,51	0,26	0,29	0,25	—	—	—	—
4.IV	1,20	0,49	0,46	0,17	0,16	—	—	—	—
26.IV	1,00	0,37	0,37	0,20	0,21	—	—	—	—
23.V	0,71	0,40	0,31	0,33	0,27	—	—	—	—
5.V	0,29	0,28	0,29	0,26	0,26	—	—	—	—
18.VI	0,39	0,36	0,34	0,34	0,26	—	—	—	—
3.VII	0,40	0,36	0,32	0,32	0,28	—	—	—	—
12.VI	0,79	0,68	0,33	0,36	0,22	—	—	—	—
23.VII	0,64	0,53	0,50	0,40	—	—	—	—	—
2.VIII	0,72	0,44	0,34	0,25	0,12	—	—	—	—
14.VIII	0,74	0,38	0,26	0,20	0,10	—	—	—	—
25.VIII	0,51	0,51	0,39	0,37	0,22	—	—	—	—
9.IX	0,50	0,39	0,32	0,24	0,14	—	—	—	—
20.IX	0,74	0,76	0,64	0,46	0,30	—	—	—	—
5.X	0,79	0,65	0,54	0,41	0,30	—	—	—	—
25.X	0,85	0,74	0,62	0,62	0,64	—	—	—	—
12.XI	0,68	0,64	0,69	0,67	0,64	—	—	—	—
8.XII	0,48	0,43	0,42	0,42	0,42	—	—	—	—
				1952 год					
4.II	0,46	0,46	0,46	0,46	0,32	—	—	—	
27.II	0,43	0,43	0,43	0,43	0,36	0,32	—	—	—
19.III	0,59	0,42	0,42	0,40	0,30	0,22	—	—	—
2.IV	0,40	0,27	0,27	0,27	0,27	0,22	—	—	—
22.IV	0,79	0,45	0,45	0,33	0,23	—	—	—	—
15.V	0,31	0,31	0,31	0,31	0,21	0,22	—	—	—
31.V	0,40	0,30	0,30	0,30	0,20	0,20	—	—	—
18.VI	0,60	0,56	0,56	0,40	0,21	0,21	—	—	—
6.VIII	0,97	0,74	0,65	0,65	0,49	—	—	—	—
19.VIII	0,90	0,85	0,60	0,40	0,40	—	—	—	—
29.VIII	0,63	0,68	0,68	0,63	0,63	—	—	—	—
9.IX	0,72	0,72	0,54	0,45	0,36	—	—	—	—
30.IX	0,65	0,59	0,65	0,35	0,24	—	—	—	—
12.X	0,63	0,60	0,60	0,35	0,30	—	—	—	—
20.XI	0,60	0,60	0,60	0,49	0,49	—	—	—	—
12.XII	0,43	0,43	0,40	0,40	0,22	—	—	—	—
				1953 год					
20.I	0,56	0,56	0,56	0,54	0,54	—	—	—	—
12.II	0,55	0,47	0,47	0,47	0,47	—	—	—	—
24.II	0,50	0,50	0,46	0,47	0,43	0,40	—	—	—
16.III	0,75	0,56	0,45	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,26
8.IV	0,52	0,29	0,29	0,29	0,26	0,26	0,21	0,21	0,19
14.IV	1,12	0,64	0,56	0,48	0,32	0,32	—	—	—
24.IV	0,59	0,42	0,25	0,21	0,21	0,23	—	—	—
21.V	0,78	0,62	0,47	0,31	0,31	0,25	—	—	—

Таблица 88 (окончание

Дата	Глубина, м								
	0	25	50	100	250	500	750	1000	1200
1.VI	0,55	0,47	0,47	0,47	0,39	0,39	—	—	—
20.VI	0,53	0,53	0,45	0,45	0,45	0,40	—	—	—
1.VII	0,77	0,77	0,65	0,65	0,53	0,53	—	—	—
7.VII	—	—	—	—	—	0,35	0,35	0,30	0,20
14.VII	0,77	0,71	0,71	0,71	0,51	0,50	—	—	—
21.VII	—	—	—	—	—	0,46	0,46	0,31	0,31
24.VII	0,82	0,68	0,68	0,68	0,55	0,55	—	—	—
4.VIII	0,50	0,50	0,50	0,40	0,35	0,35	0,35	0,32	0,28
13.VIII	0,72	0,52	0,38	0,38	0,38	0,29	0,29	0,29	0,24
1.IX	1,29	1,11	1,11	1,11	0,92	0,55	0,55	0,37	0,27
14.IX	1,04	1,04	0,69	0,69	0,52	0,52	0,52	0,38	0,30
23.IX	0,73	0,84	0,63	0,63	0,63	0,52	—	0,42	—
2.X	0,74	0,74	0,74	0,66	0,66	0,59	0,52	0,52	0,44
16.X	0,68	0,60	0,50	0,05	0,44	0,44	0,40	0,40	0,36
12.XI	0,48	0,48	0,36	0,36	0,36	0,30	0,30	0,24	0,24
				1954 год					
18.II	0,60	0,60	0,60	0,54	0,54	0,50	—	—	—
2.III	0,64	0,64	0,64	0,56	0,56	0,54	—	—	—
16.III	0,68	0,64	0,64	0,60	0,60	0,54	—	—	—
29.III	1,96	0,98	0,98	0,70	0,45	0,40	—	—	—
12.IV	2,17	0,93	0,74	0,62	0,47	0,47	—	—	—
21.IV	1,28	0,77	0,77	0,64	0,51	0,45	—	—	—
15.V	0,94	0,94	0,94	0,62	0,62	0,56	—	—	—
25.V	0,46	0,43	0,43	0,38	0,33	0,33	—	—	—
4.VI	0,60	0,50	0,50	0,40	0,35	0,35	—	—	—
14.VI	0,81	0,72	0,72	0,64	0,64	—	—	—	—
28.VI	0,66	0,59	0,59	0,59	0,50	0,50	—	—	—
8.VII	0,63	0,69	0,63	0,57	0,57	0,51	—	—	—
19.VII	0,56	0,56	0,45	0,45	0,42	0,42	—	—	—
28.VII	0,56	0,52	0,50	0,42	0,42	0,40	—	—	—
15.VIII	0,72	0,65	0,58	0,58	0,51	0,51	—	—	—
24.VIII	0,80	0,73	0,73	0,66	0,59	0,59	—	—	—
3.IX	0,93	0,93	0,62	0,47	0,47	0,39	—	—	—
15.IX	0,68	0,91	0,82	0,68	0,68	0,57	—	—	—
2.X	0,96	0,81	0,73	0,73	0,68	0,61	—	—	—
16.X	0,88	0,88	0,73	0,73	0,73	0,70	—	—	—
5.XI	1,44	1,38	1,38	1,20	1,20	0,78	—	—	—

встречает довольно значительные технические трудности, связанные с необходимостью выпаривания проб воды для анализа. Поэтому в последнее время в литературе значительное внимание было обращено на выяснение вопроса о том, в каких соотношениях находятся между собой величины перманганатной окисляемости и общее содержание органического вещества, определяемого, например, бихроматным методом. При этом удалось показать, что отношение кислорода перманганатной окисляемости к кислороду окисляемости бихроматной в природных пресных водах остается более или менее постоянным (Скопинцев, 1950). Обстоятельство это позволило ряду авторов предложить соответствующие коэффициенты для вычисления общего содержания органического вещества по величинам перманганатной окисляемости.

Весьма интересным представлялось выяснить возможность проведения аналогичных расчетов и для вод Байкала, особенно если учесть, что по перманганатной окисляемости байкальских вод в настоящее время накоплен уже обширный материал.

Произведенные нами расчеты показали, что перманганатная окисляемость поверхностных слоев воды Байкала составляла в 1951—1952 гг. в среднем 38%, в 1953 г.— 34%, в 1954 г.— 46% и в 1955 г.— 39% от величин бихроматной окисляемости, а в среднем за все годы наблюдений равнялась 39%. На глубинах 250 м это отношение заметно падало: в 1951—1952 гг. оно было равно 30%, в 1953 г. — 30%, в 1954 г. — 37%, а в 1955 г.— 33% В среднем за все годы наблюдений отношение это для вод с глубины 250 м составляло 32%. На глубине 1200 м в 1953 г. оно достигало всего 23%. Следует указать, что отношение перманганатной окисляемости к бихроматной не остается в водах Байкала постоянным, а изменяется в течение года. Так, в 1952 г. в трофогенном слое озера оно колебалось от 22 до 54%. С глубиной сезонные колебания отношения перманганатной окисляемости к окисляемости бихроматной несколько уменьшаются, но все же остаются еще достаточно большими даже на глубинах 100—250 м.

В то же время, как показали наши экспедиционные исследования, проведенные летом 1952 г. в районе западного побережья Байкала от пос. Большие Коты до северной оконечности Малого Моря, а также летом 1955 г. в районе Южного и Среднего Байкала и его крупнейших заливах — Баргузинском и Чивыркуйском, отношение кислорода перманганатной окисляемости к кислороду окисляемости бихроматной в водах Байкала в одни и те же сроки не испытывает сколько-нибудь резких колебаний. Последнее обстоятельство дает возможность предположить, что для суждения о горизонтальном распределении по озеру органического вещества вполне возможно пользоваться определениями перманганатной окисляемости, если последние относятся к одному сезону года. Принимая, что перманганатная окисляемость байкальских вод составляет в поверхностных слоях воды в среднем 40% от бихроматной окисляемости, что метод бихроматной окисляемости позволяет добиться окисления органических веществ природных пресных вод на 90% и что содержание углерода в сухом беззольном органическом веществе равно 50%, коэффициент перехода от величин перманганатной окисляемости к сухому беззольному органическому веществу получается равным для Байкала 2,08.

16. БИОХИМИЧЕСКОЕ ПОТРЕБЛЕНИЕ КИСЛОРОДА

Биохимическое потребление кислорода (БПК) является важным показателем при общей оценке природных вод, так как дает возможность судить об относительном содержании в воде нестойкого к окислению вещества и об интенсивности процессов его деструкции в водоеме. Наиболее широкое применение метод определения БПК нашел при исследовании рек, загрязненных различными хозяйственно-бытовыми и промышленными сточными водами. В последнее время определение БПК начинает прочно входить также в практику лимнологических и океанологических исследований.

В 1951—1953 гг. в районе Байкальской биостанции были поставлены систематические наблюдения над биохимическим потреблением кислорода байкальской водой за 5 суток ($БПК_5$). Определения велись в стандартных условиях при 20°. Так как воды Байкала имеют низкую температуру и постоянно содержат много кислорода (до 12—14 мг/л), то до вливания проб воды в опытные склянки их приходилось предварительно выдерживать при температуре 20°, часто взбалтывая в течение 1—2 часов.

Результаты исследований приведены в табл. 88. Данные таблицы показывают, что значение $БПК_5$ воды Байкала в течение года остается относительно низким. Максимальные величины $БПК_5$ (до 1,5 мг/л) имеет поверхностный слой воды. С глубиной величины $БПК_5$ быстро падают. Только в периоды весенней и осенней гомотермии в некоторые годы значения $БПК_5$ выравнивается во всей альтернирующей зоне до глубины 250 м. В табл. 89 приводятся среднегодовые величины $БПК_5$ в Байкале на разных глубинах за 1951—1953 гг.

Таблица 89

Вертикальное распределение $БПК_5$ в водах Байкала (в мг/л)

Год	Число анализов в горизонте	Глубина, м								
		0	25	50	100	250	500	750	1000	1200
1951	14	0,64	0,50	0,50	0,44	0,34	—	—	—	—
1952	15	0,74	0,57	0,51	0,43	0,46	0,40	—	—	—
1953	28	0,79	0,63	0,56	0,53	0,47	0,42	0,39	0,35	0,28

Если принять значения $БПК_5$ в поверхностном слое воды озера за 100%, то нетрудно подсчитать, что уже на глубинах 25—50 м оно составляет в среднем 70—80% от величин на поверхности, на глубинах 100—250 м падает до 60%, на глубинах 500—750 м — до 50—55%, на глубинах 1000 м — до 45%, а на глубине 1200 м составляет всего 35% от значения $БПК_5$ на 0 м.

Амплитуда сезонных колебаний $БПК_5$ с увеличением глубины заметно уменьшается. Все же на глубинах 100—250 м $БПК_5$ испытывает заметные сезонные колебания. Однако, в отличие от поверхностных слоев воды максимумы $БПК_5$ на глубинах 100—250 м смещены: весенний — на июнь—июль, летний — на октябрь—декабрь, т. е. совпадают по времени с весенней и осенней гомотермией и последующими за ней периодами. Исходя из этого, мы считаем, что указанные глубинные максимумы $БПК_5$ объясняются проникновением органического вещества из поверхностного слоя воды в глубь озера в результате перемешивания водных масс.

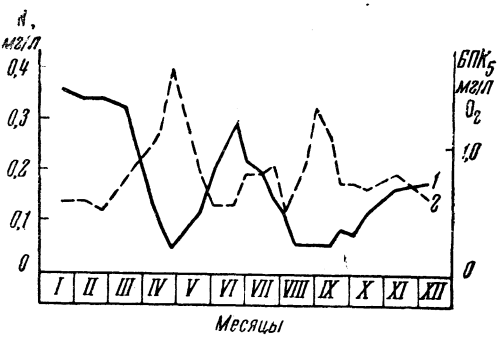


Рис. 20. Сезонные изменения содержания нитратного азота (*1*) и величин биохимического потребления кислорода (*2*) в поверхностной воде Байкала (пос. Большие Коты, 1953 г.).

Что касается глубин более 500 м, то здесь изменения величин $БПК_5$ в течение года носят незакономерный характер. Укажем также, что сезонные изменения величин $БПК_5$ в поверхностном слое воды Байкала закономерно связаны с сезонными изменениями в содержании здесь нитратного азота и фосфатного фосфора. С ростом содержания соединений указанных биогенных элементов наблюдается падение величин $БПК_5$ и наоборот (рис. 20). Факт этот лишний раз подтверждает, что сезонные изменения величин $БПК_5$ в поверхностной воде Байкала тесно связаны с динамикой байкальскго фитопланктона.

Сезонные изменения $БПК_5$ также наиболее резко и закономерно выражены в поверхностном слое воды. Минимальное значение $БПК_5$ в поверхностном слое Байкала отмечается в первую половину зимнего

подледного периода (январь — февраль). В марте — апреле происходит резкий рост $БПК_5$ до его весеннего максимума, после чего наступает почти столь же быстрое падение этих величин, и к половине июня $БПК_5$ в водах Байкала приходит вновь к зимним величинам (летний минимум). В июле $БПК_5$ в поверхностном слое воды озера начинает возрастать, достигая в августе — сентябре летнего максимума, а затем постепенно падает вплоть до зимы.

Интересно отметить, что уже на глубине 25—50 м резкого весеннего максимума $БПК_5$ не наблюдается. Нет резкого весеннего максимума на указанных глубинах и у величин перманганатной и бихроматной окисляемости воды Байкала, в то время как на поверхности весенний максимум окисляемости выражен обычно также весьма резко. Очевидно, весенний поверхностный максимум всех показателей органического вещества байкальских вод вызывается развивающимся в этот период в поверностном слое воды фитопланктоном. Отсутствие перемешивания водных масс озера, изолированных от внешней среды мощным ледяным покровом, способствует накоплению органического вещества в этот период в поверхностном слое воды.

17. ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТЬ

На основании данных, полученных автором летом 1938 и 1939 гг. и П. Ф. Бочкаревым в зимний период 1938 и 1939 гг., любезно предоставившим их для использования, можно считать, что электропроводность воды Байкала, по крайней мере до глубины 175 м, не претерпевает сколько-нибудь значительных изменений в течение года. Нет различий в величинах электропроводности и в водах литорали при сравнении ее с водами открытого озера. В табл. 90 приводятся имеющиеся в нашем распоряжении данные для характеристики электропроводности воды Байкала.

Таблица 90

Электропроводность воды Байкала при 18° ($1 \cdot 10^{-4}$ $ом^{-1}$)

Дата	Глубина, м				Урез воды, м
	0	25	100	175	0
			1938 год		
18.III	1,03	1,03	1,03	1,01	1,03
16.VII	1,01	0,99	—	0,99	0,97
1.VIII	—	1,02	0,95	1,09	—
21.IX	0,94	0,94	—	0,92	0,98
24.X	0,98	—	0,95	1,00	0,98
20.XI	1,01	1,06	1,03	1,03	1,03
			1939 год		
15.VI	1,01	1,06	1,01	1,05	—

В среднем электропроводность воды Байкала равна $1{,}00 \cdot 10^{-4} ом^{-1}$, т. е. относительно очень невелика. Электропроводность же воды, полученной из байкальского льда, по исследованиям В. М. Гортикова (1936), близка к электропроводности дистиллированой воды, что и понятно, так как минерализация льда, как показывает проведенный анализ, очень мала (табл. 91).

Таблица 91

Химический состав байкальского льда (в мг/л)

Ингредиент	Содержание	Ингредиент	Содержание	Ингредиент	Содержание
$Ca^{\cdot\cdot}$	0,71	$HCO_3^{\prime}$	4,76	P (фосфатный)	0,018
$Mg^{\cdot\cdot}$	0,13	$Cl^{\prime}$	0,10	N (нитратный)	0,011
$Na^{\cdot}$	0,20	$SO_4^{\prime\prime}$	0,80	Окисляемость	0,87
$K^{\cdot}$	—		0,77	pH	7,09

18. О СОДЕРЖАНИИ НЕКОТОРЫХ БОЛЕЕ РЕДКИХ И РАССЕЯННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Наши сведения о содержании редких и рассеянных элементов в водах Байкала еще крайне недостаточны. Если исключить железо и марганец, содержание и сезонные изменения которых изучались в районе пос. Большие Коты, то по остальным элементам известны лишь единичные цифры. Так, Л. С. Селиванов (1946) произвел определение содержания в воде Байкала брома. В пробе воды с глубины 1000 м без указания даты и места ее отбора было найдено $2{,}52 \cdot 10^{-7}\%$ брома (0,00252 мг/л) и $7 \cdot 10^{-5}\%$ хлора (0,7 мг/л). Отношение хлора к брому в воде Байкала получается, по данным Л. С. Селиванова, равным 278.

Д. П. Малюга (1945 и 1946) производил определение в водах Байкала меди, никеля и кобальта. В его распоряжении была проба воды, отобранная в 1935 г. с разных глубин. Более точное указание времени и места отбора пробы также отсутствует. В этой пробе найдено:

Cu	$6 \cdot 10^{-7}\%$ (0,006 мг/л)
Ni	$5 \cdot 10^{-7}\%$ (0,005 мг/л)
Co	$2{,}3 \cdot 10^{-7}\%$ (0,0023 мг/л)

Отношение кобальта к никелю и меди следующее:

$$Co : Ni : Cu = 1 : 2{,}2 : 2{,}6$$

Обсуждая полученные результаты, Д. П. Малюга указывает, что содержание меди, никеля и кобальта в Байкале напоминает содержание их в р. Урал и других.

В 1939 г. нами совместно с В. С. Щепетуниным были проведены определения некоторых микроэлементов в воде Байкала. Пробы воды были отобраны 28—30 июля 1939 г. в районе пос. Большие Коты с поверхности близ берега. В воде определяли железо, алюминий, хром, марганец, медь, никель и иод.

Методика отдельных определений была следующая. Железо и марганец определяли колориметрически, как было указано выше, из 0,5 л воды. Хром определяли из 10 л воды колориметрически с дифенилкарбазидом после переведения его в хромат перекисью водорода. Никель и медь определяли из 25 л воды; первый — осаждением диметилглиоксимом с последующим прокаливанием и взвешиванием в виде окиси, вторую — после отделения никеля осаждением бензоиноксимом. Иод определяли по методу Скопинцева — из 50 л воды после осторожного озоления сухого остатка в присутствии поташа.

Данные анализа воды приведены ниже:

Fe	$3{,}5 \cdot 10^{-6}$%	(0,035 мг/л)
Al	$4{,}7 \cdot 10^{-6}$%	(0,047 мг/л)
Cr	$5{,}5 \cdot 10^{-7}$%	(0,0055 мг/л)
Mn	$2{,}0 \cdot 10^{-7}$%	(0,002 мг/л)
Cu	$4{,}6 \cdot 10^{-7}$%	(0,0046 мг/л)
Ni	$3{,}0 \cdot 10^{-7}$%	(0,003 мг/л)
J	$8{,}0 \cdot 10^{-8}$%	(0,0008 мг/л)

Данные эти показыват, что содержание алюминия в водах Байкала выше, чем железа. Отношение в воде Байкала

$$Mn : Cr : Fe : Al = 1 : 2{,}75 : 17{,}5 : 23{,}5.$$

Содержание меди и никеля, по нашим данным, весьма близко к таковым, полученным Д. П. Малюга.

Содержание иода сравнительно невелико. Отношение иода к брому и хлору с использованием данных Л. С. Селиванова оказывается равным 1 : 3,1 : 875.

Сравнивая состав воды Байкала со средним химическим составом озерной воды, по данным В. И. Вернадского (1934), видим, что малая общая минерализация байкальской воды распространяется и на содержание ряда микроэлементов. Особенно резко это проявляется в содержании кремния, железа, марганца, очевидно, иода и некоторых других элементов. Впрочем, вопрос, этот в связи с почти полным отсутствием данных по содержанию микроэлементов в водах Байкала требует для своего разрешения проведения специальных исследований.

Глава VI

ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ БАЙКАЛА

Изучению донных отложений Байкала до самого последнего времени не уделялось достаточного внимания, в связи с чем сведения по химическому составу последних весьма ограничены.

Первые данные о химическом составе грунтов Байкала приводятся в работе К. К. Гильзена (1915). Автор описал тринадцать образцов донных отложений Северного Байкала, один образец из Среднего Байкала и исследовал солянокислую вытяжку (10% HCl) одной пробы ила из Северного Байкала с глубины 814 м.

В 1925—1935 гг. в печати появились работы, в которых приводились более или менее подробные сведения о распределении отдельных типов грунтов в некоторых районах Байкала (Яснитский, Бланков, Гортиков, 1927; Буров, Кожов, Талызин, Тимофеев, 1934; Федоров, 1935). К сожалению, авторы этих работ совершенно не касаются вопроса о химическом составе донных отложений. Байкала.

С 1934 г. к изучению донных отложений Байкала приступает Байкальская лимнологическая станция АН СССР, организовавшая с этой целью ряд экспедиций. Однако большая часть материалов, собранных Байкальской лимнологической станцией, остается до сих пор не только не опубликованной, но даже не обработанной. В печати, как известно, появилась лишь статья М. А. Ратеева (1952), посвященная описанию глинистых минералов в донных осадках Южного Байкала, и статьи Л. М. Князевой (1954а и б и 1957), посвященные выяснению вопросов осадкообразования в той же части озера и являющиеся в данное время единственными работами, затрагивающими эту важную проблему. Кроме того, Г. Ю. Верещагин (1947) в своей популярной книге о Байкале приводит данные по химическому составу двух проб илов Байкала. Эти два анализа являются единственными полными анализами донных отложений Байкала, опубликованными в печати (табл. 92).

Таблица 92

Химический состав илов Байкала (в % на воздушно-сухой вес)

Место отбора пробы	Глубина, м	SiO_2	TiO_2	Fe_2O_3	Al_2O_3	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	P_2O_5	C	Вода при 110°
Против Маритуя . .	492	53,55	0,75	16,31	10,45	3,38	2,43	2,00	2,66	0,09	0,21	8,00
Против Энхалука	381	54,62	0,70	15,51	6,71	1,19	1,93	2,30	2,52	0,06	2,38	11,60

Осадконакопление в Байкале, как и в других водоемах озерного типа, идет за счет абразии берегов и приноса взвешенных веществ с водами притоков. Роль абразии берегов в процессе осадконакопления в Байкале остается еще совершенно неизученной. Что же касается роли твердого стока притоков, то в первом приближении она может быть оценена количественно уже в настоящее время. Первым таким подсчетом является подсчет, произведенный Л. М. Князевой (1954). Сопоставляя величины поверхностного речного стока в Байкал, по данным Г. Ю. Верещагина (1949), и величины взвешенного материала, вносимого главнейшими притоками в Байкал, по данным Г. М. Шамова (1949), Л. М. Князева дает следующие цифры общего количества взвешенных веществ, вносимых в Байкал ежегодно его притоками (табл. 93).

Таблица 93

Годовой приток в Байкал взвешенного вещества (в т)

Река	Взвешенное вещество
Селенга	1 778 630
Верхняя Ангара	294 861
Баргузин	294 861
Все прочие протоки	249 292
Итого . . .	2 617 644

Данные эти, как нам кажется, совершенно не реальны, так как, во-первых, твердый сток р. Верхней Ангары без всяких к тому оснований приравнен к твердому стоку р. Баргузина, во-вторых, для вычисления общего количества взвешенных веществ, вносимых в Байкал малыми притоками, автор совершенно произвольно принял, что твердый сток каждого из этих притоков равен таковому р. Утулика, что заведомо неверно.

Для того чтобы все же составить себе представление о количественной стороне процессов осадконакопления в Байкале за счет твердого стока притоков этого озера, мы произвели некоторые расчеты, пользуясь данными по твердому стоку в Байкал, опубликованными в Гидрологических ежегодниках (1936—1956, табл. 94).

Твердый сток малых притоков Байкала вычислен нами также на основании данных твердого стока р. Утулика, но в отличие от Л. М. Князевой мы не оценивали сток р. Утулика как какое-то «универсальное» среднее всех притоков, а вычисляли долю этой речки в общем водном стоке всех малых притоков и отсюда уже находили общий твердый сток их в Байкал. Конечно, принятый нами метод расчетов очень груб, и, очевидно, может дать только порядок величин с точностью до 10%.

Как видно из табл. 94, общий твердый сток притоков Байкала составляет в среднем 3725 тыс. т в год. Из этого количества на долю р. Селенги приходится 80,2%, р. В. Ангары — 11,5%, р. Баргузина — 5,2% и на все малые притоки Байкала — 23,1% годового твердого стока.

Принимая удельный вес взвешенных веществ равным в среднем 2,7 и и естественную влажность илов Байкала — 62,9% (см. ниже), легко можем подсчитать, что годовой твердый сток притоков Байкала составляет 7 695 400 м^3. Если учесть, что годовой расход взвешенных веществ из Байкала через р. Ангару практически равен нулю и что площадь Байкала равна 31 500 км^2, то это количество взвешенных веществ образует слой ила толщиной 0,244 мм. Так как в действительности распределение

Таблица 94

Сток взвешенного вещества в Байкал с водами его притоков (в тыс. т/год)

Река	Год	Расход взвешенного вещества, кг/сек	Сток взвешенного вещества, тыс. т/год
Селенга	1943	160	5045,75
	1944	56,6	1784,94
	1945	80,4	2535,49
	1947	68,1	2147,60
	1948	109,0	3437,42
	1951	78,4	2472,42
	Среднее за все годы	92,1	2904,46
Верхняя Ангара	1947	8,47	267,11
	1948	8,47	267,11
	1951	22,8	719,02
	Среднее за все годы	13,25	417,85
Баргузин	1944	10,8	340,59
	1945	7,91	249,45
	1946	1,89	59,60
	1947	7,75	244,40
	1948	2,65	83,57
	1951	4,81	151,69
	Среднее за все годы	5,97	188,27
Утулик	1944	0,21	6,62
	1946	0,11	3,47
	1947	0,30	9,46
	1948	0,23	7,25
	Среднее за все годы	0,21	6,62
Все малые притоки			114,41
	Итого		3725,00

взвешенных веществ, вносимых реками, в Байкале все же в значительной мере ограничивается приустьевыми пространствами притоков, то скорость осадконакопления вблизи устьев рек будет значительно больше вычисленной нами величины.

В химическом отношении твердый сток в Байкал остается неизученным. Имеются лишь указания, что в пробе мути из р. Селенги содержалось 3,55% железа и 0,17% марганца, откуда подсчитано, что в течение года р. Селенга с твердым стоком вносит в Байкал 91 617 т железа и 4449 т марганца (Князева, 1954б).

По своему гранулометрическому составу донные отложения Байкала подразделяются на следующие типы:

1) камни;
2) галечные грунты;
3) гравийные грунты;
4) крупноалевритовые илы;
5) пески;
6) мелкоалевритовые илы;
7) слабодиатомовые мелкоалевритовые илы;
8) глинистые илы;
9) слабодиатомовые глинистые илы.

Каменистые грунты приурочены к прибрежной зоне озера, опоясывая его полосой шириной у северо-западного берега до 500 м, у юго-восточного — до 5 км. Они отсутствуют в районе дельты р. Селенги. Камни обычно перемежаются с участками гравия, гальки и песка.

Пески распространены также в прибрежной зоне до глубины около 100 м. У юго-восточного берега отмечено наличие песчаных грунтов на расстоянии 5 км от берега на глубинах до 1200 м в виде пятен среди тонкозернистых осадков. Имеются пятна песчаных грунтов в виде тонких прослоев среди глубоководных осадков также в юго-западной части Байкала.

Крупноалевритовые илы развиты в виде сравнительно узкой полосы на участках пологого подводного склона юго-восточного берега. Имеются пятна их и на участках, значительно удаленных от берега. В юго-западной части Южного Байкала крупноалевритовые илы встречаются в форме прослоев среди глубоководных осадков.

Мелкоалевритовые илы образуют узкую полосу вдоль берегов, местами прерывающуюся; встречаются они также в виде прослоев в глубоководных отложениях.

Глинистые илы встречаются вдоль юго-восточного берега, в отдельных пунктах северо-западного берега, а также в форме прослоев в толще глубоководных осадков Байкала. Наконец, вся серединная часть озера заполнена диатомовыми илами. Мощность верхнего слоя диатомовых илов не превышает обычно 10 см, однако в районе р. Селенги, особенно к северо-востоку от дельты последней, она достигает 75 см.

По своему гранулометрическому составу верхние слои донных отложений Байкала могут быть охарактеризованы следующим образом

Песчаные грунты имеют средний диаметр частиц 0,52 мм; содержание фракции меньше 0,01 мм не превышает 7,63%, а в среднем равно 3,81%. Частицы крупнее 0,1 мм составляют в среднем 80,57%. Прибрежные пески обычно средне- или крупнозернистые, глубоководные — мелкозернистые.

Крупноалевритовые илы характеризуются средним диаметром зерен 0,05—0,09 мм. Фракция меньше 0,01 мм составляет в среднем 19,10%, а крупнее 0,1 мм — 37,55%.

Мелкоалевритовые илы имеют средний размер частиц 0,011—0,049 мм, а в среднем 0,022 мм. Частицы меньше 0,01 мм составляют здесь уже 32,08%, а крупнее 0,1 мм — 5,43%.

Глинистые илы содержат в среднем 62,10% частиц диаметром меньше 0,01 мм, диаметром больше 0,1 мм в них всего 2,63%.

Диатомовые илы Байкала характеризуются средним диаметром частиц, равным 0,013 мм. Они содержат в среднем 43,54% частиц диаметром меньше 0,01 мм. Интересно, что в них всегда присутствует в том или ином количестве песчанистый и алевритовый материал. Поэтому фракция с величиной частиц крупнее 0,1 мм составляет здесь в среднем 3,33%, т. е. несколько больше, нежели в глинистых илах.

В табл. 95 приводятся некоторые данные, характеризующие гранулометрический состав донных отложений Байкала по отдельным типам грунтов.

Таблица 95

Гранулометрический состав верхнего слоя основных типов донных отложений Байкала (в %) (По Князевой, 1954)

Тип осадка	Число проб	Фракция, мм	Предел колебаний	Среднее значение
Пески	2	2	0,0 — 4,10	2,05
		2—1	27,20—31,67	29,43
		1,0—0,1	36,14—62,04	49,09
		0,1—0,05	0,0 —12,22	6,11
		0,05—0,01	6,66—12,34	9,5
		0,01	0,0 — 7,63	3,81
		*Md**	0,3 — 0,75	0,52
Крупноалевритовые илы	4	1,0	0,0—7,33	0,52
		1,0 —0,1	16,68—45,25	36,72
		0,1 —0,05	16,25—34,62	21,50
		0,05—0,01	11,75—28,77	20,89
		0,01	11,90—26,75	19,10
		Md	0,05— 0,09	0,07
Мелкоалевритовые илы	18	1,0	0,0 — 4,29	0,45
		1,0 —0,1	0,0 —17,92	4,98
		0,1 —0,05	2,16—43,5	17,40
		0,05—0,01	26,50—63,7	49,19
		0,01	10,95—49,18	32,08
		Md	0,011—0,049	0,022
Глинистые илы	10	0,1	0,75— 4,75	2,63
		0,1 —0,05	1,24— 7,25	3,91
		0,05—0,01	20.5 —43,79	31,30
		0,01	53,64—69,82	62,10
		Md		
Диатомовые илы	25	1,0	Следы—3,23	0,19
		1,0 —0,1	0,65—12,93	3,33
		0,1 —0,05	0,35—18,50	7,14
		0,05—0,01	14,18—62,55	45,68
		0,01	25,13—71,25	43,54
		Md	0,01—0,024	0,013

*Md**—средний диаметр частиц.

Минералогический состав почти всех типов донных отложений Байкала довольно однороден. Главными минералами во всех грунтах являются кварц, полевые шпаты, желтовато-зеленая слюда, рудные минералы, обыкновенная роговая обманка, минералы группы эпидота. Крупноалевритовые, мелкоалевритовые и диатомовые илы содержат, кроме того, аутигенную кремнекислоту (аутигенный опал — остатки организмов), а также некоторые другие минералы.

Химический состав грунтов Байкала по отдельным типам изучен еще очень слабо. Наиболее полные данные имеются для песчаных, крупноалевритовых и диатомовых грунтов Байкала, изучение которых производилось нами в 1948—1950 гг. Средний химический состав грунтов этих типов представлен в табл. 96.

Таблица 96

Средний химический состав некоторых типов грунтов Южного Байкала по данным исследований 1948—1950 гг. (в % на воздушно-сухой грунт)

Тип осадка	Глубина отбора пробы, м	Число проб	SiO_2	Fe_2O_3	Al_2O_3	CaO	MgO	P	Mn	N	Потеря от прокаливания
Песчаный грунт	2—14	8	78,82	3,44	11,93	1,18	0,37	0,067	0,046	0,15	1,14
Песчаный грунт с детритом	4—5	4	65,01	2,97	11,90	1,49	0,36	0,105	0,038	0,20	11,81
Крупноалевритовый ил . . .	270—300	4	73,18	4,36	12,96	1,57	0,44	0,088	0,047	0,17	4,95
Диатомовый ил	370—1390	14	68,31	6,72	13,19	1,78	0,83	0,096	0,103	0,19	3,56

В работе Л. М. Князевой (1954б) приводятся данные о содержании некоторых компонентов в донных отложениях Байкала по типам грунтов. Результаты этих исследований, сведенные в табл. 97, довольно близко сходятся с нашими.

Как показывают результаты химических исследований донных отложений Байкала, характерной особенностью состава последних является их практически полная бескарбонатность. Обусловлено это низким содержанием карбонатов кальция и магния в водах озера. По посчетам Л. М. Князевой, степень насыщения байкальской воды карбонатом кальция лежит в пределах от 30% летом до 38% зимой. Цитируемый автор берет несколько завышенные величины содержания свободной CO_2 в водах Байкала, однако существенного значения это не имеет, так как, даже принимая более низкие величины содержания свободной CO_2, мы все равно приходим к тому же выводу о недосыщении байкальских вод карбонатами щелочноземельных металлов. Наблюдаемое летом в дневные часы в водах литорали, а иногда и в поверхностных слоях воды открытого Байкала полное исчезновение свободной CO_2 и появление монокарбонатов не меняет дела, так как ограничено в своем пространственном распространении (воды литорали и поверхностные слои воды открытого озера) и во времени (дневные часы), и не оказывает, таким образом, существенного влияния на карбонатное равновесие водоема в целом. Напротив, глубинные слои воды Байкала постоянно содержат агрессивную CO_2, наличие которой не только исключает химическое осаждение карбонатов на дно, т. е. карбонатонакопление, но приводит к интенсивному растворению последних, поступающих в донные отложения озера за счет других источников, например карбонатов биогенного происхождения. Действительно, в донных отложениях Байкала не происходит накопления остатков раковин моллюсков и остракод. Больше того, все виды обитающих в Байкале моллюсков имеют очень тонкостенную раковину, к тому же часто сильно изъеденную с поверхности. Попадая после отмирания моллюсков в донные отложения Байкала раковины очень быстро теряют карбонаты. Так, например, летом 1955 г. во время драгировок для сбора бентоса нам попалась раковина байкальской бенедикции (*Benedictia baicalensis*), совершенно лишенная карбонатов.

Второй важной особенностью формирования донных отложений Байкала является интенсивно идущий здесь процесс биогенного кремнийосаждения. Ниже мы остановимся на этом важном вопросе подробно, а сейчас укажем лишь, что холодноводность Байкала стимулирует массовое развитие в нем весной и летом диатомовых водорослей. Последние

Таблица 97

Среднее содержание некоторых основных компонентов в донных отложениях Байкала по типам грунтов (в % к натуральному грунту)

Тип осадка	Ингредиент	Число проб	Предел колебаний	Среднее содержание
Пески верхнего слоя	Fe	8	1,84 —4,58	3,09
	Mn	4	0,041—0,055	0,051
	$C_{орг}$	6	0,80 —2,09	1,29
	P	4	0,046—0,114	0,057
	CO_2	6	0,00 —0,30	0,08
	Кремнекислота аутигенная	2	1,00 —5,30	?
Крупноалевритовые илы верхнего слоя	Fe	6	2,91 —4,86	3,33
	Mn	5	0,043—0,055	0,052
	$C_{орг}$	4	1,09 —1,89	1,62
	P	3	0,040—0,090	0,071
	CO_2	3	0,04 —0,22	0,12
Мелкоалевритовые илы верхнего слоя	Fe	19	3,43 —6,04	4,66
	Mn	3	0,08 —0,125	0,086
	P	15	0,043—0,135	0,077
	$C_{орг}$	20	0,00 —3,50	2,03
	Кремнекислота аутигенная	10	1,00 —9,58	3,76
	CO_2	15	0,00 —0,44	0,07
Глинистые илы верхнего слоя	Fe	17	3,61 —5,44	4,88
	P	14	0,037—0,12	0,086
	$C_{орг}$	18	0,74 —3,24	2,29
	CO_2	11	0,00 —0,34	0,09
	Кремнекислота аутигенная	12	2,00 —9,76	6,599
Диатомовые осадки верхнего слоя	Fe	57	2,15 —5,53	4,35
	Mn	4	0,008—0,125	0,101
	P	29	0,046—0,92	0,140
	$C_{орг}$	58	0,30 —3,34	2,11
	CO_2	34	0,00 —0,44	0,11
	Кремнекислота аутигенная	56	12,10—38,39	17,0

потребляют из воды озера огромные количества кремния, а после отмирания увлекают его в форме своих панцирей в донные отложения. Значительные количества кремния потребляются также байкальскими губками и в виде спикул последних также уходят в донные отложения Байкала. По данным Л. М. Князевой (1954б), диатомовые илы Байкала содержат в среднем 20,10% (среднее из 55 анализов) аутигенной кремнекислоты с колебаниями от 12,10 до 38,39%. Отдельные белые диатомовые прослои донных отложений Байкала содержат до 61,49% аутигенной

кремнекислоты. Значительный процент ее содержится в глинистых илах и мелкоалевритовых илах Байкала (табл. 98).

Таким образом, аутигенная кремнекислота концентрируется в пелагической области Байкала.

Таблица 98

Содержание аутигенной кремнекислоты в верхнем слое донных отложений Байкала (в %) (По Князевой, 1954)

Тип осадка	Число проб	Предел колебаний	Среднее значение
Слабодиатомовый глинистый ил	55	12,10—38,39	20,10
Глинистый ил . .	11	2,0 — 9,76	6,60
Мелкоалевритовый ил	10	1,00—9,58	3,76

Указывая на то, что донные диатомеи в Байкале в массе развиваются в прибрежной зоне до глубины около 100 м, а губки до глубины 500 м, максимальные же концентрации аутигенной кремнекислоты приурочены к пелагиали озера, Л. М. Князева считает, что прижизненное выделение кремнекислоты и место ее захоронения в Байкале не совпадают. Сам же перенос аутигенной кремнекислоты осуществляется течениями и волнениями, т. е. гидродинамическими факторами. Не возражая против влияния гидродинамических факторов на распределение аутигенной кремнекислоты в донных отложениях Байкала, мы тем не менее не можем согласиться с мнением Л. М. Князевой относительно определяющей роли донных диатомей и губок в формировании диатомовых илов Байкала. Гораздо более мощным источником, обогащающим донные отложения Байкала аутигенной кремнекислотой, являются планктонные диатомеи и на них прежде всего виды родов *Melosira* и *Cyclotella*.

В главе, посвященной динамике кремния в Байкале, нам еще придется вернуться к оценке роли планктонных диатомей в общем балансе кремния в Байкале, а сейчас укажем пока на то, что, например, весной в годы массового развития мелозиры биомасса ее в слое 0—50 м достигает 150 т/м^2 поверхности озера и выше, т. е. во много раз превышает биомассу донных диатомей. Если к тому же учесть, что область развития донных диатомей ограничивается узкой прибрежной полоской, а планктонные диатомеи в массе развиваются по всей акватории озера, то становится понятным, насколько различна их роль в процессе осадконакопления в Байкале. Наконец, нельзя не отметить, что в диатомовых илах Байкала основная масса аутигенной кремнекислоты представлена створками именно планктонных, а не донных диатомей. Донные же диатомеи, как и спикулы, губок, носят подчиненный характер.

Весьма интересно, что гидродинамические факторы не могут, по мнению Л. М. Князевой, полностью стереть влияние биологического фактора на распределение в донных отложениях Байкала аутигенной кремнекислоты. В районах приустьевых пространств крупных притоков Байкала, где диатомовый планктон и бентос развиваются особенно интенсивно, в донных отложениях отмечается увеличение процента аутигенной кремнекислоты. В частности, такое повышенное содержание аутигенной кремнекислоты наблюдается в районе дельты р. Селенги.

Содержание органического вещества в донных отложениях Байкала относительно невелико. Распределение его в озере подчинено общей закономерности, наблюдаемой и на других водоемах, а именно: содержа-

ние органического вещества возрастает от грубозернистых грунтов к мелкозернистым осадкам, достигая максимума в диатомовых и глинистых грунтах Байкала. Нам представляется, что накопление органического вещества в глубоководных осадках Байкала происходит за счет опускающихся туда отмерших организмов зоопланктона. Роль зообентоса в процессе накопления органического вещества в осадках Байкала носит, несомненно, подчиненный характер.

Точно такое же распределение по озеру наблюдается для железа, марганца и фосфора. Их содержание также повышается в направлении от грубодисперсных к тонкодисперсным грунтам. Так как основная масса этих компонентов (по Л. М. Князевой) до 90—95% от их общего количества, вносимого в Байкал, попадает во взвешенном мелкодисперсном состоянии, то и распределение их в донных отложениях озера подчинено влиянию гидродинамических факторов, т. е. процессам механического разноса по озеру и осаждения. Однако отсутствие в донных отложениях Байкала карбонатов, низкие величины pH и относительно повышенное содержание органического вещества в глубоководных осадках озера влекут к обширному перераспределению железа, марганца и фосфора в процессе диагенеза, в результате чего создаются скопления этих элементов как в окислительной, так и в восстановительной зонах в форме железисто-марганцовых конкреций, корочковидных наростов и пленок на зернах песка, вкраплений окислов железа и марганца в пелогене, прослоев этих же элементов на границе окислительной и восстановительной зон пелогена и т. п.

Большая роль диагенетических процессов перемещения железа, марганца и фосфора в донных отложениях Байкала и их концентрация представляет исключительный интерес при решении вопросов химического обмена между донными отложениями и водными массами озера, особенно, если учесть, что основная масса этих элементов поступает в донные отложения Байкала не путем химического осаждения, а в результате механического осаждения уже готовых продуктов, вносимых в озеро реками, вследствие чего скорее можно было бы ожидать, что их участие в диагенезе будет проявляться в очень слабой степени.

Весьма интересны проведенные Л. М. Князевой спектроскопические исследования содержания в донных отложениях Байкала микроэлементов. Спектральный анализ 131 пробы грунтов показал, что в них постоянно присутствуют в тех или иных количествах 12 элементов: бериллий, свинец, медь, никель, кобальт, цирконий, галлий, хром, ванадий, барий, стронций и титан. Кроме того, в одном образце грунта в очень незначительных количествах были встречены мышьяк, селен и молибден.

Таблица 99

Среднее содержание микроэлементов в осадках Южного Байкала (в условных единицах) (по Князевой, 1954)

Тип осадка	Число проб	Be	Pb	Cu	Co	Ni	Ga	Cr	V	Ba	Sr	Ti
Песок	11	0,5	0,6	1,8	2,2	1,1	2,8	4,6	4,9	6,0	5,7	6,0
Крупноалевритовый ил	8	1,0	0,6	3,8	3,5	2,5	1,5	4,6	5,3	5,5	4,6	6,6
Мелкоалевритовый ил	20	1,6	0,4	3,9	3,2	2,0	2,0	4,3	5,5	6,0	4,7	6,7
Глинистый ил . .	25	2,1	0,6	3,8	3,2	2,7	1,8	4,2	5,5	6,4	4,6	7,0
Глинисто-диатомовый ил	67	1,2	0,1	3,6	2,1	1,5	0,8	3,1	4,8	4,5	2,0	5,6

Среднее содержание микроэлементов в донных отложениях Южного Байкала, выраженное в условных единицах, приводится в табл. 99, заимствованной из работы Л. М. Князевой (1954б).

Как показывает табл. 99, все микроэлементы могут быть подразделены на две группы. К первой группе, характеризующейся более или менее равномерным распределением во всех типах осадков, относятся ванадий, барий, стронций, хром, титан, свинец и, очевидно, галлий; ко второй группе, характеризующейся повышенным содержанием в тонко дисперсных осадках, относятся бериллий, кобальт, никель и медь.

В Южном Байкале максимальное содержание почти всех микроэлементов приурочено к району дельты р. Селенги. Это заставляет предполагать, что все микроэлементы приносятся в составе терригенных минералов, причем в Южном Байкале главным поставщиком их является р. Селенга.

Глава VII

ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ПРИДОННЫХ СЛОЕВ ВОДЫ И ГРУНТОВЫХ РАСТВОРОВ БАЙКАЛА

По химическому составу придонных слоев воды Байкала, а также грунтовых растворов, т. е. вод, пропитывающих донные отложения озера, до последнего времени не было никаких сведений. Между тем изучение этого вопроса представляет несомненный интерес. Достаточно указать, что такие важные проблемы современной гидрохимии Байкала, как познание химического обмена между донными отложениями озера и его водными массами, или правильное решение вопросов динамики биогенных элементов в озере, требуют прежде всего всестороннего изучения химического состава придонных слоев воды и иловых вод озера. Не менее важно познание химизма иловых вод и придонных слоев воды Байкала и для решения таких вопросов, как процессы диагенеза и ряд других.

В течение 1948—1949 гг. нами были проведены исследования химического состава придонных слоев воды и грунтовых растворов Байкала в районе пос. Большие Коты. Основной задачей этих исследований являлось изучение распределения некоторых ингредиентов — главным образом соединений биогенных элементов и органического вещества (в форме окисляемости воды) в грунтовых растворах и придонных слоях воды в зависимости от типа грунтов. Одновременно проводилось изучение механического состава валового химического состава и естественной влажности грунтов. Исследованию были подвергнуты по возможности все типы грунтов, встречающиеся в районе Биостанции, а именно: крупнозернистые и мелкозернистые пески, крупноалевритовые илы, диатомовые илы и пески со значительной примесью органических остатков (растительный детрит).

Исследования, проведенные в 1948—1949 гг., позволили установить основные закономерности распределения соединений биогенных элементов и органического вещества (окисляемости) по типам грунтов.

Результаты исследований 1948 г. были кратко опубликованы нами ранее (Вотинцев, 1950).

В 1950 г. эти исследования были продолжены с целью выявления сезонных изменений химического состава придонных слоев воды и грунтовых растворов, причем для изучения было выбрано два основных типа грунтов: пески и глубоководные диатомовые илы.

Пробы грунтов для исследования отбирали либо стратометром системы Б. П. Перфильева, либо (песчаные грунты) дночерпателем Петерсена. Грунтовые растворы отделяли от грунта отсасыванием на воронке Бюхнера под слабым вакуумом. Метод этот дал возможность получить вполне прозрачные фильтраты, не требующие допол-

нительного осветления коагуляторами. Для предотвращения испарения жидкости воронку сверху накрывали куском влажной материи, на дно приемной колбы Бунзена наливали воду, а грунтовый раствор собирали в широкую пробирку, помещенную в колбу.

Пробы придонной воды на малых глубинах отбирали батометром системы Рутнера, опуская его до дна. На больших глубинах отбор проб производили с помощью того же стратометра Б. П. Перфильева. Использовав сплошные, а не разъемные трубки, длиной около 40 см и работая с облегченным грузом (5—8 кг), мы при ударе стратометра о дно получали колонку ила длиной около 20 см и столбик придонной воды также около 20 см. Вода из трубки осторожно сифонировалась и после фильтрования поступала для исследования. В ряде случаев сифонированная вода оказывалась вполне прозрачной и не требовала дополнительного фильтрования.

Поверхностная вода отбиралась батометром системы Рутнера.

Исследование грунтовых растворов и придонных слоев воды проводили тотчас после отбора проб в химической лаборатории Биостанции в пос. Большие Коты по методике, разработанной С. В. Бруевичем (Бруевич, 1944) и успешно применяемой им, а именно:

а) pH определяли микрометодом Кларка;

б) гидрокарбонаты — титрованием 1/200 *N* раствором HCl со смешанным индикатором (метилрот и метиленблау) при продувании воздухом (объем пробы 1 мл);

в) аммиачный азот — по Ваттенбергу в модификации Бруевича (объем пробы 1 мл);

г) фосфаты — по методу Дениже (объем пробы 5 мл);

д) кремнекислоту — по методу Диэнера — Ванденбулька (объем пробы 1 мл);

е) железо — колориметрически с роданидом калия (объем пробы 5 мл);

ж) окисляемость — по потреблению перманганата в нейтральной среде при 10-минутном кипячении с последующим иодометрическим определением избытка перманганата (объем пробы 1 мл);

з) нитратный азот — по методу Гранвальда и Ляжу в описании Г. Ю. Верещагина (объем пробы 10 мл).

Результаты анализов грунтовых растворов и придонных слоев воды, отобранных в 1948—1949 гг., представлены в табл. 100. Для сравнения здесь же приведены результаты анализов поверхностных проб воды, отобранных одновременно с пробами придонной воды и грунтовых растворов. Полученные результаты позволяют охарактеризовать химический состав придонных слоев воды Байкала на разных его глубинах и грунтовых растворов различных типов грунтов следующим образом.

Содержание соединений биогенных элементов в грунтовых растворах Байкала резко повышено по сравнению с их содержанием в придонных и тем более в поверхностных слоях воды озера.

Грунтовые растворы, а также придонные слои воды на больших глубинах и в местах скоплений детрита содержат аммонийный азот, отсутствующий в вышележащих слоях воды озера. Содержание аммонийного азота в грунтовых растворах достигает до 2,76 мг/л, а в придонных слоях воды — до 1,94 мг/л.

Содержание нитратного азота в придонных слоях воды и грунтовых растворах Байкала лишь немного выше его содержания в вышележащих слоях воды. Относительно небольшое повышение содержания нитратного азота в грунтовых растворах по сравнению с придонными слоями воды и резкое различие в содержании аммонийного азота в этих водах говорит о том, что процесс нитрификации азотсодержащих соединений в основном завершается в толще донных отложений Байкала. Полностью процесс этот, очевидно, заканчивается в придонных слоях воды, вследствие чего содержание аммонийного азота в вышележащих слоях крайне незначительно и не поддается аналитическому обнаружению.

Окисляемость грунтовых растворов в 4—6 раз превышает величины окисляемости поверхностной воды Байкала. В придонных слоях воды величины окисляемости лишь немного превышают таковые поверхностной воды.

Содержание фосфатного фосфора, кремния и железа в грунтовых растворах резко повышено. В придонных слоях воды повышение содер-

Таблица 100

Химический состав грунтовых растворов придонной и поверхностной воды Байкала в районе пос. Большие Коты (в мг/л)

Дата	Место отбора пробы	Тип пробы	Глубина	Естественная влажность грунта, %	pH	HCO_3'	N (аммиачный)	N (нитратный)	P (фосфатный)	Si	Fe	Окисляемость
				Крупнозернистые прибрежные пески								
11.VII 1948 г.	Против Биостанции, 20 м от берега	Пов. воды	0 м	—	7,69	72,22	0,000	0,070	0,157	1,681	—	1,72
		Придон. вода	3 м	—	7,69	69,78	0,000	0,068	0,137	1.681	—	1,47
		Грунт. р-р	Пов. слой	—	7,48	73,20	0,155	0,061	0,196	2,092	—	10,90
11.VII 1948 г.	Там же, 10 м от берега (глубина 2 м)	То же	Пов. слой	—	7,48	72,80	0,155	0,061	0,183	2,354	—	12,87
17.IX 1948 г.	Там же, 10 м от берега	Пов. вода	0 м	—	8,00	65,88	0,000	0,018	0,029	0,411	0,060	3,60
		Придон. вода	3 м	—	7,94	65,88	0,000	0,018	0,029	0,411	0,060	3,71
		Грунт. р-р	Пов. слой	19,14	7,60	73,20	0,155	—	0,046	3,176	0,090	8,90
29.III 1949 г.	Там же, 10 м от берега (глубина 2 м)	Пов. вода	0 м	—	7,48	73,20	0,000	0,031	0,016	0,600	—	2,32
		Грунт. р-р	Пов. слой	—	7,09	77,80	0,074	0,093	0,072	4,989	0,800	4,00
26.V 1949 г.	Там же, 10 м от берега	Пов. вода	0 м	—	7,60	67,07	0,000	0,054	0,016	1,345	—	3,82
		Придон. вода	2 м	—	7,36	67,07	0,000	0,059	0,032	1,345	—	3,91
19.VII 1949 г.	» » 20 м от берега	Пов. вода	0 м	—	7,94	65,85	0,000	0,016	0,027	0,718	—	1,93
		Придон. вода	2 м	—	7,88	65,85	0,000	0,016	0,032	0,897	0,040	2,14
		Грунт р-р	Пов. слой	19,46	7,60	70,92	0,144	0,034	0,106	1,485	0,075	11,96
4.X 1949 г.	» » 20 м от берега	Пов. вода	0 м	—	7,94	67,32	0,000	0,007	0,003	1,158	—	2,34
		Придон. вода	2 м	—	7,78	67,32	0,000	0,009	0,010	1,158	—	2,36
		Грунт. р-р	Пов. слой	19,11	7,60	67,32	0,058	0,023	0,029	1,929	—	9,14
		То же	То же	19,74	7,60	67,32	0,058	0,023	0,029	1,947	—	9,38
				Крупнозернистые прибрежные пески с детритом								
6.VIII 1948 г.	Против р. Большие Коты, 15 м от берега	Пов. вода	0 м	—	8,20	68,32	0,000	0,016	0,003	0,411	—	2,18
		Придон. вода	3 м	—	7,78	68,81	0,006	0,016	0,006	0,411	—	2,49
		Грунт. р-р	Пов. слой	42—43	7,36	73,92	0,310	0,070	0,653	4,366	—	17,64
22.VIII 1948 г.	Против р. Жилище, 10 м от берега	Пов. вода	0 м	—	8,20	68,32	0,000	0,016	0,006	0,411	—	2,09
		Придон. вода	4 м	—	7,78	68,81	0,008	0,016	0,010	0,411	—	2,35
		Грунт. р-р	Пов. слой	18,33	7,60	73,20	0,349	0,068	0,392	4,352	—	15,71

Таблица 100 (продолжение)

Дата	Место отбора пробы	Тип пробы	Глубина	Естественная влажность грунта, %	pH	HCO_3'	N (аммиачный)	N (нитратный)	P (фосфатный)	Si	Fe	Окисляемость
				Мелкозернистые пески								
22.VIII 1948 г.	Против Биостанции, 50 м от берега	Пов. вода	0 м	—	7,94	68,81	0,000	0,020	0,016	0,411	0,033	2,09
		Придон. вода	13,5 м	—	7,80	68,81	0,000	0,016	0,020	0,411	—	1,65
		Грунт. р-р	Пов. слой	21,08	7,60	73,80	0,116	—	0,039	1,494	—	6,07
				Мелкозернистые пески с детритом								
22.VIII 1948 г.	Против р. Большие Коты, 30 м от берега	Пов. вода	0 м	—	8,08	67,74	0,000	0,007	0,013	0,374	0,032	2,45
		Придон. вода	6 м		7,69	67,74	0,012	0,011	0,016	0,374	—	2,60
		Грунт. р-р	0,8 см	26,23	7,60	74,46	0,334	0,086	0,222	4,389	—	18,17
				Крупноалевритовые илы								
10.VII 1948 г.	Против Биостанции, 500 м от берега	Пов. вода	0 м	—	7,48	68,80	—	0,065	0,137	1,793	0,030	—
		Вода с глубины 250 м	250 м	—	7,36	68,80	—	0,084	0,157	1,793	0,031	—
10.VII 1948 г.	Против Биостанции, 500 м от берега (глубина 300 м)	Грунт. р-р	Пов. слой	42,43	7,36	72,80	—	0,084	0,300	2,354	0,100	14,42
		То же	То же	41,81	7,36	73,20	—	0,088	0,353	2,354	0,094	16,90
22.VIII 1948 г.	Там же, 100 м от берега	Пов. вода	0 м	—	8,08	67,74	0,000	0,007	0,013	0,374	0,032	2,45
		Придон. вода	40 м	—	7,69	67,74	0,066	0,036	0,029	0,374	0,036	2,78
		Грунт. р-р	0—9 см	46,87	7,86	73,08	0,178	0,061	0,137	4,389	0,097	17,86
29.III 1949 г.	» » 500 м от берега	Пов. вода	0 м	—	7,60	63,29	0,000	0,023	0,016	0,644	—	1,78
		Придон. вода	220 м	—	6,90	72,36	0,008	0,057	0,082	1,681	0,200	6,00
		Грунт. р-р	0—6 см	44,91	7,00	72,68	0,098	—	0,098	6,164	1,800	10,40
4.X 1949 г.	» » 200 м от берега	Пов. вода	0 м	—	7,78	68,29	0,000	0,007	0,008	1,158	—	1,34
		Придон. вода	70 м	—	7,48	68,29	1,94	0,068	0,082	1,214	—	7,29
		Грунт. р-р	0—12 см	43,12	7,36	73,17	1,552	0,081	0,327	4,357	—	14,58

Таблица 100 (окончание)

Дата	Место отбора пробы	Тип пробы	Глубина	Естественная влажность грунта, %	pH	HCO_3'	N (аммиачный)	N (нитратный)	P (фосфатный)	Si	Fe	Окисляемость
			Глубоководные диатомовые илы									
25.VIII 1948 г.	Против Биостанции, 700—800 м от берега	Пов. вода	0 м	—	8,08	67,74	0,000	0,007	0,013	0,374	0,032	2,45
		Придон. вода	370 м	—	7,36	67,74	0,008	0,070	0,137	1,382	0,106	3,18
		Грунт. р-р	0—10 см	53,15	7,36	73,20	0,194	0,104	0,268	11,208	0,140	12,50
			10—17 см	51,85	7,60	73,20	0,000	0,111	0,310	11,355	0,170	6,25
25.VIII 1948 г.	Там же, 700—800 м от берега	Придон. вода	430 см	—	7,36	67,74	0,008	0,070	0,129	1,332	0,098	4,11
		Грунт р-р	0—10 см	62,78	7,22	73,20	0,217	0,099	0,271	10,676	0,120	14,46
			10—23 см	50,29	7,48	73,20	0,000	0,152	0,320	12,095	0,180	7,30
29.III 1949 г.	Там же, 800 м от берега	Пов. вода	0 м	—	7,60	68,29	0,000	0,023	0,016	0,644	—	1,78
		Придон. вода	400 м	—	6,90	72,36	0,008	0,054	0,065	2,055	0,200	6,00
		Грунт. р-р	0—10 см	61,80	7,00	72,68	0,466	0,059	0,168	12,702	2,200	10,00
			10—21 см	50,18	7,09	77,56	0,008	0,068	0,229	16,252	3,200	5,60
29.III 1949 г.	» » 800 м от берега	Придон. вода	400 м	—	6,90	72,36	0,008	—	0,065	2,055	—	6,90
		Грунт. р-р	0—10 см	62—11	7,00	72,68	0,466	—	0,163	12,889	—	10,12
			10—19 см	52,12	7,09	77,56	0,012	—	0,229	16,252	—	5,73
26.V 1949 г.	» » 800 м от берега	Пов. вода	0 м	—	7,48	67,07	0,000	0,054	0,016	1,345	—	1,30
		Придон. вода	390 м	—	7,00	67,07	0,000	0,054	0,062	1,494	—	1,86
		Грунт. р-р	0—10 см	62,74	7,00	71,73	0,466	0,059	0,140	12,609	—	10,03
			10—21 см	51,93	6,90	77,56	0,004	0,063	0,229	16,433	—	5,40
19.VII 1949 г.	» » 800 м от берега	Пов. вода	0 м	—	7,88	65,85	0,000	0,016	0,016	0,897	0,028	1,83
		Придон .вода	370 м	—	7,36	65,85	0,233	0,066	0,131	1,775	0,140	13,60
		Грунт. р-р	0—10 см	62,46	7,30	71,10	0,388	0,097	0,163	12,889	2,200	15,26
			10—18 см	50,94	7,09	71,10	0,008	0,106	0,294	16,625	—	6,40
4.X 1949 г.	» » 800 м от берега	Пов. вода	0 м	—	7,78	67,32	0,000	0,070	0,003	1,158	—	1,60
		Придон. вода	370 м	—	7,36	68,29	1,94	0,070	0,098	1,214	—	16,95
		Грунт. р-р	0—10 см	61,81	7,30	73,17	2,76	0,095	0,245	12,329	—	26,68
			10—23 см	51,20	7,09	73,73	0,000	0,108	0,327	13,963	—	8,14

жания этих ингредиентов заметно только на больших глубинах, что, очевидно, связано с хорошей перемешиваемостью всех слоев воды в прибрежной области Байкала.

Изменения содержания биогенных элементов в грунтовых растворах в зависимости от характера грунтов Байкала подчинены той же закономерности, что и в Каспийском море (Бруевич и Виноградова, 1940, 1946, 1947а и б): содержание соединений биогенных элементов возрастает от грубозернистых грунтов к илам. Действительно, наиболее бедны соединениями биогенных элементов прибрежные крупнозернистые пески. Крупноалевритовые илы с глубин 70—200 м уже значительно богаче соединениями этих элементов. Наиболее же богаты ими глубоководные диатомовые илы Байкала. Точно такое же распределение биогенных элементов, как было видно выше, наблюдается и в самих грунтах. Особенно резко эта закономерность проявляется в распределении кремния, содержание которого возрастает в грунтовых растворах глубоководных диатомовых илов по сравнению с содержанием в песках в 5—6 раз.

Объяснить рост содержания соединений биогенных элементов от песков к илам можно, как нам кажется, уменьшением промываемости грунтов в указанном направлении. Наиболее хорошо промываются, конечно, прибрежные пески, меньше всего — илы, залегающие на больших глубинах озера. Исключение составляют только пески со значительной примесью детрита, грунтовые растворы которых содержат повышенные количества аммонийного азота и фосфатов, по сравнению даже с илами. Несомненно, отложения растительного детрита в процессе деструкции и обогащают грунтовые растворы этих грунтов биогенными элементами.

Мы не проводили специальных исследований над вертикальным распределением отдельных ингредиентов в грунтовых растворах Байкала. Из предварительных данных, имеющихся у нас, можно заключить, что в грунтовых растворах глубоководных илов намечается небольшой рост нитратного азота, фосфатного фосфора и кремния, резкое падение величин окисляемости и исчезновение аммонийного азота с глубиной.

Для изучения сезонных изменений химического состава грунтовых растворов пробы отбирали только из верхнего 10-сантиметрового слоя донных отложений Байкала. Результаты этих исследований сведены в табл. 101.

Как показывает табл. 101, химический состав грунтовых растворов, пропитывающих прибрежные пески, расположенные на глубинах около 3 м, подвержен значительным сезонным изменениям. В зимний период наблюдается обогащение грунтовых растворов песчаных грунтов соединениями биогенных элементов. Весной содержание соединений биогенных элементов в указанном типе грунтовых растворов резко падает. Возможно, что в 1950 г. это падение было особенно ясно выражено в связи с массовым весенним развитием в Байкале диатомеи мелозиры, поглотившей из поверхностных слоев воды озера почти весь нитратный азот и фосфатный фосфор. В летне-осенний период вновь наблюдается постепенный рост содержания биогенных элементов в грунтовых растворах песчаных грунтов, и к зиме они достигают своего максимума.

Значительные сезонные изменения в содержании соединений биогенных элементов в грунтовых растворах песчаных грунтов объясняются, несомненно, их хорошей промываемостью под воздействием волнового перемешивания водных масс Байкала. Область волнового перемешивания вод озера, по Верещагину, как известно, простирается до глубины примерно 8—10 м. Отсюда ясно, что глубины около 3 м, с которых бра-

Таблица 101

Химический состав поверхностных вод и грунтовых растворов песчаных грунтов и глубоководных илов Байкала в 1950 г. (в мг/л)

Ингредиент	Характер пробы	12.I	20.II	22.III	15.IV	18.VI	25.VII	21.X	Среднее за год
				Песчаные грунты					
pH	Пов. вода	7,48	7,60	7,69	7,94	8,08	7,78	7,60	7,60
	Грунт. р-р	7,48	7,48	7,36	7,48	7,60	7,60	7,60	7,51
HCO_3'	Пов. вода	68,29	68,29	69,30	68,86	68,36	67,81	68,21	68,45
	Грунт р-р	68,29	68,29	69,80	70,18	68,70	68,60	67,32	68,74
N (аммиачный)	Пов. вода	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Грунт. р-р	0,194	0,155	0,093	0,078	0,186	0,116	0,093	0,131
N (нитратный)	Пов. вода	0,047	0,057	0,023	0,004	0,045	0,050	0,050	0,039
	Грунт. р-р	0,036	0,057	0,054	0,025	0,048	0,067	0,047	0,048
P (фосфатный)	Пов. вода	0,033	0,039	0,023	0,010	0,016	0,023	0,019	0,023
	Грунт. р-р	0,101	0,114	0,114	0,033	0,019	0,034	0,022	0,062
Si	Пов. вода	1,16	1,16	0,78	0,75	0,49	0,86	0,93	0,88
	Грунт. р-р	4,86	4,83	5,05	4,50	1,34	1,03	1,95	3,37
Fe	Пов. вода	0,020	0,020	0,020	—	0,010	—	0,020	0,018
	Грунт. р-р	0,020	0,020	0,020	—	0,000	0,010	—	0,014
Окисляемость	Пов. вода	1,73	2,25	3,12	2,61	1,11	2,12	1,32	2,04
	Грунт. р-р	4,83	4,96	5,14	5,10	7,13	6,18	6,12	5,64
				Глубоководные илы					
pH	Придон. вода	7,21	7,17	7,17	7,17	7,23	7,26	7,26	7,21
	Грунт. р-р	7,09	7,09	7,09	7,00	7,00	7,02	7,00	7,04
HCO_3'	Придон. вода	71,81	71,81	71,84	71,80	70,91	70,80	70,29	71,32
	Грунт. р-р	73,64	73,64	73,72	73,17	73,73	73,04	73,80	73,53
N (аммиачный)	Придон. вода	0,155	0,163	0,148	0,148	1,155	1,163	0,268	0,157
	Грунт. р-р	0,576	0,575	0,554	0,560	0,548	0,553	0,685	0,563
N (нитратный)	Придон. вода	0,054	0,059	0,059	0,059	0,054	0,059	0,058	0,057
	Грунт. р-р	0,079	0,079	0,079	0,075	0,077	0,077	0,086	0,077
P (фосфатный)	Придон. вода	0,066	0,066	0,070	0,063	0,061	0,067	0,083	0,065
	Грунт. р-р	0,190	0,195	0,204	0,206	0,201	0,203	0,297	0,209
Si	Придон. вода	3,36	3,36	3,44	3,47	3,68	3,68	3,64	3,52
	Грунт. р-р	14,94	15,22	15,46	15,65	15,71	15,73	15,36	15,14
Fe	Придон. вода	0,056	0,060	0,060	—	0,046	0,046	—	0,054
	Грунт. р-р	0,120	0,126	0,130	—	0,126	0,126	—	0,125
Окисляемость	Придон. вода	5,90	6,10	8,00	7,36	6,28	6,43	9,90	6,85
	Грунт. р-р	19,76	19,00	19,02	12,11	19,03	20,48	28,68	18,73

лись пески для исследований, лежат в сфере наиболее интенсивного действия волнового перемешивания.

Химический состав грунтовых растворов, пропитывающих верхние слои глубоководных диатомовых илов Байкала, лежащих на глубинах около 400—450 м, не испытывает в течение года столь существенных изменений. Лишь в осенний период, в октябре, наблюдается довольно резкое изменение содержания соединений биогенных элементов в грунтовых растворах, пропитывающих глубоководные илы озера. Вероятнее всего, в этот период происходит разложение остатков планктонных организмов, опускающихся сюда после отмирания. В остальное время года

наблюдаются лишь небольшие и незакономерные изменения химического состава грунтовых растворов глубоководных илов. Не наблюдается правильных сезонных изменений и в химическом составе придонных слоев воды на тех же глубинах. Видимо, процессы химического обмена между донными отложениями и придонными слоями воды, а равно и между придонными и вышележащими слоями воды идут в Байкале в течение года примерно с постоянными скоростями.

Сравнивая отношения суммы минеральных соединений азота к фосфатному фосфору в поверхностных слоях воды Байкала и у дна, видим значительный рост этих величин. Так, отношение это, выраженное в среднегодовых величинах, в поверхностном слое воды составляет в среднем 1,7, в придонном же слое на глубине около 400 м оно поднимается до 3,4. В грунтовых растворах песчаных грунтов отношение суммы минеральных соединений азота к фосфатному фосфору равняется в среднем 2,88, а в грунтовых растворах верхнего слоя глубоководных илов поднимается до 3,15. Факты эти говорят о том, что как грунтовые растворы, так и придонные слои воды озера на больших глубинах относительно богаче соединениями азота, нежели поверхностные воды озера.

Наконец, необходимо указать на положительную корреляцию между характером грунтов и их естественной влажностью. Естественная влажность определялась нами путем высушивания образцов свежевынутого грунта при температуре 110°. Как и следовало ожидать, естественная влажность грунтов закономерно повышается от песков к илам. В среднем естественная влажность отдельных типов грунтов, выраженная в % к весу натурального грунта, следующая:

Крупнозернистые и мелкозернистые пески	19,5%
Крупноалевритовые илы	43,7%
Глубоководные илы, верхний слой 10 см	62,9%
» » нижний слой 10—20 см . .	51,1%

Из приведенных данных видно, что естественная влажность глубоководных илов Байкала понижается от поверхности грунта вглубь.

Грунты, богатые детритом, имеют весьма варьирующую естественную влажность, что обусловлено как различием в характере детрита, так и различным содержанием последнего в грунте.

Глава VIII

ОБЩАЯ ГИДРОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ОТКРЫТОГО БАЙКАЛА

Химический состав воды и гидрохимический режим Байкала не одинаковы во всех частях этого водоема. Уже беглый просмотр имеющихся литературных данных показывает, что воды глубоко вдающихся заливов и губ Байкала, а также воды соров значительно отличаются по своему химизму от вод открытого озера. Подобные же различия наблюдаются в приустьевых пространствах крупных притоков Байкала, а также в некоторых других участках озера, находящихся под воздействием местных специфических физико-географических и гидрологических условий, как, например, в южной части Малого Моря. Поэтому нам казалось наиболее правильным дать общую гидрохимическую характеристику вод открытого Байкала, а затем уже кратко остановиться на химизме вод обособленных районов озера.

Химический состав воды открытого Байкала, как показывают многочисленные литературные данные и результаты наших исследований, остается на всем протяжении этого водоема более или менее идентичным. Некоторые различия наблюдаются лишь в прибрежной зоне озера, на что уже указывалось выше. Для более наглядной иллюстрации однородности химизма вод открытого Байкала в табл. 102 приводятся некоторые данные по главнейшим районам озера, полученные нами в 1955 г.

Воды Байкала относятся к слабоминерализованным мягким гидрокарбонатно-кальциевым водам первого типа по классификации О. А. Алекина (1948).

В среднем на долю гидрокарбонатов кальция и магния приходится около 84% от общей суммы эквивалентов ионов. Содержание хлоридов и сульфатов составляет около 7%, а натрия и калия — 9% от общей суммы эквивалентов ионов.

Сезонные изменения основных компонентов ионного состава воды Байкала незначительны и незакономерны. В целом можно считать, что содержание таких компонентов, как гидрокарбонаты, хлориды, сульфаты, кальций, магний, натрий и калий, в водах Байкала в течение всего года остается практически постоянным. Стабильность эта, по нашему мнению, объясняется двумя причинами:

1) сильным регулирующим воздействием, которое оказывают водные массы озера на химизм поступающих в него вод притоков и атмосферных осадков;

2) близостью среднего ионного состава питающих озеро вод с составом воды самого озера.

Таблица 102

Ионный состав воды открытого Байкала и некоторых его соров и заливов (в мг/л) (по материалам экспедиции 1955 г.)

Место отбора поверхностной пробы	Дата	HCO_3'	SO_4''	Cl'	$Ca^{\cdot\cdot}$	$Mg^{\cdot\cdot}$	$Na^{\cdot}+K^{\cdot}$
Против пос. Большие Коты, 1,5 км от берега	24.VI	68,0	5,7	1,2	16,1	3,4	4,6
Против с. Бугульдейка, 12 км от берега	2.VI	67,7	5,5	1,0	15,9	3,0	5,3
Разрез Хобой—Баргузинский залив, 12 км от мыса Хобой	11.VI	68,3	5,6	1,1	16,4	3,2	4,6
Против Ольхонских Ворот, 8 км от берега	5.VI	68,3	5,5	1,0	16,3	3,0	5,0
Середина между Большим и Малым Ушканьими островами	20.VI	66,1	5,4	1,1	16,0	3,1	4,4
Разрез Ушканьи о-ва—Покойники, середина озера .	21.VI	67,8	5,6	1,0	15,8	3,8	4,9
Против губы Анга, 1,5 км от берега	26.VI	68,3	5,7	1,0	16,3	3,1	4,9
Малое Море, в проливе Ольхонские Ворота	6.VI	68,1	5,6	1,2	16,1	3,0	5,4
Там же, у о-ва Урунгой .	7.VI	67,6	5,6	1,2	16,5	2,9	4,9
Там же, разрез Будун—Арул, середина озера . .	10.VI	68,1	5,5	1,2	15,9	3,1	5,4
Баргузинский залив, центральная часть, 5 км от берега	11.VI	66,8	5,3	1,3	17,1	3,1	3,4
Там же, внутренняя часть	13.VI	63,7	5,8	1,3	19,1	2,9	0,3
Чивыркуйский залив, внешняя часть, середина створа	18.VI	67,1	5,7	1,1	17,0	3,0	3,9
Там же, внутренняя часть	17.VI	68,2	5,6	1,2	16,8	3,0	4,6
Малое Море, бухта Мухор	7.VI	62,7	6,9	0,9	13,2	1,3	10,3
Залив Провал	4.VI	116,8	—	10,8	22,1	1,3	—
Губа Анга, внутренняя часть	26.VI	100,1	—	0,8	19,0	1,2	—

Первый из указанных факторов не требует особых доказательств. Действительно, общий годовой водный сток в Байкал, по данным Н. И. Соколова (1952), составляет 56,54 км^3, из которых на долю поверхностного речного стока приходится 47,16 м^3 и на долю атмосферных осадков, выпадающих на поверхность озера,— 9,38 км^3. Общий объем водных масс Байкала исчисляется в 23 000 км^3. Отсюда, общий годовой сток в озеро составляет лишь около 0,2% от объема его вод. Понятно, что столь малый сток может оказывать заметное влияние на химизм воды озера только в приустьевых участках рек — притоков Байкала. Лишь крупные притоки озера, такие, как Селенга и Верхняя Ангара, могут распространять свое влияние на большие акватории озера.

Для решения вопроса о том, насколько близки по своему ионному составу воды Байкала к питающим его водам, были проведены соответствующие расчеты, главнейшие результаты которых представлены в табл. 103.

Средний химический состав воды Байкала вычислен нами как среднее арифметическое из 378 анализов, относящихся к разным районам

Таблица 103

Средний ионный состав воды Байкала и питающих его вод (в мг/л)

	HCO_3'	SO_4''	Cl'	$Ca^{\cdot\cdot}$	$Mg^{\cdot\cdot}$	$Na^{\cdot}$	$K^{\cdot}$	Число анализов
Оз. Байкал	66,5	5,2	0,6 (1,4)*	15,2	3,1	3,8	2,0	378
Притоки Байкала . . .	79,3	6,7	(1,8)*	20,0	4,3	5,1**	—	518
Атмосферные осадки . .	5,8	0,9	0,3	1,9	0,1	0,10**	—	21
Конденсирующиеся пары	4,2	0,4	0,2	1,1	0,05	0,05**	—	2
Средний состав вод, питающих Байкал	66,2	5,6	(1,5)	16,7	3,6	4,2**	—	—

* В скобках дано содержание хлоридов, полученное методом Мора.

** Сумма щелочных металлов, выраженная в милиграммах на литр натрия.

озера, к разным его глубинам и разным сезонам года. Мы не могли вычислить состав воды Байкала на основе средневзвешенных величин содержания отдельных ионов за отсутствием необходимых аналитических данных по каждой котловине озера. Средний химический состав воды притоков Байкала вычислен на основании величин их химического и водного стока (см. гл. III). Данные о среднем химическом составе вод атмосферных осадков подробно изложены в главе IV.

Состав конденсирующихся на поверхности озера паров воды вычислен в известной степени приближенно по двум пробам изморози, отобранным с ледовой поверхности Байкала вдали от берега, т. е. вне влияния населенных пунктов. Наконец, средний химический состав всех питающих Байкал вод вычислялся с учетом дебета каждого источника с поправкой на испарение с поверхности озера.

Легко видеть, что средний ионный состав воды притоков Байкала действительно близок к составу байкальской воды, отличаясь лишь несколько более высокими концентрациями отдельных компонентов. Средний же ионный состав всех питающих Байкал вод по существу идентичен со средним составом вод открытого Байкала.

Необходимо оговориться, что близость химического состава воды открытого Байкала со средним химическим составом питающих озеро вод ограничивается, вероятно, только основными ионами. Что касается содержания соединений биогенных элементов, таких, как соединения азота, фосфора, кремния, железа и др., а также компонентов газов, то здесь такой картины, конечно, уже не наблюдается. Так, например, как было показано выше содержание кремния в питающих Байкал водах в среднем в три раза выше его содержания в верхних слоях воды озера. То же можно сказать и о содержании железа и некоторых других элементов.

Причины наблюдаемых в течение года в водах Байкала в районе пос. Большие Коты изменений содержания некоторых компонентов ионного состава вероятнее всего объясняются влиянием вод р. Селенги. В главе IV в разделе, посвященном описанию сезонных изменений в содержании кремния, уже указывалось, что в летний период селенгинская вода под действием ветров северо-восточного направления достигает западных берегов озера в районе пос. Большие Коты, что хорошо видно по повышению содержания кремния в водах этого района в конце июля — начале августа на глубинах около 5—10 м. Возможно, что и в другие сезоны года воды р. Селенги оказывают свое влияние на хи-

мизм байкальских вод в районе Котов. Отсутствие каких-либо сведений по течениям лишает нас возможности более определенно связывать наблюдаемые колебания в содержании компонентов ионного состава в водах Байкала в районе пос. Большие Коты с динамикой водных масс озера.

Наши выводы по вопросу о пространственной и сезонной неоднородности химического состава вод открытых районов Байкала согласуются с ранее высказанными Г. Ю. Верещагиным (1947) предположениями. Поледний, как известно, подразделял все растворенные в байкальских водах компоненты на три группы. К первой группе, характеризующейся, по его мнению, как раз равномерным распределением по вертикали и отсутствием сезонности, он относил все компоненты солевого состава: кальций, магний, калий, натрий, гидрокарбонаты, сульфаты, хлориды, а также газообразный азот и благородные газы. Вторую группу составляли, по Г. Ю. Верещагину, компоненты, концентрации которых увеличиваются в Байкале с глубиной. Сюда относились нитратный азот, фосфатный фосфор, кремний и свободная углекислота. Наконец, третью группу составляли, по Г. Ю. Верещагину, вещества, содержание которых падает с глубиной. К ним он относил растворенный кислород и органические вещества.

Перейдем к характеристике последних двух групп веществ.

Прежде всего необходимо отметить, что, будучи тесно связанными в своей динамике с протекающими в Байкале биологическими и биохимическими процессами, все компоненты этих двух групп находятся во взаимосвязи между собой, и, с нашей точки зрения, их правильнее рассматривать вместе.

Действительно, вертикальное распределение всех этих компонентов в толще вод Байкала и сезонная их динамика подчинены общим закономерностям, обусловленным, с одной стороны, биологией водоема, с другой — процессами динамики водных масс озера. Наблюдаемые же различия в распределении и динамике рассматриваемых компонентов по существу являются отражением этих закономерностей. Так, например, возрастание содержания нитратного азота и фосфатного фосфора с глубиной обусловлено накоплением этих компонентов в глубинных слоях воды Байкала в результате их регенерации из отмирающих организмов зоопланктона, разложение которых, как будет видно ниже, протекает в Байкале в основном на дне озера. По той же причине увеличивается с глубиной и содержание свободной углекислоты и уменьшается содержание кислорода. Рост с глубиной содержания кремния обусловливается его выщелачиванием из панцирей диатомей при их погружении на дно. Ниже будет показано также, что основная масса органического вещества продуцируется и разлагается в Байкале в трофогенном и прилегающих к нему слоях воды озера. Поэтому и максимальное содержание органического вещества приурочено в Байкале к верхним слоям воды — до глубины 25—50 м. Глубже содержание органического вещества в водах Байкала падает. Это падение прослеживается почти до дна озера. Лишь в придонных слоях воды и особенно в иловых водах, пропитывающих верхние слои донных отложений Байкала, содержание органического вещества вновь заметно возрастает за счет тех остатков организмов, которые разлагаются на дне озера. Эта особенность распределения органического вещества в толще вод Байкала не была, видимо, замечена Г. Ю. Верещагиным, так как последний ничего о ней не говорит. Если принимать ее во внимание, то правильнее было бы выделить окисляемость в четвертую группу компонентов, распределение которых в толще вод Байкала характеризуется наличием двух максимумов: поверхностного и придонного.

При рассмотрении результатов сезонных изменений в содержании соединений биогенных элементов, органического вещества и компонентов газов в водах Байкала видно, что они имеют ряд важных особенностей.

Сезонная динамика нитратного азота, фосфатного фосфора и кремния характеризуется наличием двух максимумов и двух минимумов в их содержании в течение года. Первый, больший в году, максимум приурочен к середине зимнего подледного периода (февраль). Он сменяется довольно быстро наступающим весенним минимумом, обычно также наибольшим в году и связанным с потреблением соединений биогенных элементов весенними формами фитопланктона. После отмирания весеннего фитопланктона, обычно в июле, содержание соединений биогенных элементов возрастает до второго летнего максимума. Летний максимум бывает, как правило, кратковременным. Развивающиеся летние формы фитопланктона обычно уже к августу снижают содержание соединений биогенных элементов в верхних слоях воды до второго, летнего минимума, сменяющегося плавным ростом содержания этих компонентов в осенние месяцы.

Следует оговориться, что наиболее отчетливо сезонные изменения в содержании соединений биогенных элементов в водах Байкала прослеживаются до глубины около 100 м. Глубже эти изменения теряют свой закономерный характер.

Чрезвычайно интересным представляется факт отсутствия в водах Байкала, по крайней мере до глубины около 500 м, соединений аммонийного и нитритного азота в аналитически определимых количествах. Однако придонные слои воды уже на глубинах около 270—300 м содержат аммонийный азот.

Содержание растворенного кислорода в течение всего года в поверхностных слоях воды озера остается близким к нормальному насыщению. С глубиной содержание кислорода несколько понижается, но даже на максимальных глубинах не опускается ниже 80—75% насыщения.

Свободная CO_2 содержится в течение всего года в небольших количествах. В соответствии с низким содержанием свободной CO_2 и малым количеством органических веществ, растворенных в воде, активная реакция воды Байкала лежит в нейтрально-щелочной области с колебаниями в течение года от 7,6 до 8,5 единиц pH в поверхностных слоях воды озера с постепенным понижением до 7,1—7,2 единиц pH на глубинах 1100—1200 м.

Нельзя не указать, что, несмотря на небольшое содержание свободной CO_2, воды Байкала обладают агрессивностью. Величина этой агрессивности невелика. Однако в сочетании с выщелачивающей агрессивностью, которая также характерна для байкальской воды в связи с ее низкой общей минерализацией, углекислотная агрессивность может иметь существенное значение при решении вопросов строительства различных инженерных и гидротехнических сооружений как по берегам озера, так и на р. Ангаре. Постоянное наличие агрессивной углекислоты, хотя и в небольших концентрациях, обусловливает отсутствие в донных отложениях Байкала карбонатных соединений.

Сезонные изменения компонентов газового состава воды подчинены тем же закономерностям, что и сезонные изменения биогенных элементов, на что уже было указано выше.

Отметим, что максимальное содержание кислорода в водах Байкала (в абсолютных величинах) приурочено к зимнему периоду. При этом, в отличие от многих других озер, содержание кислорода по крайней мере в верхних слоях воды Байкала — до глубины около 50—75 м — не только не падает, а, напротив, возрастает в течение всего подледного

Таблица 104

Горизонтальное распределение соединений биогенных элементов и органического вещества в водах Байкала в июле 1955 г. (в мг/л)

Место отбора пробы	Дата	Прозрачность, м	Температура воды, °С	N (нитратный)	P (фосфатный)	Si	Окисляемость	
							перманганатная	бихроматная
Большие Коты, 2 км от берега	28.II	—	—	0,030	0,028	1,18	—	2,11
Харгино 2 км » »	27.II	—	—	0,028	0,032	1,12	—	—
Разрез Бугульдейка — Среднее Устье, 2 км от р. Бугульдейки	2.VII	20,0	3,7	0,034	0,007	0,84	1,19	2,97
Там же 12 км » » »		19,0	3,7	0,032	0,008	0,84	1,14	2,97
» » 7 км от Среднего Устья		16,0	4,1	0,028	0,010	0,98	1,38	3,44
» » 2 км » » »		2,0	7,6	0,010	0,007	2,00	1,95	5,13
Разрез мыс Облом — Ольхонские ворота, 15 км от мыса Облома	5.VIII	23,0	3,7	0,038	0,008	1,30	2,27	5,59
Там же 30 км » » »		24,0	3,7	0,040	0,007	1,04	1,51	4,11
» » 45 км » » »		24,0	4,4	0,032	0,003	0,92	1,45	4,10
» » 2 км от Ольхонских ворот		10,0	9,7	0,010	0,003	1,30	1,56	4,18
Разрез мыс Арул—мыс Хобой—Усть—Баргузин, 1 км от мыса Арул	11.VII	18,0	7,3	0,034	0,007	1,00	1,62	3,60
Там же середина между Арулом и Хобоем		18,0	3,8	0,036	0,008	1,00	1,04	2,12
» » 1 км от Хобоя		18,0	4,2	0,044	0,008	1,00	1,08	3,17
» » 15 км » »		22,0	3,8	0,040	0,008	1,00	1,05	3,12
» » 30 км » »		19,0	7,2	0,034	0,008	1,00	1,06	3,90
» » 45 км » »		17,0	4,3	0,038	0,008	1,20	1,68	3,94
» » 60 км » »		17,0	5,2	0,030	0,008	1,20	1,54	3,80
Разрез Ушканий о-ва — Покойники, 1,5 км от Ушканьих островов	21.VII	15,0	3,6	0,034	0,013	1,40	1.62	3,92
Там же середина озера		16,0	3,6	0,034	0,015	1,12	1,62	3,92
» » 2 км от о-вов Покойники		14,0	4,0	0,034	0,015	1,20	1,11	2,81
Против г. Анга, 1,5 км » »	26.VII	14,0	11,3	0,080	0,007	1,10	2,04	2,06
Против бухты Песчаной, 1,5 км от берега	27.VII	6,0	9,9	0,014	0,007	1,10	2,77	2,24
Против пос. Большие Коты, 1,5 км » »	1.VII	—	3,9	0,026	0,003	2,42	1,27	2,41
Там же	20.VII	—	7,5	0,018	0,003	1,10	2,07	93,8
Бугульдейка, 2 км от берега	28.II	—	—	0,034	0,015	0,44	—	—
Там же, середина озера	28.II	—	—	0,032	0,022	0,92	—	2,59
» » 8 км от Харауза	27.II	—	—	0,038	0,012	1,70	—	2,52
Против Ольхонских ворот	2.III	—	—	0,034	0,020	1,20	—	2,16
Против мыса Арул, 5 км от берега	7.III	—	—	0,030	0,018	1,30	—	—

периода, что связано, по-видимому, с ранним развитием в этом озере весенних форм диатомовых водорослей, достигающих своего пышного развития еще подо льдом.

Что касается суточного хода кислорода, свободной CO_2 и pH, то нам удалось констатировать это явление в течение круглого года. Зимой в подледный период суточный ход кислорода выражен сначала слабо и ограничивается лишь верхними слоями воды до глубины около 5 м. К концу подледного периода, особенно в годы с массовым развитием диатомеи мелозиры, суточный ход кислорода принимает ясно выраженный характер и проникает на большие глубины. Летом он становится еще более отчетливым, особенно в прибрежной полосе озера, проникая на глубины до 50 м и глубже.

Содержание органического вещества в водах Байкала невелико. Его сезонные изменения довольно хорошо согласуются с сезонным ходом биогенных элементов и растворенного кислорода, что указывает на общность процессов, управляющих динамикой всех этих компонентов. Низкие показатели биохимического потребления кислорода ($БПК_5$) говорят о преобладании в водах Байкала устойчивых к окислению органических веществ.

Наконец, необходимо остановиться на распределении в водах Байкала соединений железа и марганца. Сезонные изменения в содержании марганца, как уже указывалось выше, заставляют думать о значительной роли биологических факторов в динамике этого компонента в водах Байкала. Что касается железа, то его сезонные изменения говорят скорее об аллохтонном происхождении основной массы этого элемента. Очевидно, железо вносится в Байкал летом с водами притоков в форме коллоидов и более грубых взвесей; в дальнейшем частицы железосодержащих минералов непосредственно, а коллоидные частицы железа после коагуляции подвергаются осаждению. В результате большая часть поступающего в Байкал железа увлекается в его донные отложения. На процессы осаждения железа на дно Байкала указывает, в частности, его высокое содержание в байкальских илах, на что уже обращалось внимание выше.

Горизонтальное распределение соединений биогенных элементов — азота, фосфора, кремния, и органического вещества в водах открытого Байкала изучено еще недостаточно. В нашем распоряжении имеются данные по распределению всех этих компонентов в поверхностных слоях воды Байкала в августе 1951 г., в конце февраля — начале марта и в июле 1955 г. Рассматривая эти данные, видим, что в августе 1951 г. (Самарина, 1954) распределение соединений биогенных элементов и органического вещества по озеру было более или менее однородным. Напротив, в июле 1955 г. наблюдались некоторые, подчас значительные различия в содержании отдельных компонентов в водах озера в разных его районах. Экспедиционное обследование районов Южного Байкала в конце февраля — начале марта 1955 г. показало, что в этот период соединения биогенных элементов и органическое вещество были распределены в водах Байкала в обследованном районе также более или менее равномерно (табл. 104).

На основании всех этих данных можно считать, что в гидрологически и биологически единые сезоны в водах Байкала соединения биогенных элементов и органическое вещество распределены по озеру более или менее равномерно. Различия в горизонтальном распределении соединений биогенных элементов и органического вещества в Байкале наблюдаются лишь в периоды интенсивного развития фитопланктона или его отмирания, а также в периоды гомотермии, наступающие в разных районах Байкала несколько в разное время. Так, можно предполагать, что

весной минимальное содержание соединений биогенных элементов в районах Южного Байкала наступит раньше, чем, скажем, на севере этого озера и т. д.

Имеющиеся в нашем распоряжении данные не позволяют судить о том, когда сформировался наблюдаемый ныне гидрохимический облик Байкала. Что касается генезиса его вод, то в современную нам эпоху Байкал заполнен метаморфизованными водами его притоков и атмосферных осадков, выпадающих на поверхность озера. Доказательством этого является близость среднего химического состава вод Байкала с составом питающих его вод, а также водный баланс озера. Действительно, для заполнения Байкала водами его притоков и атмосферными осадками, выпадающими на поверхность озера, с учетом испарения с поверхности Байкала, требуется всего около 400 лет. Следовательно, ожидать наличия в водных массах Байкала значительных количеств реликтовых вод и влияния последних на химизм вод этого озера нет никаких оснований, так как только за послеледниковый период Байкал, очевидно, сменил свои воды не менее 25—30 раз. Можно было бы предполагать, что реликтовые воды сохранились в Байкале на больших глубинах этого озера. Однако и глубинная зона Байкала не является хранилищем таких вод. На это с полной очевидностью указывает отсутствие различий в вертикальном распределении компонентов ионного состава вод открытого Байкала: их содержание остается, как известно, практически постоянным во всей толще озера от поверхности до дна.

Глава IX

ГИДРОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ОСНОВНЫХ ОБОСОБЛЕННЫХ УЧАСТКОВ БАЙКАЛА

(заливы, бухты, соры-лагуны и губы)

При описании гидрохимической характеристики главнейших обособленных участков Байкала — его заливов, бухт, губ и соров-лагун, необходимо заметить, что сведения по их круглогодичному гидрохимическому режиму до сих пор отсутствуют. В нашем распоряжении имелись главным образом лишь материалы летних экспедиционных исследований. Поэтому и сравнение химизма вод обособленных участков Байкала с химизмом вод открытого озера мы будем проводить в основном для летнего периода.

1. МАЛОЕ МОРЕ

Малое Море представляет собой, как известно, часть Байкала, отделенную от открытого озера с востока о-вом Ольхон. На юге Малое Море соединяется с открытым Байкалом довольно узким мелководным проливом Ольхонские Ворота. На севере, постепенно расширяясь, оно переходит в открытое озеро. Берега южной части Малого Моря изрезаны многочисленными бухтами и губами. Глубина его здесь невелика и не превышает 40—60 м. Далее к северу глубины Малого Моря возрастают и в створе между мысами Зама — Хобой (северная оконечность о-ва Ольхон), т. е. в районе так называемых «Больших Ворот», достигают 400—450 м. Площадь Малого Моря равна 90 тыс. га (рис. 21).

В гидрохимическом отношении Малое Море не является однородным. Как о том можно судить по некоторым отрывочным данным, приводимым в работе М. М. Кожова (1947), гидрохимический облик северной и отчасти средней частей Малого Моря не отличается от открытого Байкала, что обусловлено значительными глубинами его здесь и хорошей связью с открытым озером. Напротив, в южной части вследствие относительной мелководности и некоторой морфологической обособленности режим Малого Моря уже значительно отличается от режима открытого Байкала. Исключение составляют лишь основные ионы, содержание которых в водах Малого Моря не отличается от содержания их в водах прилегающих частей открытого Байкала (табл. 105).

Некоторые различия ионного состава имеют только воды отдельных бухт и заливов южной части Малого Моря, о чем будет подробнее сказано ниже при описании химизма вод этих бухт.

Что касается содержания соединений биогенных элементов, компонентов газов и органического вещества, то здесь имеются уже значи-

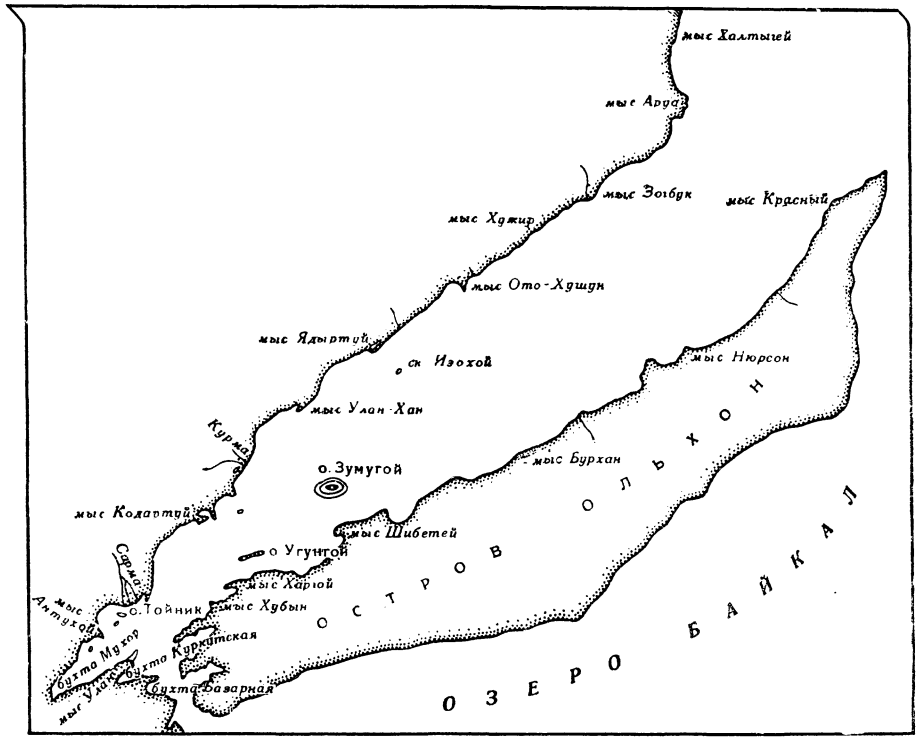


Рис. 21. План Малого Моря (по Кожову, 1947 г.).

тельные различия, особенно ясно выраженные в южной части Малого Моря. Значительно отличается Малое Море от прилегающих районов открытого Байкала и по своей термике.

Таблица 105

Ионный состав воды Малого Моря и прилегающих частей открытого Байкала 30—31 июля 1949 г. (в мг/л)

Место отбора пробы	Глубина, м	$Ca^{\cdot\cdot}$	$Mg^{\cdot\cdot}$	$Na^{\cdot} + K^{\cdot}$	$HCO_3^{\prime}$	$SO_4^{\prime\prime}$	$Cl^{\prime}$
Оз. Байкал, 1,5 км от пролива Ольхонские Ворота (30.VII)	0	16,5	1,2	7,5	67,3	5,5	1,2
	10	16,5	1,2	7,5	67,3	5,5	1,2
	25	16,5	1,2	7,5	67,3	5,5	1,2
	50	16,5	1,2	7,5	67,3	5,5	1,2
Малое море. пролив Ольхонские Ворота (31.VII)	0	16,5	1,2	7,5	67,3	5,6	1,2
	10	16,5	1,2	7,3	66,8	5,6	1,2
	25	16,5	1,2	7,4	67,3	5,6	1,2
Малое Море, у о-ва Угунгой (30.VII)	0	16,5	0,8	8,1	67,3	5,6	0,9
	10	16,5	0,8	8,1	67,3	5,6	0,9
	25	16,5	0,8	8,0	66,8	5,6	0,9
Малое Море, середина между бухтами Елгай и Ядыргуй (30.VII)	0	16,5	0,8	7,5	68,3	5,5	1,2
	10	16,5	0,8	7,3	67,8	5,5	1,2
	25	16,5	0,8	7,1	66,8	5,4	1,2
	50	16,5	0,8	7,5	68,3	5,5	1,2

Таблица 106

Химический состав воды Малого Моря по материалам экспедиций 1949—1955 гг. (в мг/л)

Место отбора проб	Дата	Глубина, м	Температура воды, °С	pH	$CO_{2своб}$	O_2	HCO_3'	N (нитратный)	P (фосфатный)	Si	Окисляемость		
											перманганатная		бихроматная
											кислая	нейтральная	
1949 год													
Пролив Ольхонские Ворота	31.VII	0	15,3	8,30	Нет	8,50	67,3	0,007	0,010	1,270	2,65	—	—
		10	13,6	8,20	»	8,54	66,8	0,007	0,015	0,897	2,70	—	—
		25	4,4	7,60	1,42	9,83	67,3	0,027	0,028	0,915	2,59	—	—
Середина озера (против о-ва Угунгой)	31.VII	0	16,4	8,30	Нет	8,11	67,3	0,013	0,057	0,915	4,12	—	—
		10	11,3	8,30	»	9,59	67,3	0,013	0,028	0,915	2,76	—	—
		25	4,8	7,78	1,06	10,24	66,8	0,009	0,015	0,915	2,82	—	—
Середина между бухтами Елгай и Ядыртуй	30.VII	0	14,4	8,30	Нет	8,62	68,3	0,010	0,010	0,822	2,35	—	—
		10	9,0	8,20	»	10,67	67,8	0,011	0,020	0,822	2,23	—	—
		25	4,7	8,08	0,70	10,30	66,8	0,018	0,026	0,897	2,23	—	—
		50	4,1	7,69	1,41	10,02	68,3	0,032	0,028	1,065	2,35	—	—
1952 год													
Пролив Ольхонские Ворота	24.VI	0	11,1	—	—	—	68,3	0,000	0,006	0,170	2,64	1,03	5,35
		25	4,5	—	—	—	67,6	0,006	0,010	0,412	2,75	1,00	5,35
800 м южнее о-ва Угунгой	25.VI	0	8,7	—	—	—	68,3	0,006	0,005	0,450	2,83	1,26	5,01
		25	4,2	—	—	—	—	—	0,005	0,450	2,68	1,26	4,88
600 м севернее о-ва Угунгой	25.VI	0	8,3	—	—	—	68,3	0,006	0,003	0,470	2,54	1,07	4,70
		25	4,1	—	—	—	—	—	0,005	0,470	2,58	1,01	4,70
Против о-ва Зумугой	26.VI	0	9,2	—	—	—	68,3	0,006	0,003	0,610	2,63	0,93	4,85
		25	4,1	—	—	—	—	—	0,005	0,710	2,23	0,93	—
Против пос. Хужир, середина озера	26.VI	0	6,0	—	—	—	68,3	0,006	0,005	0,710	2,23	0,91	—
		25	4,2	—	—	—	—	—	0,003	0,600	1,98	0,78	4,75
		50	4,1	—	—	—	—	—	0,005	0,675	1,97	0,78	4,75
									0,007	0,680	1,83	0,70	4,75

Таблица 106 (продолжение)

Место отбора проб	Дата	Глубина, м	Температура воды, °С	pH	$CO_{2своб}$	O_2	HCO_3'	N (нитратный)	P (фосфатный)	Si	Окисляемость		
											перманганатная		бихроматная
											кислая	нейтральная	
1952 год													
Против Буругера, середина озера	26.VI	0	3,9	—	—	—	68,3	0,006	0,003	0,620	2,03	0,81	4,98
		25	3,9	—	—	—	—	—	0,007	0,600	1,83	0,72	4,82
		50	3,8	—	—	—	—	—	0,007	0,600	1,84	0,72	4,82
Большие ворота	26.VI	0	3,6	—	—	—	68,3	0,040	0,012	0,620	2,09	0,76	4,80
		25	3,6	—	—	—	—	0,040	0,012	0,620	2,09	0,79	4,80
		50	3,6	—	—	—	—	0,052	0,015	0,580	2,00	0,74	4,80
Пролив Ольхонские Ворота	20.VII	0	16,1	8,08	0,35	9,79	68,7	0,020	0,036	1,600	1,97	0,76	3,77
		25	4,4	7,60	0,85	11,94	—	0 038	0,053	2,340	1,97	0,83	3,84
800 м южнее о-ва Угунгой	21.VII	0	16,3	7,88	1,32	9,86	68,7	0,024	0,036	1,660	2,21	0,91	3,93
		25	4,9	7,60	1,76	12,12	—	0,034	0,038	1,800	2,09	0,83	3,93
600 м севернее о-ва Угунгой	21.VII	0	14,7	8,08	0,79	9,81	69,8	0,024	0,036	1,400	2,21	0,91	4,57
		25	4,7	7,94	1,05	11,45	—	0,028	0,043	1,400	1,97	0,46	3,82
Против о-ва Зумугой	21.VII	0	16,6	7,78	1,36	9,00	68,9	0,020	0,040	1,400	2,34	0,91	4,00
		25	4,5	7,78	1,58	11,54	—	0,028	0,040	1,600	2,27	0,91	4,19
Против пос. Хужира, середина озера	21.VII	0	16,0	7,78	1,20	9,51	69,0	0,022	0,033	1,560	2,04	1,02	4,08
		25	4,8	7,78	1,26	10,76	—	0,026	0,036	1,600	2,05	1,06	4,08
Против Буругера, середина озера	21.VII	0	15,4	8,08	0,32	10,88	69,3	0,020	0,036	1,600	1,50	0,69	4,26
		25	4,5	7,60	1,68	9,68	—	0,022	0,036	1,600	1,30	0,68	4,26

Таблица 106 (окончание)

Место отбора проб	Дата	Глубина, м	Температура воды, °С	pH	$CO_{2своб}$	O_2	HCO_3'	N (нитратный)	P (фосфатный)	Si	Окисляемость		
											перманганатная		бихроматная
											кислая	нейтральная	
1955 год													
Пролив Ольхонские Ворота	2.III	0	0,4	—	—	—	—	0,032	0,025	1,260	1,95	—	—
		25	1,2	—	—	—	—	0,036	0,013	1,360	—	—	—
У о-ва Тойник	4.III	0	0,4	7,70	—	—	—	0,008	0,005	0,880	—	—	—
» » Угунгой	5.III	0	0,4	7,00	—	—	—	0,028	0,015	1,240	3,14	—	—
» » Зумугой	5.III	0	0,4	—	—	—	—	0,020	0,010	1,060	3,31	—	—
		25	0,7	—	—	—	—	0,024	0,012	1,060	—	—	—
Против мыса Бурхан	6.III	0	0,4	—	—	—	—	0,032	0,018	1,320	—	—	—
» » Арул	7.III	0	0,4	7,60	—	—	—	0,030	0,016	1,300	—	—	—
У о-ва Угунгой	7.VII	0	10,5	—	—	—	—	0,001	0,008	0,920	2,10	—	5,06
» » Зумугой	9.VII	0	11,6	—	—	—	—	0,014	0,007	1,140	2,22	—	4,02
Середина между Зумугоем и Улан-Ханом	9.VII	0	9,7	—	—	—	—	0,024	0,007	1,140	2,22	—	4,02
1,5 км от Ото-Хушуне	9.VII	0	6,5	—	—	—	—	0,030	0,007	1,320	1,86	—	3,96
Середина озера, против пос. Хужира	9.VII	0	10,1	—	—	—	—	0,026	0,010	1,200	1,44	—	3,92
1,5 км от Бурхана	9.VII	0	10,1	—	—	—	—	0,001	0,007	1,280	1,44	—	3,92
1,5 км от Будуна	10.VII	0	10,4	—	—	—	—	0,014	0,008	1,320	1,80	—	4,00
Середина между мысами Будун и Арул	10.VII	0	3,9	—	—	—	—	0,036	0,010	1,000	1,76	—	4,11
1 км от мыса Арул	10.VII	0	7,3	—	—	—	—	0,034	0,007	1,000	1,62	—	3,60
Середина озера, между мысами Арул и Хобой	11.VII	0	3,8	—	—	—	—	0,036	0,008	1,000	1,04	—	4,12
1,5 км от мыса Хобой	11.VII	0	4,2	—	—	—	—	0,044	0,008	1,000	1,08	—	3,17

Материалы исследований по химическому составу вод Малого Моря и его температурному режиму, собранные нами в июле 1949 г., в июне и июле 1952 г., в марте и июле 1955 г. (табл. 106), прежде всего подтверждают высказанную выше мысль о некотором своеобразии гидрохимии Малого Моря и о его пространственной термической и химической неоднородности.

В летний период воды Малого Моря прогреваются быстрее и лучше, нежели воды открытого Байкала. При этом прогревание вод в южной его части начинается раньше по сравнению со средней и северной частями, и температура воды достигает здесь более высоких величин. Особенно резко отличаются температуры поверхностной воды в разных частях Малого Моря в июне. В это время воды северной части Малого Моря еще не отличаются по своей температуре от вод прилегающих частей открытого Байкала (около 3,6—3,9°), тогда как поверхностные слои воды южной части благодаря ее относительной мелководности успевают уже прогреться до температуры 8—11° (табл. 107). В июле

Таблица 107

Температура воды Малого Моря в июне и июле 1952 г. (в °С)

Место отбора пробы	Дата	Глубина, м		Дата	Глубина, м	
		0	25		0	25
Пролив Ольхонские Ворота	24.VI	11,1	4,5	20.VII	16,1	4,4
Малое Море, у о-ва Угунгой	25.VI	8,3	4,1	20.VII	14,7	4,7
Малое Море, у о-ва Зумугой	26.VI	9,2	4,1	20.VII	16,6	4,5
Малое Море, против пос. Хужир . . .	26.VI	6,0	4,2	20.VII	16,0	4,8
Малое Море, против Бургера	26.VI	3,9	3,9	20.VII	15,4	4,5
Большие Ворота Малого Моря	26.VI	3,6	3,6	20.VII	14,0	—

пространственные температурные различия в Малом Море стираются. Только на севере, в районе Больших Ворот, в это время наблюдается некоторое понижение температуры поверхностных слоев воды по сравнению с более южными частями Малого Моря, обусловленное влиянием несколько более холодных вод открытого Байкала.

Количество кислорода в водах северной и средней частей Малого Моря в летний период близко к нормальному насыщению. В южной части воды летом нередко несколько пересыщены кислородом, что связано с фотосинтетической деятельностью фитопланктона, обильнее развивающегося именно в этой части озера. В вертикальном направлении летом наблюдается довольно значительный рост абсолютных величин содержания кислорода с глубиной, что стоит в соответствии с более низкими температурами воды на глубинах.

Свободная CO_2 содержится в водах Малого Моря в небольших количествах. В июле 1949 г. в южной и средней частях Малого Моря в поверхностных слоях воды до глубины около 10 м она вообще отсутствовала, в то время как в соседних районах Байкала содержание свободной CO_2 достигало в дневные часы до 1,06 мг/л. На глубинах свыше 10 м свободная CO_2 была обнаружена и в водах Малого Моря, причем содержание ее здесь доходило до 1,42 мг/л.

В соответствии с низким содержанием свободной CO_2 активная реакция воды Малого Моря лежит в нейтрально-щелочной области. В июле на поверхности pH воды колеблется в разные годы в различных районах Малого Моря от 7,88 до 8,30. С глубиной отмечается некоторое подкисление воды до 7,60—7,69 единиц pH. В марте 1955 г. pH воды Мало-

го Моря равнялось 7,60—7,70. Исключением в этот период являлся район о. Угунгой, где pH было значительно ниже — 7,0.

Распределение и стратификация соединений биогенных элементов в водах Малого Моря наиболее резко отличает этот район от открытого озера. Прежде всего здесь, как показывают исследования, проведенные в июне 1952 г., потребление соединений биогенных элементов весенним фитопланктоном происходит значительно более интенсивно, нежели в открытом Байкале. Так, содержание нитратного азота, фосфатного фосфора и кремния в поверхностных слоях воды открытого Байкала в 1,5 км от пролива Ольхонские Ворота 24 июня 1952 г. равнялось соответственно 0,042; 0,015 и 0,64 мг/л. В поверхностной воде пролива Ольхонские Ворота содержание этих компонентов в тот же день было следующим: нитратного азота — не обнаружено; фосфатного фосфора — 0,006 мг/л и кремния — 0,17 мг/л. В районе о-ва Угунгой (южная часть Малого Моря) их содержание 25 июня равнялось соответственно 0,006; 0,005 и 0,42 мг/л, а в Больших Воротах в тот же день достигало уже 0,040; 0,012 и 0,62 мг/л, т. е. было очень близко к величинам, найденным в открытом Байкале у Ольхонских Ворот.

Столь резкое изменение в содержании соединений биогенных элементов, наблюдаемое в июне 1952 г. в водах Малого Моря, по сравнению с их содержанием в водах прилежащих частей открытого озера было вызвано потреблением этих компонентов из вод Малого Моря весенними диатомеями (главным образом мелозирой), в массе развивавшимися здесь весной этого года и, напротив, встречавшимися в очень незначительных количествах в районах открытого Байкала. Особенно поражает крайне низкое содержание кремния в водах пролива Ольхонские Ворота. В открытом Байкале нам ни разу не удалось встретиться со столь низкими величинами содержания кремния, даже в годы массового развития мелозиры. Вероятно, в открытом Байкале запасы этого компонента в поверхностных слоях воды постоянно пополняются за счет поступления из глубже лежащих слоев. В южной же части Малого Моря весной 1952 г. в биогенный круговорот был вовлечен кремний всей водной толщи — от поверхности озера до дна,— что и привело к резкому падению его содержания в водах. Район пролива Ольхонские Ворота наиболее подвижен в гидрохимическом отношении. Возможно, в день исследований он был заполнен водами прилежащих мелководий Малого Моря, сильно обедненных кремнием, так как здесь развитие мелозиры как раз было наиболее массовым.

К концу июля 1952 г. содержание соединений биогенных элементов в водах Малого Моря заметно возросло. Близкие к наблюдаемым в июле 1952 г. величинам содержания соединений биогенных элементов отмечены и в 1955 г.

Вертикальная стратификация соединений биогенных элементов, особенно азота и фосфора, выражена в южной и отчасти средней частях Малого Моря летом более резко, нежели в открытом Байкале в пределах тех же глубин. Однако в некоторые моменты времени закономерное распределение этих компонентов резко нарушается. Мелководность южной части Малого Моря ведет к тому, что во время сильных ветров перемешивание отдельных слоев воды иногда достигает, видимо, дна озера, в результате чего происходит не только обогащение поверхностных слоев воды соединениями биогенных элементов, но иногда устанавливается на короткий срок обратная стратификация их, т. е. уменьшение содержания с глубиной. Такую аномальную картину вертикального распределения соединений азота и фосфора пришлось наблюдать на разрезе между бухтой Хагден-Хале и о-вом Угунгой 31 июля 1949 г., проведенном после продолжительного и сильного юго-восточного ветра (см. табл. 106).

В результате подобного перемешивания водных масс южной части Малого Моря происходит значительное обогащение их соединениями биогенных элементов и органическим веществом, что, несомненно, увеличивает потенциальные возможности для развития здесь фитопланктона.

Что касается содержания и распределения в водах Малого Моря органического вещества, то в целом можно считать, что значительных различий с водами открытого Байкала здесь не наблюдается. Исключение составляют воды некоторых бухт и губ южной части Малого Моря, где заметны уже значительные различия.

Выше уже отмечалось, что некоторые из многочисленных губ и бухт южной части Малого Моря довольно сильно отличаются от последнего по химизму своих вод и, вероятно, по гидрохимическому режиму. Наиболее детально в гидрохимическом отношении нами были исследованы бухты и заливы южной части Малого Моря (бухты Загли, Харин-Ирги, Базарная, Мухор, Хагден-Хале, Елгай и др.). Был изучен залив Мухор, обследование которого проводилось в июле 1949 г., в июне-июле 1952 г., марте и июле 1955 г. При этом в июне-июле 1952 г. было проведено 4 горизонтальных гидрохимических разреза вдоль залива с целью не только изучения химизма его вод, но и выяснения влияния на горизонтальное распределение отдельных компонентов в водах Мухора ветров разного направления. Изложению результатов этих исследований посвящена отдельная статья (Вотинцев, 1959). Здесь же приводится лишь его краткая гидрохимическая характеристика с тем, чтобы на примере залива Мухор показать различия в химизме вод заливов и губ южной части Малого Моря и его открытых районов.

Залив Мухор представляет собой южную оконечность Малого Моря. Длина его около 8 км, ширина в створе — 4 км, площадь около 1600 га. Глубины в створе достигают 4—5 м, во внутренних частях залива не превышают 1,5—2 м.

Уже при беглом осмотре залива Мухор видно, что последний, несмотря на свои относительно большие размеры, является типичным евтрофным озером, коренным образом отличным от Байкала. Состав его флоры и фауны, за малым исключением, не отличается от состава флоры и фауны обычных сибирских озер. В то же время хорошая связь залива с Малым Морем, несомненно, оказывает большое влияние по крайней мере на внешнюю часть залива, где в составе бентоса встречается уже большее число представителей байкальской фауны.

По своему температурному режиму Мухор в летний период также приближается к обычным сибирским озерам. Мелководный характер залива, а также частые ветры способствуют быстрому прогреванию всех слоев воды залива, в результате чего уже вскоре после вскрытия от льда температура воды в заливе Мухор оказывается значительно более высокой, нежели в прилегающих частях Малого Моря. В июле температура воды в заливе Мухор достигает максимума — 22—23°, после чего начинается постепенное ее падение, продолжающееся вплоть до ледостава. С глубиной существенных различий в температурах воды в заливе Мухор не наблюдается.

Сравнивая температуру воды залива Мухор с температурой воды мелководных Прибайкальских озер, а также соров Байкала, М. М. Кожов (1947) указывает на то, что воды Мухора летом имеют все же несколько более низкую температуру, чем соры Байкала и прибайкальские озера. Явление это он объясняет большим влиянием на температурный режим залива более холодных вод Малого Моря. При ветрах северо-восточного направления холодные воды Малого Моря беспрепятственно проникают в залив, охлаждая воды последнего, особенно во внешней его части.

Наши наблюдения показывают, что воды внешней части залива Мухор действительно находятся под влиянием более холодных вод Малого Моря. Однако далеко вглубь залива влияние это не распространяется даже при сильных и продолжительных северо-восточных ветрах. Так, по нашим наблюдениям 6 июля 1952 г., после нескольких дней непрерывных сильных ветров северо-восточного направления охлаждающее влияние маломорской воды сказалось только на расстоянии около 1,5 км от створа залива. Обычно влияние это ограничено еще меньшим районом.

Причины столь ограниченного влияния охлаждающего действия вод Малого Моря на температуры воды залива Мухор заключаются в следующем. Холодные воды Малого Моря, нагоняемые во внешнюю часть залива Мухор под действием ветра, идут по поверхности залива. Попав в залив, они оказываются лежащими над более теплыми водами залива и, обладая большей плотностью, проваливаются в теплые водные массы Мухора, смешиваясь с ними. В результате такого смешения в районе створа залива создается полоса воды более теплой, чем вода Малого Моря, но в то же время более холодной, чем воды залива Мухор. Эти массы воды создают для маломорской воды своеобразный барьер, продолжая поглощать более холодные воды Малого Моря. По мере нагона воды в залив указанная полоса смешанной воды расширяется, подпруживая воды залива и быстро поднимая его уровень. Колебания уровня воды во внутренних частях залива Мухор, происходящие под влиянием сгонно-нагонных явлений, достигают, по нашим наблюдениям, 20—30 см

Таблица 108

Распределение основных компонентов ионного состава в водах залива Мухор 27 июня 1952 г. (в мг/л)

Место отбора пробы	Глубина, м	HCO_3'	SO_4''	Cl'	$Ca^{\cdot\cdot}$	$Mg^{\cdot\cdot}$	$Na^{\cdot} + K^{\cdot}$
Устье реки Кучелга	0	151,2	8,3	6,8	32,9	2,3	29,3
Станция 1	0	89,7	6,8	2,5	27,8	1,2	4,5
	3	89,7	—	2,5	27,8	1,2	—
» 3	0	70,2	6,3	1,3	24,7	1,2	0,3
	3	70,2	—	1,3	24,7	1,2	—
» 5	0	68,2	5,8	1,3	24,7	1,2	1,3
	3	68,2	—	1,3	24,7	1,2	—
» 7	0	68,4	5,8	1,3	24,7	1,2	1,3
	3	68,4	—	1,3	24,7	1,2	—
» 9	0	68,4	5,8	1,3	24,7	1,2	1,3
	3	68,4	—	1,3	24,7	1,2	—
» 11	0	68,4	5,8	1,3	24,7	1,2	1,3
	3	68,4	—	1,3	24,7	1,2	—
» 13	0	68,4	5,8	1,2	24,7	1,2	1,3
	3	68,4	—	1,2	24,7	1,2	—
» 15	0	68,4	5,8	1,2	24,7	1,2	1,3
	3	68,4	—	1,2	24,7	1,2	—
Станция 17, створ залива	0	63,7	5,8	1,2	18,9	1,0	4,0
	3	63,7	—	1,2	18,9	1,0	—
Малое Море, 200 м от залива	0	63,7	5,8	1,2	16,5	1,0	6,7
	3	63,7	—	1,2	16,5	1,0	—

Химический состав
(по Кожову 1947, и данным

Место отбора пробы	Дата	Часы	Глубина, м	Температура воды, °С	O_2	$CO_{2своб}$
			1938 год			
В створе залива	5.VIII	8.00	0	16,0	9,83	Нет
		8.20	5	15,2	10,78	»
В глубине залива	5.VIII	19.15	0	17,9	9,37	Нет
			1941 год			
2 км от мыса Улан-Ходе	1.VI	11.20	0	11,0	9,25	1,76
		11.40	3	9,9	9,33	2,20
Середина между мысом Улан и Большим Тойником	1.VI	12.00	0	11,9	9,12	2,64
500 м от о-ва Малый Тойник		12.20	4	6,9	9,96	3,08
500 м от мыса Шиде	1.VI	13.20	0	12,1	9,19	2,64
		14.45	4	7,0	10,86	3,08
	3.VI	9.30	0	13,6	5,93	2,42
		9.45	3	11,7	5,85	3,52
Середина между мысами Шиде и Мандерхай	3.VI	10.05	0	14,0	6,03	2,20
		10.30	4	12,6	6,06	3,52
Близ мыса Мандерхай	3.VI	11.00	0	13,4	6,17	3,52
		11.20	4	12,4	6,13	3,08
			1949 год			
Створ залива	31.VII	8.00	0	20,0	7,73	Нет
Центральная часть залива		8.30	0	20,6	7,11	»
Внутренняя часть залива		9.40	0	21,8	7,36	»
			1955 год			
Створ залива	2.III	—	0	0,4	—	—
Середина залива, против мыса Шиде	4.III	—	0	0,4	—	—
Створ залива	7.VI	—	0	14,3	—	—
Центральная часть		—	0	18,4	—	—

и более. При этом в зависимости от силы ветра и его продолжительности изменения уровня воды в заливе происходят очень быстро и иногда по нескольку раз в день.

Таким образом, объяснить пониженные летние температуры воды залива Мухор по сравнению с прибайкальскими озерами охлаждающим влиянием вод Малого Моря, по нашему мнению, не представляется возможным. Основной причиной более низких температур воды Мухора летом, является общее охлаждающее влияние Байкала. Если внимательно проанализировать данные по температуре воды байкальских соров, а также озер, расположенных на берегах Байкала, приводимые в той же работе М. М. Кожова, то оказывается, что, вопреки утверждениям этого автора, Мухор не составляет исключения. Летние температуры воды Мухора не отличаются от таковых, скажем, залива Провал, Посольского сора, оз. Рангатуй, внутренних губ Чивыркуйского залива и других периферических частей Байкала, изолированных от непосредственного влияния водных масс этого озера.

Таблица 109

воды залива Мухор
экспедиции 1949—1955 гг.) (в мг/л)

pH	HCO_3'	CO_3''	Cl'	SO_4''	Ca^{++}	Mg^{++}	$Fe_{общ}$	Окисляемость		Si	N (нитратный)	P (фосфатный)
								перманганатная	бихроматная			
1938 год												
8,10	68,38	—	4,97	—	—	—	—	2,80	—	1,20	—	—
8,10	68,38	—	—	—	—	—	—	2,80	—	0,80	—	—
8,20	83,08	—	4,97	—	—	—	—	6,10	—	2,70	—	—
1941 год												
7,20	53,66	—	4,0	7,7	14,3	0,6	Нет	9,06	—	2,70	—	0,167
7,15	56,10	—	—	6,3	14,3	0,6	»	8,98	—	2,70	—	0,167
7,11	48,78	—	6,0	5,5	14,3	0,6	0,20	8,82	—	2,80	—	0,167
7,11	48,78	—	8,0	7,7	14,3	0,6	0,20	8,82	—	2,60	—	0,167
7,09	51,22	—	10,0	5,5	14,3	0,6	Нет	20,21	—	2,60	—	—
7,09	51,22	—	9,0	5,5	14,0	0,6	0,22	22,71	—	2,60	—	—
7,09	53,56	—	6,0	4,0	14,3	0,6	Нет	16,11	—	1,90	—	—
6,95	53,56	—	—	—	—	—	»	20,21	—	2,50	—	—
7,11	56,09	—	14,0	7,0	14,3	0,6	Нет	21,21	—	1,90	—	—
7,09	56,09	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
7,11	56,09	—	—	7,7	15,7	0,6	Нет	20,21	—	1,90	—	—
7,09	58,53	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1949 год												
8,50	67,32	5,83	1,2	—	13,5	1,2	—	4,00	—	1,38	0,018	0,009
8,30	62,93	—	0,9	6,8	12,8	0,8	—	3,59	—	1,59	0,023	0,007
8,50	61,80	6,91	0,9	—	12,8	0,8	—	5,83	—	1,38	0,028	0,007
1955 год												
7,60	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,84	0,022	0,026
7,70	—	—	—	—	—	—	—	2,86	—	1,16	0,008	0,017
—	—	—	—	—	—	—	—	5,10	12,50	1,20	0,008	0,105
—	—	—	—	—	—	—	—	3,53	9,36	1,20	0,014	0,007

Ионный состав воды залива Мухор в летний период близок к составу вод южной части Малого Моря, но имеет и некоторые отличия, обусловленные влиянием вод р. Кучелги. Эти отличия заключаются в заметном повышении содержания кальция и гидрокарбонатов по направлению от створа залива к его хвостовой части (табл. 108, 109)

В вертикальном направлении различий в содержании всех этих ингредиентов в водах залива Мухор не наблюдается.

Содержание соединений азота и фосфора, а также их динамика в водах Мухора более сложны (табл. 110). Мощное развитие донных макрофитов приводит уже в конце июня к резкому обеднению вод залива соединениями азота и фосфора. Так, 27 июня 1952 г. содержание нитратного азота лежало в пределах 0,002—0,007 мг/л, фосфатного фосфора — 0,000—0,004 мг/л. К 6 июля 1952 г. содержание фосфатного фосфора и нитратного азота во внешней части залива немного возросло, очевидно, в результате регенерации их из отмерших клеток водоросли мелозиры, в массе развивавшейся в весенний период в южной части Малого Моря, как то было отмечено нами выше, в том числе и в районе створа залива

Таблица 110

Распределение некоторых компонентов в водах залива Мухор в июне-июле 1952 г.(в мг/л)

Место отбора поверхностной пробы		Температура воды, °С	pH	$CO_{2своб}$	O_2	Si	N (нитратный)	P (фосфатный)	HCO_3'	Окисляемость перманганатная кислая	Окисляемость перманганатная нейтральная	Окисляемость бихроматная
27 июня, 17.50—20.30 дня												
Станция	1	19,5	8,20	0,76	8,76	2,76	0,004	0,002	89,7	9,57	5,60	19,48
»	2	19,9	8,20	0,85	9,04	2,68	0.004	0,002	70,2	9,35	5,90	17,39
»	3	20,1	8,20	0,76	8,47	2,68	0,004	0,002	70,2	9,86	5,67	17,03
»	4	19,6	8,20	0,76	8,13	1,34	0,004	0,002	68,2	9,71	5,65	16,80
»	5	19,6	7,70	1,76	8,20	1,20	0,002	0,000	68,2	9,06	5,83	13,42
»	6	19,3	7,60	1,76	8,27	1,08	0,004	0,005	68,2	8,48	4,95	15,43
»	7	18,9	7,45	2,20	8,26	0,90	0,006	0,003	68,4	8,05	4,60	14,30
»	8	18,3	7,70	1,98	8,43	0,90	0,006	0,003	68,4	8,12	4,60	13,80
»	9	18,0	7,94	1,32	8,60	0,90	0,006	0,003	68,4	5,94	3,62	13,70
»	10	17,9	7,78	1,76	8,84	0,90	0,004	0,002	68,4	5,36	3,08	13,76
»	11	18,1	7,70	1,76	8,86	0,84	0,002	0,000	68 4	7,27	2,62	13,60
»	12	17,8	7,70	1,76	8,90	0,80	0,002	0,002	68,4	4,70	2,63	13,56
»	13	18,5	7,80	1,76	8,96	0,80	0,004	0,003	68,4	4,75	2,63	13,21
»	14	16,8	7,94	1,36	9,10	0,80	0,004	0,002	68,4	5,29	2,60	12,90
»	15	17,0	7,94	1,32	9,30	0,80	0,002	0,002	68,4	4,54	2,60	12,48
»	16	16,7	8,00	1,32	9,53	0,78	0,004	0,002	63,7	4,93	1,41	6,08
»	17	16,4	8,00	1,32	9,70	0,72	0,004	0,002	63,7	4,07	1,21	6,09
6 июля, 9.30—11.00 дня												
Станция	1	20,1	7,94	1,32	7,78	3,24	0,002	0,002	90,2	5,13	4,22	18,80
»	3	19,9	7,84	1,76	7,85	1,36	0,002	0,002	68,8	5,13	2,59	16,94
»	5	19,6	7,78	1,76	8,31	1,30	0,004	0,003	66,8	4,75	2,53	15,87
»	7	19,4	7,78	1,76	8,16	1,30	0,006	0,005	66,8	4,65	2,51	14,53
»	9	18,9	7,78	1,76	8,44	1,20	0,006	0,005	66,8	4,00	2,48	14,07
»	11	18,6	7,84	1,32	8,56	1,09	0,006	0,005	64,9	3,80	2,18	13,78
»	13	18,8	7,94	1,14	8,91	0,76	0,010	0,007	64,9	3,80	2,10	13,37
»	15	16,9	8,00	1,14	9,42	0,76	0,010	0,007	63,4	3,32	1,20	12,92
»	16	16,0	8,08	0,70	9,58	0,76	0,010	0,007	63,4	2,94	0,90	6,48
»	17	15,3	8,20	0,44	9,41	0,70	0,008	0,007	63,4	2,85	0,67	6,51
13 июля, 11.00—14.00 дня												
Станция	1	21,3	8,10	0,66	7,58	2,62	0,004	0,002	86,8	6,27	3,47	19,10
»	3	22,5	7,94	0,99	7,35	2,28	0,002	0,002	80,0	6,38	3,83	16,94
»	5	22,7	7,94	1,01	7,16	1,56	0,000	0,000	68,9	6,38	3,83	16,58
»	7	22,9	8,15	0,44	8,03	1,02	0,004	0,002	66,2	5,25	2,95	14,49
»	12	21,6	8,00	0,88	7,99	0,85	0,004	0,002	66,2	4,42	2,95	14,65
»	13	21,6	8,00	0,88	8,00	0,85	0,000	0,000	66,2	4,94	2,84	13,36
»	15	20,3	8,08	0,66	8,20	0,60	0,000	0,000	65,3	4,83	1,95	13,52
»	16	20,2	8,10	0,53	8,37	0,54	0,002	0,000	65,3	3,96	1,03	7,40
»	17	15,8	8,20	0,53	10,28	0,48	0,004	0,000	69,3	2,98	0,86	6,39
16 июля, 10.00—12.30 дня												
Станция	1	22,5	8,08	0,80	8,55	3,20	0,002	0,002	89,8	5,10	3,55	19,41
»	3	22,4	8,20	0,44	8,77	2,00	0,000	0,000	68,3	5,10	3,33	19,07
»	5	22,4	8,20	0,44	8,65	1,28	0,000	0,000	67,3	4,60	2,44	16,29
»	7	22,5	8,20	0,44	8,56	1,06	0,000	0,000	67,3	4,40	2,22	16,08
»	9	22,0	8,20	0,44	8,13	0,96	0,000	0,000	66,3	4,00	2,22	13,52
»	11	21,5	8,20	0,44	8,55	0,96	0,000	0,000	66,3	4,90	2,00	12,88
»	13	20,4	8,08	0,88	8,83	0,96	0,000	0,000	66,4	4,00	2,00	12,86
»	15	19,7	8,08	0,88	8,87	0,96	0,000	0,000	65,9	3,30	0,89	12,88
»	16	18,5	8,08	0,80	9,40	0,60	0,000	0,000	68,3	3,80	0,89	12,88
»	17	18,5	8,20	0,44	9,07	0,60	0,000	0,000	68,3	4,00	0,89	6,08

Мухор. Однако уже к 16 июля под воздействием мощного развития летних форм фитопланктона (астерионелли, анабены, ривулярии и др.), содержание соединений азота и фосфора упало до аналитического нуля. Только в предустьевом пространстве р. Кучелги (станция 0) можно было обнаружить незначительные количества этих компонентов.

Несколько выше было содержание нитратного азота и фосфатного фосфора в водах залива Мухор в начале июля 1955 г. (табл. 111).

Таблица 111

Содержание некоторых компонентов в водах залива Мухор 7 июля 1955 г. (в мг/л)

Место отбора пробы	Температура воды, °С	N (нитратный)	P (фосфатный)	Si	Окисляемость	
					перманганатная	бихроматная
Створ залива Мухор	18,4	0,014	0,007	1,20	3,53	9,36
Центральная часть залива .	14,3	0,008	0,005	1,20	5,10	—

Благодаря резко повышенному содержанию кремния в водах р. Кучелги (до 8,5 мг/л, считая на элементарный кремний) воды залива также заметно богаче этим компонентом, нежели воды Малого Моря. В горизонтальном направлении наблюдается значительный рост содержания

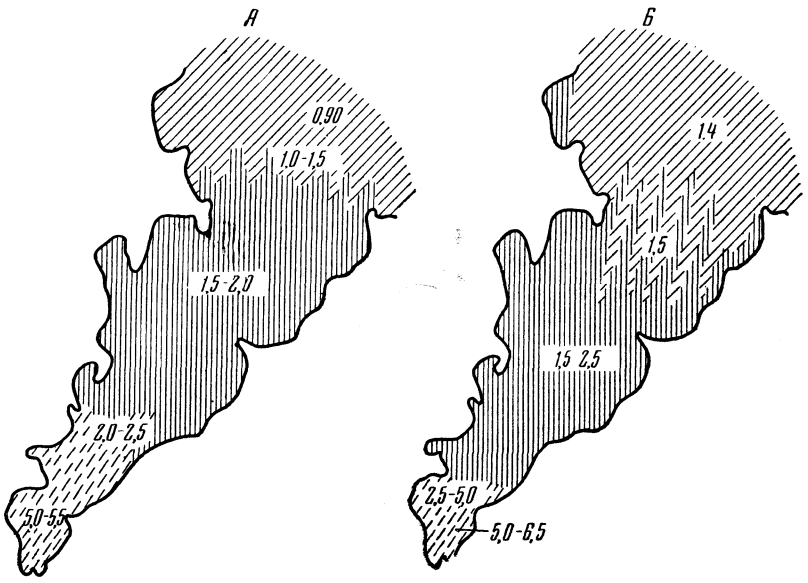


Рис. 22. Горизонтальное распределение кремния в водах залива Мухор Малого Моря Байкала 27 июня (*А*) и 16 июля (*Б*) 1952 г.

кремния по направлению от створа залива к юго-западному углу. С глубиной заметных изменений в содержании кремния не наблюдается. Огромное влияние на содержание кремния в водах залива Мухор оказывают, несомненно, планктонные диатомеи. Так, массовое развитие в середине июля 1952 г. астерионелли повлекло за собой снижение содержания кремния в водах залива, особенно ясно проявляющееся в центральной его части (рис. 22).

Газовый режим залива Мухор летом может считаться вполне благоприятным. Днем количество кислорода в воде залива обычно лежит в пределах нормального насыщения. Следует все же отметить, что, несмотря на обилие фитопланктона и донных макрофитов, пересыщения воды залива кислородом летом не наблюдается. Видимо, значительные количества его потребляются при интенсивно идущих процессах деструкции органических веществ в водах залива. На это указывает и постоянное наличие в водах залива свободной углекислоты, количества которой не опускаются ниже 0,5 мг/л.

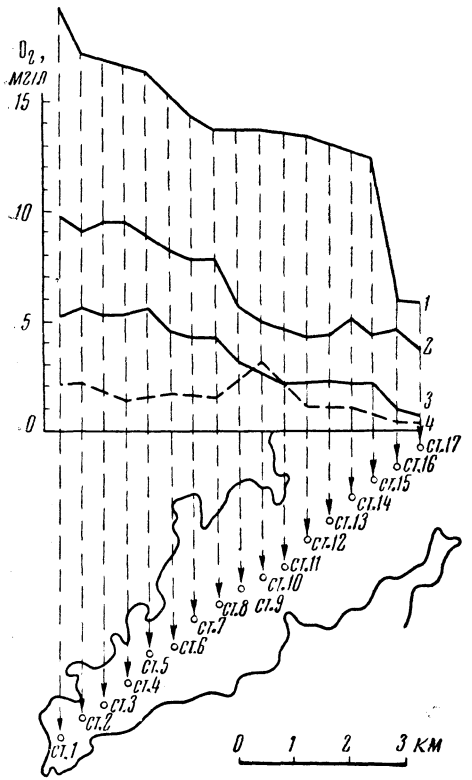


Рис. 23. Горизонтальное распределение бихроматной (*1*), кислой (*2*) и нейтральной (*3*) перманганатной окисляемости и биомассы планктона (*4*) в водах залива Мухор Малого Моря 27.VI 1952 г.

Что касается активной реакции, то в начале периода наших наблюдений в 1952 г. pH воды всей средней части залива не поднималось выше 7,94 и только в районе створа и у устья р. Кучелги достигало 8,0—8,20. К середине июля pH по всему заливу лежало в пределах 8,0—8,20.

С глубиной в водах залива Мухор наблюдается лишь незначительное падение содержания кислорода, небольшое увеличение содержания свободной CO_2 и падение pH.

По содержанию органического вещества воды залива Мухор резко отличаются от вод Малого Моря. Если в створе залива содержание органического вещества, выражаемое количеством кислорода, потребного на его окисление, составляет около 6,0 мг/л кислорода, т. е. близко к содержанию его в водах Малого Моря (4,7—5,3 мг/л), то в хвостовой части залива оно возрастает до 17—19 мг/л. Аналогичный рост наблюдается и для величин окисляемости воды (рис. 23).

Зимний режим залива Мухор еще не изучен. Можно лишь указать, что в начале марта 1955 г. содержание соединений биогенных элементов, а также органического вещества в водах залива было почти аналогично их содержанию здесь в июле (табл. 112). Относительно высокое значение pH — около 7,7 — говорит за то, что в это время уже имело

Таблица 112

Содержание некоторых компонентов в водах залива Мухор 2—4 марта 1955 г. (в мг/л)

Место отбора пробы	Дата	N (нитратный)	P (фосфатный)	Si	Окисляемость перманганатная	pH	HCO_3'
Створ залива	2.III	0,022	0,026	0,84	—	—	—
Центральная часть залива	4.III	0,008	0,017	1,16	2,86	7,7	73,1

место обильное развитие растительности, очевидно фитопланктона, за счет которой шел довольно интенсивный фотосинтез.

Изложенные выше материалы показывают, что воды залива Мухор по своему химическому составу не являются однородными. Внешняя часть залива, близ створа, заполнена водами Малого Моря, легко отличимыми по относительно меньшему содержанию в них кальция, гидрокарбонатов, кремния и органического вещества и более высокому содержанию кислорода. Внутренняя часть залива находится под постоянным влиянием вод р. Кучелги, отличающихся от вод залива более высокой минерализацией, в частности, более высоким содержанием гидрокарбонатов, кальция и кремния, а также повышенным содержанием органического вещества. В штилевую погоду воды р. Кучелги распространяются на 1,5—2 км от устья последней, заполняя всю юго-западную оконечность залива. То же наблюдается и при ветрах западного и юго-западного направлений. Напротив, ветры северо-восточного направления прижимают воды р. Кучелги к ее устью.

Аналогичное воздействие ветров проявляется и во внешней части залива Мухор. Здесь воды Малого Моря либо оттесняются из залива при ветрах западного и юго-западного направлений, либо, напротив, вклиниваются в залив. Особенно наглядно распределение вод различного происхождения в заливе Мухор может быть показано на примере горизонтального распределения кремния и органического вещества. На рис. 22 приводятся в качестве примера некоторые данные по горизонтальному распределению кремния в водах залива Мухор 27 июня и 16 июля 1952 г. Первая серия наблюдений относится к моменту окончания довольно продолжительного юго-западного ветра, вторая — проведена после длительного северо-восточного ветра.

По химизму своих вод и гидрохимическому режиму залив Мухор отличается от Малого Моря, пожалуй, наиболее резко среди всех заливов и бухт южной части этого района Байкала. Прочие заливы и бухты имеют более близкий к Малому Морю химический состав своих вод. Для иллюстрации состава воды некоторых других заливов и бухт южной части Малого Моря в табл. 113 приводятся некоторые данные, полученные во время экспедиционных поездок по Малому Морю.

2. БАРГУЗИНСКИЙ ЗАЛИВ

Баргузинский залив, отделенный от Байкала п-овом Святой Нос, является самым крупным заливом Байкала. Площадь его равна 72 500 га при ширине в створе 19,25 км и длине 32 км. В залив на его восточном берегу впадает один из крупных притоков Байкала — р. Баргузин, а на южном — две небольшие речки: Духовая и Максимиха.

Вся восточная часть залива приблизительно по меридиану р. Духовой представляет собой мелководную платформу с глубинами 50 м и менее, выстланную выносами р. Баргузина. Глубины в 200—300 м захватывают лишь горловую часть залива и в виде двух борозд вклиниваются несколько восточнее вдоль его южного и северного побережий (рис. 24).

Мелководный характер залива, а также влияние вод р. Баргузина способствуют лучшей прогреваемости его вод летом. По данным М. М. Кожова (1947), температура поверхностных слоев воды в соответствии с течениями речных вод, распространяющихся главным образом на северо-запад от устья р. Баргузина, в июне в северо-восточном углу залива и вдоль побережья п-ова Святой Нос на 9—10° выше, чем в открытом Байкале.

К началу июля температура воды всей мелководной части залива выравнивается, достигая на поверхности 15—20°. Во внешней части залива

Таблица 113

Химический состав воды некоторых бухт и заливов Малого Моря (в мг/л)

Место отбора пробы	Дата	Температура воды, °С	O_2	$CO_{2своб}$	pH	HCO_3'	Cl'	Ca^{++}	Mg^{++}	N (нитратный)	P (фосфатный)	Si	Окисляемость	
													перманганатная	бихроматная
Бухта Елгай	30.VII 1949 г.	7,2	9,83	1,06	7,78	66,8	1,1	13,5	0,8	0,011	0,015	1,08	4,12	—
Бухта Хагден-Хале, центральная часть	31.VII 1949 г.	15,6	8,37	Нет	8,40	68,3	1,5	13,5	0,8	0,014	0,057	0,82	4,12	—
Там же, внутренняя часть	21.VII 1952 г.	18,0	10,13	»	8,40	69,8	—	—	—	0,020	0,037	1,44	3,32	5,14
» » внешняя часть	21.VII 1952 г.	17,5	9,87	0,38	8,20	69,8	—	—	—	0,020	0,033	1,44	3,20	5,02
	2.III 1955 г.	0,6	—	—	—	—	—	—	—	0,030	0,018	1,42	—	—
Бухта Загли	2.III 1955 г.	0,4	—	—	—	—	—	—	—	0,032	0,022	1,16	2,21	—
Там же, центральная часть	6.VII 1955 г.	12,9	10,7	0,34	8,08	67,8	1,4	16,3	1,7	0,008	0,007	1,30	2,21	5,60
» » створ	6.VII 1955 г.	11,2	—	—	—	—	—	—	—	0,008	0,007	1,30	2,15	5,48
Бухта Харин-Ирги	2.III 1955 г.	0,4	—	—	—	—	—	—	—	0,036	0,013	1,10	2,38	—
	6.VII 1955 г.	13,4	10,96	0,32	8,08	68,3	1,4	16,3	1,6	0,008	0,005	1,24	2,09	5,13

температура воды в начале июля держится на поверхности в пределах 11—12°, а в створе — в пределах 6—8°. В августе температура поверхностных слоев мелководной части залива достигает 19—22°, падая в его створе до 11—13°.

Химический состав воды Баргузинского залива также далеко не однороден. Как показывают исследования А. С. Карнаухова (1936), произведенные летом 1932 г., и наши, на химизм воды внутренней части залива большое влияние оказывают воды р. Баргузина. Отличаясь по своему химическому составу от вод Баргузинского залива повышенным содержанием гидрокарбонатов, кальция, кремния и особенно органического вещества, воды р. Баргузина могут быть прослежены на значительное расстояние от устья. Большей частью воды р. Баргузина отклоняются на северо-запад, направляясь вдоль карги — восточного песчаного берега залива и побережья п-ова Святой Нос к нижнему изголовью последнего. В летний период они распространяются по поверхности Баргузинского залива, проникая вглубь не более чем на 2—5 м в виде широкой реки — 2—3 км и более. В периоды штилевой погоды воды р. Баргузина заполняют значительное пространство северо-восточной части залива и, очевидно, оказывают некоторое влияние и на его юго-восточную часть. Что же касается внешней части Баргузинского залива, то она заполнена байкальскими водами.

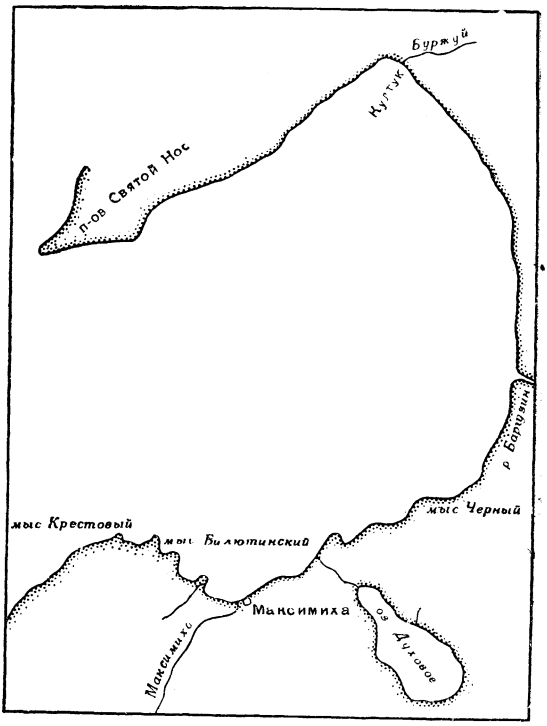


Рис. 24. План Баргузинского залива (по Кожову, 1947 г.).

Некоторое представление о различиях в химическом составе воды Баргузинского залива в разных районах последнего может дать материал табл. 114, составленной по данным наших экспедиционных исследований, проведенных летом 1955 г.

В зимний подледный период можно ожидать значительного по сравнению с Байкалом снижения содержания кислорода и повышения свободной CO_2 во внутренней части залива в связи с мощными окислительными процессами, протекающими в его илах, а также под влиянием вод р. Баргузина, несколько обедненных кислородом. Вероятно также некоторое повышение общей минерализации воды залива зимой и повышение величины окисляемости.

3. ЧИВЫРКУЙСКИЙ ЗАЛИВ

Чивыркуйский залив, отделенный от Байкала тем же п-вом Святой Нос, что и Баргузинский залив, занимает площадь 27 000 га, являясь вторым по величине заливом Байкала. Залив представляет собой коро-

Таблица 114

Химический состав воды Баргузинского залива в июле 1955 г. (в мг/л)

Место отбора поверхностной пробы	Дата	Температура, °С	O_2	$CO_{2\,свб}$	pH	HCO_3'	SO_4''	Cl'	$Ca^{\cdot\cdot}$	$Mg^{\cdot\cdot}$	$Na^{\cdot}+K^{\cdot}$	N (нитратный)	P (фосфатный)	Si	Окисляемость	
															перманганатная	бихроматная
Внутренняя часть залива, в районе Култука..	13. VII	18,1	9,91	0,34	7,8	63,7	5,8	1,3	19,1	2,9	0,3	0,018	0,003	1,80	9,89	20,24
Центральная часть залива....	12. VII	17,2	11,06	0,56	7,7	66,8	5,3	1,3	17,1	3,1	3,4	0,034	0,013	1,48	2,74	4,06
Внешняя часть залива, у Максимихи....	11. VII	5,0	11,18	0,56	7,7	68,1	5,5	1,2	15,9	3,1	5,4	0,030	0,008	1,20	1,54	3,80
Р. Баргузин.....	12. VII	12,8	10,17	1,06	7,6	78,1	7,6	1,0	23,0	1,5	4,4	0,036	0,050	4,18	15,52	27,60

шо связанный с Байкалом водоем с равномерно понижающимся в сторону створа дном. Глубины Чивыркуйского залива только в районе створа достигают 100—200 м, большая же часть его имеет глубины не свыше 20—25 м.

Восточный и западный берега Чивыркуйского залива изрезаны многочисленными губами и бухтами. Крупных притоков залив не принимает, в него впадают с восточного берега несколько мелких речек, наибольшей из которых является р. Большой Чивыркуй (рис. 25).

Мелководный характер залива и частичная защищенность от ветров создают весьма благоприятные условия для быстрой прогреваемости его вод по сравнению с водами прилежащих частей открытого Байкала. Летние температуры воды Чивыркуйского залива выше таковых открытого Байкала. В самом заливе наблюдается возрастание температуры воды в направлении от севера к югу.

Так, по наблюдениям П. Ф. Бочкарева (1934), разница в температурах поверхностной воды северной и южной частей залива в июне — начале июля 1932 г. доходила до 10°, по мере прогревания его вод эта разница уменьшалась, но еще в августе составляла около 3°.

Общий характер летнего термического режима Чивыркуйского залива может быть проиллюстрирован данными табл. 115, составленной по материалам П. Ф. Бочкарева, собранным летом 1932 г.

Необходимо указать, что при ветрах северного направления вследствие проникновения в залив байкальских вод температура его воды может значительно изменяться на протяжении очень короткого отрезка времени.

По химизму своих вод Чивыркуйский залив почти не отличается от открытого Байкала. Можно лишь указать на некоторое увеличение окисляемости воды его южной части, причина чего кроется, видимо, в пышном развитии здесь как донной растительности, так и фитопланкто-

на благодаря мелководности и хорошей прогреваемости этой части залива. Некоторые данные, характеризующие химический состав воды отдельных районов залива, представлены в табл. 116, составленной по материалам П. Ф. Бочкарева (1934), и в табл. 117, составленной по данным наших исследований летом 1955 г.

Как уже указывалось, восточный и западный берега Чивыркуйского залива сильно изрезаны, образуя закрытые губы и заливы. Гидрохимический режим этих защищенных участков Чивыркуйского залива значительно отличается от его открытой части. Особенно резкое различие в гидрохимическом режиме проявляется в оз. Рангатуй — большом мелководном водоеме, связанном с южной оконечностью Чивыркуйского залива протокой (табл. 118).

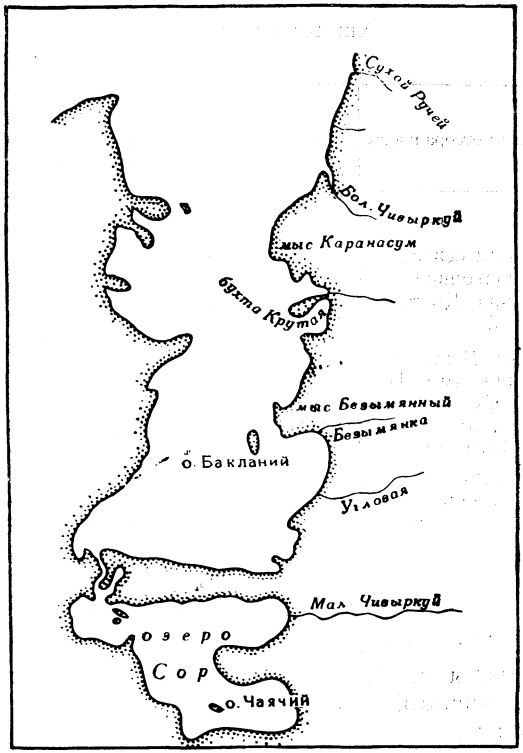


Рис. 25. План Чивыркуйского залива (по Кожову, 1947 г.).

Для оз. Рангатуй и, очевидно, в несколько меньшей мере для закрытых губ Чивыркуйского залива характерным является неустойчивый газовый режим, связанный с биологическими процессами, протекающими в толще их вод, повышенные величины окисляемости воды и значительно более высокие ее летние температуры.

Таким образом, весь режим этих частей Чивыркуйского залива приближается к режиму обычных евтрофных озер Восточной Сибири.

Таблица 115

Температура воды Чивыркуйского залива летом 1932 г. (в °С) (по Бочкареву, 1934)

Глубина, м	Горловая часть по линии Большой Котлыгей — мыс. Каракасун				Средняя часть по линии мысов Корбулик-Крутогубский				Южная часть залива за о-вом Бакланьим			
	30.VI	19.VII	1.VIII	13.VIII	30.VI	19.VII	1.VIII	13.VIII	30.VI	19.VII	1.VIII	19.VIII
0	5,3	14,2	17,7	13,4	10,9	16,3	18,6	16,2	16,0	20,2	17,7	16,5
2	4,6	14,0	17,3	10,8	10,2	16,2	18,6	14,7	16,3	20,2	17,9	16,5
5	4,2	11,2	15,2	10,3	10,5	14,5	17,2	13,5	--	—	—	—
10	4,1	5,4	5,9	8,9	8,4	7,6	—	9,8	—	--	16,9	16,4

Таблица 116

Химический состав воды Чивыркуйского залива (в мг/л) (по Бочкареву, 1934)

Место отбора пробы	Дата	Глубина, м	Температура, °С	O_2	$CO_{2своб}$	pH	HCO'_3	Ca··	Mg··	Si	Окисляемость
					1932 год						
0,4 км северо-восточнее о-ва Колтыгей	10.VI	0	5,3	12,62	1,1	7,46	67,1	16,5	4,2	0,63	1,21
		5	4,2	12,60	1,1	7,46	67,1	15,8	—	0.60	1,21
		10	4,1	12,82	1,1	7,46	68,3	16,5	—	0,56	1,30
		15	4,2	12,84	1,5	7,46	68,3	16,5	—	0,56	1,63
Мыс Безымянка — мыс Покойники (2,5 км от мыса Безымянки)	4.VII	0	12,8	10,77	0	7,82	65,8	14,4	4,7	0,48	1,80
		5	12,8	10,75	—	7,82	65,8	—	—	0,52	2,00
Против мыса Катунь, 1,9 км от берега	21.VII	0	21,48	8,64	—	8,00	62,2	14,4	—	0,45	2,30
		2	21,2	—	—	—	—	—	—	—	—

4. ПОСОЛЬСКИЙ СОР

Посольский сор расположен на восточном берегу Байкала к югу от дельты р. Селенги. От Байкала он отделен низкой песчаной косой, называемой «каргой». В средней части карги имеется широкий, около 200 м, перерыв, называемый «прорвой», через который Посольский сор и связан с Байкалом. Длина сора равна около 12,5 км, ширина — 4,6 км, площадь — 3500 га.

Глубины в центральной части достигают 3,0—3,5 м, периферические участки сора более мелководны. В Посольский сор впадают 4 речки: Большая, Толбозиха, Абрамиха и Култучная (рис. 26); на р. Большой в 12 км от ее устья расположен омулевый рыбоводный завод.

По своему температурному режиму Посольский сор мало отличается от хорошо защищенных бухт и заливов Байкала. В летний период воды его хорошо прогреваются, так что температура их уже к половине июля достигает 15—19°, а в начале августа — 20—21° и выше. Благодаря своей изолированности от непосредственного воздействия холодных масс байкальской воды, которое ограничивается только примыкающим к прорве районом сора, температурный режим последнего достаточно устойчив (табл. 119 и 120).

Химический состав воды Посольского сора значительно отличается от состава байкальских вод. Сор заполнен водами впадающих в него рек. Проведенные нами в июле 1937 г. исследования (Бочкарев, Щепетунин, Вотинцев, 1938) показали, что по своему химическому составу воды Посольского сора неоднородны. Неоднородность эта обусловливается влиянием вод притоков. Так, в момент проведения исследований южная часть Посольского сора (залив) была заполнена водами р. Култучной, район Малой Прорвы, соединяющей Малый сор с Большим, был заполнен водами р. Большой, вода р. Тобозихи еще ясно обнаруживалась в 1 км к северу от устья этой реки, центральная же часть сора находилась в это время под влиянием вод р. Абрамихи (табл. 119). Конечно, такое распределение вод в Посольском соре нельзя считать более или менее стабильным. Напротив, малые глубины сора несомненно способствуют хорошей перемешиваемости его вод под влиянием ветров.

Таблица 117

Химический состав воды Чивыркуйского залива в 1955 г. (в мг/л)

Место отбора поверхностной пробы	Дата	Температура, °С	O_2	$CO_{2своб}$	pH	HCO'_3	SO_4''	Cl'	$Ca^{··}$	$Mg^{··}$	$Na^{·}+K^{·}$	N (нитратный)	P (фосфатный	Si	Окисляемость	
															перманганатная	бихроматная
Внутренняя часть залива, 1,5 км от протоки в оз. Рангатуй	15.VII	19,0	9,17	Нет	8,20	68,2	5,6	1,2	16,8	3,0	4,6	0,008	0,013	0,86	4,20	7,86
Внутренняя часть залива, 1 км от о-ва Колтыгей . .	17.VII	13,1	8,94	»	8,30	68,2	5,6	1,1	16,8	3,0	4,5	0,004	0,020	1,10	4,05	5,76
Центральная часть залива, 2 км восточнее мыса Колтыгей	17.VII	10,8	10,36	0,76	7,70	—	—	—	—	—	—	0,006	0,010	1,10	3,74	4,06
Внешняя часть залива, в створе Святой Нос — Большой Чивыркуй	18.VII	4,0	11,83	0,76	7,70	67,1	5,7	1,1	17,0	3,0	3,9	0,006	0,010	1,10	1,62	3,92

Таблица 118

Химический состав воды некоторых губ Чивыркуйского залива и оз. Рангатуй (в мг/л) (по Бочкареву, 1934)

Место отбора пробы	Дата	Глубина, м	Температура, °С	O_2	$CO_{2своб}$	pH	HCO_3'	CO_3''	$Ca^{··}$	$Mg^{··}$	Si	Окисляемость
Губа Крохалиная, середина	8.VII 1932 г.	0	19,0	10,37	Нет	8,40	63,4	2,40	15,1	3,6	0,65	2,40
Там же, в глубине		0	20,9	9,82	»	8,17	62,2	1,20	15,1	3,0	0,52	2,28
Губа Фертик, в глубине	24.VII	0	19,4	9,85	»	8,20	—	0,95	—	—	0,65	1,80
	1932 г.	5	12,5	12,94	»	8,40	63,4	1,92	—	—	—	1,80
Оз. Большой Рангатуй	26.VII 1932 г.	0	22,9	6,79	1,76	7,70	37,8	Нет	6,9	0,2	0,71	—
Оз. Малый Рангатуй	28.VII 1932 г.	0	23,8	8,19	1,50	7,70	57,3	»	10,3	3,2	0,62	—

Таблица 119

Химический состав воды Посольского сора и рек, в него впадающих, по наблюдениям 17 июля 1937 г. (в мг/л)

Место отбора поверхностной пробы	Температура воды, °С	pH	CO_2 своб.	O_2	HCO_3'	Cl'	$Ca^{\cdot\cdot}$	$Mg^{\cdot\cdot}$	Fe общее	Si	окисляемость
Устье р. Большой . . .	14,0	7,6	3,08	9,4	36,1	1,5	11,8	1,9	0,87	5,60	3,2
р. Култучная	12,2	7,5	3,52	9,1	27,3	3,0	8,7	1,5	1,57	5,60	3,9
р. Абрамиха	19,0	7,7	7,26	11,3	42,0	1,5	12,3	1,9	1,55	3,83	4,6
р. Толбозиха	13,2	7,4	3,96	9,5	20,5	0,8	6,2	1,2	1,75	5,42	5,8
Залив сора у устья р. Култучной	17,0	7,7	1,98	8,2	27,3	3,5	8,7	1,5	—	4,48	—
Южная часть сора . . .	15,5	7,8	0,81	10,2	27,3	0,5	9,3	1,5	—	6,86	—
У южного берега, между Абрамихой и Толбозихой	18,2	7,6	1,10	8,4	30,3	1,5	9,3	1,5	—	4,67	—
Там же, середина сора	19,0	7,6	1,98	8,8	29,3	1,5	9,3	1,5	1,05	4,11	9,7
» » у северного берега	19,0	7,6	2,05	8,5	29,3	1,5	9,3	1,5	—	4,20	—
Середина сора, против прорвы	19,0	7,6	1,80	6,9	29,3	1,5	9,3	1,5	2,63	4,30	11,1
Сор в районе прорвы .	19,0	7,5	2,00	7,8	29,3	1,5	9,3	1,5	—	4,30	—
У берега, 2 км к югу от Толбозихи	19,0	7,5	2,62	7,5	23,7	1,5	7,2	0,8	—	4,67	—
Там же, середина сора	19,0	7,5	1,98	7,4	29,3	1,5	9,3	1,5	—	4,37	—
» » северный берег сора	19,0	7,6	1,68	7,9	33,1	1,5	9,3	1,5	—	4,87	—
Прорва в Малый сор .	15,5	7,7	1,36	10,1	34,2	1,1	11,81	1,5	0,87	5,60	3,1

Основное различие химического состава вод Посольского сора и открытого Байкала заключается в более низком содержании в водах сора гидрокарбонатов, кальция и повышенном содержании кремния, железа и органического вещества.

Проведенные в 1942—1943 гг. Биолого-географическим институтом при Иркутском государственном университете и в 1948—1949 гг. Байкальской лимнологической станцией АН СССР повторные исследования химизма вод Посольского сора, относящиеся к различным месяцам, дают возможность заключить, что в зимнее время по своему химизму воды его приближаются к составу байкальской воды, что связано, видимо, с повышением минерализации вод речек — притоков сора — в зимний период, с одной стороны, и нагоном в Посольский сор байкальских вод в период сильных осенних штормов, с другой (табл. 127).

Газовый режим Посольского сора менее стабилен, чем Байкала. Летом содержание кислорода чаще лежит вблизи нормального насыщения, хотя иногда может заметно отклоняться в ту или другую сторону. Зимой процент насыщения воды кислородом падает, составляя в начале апреля всего около 60—65% насыщения. Содержание свободной CO_2 изменяется в течение года от нуля (в некоторые моменты летнего периода) до 17,6 мг/л в апреле. Вероятно, апрельские данные по содержанию в водах Посольского сора кислорода и свободной CO_2 не совсем точно отражают их зимние величины, так как в это время в

водах сора уже наблюдается заметное увеличение численности фитопланктона.

5. ЗАЛИВ ПРОВАЛ

Залив Провал примыкает с севера к дельте р. Селенги. От Байкала он отграничен низкой песчаной косой, местами прерывающейся. Таких «прорв» в ограничивающей залив косе насчитывается пять. В зависимости от уровня воды в Байкале ширина прорв претерпевает значительные изменения. Площадь залива Провал равна 18 500 га, глубина не превышает 4,5—5 м. Большая часть залива еще более мелководна. В залив впадает несколько мелких речек и ручьев и, кроме того, несколько рукавов р. Селенги.

Залив представляет собой очень молодой водоем. Он образовался в результате сильного землетрясения, сопровождающегося грандиозным опусканием суши к северу от дельты р. Селенги, в конце декабря 1861 г. (ст. стиль).

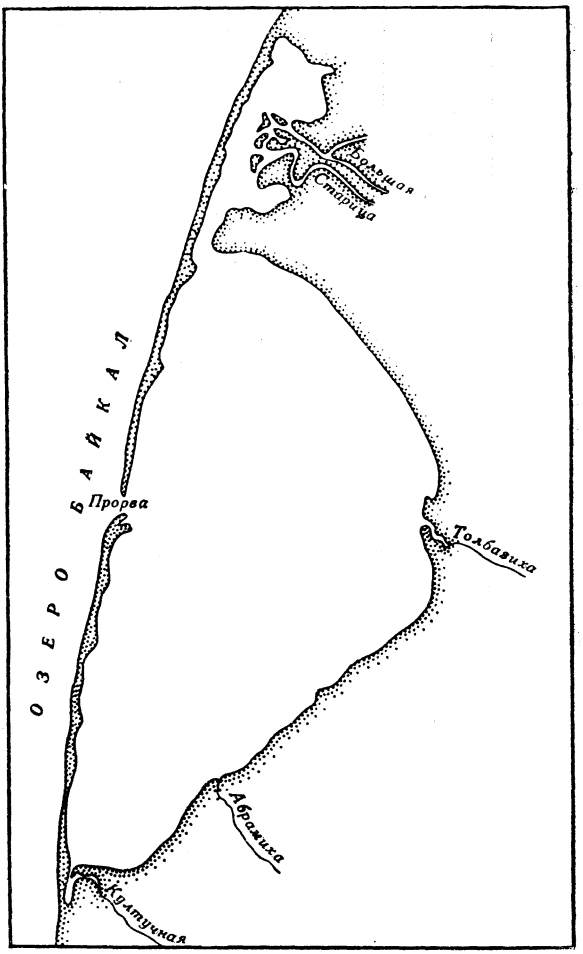


Рис. 26. План Посольского сора (по Кожову, 1947 г.).

Как и для других соров Байкала, для залива Провал характерно быстрое прогревание его вод и высокие летние их температуры, достигающие в июле на поверхности 22—26° (табл. 121).

Химический состав воды залива Провал определяется в основном составом поступающих в него вод р. Селенги. Влияние байкальских вод ограничивается лишь примыкающими непосредственно к Байкалу участками залива, да и здесь оно сказывается главным образом в районе прорв. В связи с этим химизм вод Провала резко отличается от химизма байкальской воды. Эти отличия выражаются в значительно более высоком содержании всех основных компонентов воды, исключая, может быть, магний, а также в резко повышенном содержании кремния и органического вещества (табл. 122). Исключительно высоко содержание в водах залива Провал железа. Вероятнее всего основная масса этого компонента поступает сюда в форме коллоидов и более грубодисперсных частиц железосодержащих минералов, вносимых р. Селенгой.

Судя по несколько отрывочным данным исследований Биолого-географического института при Иркутском государственном универси-

Таблица 120

Химический состав воды Посольского сора (в мг/л) (по Кожову, 1947 и Вилисовой, 1954)

Место отбора пробы	Дата	Глубина, м	Температура воды, °С	O_2	$CO_{2своб}$	pH	Ca^{++}	Mg^{++}	HCO_3'	SO_4''	Cl'	$Fe_{общ}$	Si	N (нитратный)	P(фосфатный)	Окисляемость
1942—1943 годы																
Прорва из сора	10.IV	0	0,9	12,93	4,4	7,6	12,1	—	76,1	7,5	3,2	0,6	5,79	—	—	5,9
Середина сора, против р. Абрамихи	10.IV	0	0,2	9,65	17,6	7,09	17,1	—	?	18,0	8,6	0,9	16,25	—	—	22,0
		3	4,0	8,03	17,6	7,09	—	—	—	—	—	—	11,21	—	—	—
	10.VIII	0	21,0	8,92	0,66	8,1	15,7	—	94,7	—	8,6	0,4	—	—	—	8,2
Середина сора против прорвы	10.IV	0	0,2	11,76	4,4	7,8	17,1	0,6	98,2	2,25	4,6	0,9	11,02	—	—	12,7
	9.VIII	0	21,0	7,41	0,88	7,95	14,3	—	65,8	2,8	12,6	0,26	4,67	—	—	8,3
Середина сора против Ярков	10.IV	0	0,1	12,35	4,4	7,6	18,5	—	83,2	6,0	6,6	0,7	8,59	—	—	4,75
	9.VIII	0	21,5	8,10	—	8,3	15,7	—	88,3	16,0	10,6	0,6	8,22	—	—	12,2
1948—1949 годы																
Близ р. Толбозихи (ст. 1)	31.VII 1948	0	14,0	9,66	1,73	7,5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	5,17
	7.IX 1949	0	12,0	10,17	1,94	7,4	12,56	1,7	46,85	—	—	0,18	—	—	—	4,63
Середина сора, против прорвы (ст. 3)	31.VII 1948	0	13,2	8,83	2,39	7,3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	5,17
	16.IV 1949	0	0,8	—	—	6,5	10,87	0,63	37,82	—	—	0,06	—	—	—	—
	7.IX 1949	0	14,3	9,89	1,45	6,8	11,73	2,7	50,02	3,1	—	0,18	3,55	0,019	0,010	4,81
		4	13,5	8,68	1,45	7,0	12,28	2,4	51,73	3,5	—	0,58	3,55	0,009	0,041	4,18
Прорва (ст. 4)	7.IX 1949	0	12,8	9,73	1,45	7,3	11,45	2,3	48,31	—	—	—	—	—	—	4,81
Прорва в Малый Сор (ст. 8)	7.IX 1949	0	12,8	11,18	0,97	7,25	10,61	2,3	40,75	—	—	0,18	—	—	—	5,26
Малый сор (ст. 9)	15.IV 1949	0	—	—	—	6,6	14,33	0,87?	47,58	—	—	0,10	—	—	—	—
	7.IX 1949	1	14,5	10,27	Нет	8,8	12,56	1,2	47,09	—	—	0,18	—	—	—	6,34

Таблица 121

Температура воды залива Провал в 1943 г. (по Кожову, 1947) (в °С)

Дата	Глубина, м	Юго-западная часть залива, 1—2 км от берега, общая глубина 1—2 м	Середина залива, общая глубина 4—5 м	Против Обломовской прорвы, общая глубина 3—4,5 м	Под о-вом Сахалин, общая глубина 2—3 м
29.III	0	—	—	—	0,3
	Дно	—	—	—	3,9
29.IV	0	0,2	0,2	—	—
	Дно	—	2,5	—	—
16—24.VI	0	19,6	19,2	16,0	—
	Дно	18,2	16,7	15,0	—
VII	0	22—26	22—26	—	—
3—10.IX	0	14,5	14,7—15	15,0	14,4
	Дно	—	14,0	—	—
15—16. IX	0	—	—	—	12,6

Таблица 122

Химический состав воды залива Провал (в мг/л) (по данным экспедиции 1955 г.)

Место отбора поверхностной пробы	Температура, °С	O_2	CO_2 своб	pH	HCO_3	Cl'	$Ca^{\cdot\cdot}$	$Mg^{\cdot\cdot}$	Si	N (нитратный)	P (фосфатный)	Окисляемость: перманганатная	Окисляемость: бихроматная
Пос. Оймур, 100 м от берега (3.VII)	18,3	10,12	0,12	8,20	118,2	10,8	22,1	1,3	4,80	0,008	0,003	7,36	18,31
Центральная часть залива (3.VII)	16,9	8,28	0,36	8,08	116,8	10,8	22,1	1,3	4,16	0,012	0,007	6,05	15,80
200 м от о-ва Сахалин (3.VII)	15,8	10,31	0,36	8,08	108,8	10,6	19,3	1,4	2,32	0,014	0,003	4,72	12,93
Обломовская прорва (5.VII)	12,9	10,40	0,40	8,08	107,3	5,4	19,3	1,4	2,10	0,014	0,008	4,20	10,48

тете и Байкальской лимнологической станции АН СССР, газовый режим залива Провал довольно благоприятен. Содержание кислорода летом лежит вблизи нормального насыщения, свободная CO_2 содержится в очень небольших количествах. Зимой % насыщения воды кислородом остается достаточно высоким. Повышается, правда, и содержание свободной углекислоты (табл. 123).

При рассмотрении аналитических материалов прежних исследователей залива Провал необходимо, на наш взгляд, очень осторожно относиться к некоторым данным. Так, нам кажется совершенно невероятным то высокое содержание кремния в водах залива, которое было найдено экспедицией Биолого-географического института в сентябре 1943 г. Оно в 1,5—2 раза превышает максимальное содержание кремния в водах р. Селенги и остается совершенно необъяснимым. Определенно ошибочными являются результаты анализа пробы, отобранной

Таблица 123

Химический состав воды залива Провал (по Кожову, 1947) (в мг/л)

Место отбора пробы	Дата	Глубина, м	Температура воды, °С	Кислород, мг/л	% насыщения	$CO_{2своб}$	pH	HCO_3'	SO_4''	Cl'	$Ca^{··}$	$Mg^{··}$	$Fe_{общ}$	Si	Окисляемость
1925 год															
Залив Провал	16.XII	2	3,2	11,07	83,69	9,03	—	68,4							
Там же	29.III	0	0,3	10,51	82,32	17,54	—	116,5							
		2,2	3,9	10,68	81,15	17,18	—	117,5							
1943 год															
Юго-западная часть залива, 4-5 км от берега (лед 4 м)	29.IV	0	0,2	9,88	67,6	8,8	7,36	98,7	10,2	10,6	17,1	1,8	1,4	9,53	13,6
Там же	8.IX	0	14,5	10,43	100	1,0	8,00	156,3	14,4	10,6	19,3	1,3	1,8	15,13	12,36
Середина залива, против о-ва Сахалин (лед 1,2 м)	29.IV	0	0,2	9,55	72,4	8,36	7,5	125,8	8,8	8,6	17,1	2,3	1,0	9,53	10,6
Там же	8.IX	0	15,0	10,86	105,1	0,4	8,1	133,2	—	10,6	17,1	1,8	0,6	12,52	11,75
Под о-вом Сахалин (лед 1,1 м)	29.IV	0	0,2	10,69	73,2	5,72	7,6	61,9	8,0	8,6	11,4	0,3	0,7	—	6,06
Там же	8.IX	0	14,7	11,17	106,8	0,88	8,0	125,8	7,8	8,6	15,7	0,9	0,2	7,56	10,19
		3	14,0	10,39	98,7	0,47	7,8	—	—	—	—	—	—	—	—

29 апреля 1943 г. под о-вом Сахалин. Низкое содержание гидрокарбонатов и особенно кальция и магния можно объяснить лишь недоразумением, поскольку эти величины значительно ниже наблюдаемых в Байкале.

6. СЕЛЕНГИНСКОЕ МЕЛКОВОДЬЕ

Выше уже отмечалось, что приустьевые пространства крупных притоков Байкала отличаются по химизму своих вод от байкальской воды. Нами была сделана попытка показать влияние вод притоков на химический состав прилегающих районов озера на примере р. Баргузина.

Рассмотрим теперь то влияние, которое оказывают на химизм вод Байкала воды крупнейшего притока этого озера р. Селенги.

Необходимо оговориться, что наши материалы ни в коей мере не могут осветить этот вопрос с исчерпывающей полнотой. Изучение распространения вод р. Селенги в Байкале, влияние на это распространение температуры и ветров, а равно установление границ проникновения селенгинских вод в Байкале и изучение превращения их в байкальскую воду представляет задачу будущих исследований. Напомним лишь, что влияние вод р. Селенги на химизм вод открытого Байкала, несомненно, огромно, так как в некоторые сезоны года селенгинские воды обнаруживаются у западных берегов озера в районе пос. Большие Коты, т. е. на расстоянии около 100 км по прямой от устья р. Селенги.

Можно утверждать, что влияние вод р. Селенги на химический состав воды прилегающих районов оз. Байкал будет проявляться в повышении содержания ряда компонентов в этих районах. К таким компо-

Таблица 124

Распределение некоторых компонентов в водах Селенгинского мелководья и на разрезах Бугульдейка—Среднее Устье и мыс Облом—Ольхонский пролив в июле 1956 г. (в мг/л)

Место отбора поверхностной пробы	Дата	Прозрачность, м	Температура, °С	N(нитратный)	P (фосфатный)	HCO_3'	Si	Окисляемость	
								перманганатная	бихроматная
Байкал, 2 км от Бугульдейки	2.VII	20,0	3,7	0,034	0,007	67,7	0,84	1,19	2,97
Там же, 12 км от Бугульдейки		19,0	3,7	0,032	0,008	67,7	0,84	1,14	2,97
Там же, 7 км от Среднего устья		16,0	4,1	0,028	0,010	67,7	1,00	1,38	3,44
Там же, 2 км от Среднего устья		2,0	7,6	0,010	0,007	71,2	2,00	1,95	5,13
Там же, 2 км от Кокуя		1,0	12,5	0,014	0,007	71,2	3,12	3,72	10,81
Там же, 2 км от мыса Облом		1,5	12,9	0,014	0,008	70,8	2,10	3,47	10,48
Там же, 15 км от мыса Облом	5.VII	23,0	3,7	0,038	0,008	68,3	1,30	2,27	5,59
Там же, 30 км от мыса Облом		24,0	3,7	0,040	0,007	68,3	1,04	1,51	4,11
Там же, 45 км от мыса Облом		24,0	4,4	0,032	0,003	68,3	0,92	1,45	4,10
Там же, 2 км от Ольхонских Ворот		10,0	9,7	0,010	0,003	68,3	1,30	1,56	4,18

нентам прежде всего следует отнести железо, кремний, гидрокарбонаты, может быть кальций и, конечно, окисляемость воды. Проведенные нами в 1955 г. исследования подтверждают сказанное. Действительно, на разрезе Бугульдейка — Среднее Устье, проведенном 2 июля 1955 г., ясно видно влияние селенгинских вод еще в 7 км от Среднего Устья, проявляющееся в некотором повышении здесь содержания кремния и величин окисляемости воды. Влияние вод р. Селенги было заметно в этот день во всем районе от Среднего Устья до мыса Облом (табл. 124). Заметим, что накануне и утром в день исследований дул довольно сильный северо-западный ветер, прижавший воды р. Селенги к северо-востоку от ее дельты.

Аналогичная картина распространения вод р. Селенги в Байкале, судя по распределению кремния, наблюдалась 27—28 февраля и 14—15 апреля 1955 г. (табл. 125). Обращают внимание лишь несколько

Таблица 125

Распределение некоторых компонентов в водах Селенгинского мелководья в феврале и апреле 1955 г. (в мг/л)

Место отбора поверхностной пробы	Дата	Температура, °С	N (нитратный)	P (фосфатный)	Si	Окисляемость
Против пос. Харауз, 8 км от берега . . .	27.II	0,2	0,038	0,012	1,68	2,52
Против пос. Шаманка, 2 км от берега . . .	28.II	0,2	0,042	0,022	2,20	2,59
Против Голутая, 2 км от берега		0,2	0,040	0,020	2,11	—
Против Харауза, 1 км от берега		0,2	0,036	0,013	2,80	2,16
Против Кокуя, 2 км от берега		0,2	0,026	0,016	2,80	—
Против устья протоки Галиха, 1 км от берега	14.IV	—	0,024	0,005	4,04	2,02
Против устья протоки Толстоножиха, 1 км от берега		—	0,030	0,008	4,12	2,02
Против Среднего Устья, 0,5 км от берега		—	0,026	0,007	4,36	2,34
Середина между Средним Устьем и Кокуем 1 км от берега		—	0,024	0,010	4,38	2,11
Против Устья Харауза, 1,5 км от берега	15.IV	—	0,064	0,016	4,94	4,06
Середина между Хараузом и Шаманкой, 0,8 км от берега		—	0,016	0,005	3,88	2,26
Шаманка, в прорве, 0,8 км от берега		—	0,024	0,005	3,96	2,18
Исток, 1 км от берега		—	0,020	0,005	3,96	2,34
Против Посольска, 0,8 км от берега		—	0,044	0,010	0,83	2,42
Против Посольских Ярков, 0,9 км от берега	16.IV	—	0,038	0,005	1,38	2,42
Против Поворота, 0,9 км от берега		—	0,044	0,007	1,04	2,18

низкие величины окисляемости воды района Селенгинского мелководья в рассматриваемый период. Впрочем, величины эти не очень резко отличались от зимних значений окисляемости воды р. Селенги, а так как в момент проведения исследований река еще не вскрылась от льда, то, очевидно, больших различий в величинах окисляемости воды самой реки и ее приустьевого пространства нельзя было и ожидать.

7. СЕВЕРОБАЙКАЛЬСКИЙ СОР

Химический состав воды северной оконечности Байкала находится под постоянным воздействием двух крупных притоков этого озера — р. Верхней Ангары и Кичеры. Благодаря влиянию этих рек район северобайкальского мелководья и северо-западного прибрежного участка озера до губы Сеногда, а возможно даже до губы Богучанской несколько отличается по своему химизму от открытого Байкала. Различия эти проявляются в пониженном содержании гидрокарбонатов и кальция и повышенном содержании кремния и органического вещества. В целом можно сказать, что в летний период поверхностные воды северобайкальского мелководья находятся под заметным влиянием вод р. Верхней Ангары, воды же северо-западного прибрежного района Байкала несут в себе заметную примесь вод р. Кичеры.

Особенно резко влияние вод указанных рек проявляется в районе Северобайкальского сора, отделенного от открытого озера, как и большинство других соров Байкала, низкой песчаной косой, носящей название о-ва Ярки. Длина этой косы до 15 км при ширине около 200 м. Коса в нескольких местах прорвана, образуя проливы, соединяющие сор с Байкалом. Площадь Северобайкальского сора равна 2300 га. Глубины его небольшие — в среднем около 1,7 м. Лишь местами они достигают — 3—3,5 м.

Таблица 126

Химический состав воды Северного Байкала (в мг/л)

Место отбора пробы	Дата	Глубина, м	Температура, °С	pH	$CO_{2своб}$	O_2	HCO'_3	$Ca^{\cdot\cdot}$	$Mg^{\cdot\cdot}$	$Fe_{общ}$	Si	Окисляемость
					1925 год							
Котельниковский мыс	30.VI	0	3,2	7,7	1,9	12,86	79,0	16,8	—	0,024	0,65	2,2
		25	3,2	7,7	3,0	12,86	79,0	—	—	0,018	0,65	1,6
Против пади Гуэлга	3.VII	0	6,2	7,8	2,3	12,43	69,0	14,4	2,1	—	0,70	3,4
		25	4,2	7,75	2,9	12,86	70,8	—	—	—	—	2,1
Губа Богучанская	6.VII	0	11,7	8,1	1,8	12,14	63,7	12,4	1,3	0,024	—	4,5
		25	5,2	7,75	3,1	12,43	69,8	14,3	1,4	—	—	3,0
Мыс Курла	7.VII	0	12,8	7,9	2,4	12,98	70,1	13,1	1,9	—	0,79	4,6
		25	4,2	7,7	2,8	12,86	75,9	—	—	—	0,47	3,0
Между с. Губой и Нижнеангарском	27.VII	0	18,8	7,8	2,0	9,00	43,5	10,0	0,6	—	1,49	4,0
			14,7	8,0	1,6	10,71	63,5	13,1	1,6	—	0,93	2,8
Против устья р. Кичеры	22.VII	0	20,0	8,0?	1,8	9,86	39,6	9,3	—	—	1,68	3,9
		10	9,6	8,1	1,1	12,43	68,5	—	—	—	—	—
Против о-ва Ярки	28.VII	0	17,8	8,2	1,5	10,14	57,1	12,8	1,3	—	1,31	2,7
		20	6,6	7,7	2,9	12,14	70,1	15,0	1,6	—	0,93	2,7
Против среднего Устья	20.VII	0	17,5	7,9	1,8	10,43	60,4	13,6	1,3	—	1,49	3,0
		25	4,8	7,7	2,6	12,14	72,3	—	—	—	—	—
Против Дагарского Устья	19.VII	0	18,2	7,8	2,6	9,30	53,2	11,4	0,5	—	2,33	4,2
		30	6,5	7,6	3,7	11,43	76,5	15,1	1,7	—	—	—
Дагарская губа	19.VII	0	13,9	8,2	0,8	11,43	65,4	14,7	1,1	—	1,12	3,8
		10	9,6	8,1	0,4	13,00	70,4	15,1	—	—	1,12	—
Между мысами Немнянка и Ирексокон	13.VII	0	11,8	8,2	1,6	11,72	70,1	12,8	1,8	—	0,75	2,5
		25	5,3	7,7	3,6	11,43	76,8	—	—	—	—	—
р. Кичера	10.VII	0	14,4	7,15	3,4	10,37	30,2	6,3	1,0	0,12	1,58	3,6
р. Верхняя Ангара	13.VII	0	18,6	7,5	2,9	9,01	51,8	11,1	0,9	—	2,33	5,0
Сор у Нижнеангарска	11.VII	0	15,4	7,4	2,7	9,14	33,0	7,8	—	0,15	—	8,7

Таблица 127

Химический состав воды бухты Анги (в м/гл) (глубина 0 м)

Место отбора пробы	Дата	Температура, °С	O_2	$CO_{2\,своб}$	pH	HCO'_3	Cl'	Ca''	Mg''	$Fe_{общ}$	Si	P (фосфатный)	N (нитратный)	Окисляемость
Устье р. Анги	28.VII 1949 г.	16,0	7,57	—	8,40	97,56	1,1	16,2	1,2	—	8,52	0,016	0,009	4,47
Внутренняя часть бухты		20,0	11,53	—	8,40	106,83	0,7	16,2	1,2	—	7,23	0,003	0,041	10,00
Центральная часть бухты	17 час. 30 мин.—22 часа	13,0	8,44	0,84	8,00	94,07	0,8	16,2	1,2	0,09	8,24	0,005	0,016	5,64
Бухта, 1 км от створа	26.VIII 1941 г.	12,6	9,81	0,88	7,94	91,36	0,7	14,8	1,6	—	5,51	0,013	0,013	5,32
Бухта, в створе		11,8	10,34	0,90	7,94	69,71	0,6	13,5	1,6	—	2,13	0,013	0,013	3,74
р. Анга		—	12,31	4,51	7,75	82,5	—	19,0	5,1	Следы	3,55	—	—	—
Бухта Анги при входе		—	10,60	1,36	8,15	72,2	—	16,4	1,6	—	1,77	—	—	—

Мелководный характер Северобайкальского сора обеспечивает его быстрый прогрев летом, благодаря чему воды сора значительно теплее байкальских вод.

Сведения о химическом составе воды Северобайкальского сора и прилегающих к нему частей открытого Байкала представлены в табл. 126, составленной по данным С. И. Кузнецова, А. П. Щербакова (1930) и П. Ф. Бочкарева (1932).

8. ГУБЫ ОТКРЫТОГО БАЙКАЛА

В зависимости от своего физико-географического положения и морфометрических данных губы открытого Байкала находятся под различным влиянием озера. Наиболее обширные и глубоко вдающиеся в материк бухты и губы полностью теряют во внутренних своих частях байкальский характер и приобретают черты типичных сибирских евтрофных озер. Открытые же губы и бухты всецело находятся под влиянием водных масс озера и их гидрохимический режим в зависимости от глубины приближается либо к режиму байкальской литорали, либо к режиму открытого озера.

В качестве примера глубоко вдающейся в материк бухты рассмотрим Ангу. Она расположена на западном побережье Байкала в 50 км южнее пролива Ольхонские Ворота. Длина бухты достигает 1,8 км, ширина во внешней части около 1,3 км, глубина в створе свыше 40 м, во внутренней же части бухты — не превышает 1,0—1,5 м. Во внутреннюю часть бухты Анги впадает небольшая речка того же названия. Вся приустьевая часть речки, а также северо-восточная часть бухты сплошь заросли камышами и другой водной растительностью.

Наиболее подробно бухта Анга была обследована нами в гидрохимическом отношении в июле 1949 г. Результаты этих исследований (табл. 127) показывают, что бухта Анга заполнена водами р. Анга и только вблизи створа приобретает байкальский характер.

По своему химическому составу воды бухты Анги отличаются от вод открытого Байкала повышенным содержанием гидрокарбонатов, кальция, железа, кремния, повышенными величинами окисляемости воды и неустойчивым газовым режимом. Особенно резко эти отличия проявляются

во внутренней части бухты, непосредственно примыкающей к устью р. Анги. Однако и в центральной части бухты влияние речных вод сказывается еще довольно сильно.

Температурный режим бухты Анги неустойчив. Так, температура воды на поверхности бухты в 1 км от створа и на середине 28—29 июля 1949 г. колебалась следующим образом:

28.VII	16 час.	00 мин	. . . .	14,8°C
	20 »	00 »	. . . .	13,0 »
29.VII	6 »	00 »	. . . .	5,3 »
	9 »	00 »	. . . .	6,4 »
	12 »	00 »	. . . .	12,8 »
	18 »	00 »	. . . .	13,7 »

Таким образом, суточная амплитуда температуры воды в конце июля 1949 г. достигала в бухте 9,5°.

Летом 1955 г. была обследована также бухта Арул, расположенная на западном побережье Байкала в районе северной оконечности Малого Моря. Эта бухта доступна воздействию ветров, дующих с Байкала, а поэтому ее гидрохимический облик оказался весьма близким к облику северной оконечности Малого Моря.

Глава X

ВЕРТИКАЛЬНАЯ ГИДРОХИМИЧЕСКАЯ ЗОНАЛЬНОСТЬ ОТКРЫТОГО БАЙКАЛА

Рассматривая состав воды открытого Байкала, мы показали, что сколько-нибудь значительные различия в горизонтальном и вертикальном распределении основных ионов в воде озера отсутствуют на всем его протяжении. Напротив, другие ингредиенты распределены в водах озера в вертикальном направлении далеко не равномерно. К таким ингредиентам относятся компоненты газов (O_2, сводная CO_2), активная реакция, соединения биогенных элементов, органические вещества, выражаемые величинами окисляемости воды. Вертикальное распределение всех перечисленных ингредиентов, обусловленное целым комплексом причин, вполне закономерно и позволяет расчленить водные массы озера в вертикальном направлении на ряд зон.

В настоящей главе нами сделана попытка вертикального расчленения водных масс Байкала на отдельные гидрохимические однородные и хорошо отграниченные друг от друга зоны.

Схем районирования Байкала предложено довольно много. Однако все они, исключая схему Г. Ю. Верещагина (1936) (см. ниже), основываются на вертикальном и горизонтальном распределении отдельных групп фауны Байкала и ставят своей целью либо проведение зоогеографического расчленения озера, либо носят характер батиметрического распределения представителей отдельных групп фауны. Единственной схемой, базирующейся на термике и отчасти химизме вод Байкала, является схема вертикальной зональности озера, предложенная Г. Ю. Верещагиным (1936).

Г. Ю. Верещагин делит водные массы Байкала в вертикальном направлении на четыре зоны с рядом подзон. Кратко зональность водных масс Байкала, по Верещагину, можно представить следующим образом.

Первая — альтернирующая зона охватывает область глубин с наличием прямой и обратной стратификациями температур воды, т. е. на Байкале от поверхности до 200—300 м глубины. Зона делится на следующие подзоны.

Подзона волнового перемешивания — от поверхности до глубины около 8 м; для нее характерно механическое перемешивание водных масс под действием волнения (динамическая конвекция); волновое перемешивание способствует выравниванию температур и гидрохимических факторов по вертикали; это выравнивание снижается в периоды обратной, а главным образом прямой стратификации температур при безветренной погоде резкой термической стратификацией,

исчезающей с появлением нового волнения; роль ледяного покрова еще не изучена.

Подзона суточной конвекции характеризуется интенсивными конвекционными токами, возникающими под влиянием суточных и сезонных колебаний температуры в поверхностном слое, а также ветровой циркуляцией; нижняя граница ее лежит в пределах от 10—20 м в периоды начала прямой и обратной стратификации до 70 и даже 100 м — в периоды гомотермии; вместе с подзоной ветрового перемешивания эта зона составляет эпилимнион. В термическом отношении она характерна сравнительной однородностью температур с вертикальным градиентом на 100 м и около 1°; сезонные изменения температуры бывают значительны. Для подзоны характерны значительные суточные и сезонные колебания кислорода, свободной CO_2 и кремния, связанные с жизнедеятельностью организмов.

Подзона температурного скачка приходится на Байкале на глубины от нескольких метров до 80—90 м и более; обычно металимнион бывает кратковременным и слабовыраженным.

Подзона сезонных конвекций характерна преобладанием в ее динамике ветровых циркуляций над термическим перемешиванием в силу незначительных сезонных колебаний температур в этом слое; верхняя граница данной подзоны находится на глубине проникновения суточных конвекционных токов; нижняя определяется глубиной всей альтернирующей зоны — 200—300 м. В термическом отношении эта подзона характерна незначительностью сезонных колебаний температуры и небольшой ее неоднородностью по вертикали; в гидрохимическом отношении для подзоны сезонных конвекций характерно слабое уменьшение с глубиной содержания кислорода и увеличение свободной CO_2 и кремния.

Вторая — зона мезотермического максимума характерна тем, что здесь совпадают наблюдаемые температуры с температурами наибольшей плотности воды на данной глубине. Благодаря этому здесь в период обратной термической стратификации альтернирующей зоны сосредоточены водные массы с наибольшей на профиле температурой. Глубина ее залегания около 200—250 м.

В гидрохимическом отношении эта зона не представляет ничего характерного.

Третья переннирующая зона характеризуется наличием постоянной прямой стратификации температур воды. Г. Ю. Верещагин рассматривает ее как водоем тропического типа. Зона делится на следующие подзоны.

Подзона сезонного выравнивания имеет ясно выраженный сезонный ход температур. Характерно более интенсивное падение с глубиной содержания кислорода и увеличение свободной CO_2 и кремния, чем в подзоне сезонных конвекций.

Подзона глубинной гомогенности характерна проникновением сюда только течений, вызываемых ветровой циркуляцией; в термическом и гидрохимическом отношении однородна.

Подзона глубинного застоя характеризуется постоянством температур, значительным снижением содержания кислорода и увеличением свободной CO_2 и кремния. Подзона лишь слабо захватывается течениями от ветровой циркуляции.

Четвертая — придонная зона характерна своим контактом с дном, что сказывается на ее химизме и отчасти температурном режиме.

Хотя предложенная Г. Ю. Верещагиным схема и построена на термических и отчасти гидрохимических особенностях водных масс Байкала на разных его глубинах, все же и она не может полностью

удовлетворить нас. Недостатки схемы Г. Ю. Верещагина с точки зрения температурного режима Байкала подробно рассмотрены Л. Л. Россолимо (1957).

По его данным, само расчленение водных масс Байкала на отдельные зоны и подзоны произведено Г. Ю. Верещагиным в известной мере формально. Действительно, даже деление основной водной толщи озера на альтернирующую и переннирующую зоны не может быть произведено достаточно четко, на что указывает выделяемая Г. Ю. Верещагиным в пределах переннирующей зоны подзона сезонного выравнивания, являющаяся частью подзоны сезонных конвекций альтернирующей зоны. Неясна и мощность этой подзоны.

Выделение в пределах альтернирующей зоны подзон волнового перемешивания, суточных конвекций и сезонных конвекций может быть произведено также лишь условно, так как подзона сезонных конвекций включает в себя обе другие подзоны. При этом главная характерная особенность подзоны сезонных конвекций — наличие сезонных изменений в термике и химизме вод озера — выражена в подзонах волнового перемешивания и суточной конвекции несравненно более резко, чем в пределах подзоны сезонных конвекций, выделяемой Г. Ю. Верещагиным. Нет нужды подробно говорить о том, что в пределах подзоны волнового перемешивания наиболее ясно проявляются суточные изменения всех ингредиентов.

Расчленение глубинной области Байкала на подзоны глубинной гомогенности и глубинного застоя не обосновано фактическими данными. По существу обе эти подзоны должны быть объединены в одну общую подзону. Если при этом учесть, что сам Г. Ю. Верещагин вполне убедительно доказывает проникновение, хотя и выраженное в слабой степени, сезонных изменений температуры воды до глубины около 600 м и выделяет эту область глубин в подзону сезонного выравнивания переннирующей зоны, то становится не совсем ясным, что же заставило его объединить эту подзону со следующими двумя — подзоной глубинной гомогенности и подзоной глубинного застоя — в одну общую зону. Если уж проводить такое объединение, основываясь на общности их термического режима, то самое название зоны следовало бы изменить, назвав ее хотя бы тропической зоной озера, показав тем самым основную особенность ее — наличие постоянной прямой термической стратификации в течение всего года. Это тем более справедливо, что сам автор рассматривал переннирующую зону как водоем тропического типа, что, впрочем, нельзя признать удачным, так как в этом случае происходит как бы выделение водоема в водоеме.

Нельзя не отметить отсутствие в схеме Г. Ю. Верещагина зоны иловых вод, пропитывающих донные отложения озера, коренным образом отличающихся от всех вышележащих слоев воды, в том числе и от придонных.

Схема Г. Ю. Верещагина была в свое время положена в основу нашей схемы вертикальной гидрохимической зональности Байкала. По аналогии мы различали в Байкале также альтернирующую, переннирующую и придонную зоны и добавляли еще зону иловых вод. В пределах альтернирующей зоны были выделены подзоны волнового перемешивания, суточных конвекций и сезонной конвекции. Переннирующую зону, в отличие от мнения Г. Ю. Верещагина, предлагалось считать гидрохимически единой.

Дальнейшее изучение гидрохимии Байкала убедило нас в том, что основная толща его вод, до придонных слоев, является гидрохимически однородной и расчленение ее на две хорошо отграниченные друг от друга зоны — альтернирующую и переннирующую — не может быть

достаточно надежно обосновано фактическим материалом и является лишь формальным. В связи с этим наши первоначальные взгляды на вертикальное расчленение водных масс Байкала были пересмотрены в целом и была значительно изменена первоначальная схема.

Водные массы Байкала в свете наших новых представлений предлагается делить теперь на три зоны.

Зона основных маломинерализованных гидрокарбонатно-кальциевых вод, богатых кислородом. Она простирается от поверхности водоема до придонной зоны, т. е. охватывает всю основную водную толщу озера. Она характеризуется стабильностью ионного состава воды в пространстве и во времени и ясно выраженной вертикальной стратификацией соединений биогенных элементов, органического вещества и компонентов газов.

Зона делится на три подзоны.

Подзона суточной химической активности охватывает верхний фотосинтетический слой воды озера; ее нижняя граница определяется нижней границей проникновения фотосинтеза и приходится в свободный от льда период на глубины 60—70 м, в подледный период — на глубины 5 м (январь-февраль) — 30 м (апрель-май.) Как показывает само название, для нее характерны правильные суточные изменения отдельных компонентов — кислорода, свободной CO_2 и pH, вызываемые происходящими в водоеме биологическими и биохимическими процессами.

Летом на глубинах до 25—30 м благодаря преобладанию интенсивности процесса фотосинтеза над интенсивностью деструкции органических веществ часто наблюдается пересыщение воды растворенным кислородом и падение содержания свободной CO_2. В поверхностном слое воды днем свободная CO_2 иногда полностью отсутствует и появляются монокарбонаты. Зимой содержание кислорода лежит вблизи нормального насыщения, а по абсолютным величинам достигает годового максимума. Содержание свободной CO_2 остается невысоким.

Содержание соединений биогенных элементов — азота и фосфора — наименьшее по вертикали. Окисляемость воды, напротив, максимальная.

В вертикальном направлении наблюдается незначительное падение содержания кислорода с глубиной, заметное падение величин окисляемости воды и рост содержания нитратного азота, фосфатного фосфора и свободной CO_2.

Температура воды испытывает правильные суточные изменения. Амплитуда ее сезонных изменений наибольшая по вертикали. Вертикальная стратификация выражена в период летнего прогрева наиболее резко.

Динамика водных масс осуществляется здесь как за счет конвекционных токов, так и за счет волнового перемешивания (верхние слои воды) и ветровой циркуляции.

Подзона сезонной химической активности характеризуется наличием только сезонных изменений химического состава воды. Суточные изменения отсутствуют. Верхняя граница подзоны условно совмещается нами с нижней границей подзоны суточной химической активности. В действительности сезонные изменения химического состава воды происходят и в подзоне суточной химической активности, захватывая все ее слои до поверхности водоема. Однако здесь главную роль в химической характеристике играют суточные изменения химизма вод озера. Нижняя граница подзоны сезонной химической активности ограничивается глубиной проникновения сезонных явлений в химизме байкальских вод, т. е. примерно 250 м.

В вертикальном направлении для подзоны характерно незначительное уменьшение содержания кислорода, стабильность величин окисляемости воды и дальнейший по сравнению с подзоной суточной химической активности рост содержания соединений биогенных элементов и свободной CO_2. Фотосинтез отсутствует.

Сезонные изменения температуры воды выражены отчетливо. Вертикальная стратификация ее невелика.

Главное значение в динамике водных масс подзоны сезонной химической активности играет ветровая циркуляция.

Подзона глубинной химической стабильности соответствует в целом переннирующей зоне Г. Ю. Верещагина, охватывая область глубин от нижней границы подзоны сезонной химической активности до придонной зоны, т. е. всю основную водную толщу Байкала.

Химический состав воды в пределах всей этой подзоны не претерпевает правильных сезонных изменений. Наблюдаемые изменения в содержании отдельных ингредиентов носят незакономерный характер и могут рассматриваться как межгодовые.

В вертикальном направлении продолжается дальнейшее падение содержания кислорода до 80—75% насыщения на максимальных глубинах подзоны, увеличение в 2—3 раза по сравнению с поверхностными солями воды содержания свободной CO_2 и заметный рост содержания нитратного азота, фосфатного фосфора и кремния. Окисляемость воды падает с глубиной, достигая у нижней границы подзоны минимальных по вертикали величин.

Характерной особенностью температурного режима подзоны глубинной химической стабильности является наличие постоянной в течение всего года прямой термической стратификации, выраженной очень слабо.

Водообмен осуществляется в основном за счет течений, вызванных ветровой циркуляцией. С увеличением глубины течения эти, вероятно, затухают.

2. Зона придонных гидрокарбонатно-кальциевых вод, обедненных кислородом и обогащенных железом и кремнием, расположена непосредственно над дном водоема, захватывая небольшой слой воды предположительно около 1 м или несколько более, считая от дна. В отдельных западинах и котловинах дна возможно некоторое увеличение мощности этой зоны.

Ионный состав воды практически тождествен с составом воды вышерасположенной подзоны глубинной химической стабильности зоны основных гидрокарбонатно-кальциевых вод. Возможно лишь некоторое очень незначительное увеличение содержания гидрокарбонатов — на 1,5—2 мг/л и кальция — на 0,5 мг/л. Наблюдается значительное падение содержания кислорода по сравнению с вышележащей подзоной, рост содержания свободной CO_2, значительный рост содержания нитратного азота (в 2—4 раза), фосфатного фосфора, кремния, железа и величин окисляемости воды, а также появление аммиачного азота, отсутствующего в вышележащих слоях воды.

Температура воды постоянна или испытывает лишь ничтожные изменения.

Динамика водных масс осуществляется здесь, вероятно, в основном за счет придонных течений. Некоторое влияние могут оказывать вихревые токи, возникающие при движении животных.

3. Зона бескислородных гидрокарбонатно-кальциево-кремнеземных иловых вод, сильно обогащенных железом и органическим веществом, в химическом отношении наиболее резко отлична от всех вышележащих слоев воды благодаря своему тесному контакту с донными отложениями озера. Содержание кислорода резко падает до аналитического нуля уже

в верхних нескольких сантиметрах толщи иловых отложений. Содержание свободной CO_2, напротив, сильно возрастает. Возможно наличие сероводорода. Содержание нитратного азота, фосфатного фосфора, кремния, железа, марганца и органического вещества возрастает в 2—8 раз и более по сравнению с их содержанием в придонных слоях воды. Общая минерализация воды несколько возрастает за счет гидрокарбонатов и кальция.

В вертикальном направлении отмечается крайняя неоднородность состава иловых вод. Уже в верхнем 20-сантиметровом слое грунта наблюдается заметный рост содержания в иловых водых нитратного азота, фосфатного фосфора и кремния с глубиной, падение величин окисляемости воды и полное исчезновение кислорода.

Температура этой зоны пока не изучена. Динамика вод осуществляется здесь, очевидно, за счет диффузионных токов.

Для большей наглядности характеристика каждой из перечисленных зон и их взаимоположение в Байкале показано на прилагаемой схеме (табл. 128).

В последние годы изучением вопроса вертикальной гидрохимической зональности Байкала занимается также В. А. Толмачев. Впервые вопрос этот он поднимает в своем отчете (Толмачев, 1954), уже цитированном выше. Позднее В. А. Толмачев отказался от своих первоначальных взглядов и опубликовал новый вариант вертикального расчленения водных масс Байкала (Толмачев, 1957).

На основании своих исследований над сезонными изменениями вертикального распределения некоторых компонентов в водах Байкала (гидрокарбонатов, сульфатов и суммы ионов в районе пос. Лиственичного и гидрокарбонатов и нитратов в районе мыса Ухан) В. А. Толмачев считает возможным расчленить водные массы Байкала в вертикальном направлении на три зоны: верхнюю зону динамической активности, соответствующую альтернирующей зоне Г. Ю. Верещагина; срединную зону относительного застоя, охватывающую область глубин от 300 до 1000 м; и глубинную зону динамической активности, располагающуюся на глубинах свыше 1000 м. Своей нижней границей глубинная зона динамической активности имеет либо дно водоема, либо в некоторых местах (во впадинах озера) придонный слой воды. Обе зоны динамической активности характеризуются, по В. А. Толмачеву, значительными сезонными изменениями в химическом составе своих вод. Срединная же застойная зона более стабильна в гидрохимическом отношении, так как ее воды лишь частично участвуют во внутреннем водообмене в озере.

Большую динамическую подвижность вод на глубинах свыше 1000 м автор объясняет перемещением поверхностных вод на большие глубины вдоль подводных береговых склонов под воздействием ветров.

Развиваемые В. А. Толмачевым взгляды на вертикальное расчленение вод Байкала находятся в противоречии со взглядами Г. Ю. Верещагина и схемой, разработанной нами. Признавая большую динамическую активность вод Байкала на глубинах свыше 1000 м, В. А. Толмачев молчаливо отвергает этим подзону глубинного застоя переннирующей зоны Г. Ю. Верещагина, а также наши представления о стабильности химизма вод Байкала на больших глубинах. Понятно, что вопрос этот имеет большое принципиальное значение для гидрохимии и гидрологии Байкала. Если воды глубинной области Байкала действительно активно вовлекаются во внутренний водообмен в озере, то это в значительной степени меняет наши представления о круговороте вещества в Байкале.

Вряд ли кто-нибудь сейчас серьезно возразит против того, что воды Байкала на глубинах свыше 250—300 м не испытывают никаких изме-

Таблица 128

Схема гидрохимической зональности Байкала

	Зона основных маломинерализованных гидрокарбонатно-кальциевых вод, богатых кислородом			Зона придонных гидрокарбонатно-кальциевых вод, обедненных кислородом и обогащенных железом и кремнием	Зона бескислородных гидрокарбонатно-кальциево-кремнекислых иловых вод, сильно обогащенных железом и органическим веществом
	Подзона суточной химической активности	Подзона сезонной химической активности	Подзона глубинной химической стабильности		
Ионный состав	Содержание основных ионов постоянно во времени и по акватории озера и равно в среднем: HCO_3^- — 66,5 мг/л; SO_4^{--} — 5,2 мг/л; Cl^- — 0,6 мг/л; Ca^{++} — 15,2 мг/л; Mg^{++} — 3,1 мг/л; сумма щелочных металлов — 5,8 мг/л			Возможен небольшой рост общей минерализации воды за счет гидрокарбонатов — на 1,5 — 2 мг/л и кальция — на 0,5 мг/л	Незначительное увеличение общей минерализации воды за счет гидрокарбонатов — на 2—3 мг/л и кальция — на 0,5 —1 мг/л
Соединения N, P, Si	Резкие сезонные изменения: N (нитратов) от 0 до 40 — 50 — 80 мг/м³, P (фосфатов) от 3—8 до 30—40мг/м³ и Si от 350 — 400 до 1800 мг/м³ при минимальном по вертикали содержании. Для нитратного азота и фосфатного фосфора ясно выраженная вертикальная стратификация. Кремний распределен по вертикали равномерно	Сезонные изменения, затухающие с глубиной. В вертикальном направлении заметный рост содержания нитратного азота и фосфатного фосфора и небольшой рост кремния	Сезонные изменения отсутствуют. С глубиной дальнейший небольшой рост нитратного азота и фосфатного фосфора и заметный рост — до 2500 — 2700 мг/м³ кремния	Сезонные изменения отсутствуют. Резкий рост (в 2 — 4 раза) содержания по сравнению с соседней зоной. Появляется в небольших количествах аммиачный азот	Резкое увеличение содержания по сравнению с соседней зоной (в 2—8 раз). Ясная вертикальная стратификация у фосфора и кремния. Увеличение до 0,5 мг/л и более содержания аммиачного азота в верхних горизонтах зоны
Соединения Fe, Mn	Ясные сезонные изменения с амплитудой у Fe от 0,02 до 0,06 мг/л, у Mn — от 0,0012 до 0,0023 мг/л. Небольшой рост содержания с глубиной		Небольшой рост содержания по сравнению с вышерасположенной подзоной	Содержание возрастает в 2 — 3 раза по сравнению с содержанием в поверхностных слоях воды	Резкий рост содержания (в 2 — 5 раз)

Таблица 128 (продолжение)

	Зона основных маломинерализованных гидрокарбонатно-кальциевых вод, богатых кислородом			Зона придонных гидрокарбонатно-кальциевых вод, обедненных кислородом и обогащенных железом и кремнием	Зона бескислородных гидрокарбонатно-кальциево-кремнекислых иловых вод, сильно обогащенных железом и органическим веществом
	Подзона суточной химической активности	Подзона сезонной химической активности	Подзона глубинной химической стабильности		
Органическое вещество	Значительные сезонные изменения — 3,0 — 4,0 мг/л в сухом беззольном весе. Максимальное содержание по вертикали в пределах зоны. Значительное падение содержания с глубиной в верхних 25 — 50 м	Сезонные изменения, затухающие с глубиной. Однородное вертикальное распределение	Сезонные изменения отсутствуют. По вертикали очень слабое падение содержания с глубиной	Заметное увеличение содержания (в 2 — 3 раза) по сравнению с вышележащими слоями воды	Резкий рост содержания в верхнем горизонте зоны — до 20 мг/л и более (в пересчете на сухой беззольный вес) и столь же резкое падение содержания по вертикали
Газовый режим O_2,$CO_{2\,своб}$	Правильный суточный ход. Летом часто пересыщение воды кислородом в поверхностных слоях, иногда отсутствие свободной CO_2 и появление монокарбонатов. Зимой содержание кислорода близко к нормальному насыщению, содержание свободной CO_2 невелико. Сезонные изменения значительны. С глубиной содержание кислорода падает, а содержание свободной CO_2 увеличивается незначительно	Суточные колебания отсутствуют. Сезонные выражены ясно. Вертикальное распределение аналогично соседней подзоне	Суточные и сезонные колебания отсутствуют. Падение содержания кислорода с глубиной до 80 — 75% насыщения и рост содержания свободной CO_2 до 5 — 6 мг/л на максимальных глубинах	Значительное падение содержания кислорода и увеличение содержания свободной CO_2 по сравнению с вышележащими слоями воды	Резкое падение содержания кислорода до полного его отсутствия. Рост содержания свободной CO_2. Возможно появление H_2S, особенно в нижних горизонтах зоны
Активная реакция (pH)	Резкие суточные и сезонные колебания от 7,36 до 8,4 — 8,5 единиц pH в поверхностном слое воды. Незначительное подкисление с глубиной	Ясные сезонные изменения. Небольшое подкисление с глубиной	Сезонные и суточные изменения отсутствуют. Постепенное подкисление с глубиной от 7,4—7,6 единиц pH на поверхности до 7,0 в нижних горизонтах	Реакция близка к нейтральной. pH равна 7,0 — 7,1	Нейтральная или слабокислая реакция

Таблица 128 (окончание)

	Зона основных маломинерализованных гидрокарбонатно-кальциевых вод, богатых кислородом			Зона придонных гидрокарбонатно-кальциевых вод, обедненных кислородом и обогащенных железом и кремнием	Зона бескислородных гидрокарбонатно-кальциево-кремнекислых иловых вод, сильно обогащенных железом и органическим веществом
	Подзона суточной химической активности	Подзона сезонной химической активности	Подзона глубинной химической активности		
Температурный режим	Правильные суточные и сезонные изменения температуры воды. Вертикальная стратификация выражена ясно	Ясно выраженные сезонные изменения температуры воды. Отчетливая вертикальная стратификация	Суточные и сезонные изменения температуры отсутствуют. Постоянная прямая стратификация с незначительными изменениями по вертикали	Температура постоянная в течение всего года. Возможен некоторый небольшой рост температуры воды за счет геотермического эффекта	Температура постоянна в течение всего года
Динамика водных масс	Волновое перемешивание в верхних горизонтах, ветровые циркуляции и конвективное перемешивание	Ветровые циркуляции (преобладают) и конвекционные токи	Течения, вызываемые ветровой циркуляцией, затухающие с глубиной	Диффузионные токи. Вихревые токи, возникающие при движении животных	Диффузионные токи
Биохимические процессы	Преобладание процесса фотосинтеза над процессами деструкции органического вещества в период вегетации микро- и макрофитов до глубины 25—30 м. Постепенное затухание фотосинтеза на глубинах 25—60—70 м	Фотосинтез отсутствует. Наличие процессов дыхания и деструкции отмерших организмов	Наличие процессов дыхания и деструкции органических остатков	Наличие процессов дыхания и деструкции	Наличие процессов дыхания и деструкции В нижних горизонтах зоны анаэробные процессы
Батиметрическое местоположение	Летом—от 0 м до 60—70 м Зимой—от 0 м до 5—30 м	От нижней границы соседней подзоны до глубины около 250 м	От 250 м до придонной зоны	Придонный слой воды мощностью до 1 м, в западинах и котловинах несколько более	Ниже поверхности донных отложений

нений в своем химическом составе. Эти изменения были показаны нами выше в главе V настоящей работы. Дело здесь заключается, очевидно, не в том, признавали ли прежние исследователи Байкала химическую стабильность вод этого озера на больших глубинах или не признавали — не признавать ее невозможно, это противоречило бы фактам,— а в том, как эта неоднородность объяснялась, т. е. каков характер наблюдаемых изменений.

Признавая наличие в Байкале так называемой переннирующей зоны или, в нашем понимании, подзоны глубинной химической стабильности, мы считаем одной из главнейших ее характеристик отсутствие правильных сезонных изменений химизма вод. Только так и можно понимать для Байкала сам термин переннирующая зона. Нам кажется, что так понимал ее и Г. Ю. Верещагин, которому было хорошо известно, что химизм воды Байкала не является совершенно неизменным даже на максимальных глубинах этого озера. Правда, выделяя в переннирующей зоне подзону выравнивания, Г. Ю. Верещагин, тем самым, входил в противоречие с собственной схемой, так как признавал и в пределах этой зоны сезонную изменчивость химизма ее вод. Однако эта точка зрения Г. Ю. Верещагина, основанная, очевидно, на недостаточности имевшегося в его распоряжении аналитического материала, опять-таки противоречит взглядам В. А. Толмачева, ибо Г. Ю. Верещагин располагал подзону сезонного выравнивания сразу вслед за зоной мезотермического максимума, т. е. рядом с альтернирующей зоной, тогда как В. А. Толмачев считает эти слои воды (срединную зону относительного застоя в его терминологии) наименее изменчивой.

Посмотрим, насколько же отличаются срединная зона относительного застоя и глубинная зона динамической активности, выделяемые В. А. Толмачевым, по изменчивости химизма своих вод.

В Байкале наиболее закономерным и относительно наиболее резким сезонным колебаниям подвержены соединения биогенных элементов и компоненты газов. В главе V уже охарактеризованы сезонные изменения всех этих компонентов в Байкале на примере района пос. Большие Коты, а поэтому не будем вновь подробно останавливаться на данном вопросе. В дополнение к ранее сказанному приведем лишь некоторые данные.

Проведенные нами в 1953 и 1957—1958 гг. исследования над вертикальным распределением отдельных компонентов в толще вод Байкала до глубины 1200 м не подтверждают выводы В. А. Толмачева о большой гидрохимической подвижности вод озера на глубинах свыше 1000 м по сравнению со средними слоями воды. В период наших исследований гидрокарбонаты и сульфаты были распределены в толще вод Байкала в вертикальном направлении равномерно. Амплитуда их сезонных изменений была невелика и заметных различий по вертикали не имела (см. табл. 81, 82). Что касается соединений биогенных элементов — нитратного азота, фосфатного фосфора и кремния,— то содержание этих компонентов в толще вод Байкала, как правило, возрастало с глубиной (см. гл. V), амплитуда же годовых изменений с глубиной падала (табл. 129). Так, если принять амплитуду годовых изменений в содержании нитратного азота в поверхностном слое воды Байкала за 100%, то на глубине 25 м она составит 93%, на 50 м — 80%, на 100 м — 64%, на 250 м — 71%, на 500 м — 70%, на 750 м — 64%, на 100 м — 51%, на 1200 м — 38% от величины на поверхности.

Аналогичная картина наблюдалась нами и в 1956—1957 гг. в районе пос. Лиственичного. И здесь вертикальное распределение рассматриваемых компонентов не подтверждает вывода В. А. Толмачева о большой динамической подвижности вод на глубинах свыше 1000 м.

Таблица 129

Амплитуда годовых изменений содержания нитратного азота, фосфатного фосфора и кремния в водах Байкала в 1953 г. (в % от колебаний на поверхности)

Глубина, м	N (нитратный)	P (фосфатный)	Si	Глубина, м	N (нитратный)	P (фосфатный)	Si
0	100	100	100	500	70	45	88
25	93	100	108	750	64	45	20
50	80	85	89	1000	51	40	15
100	64	70	114?	1200	38	30	16
250	71	60	83				

Таким образом, можно с большой уверенностью говорить о том, что наблюдаемые в глубинных слоях озера изменения химического состава воды во времени (подчеркиваем отнюдь не в сезонном аспекте) уменьшаются с увеличением глубины. Аналогичная картина получается и при рассмотрении аналитических материалов самого В. А. Толмачева. Иллюстрируем это некоторыми данными из его отчета (Толмачев, 1954), сведенными в табл. 130. Помимо нитратного азота и кремния, в таблицу

Таблица 130

Амплитуда наблюдаемых в 1949—1955 гг. изменений в содержании гидрокарбонатов, нитратов и кремнекислоты в водах Байкала (в мг/л) (по данным В. А. Толмачева, 1954)

Глубина, м	Южный Байкал, против пос. Лиственичного			Средний Байкал у мыса Ухан		
	HCO_3'	NO_3'	SiO_2	HCO_3'	NO_3'	SiO_2
0,5	6,1	0,67	2,4	8,3	0,78	2,8
100	6,1	0,47	1,6	10,2	0,27	2,1
300	4,9	0,51	1,9	7,6	0,18	1,9
500	4,4	0,37	1,7	6,3	0,24	0,9
700	7,1	0,61	1,7	6,3	0,21	1,6
1000	4,8	0,56	2,0	7,6	0,21	1,5
1400	4,9	0,51	1,6	—	—	—
1500	—	—	—	8,6	0,17	0,8
1700	—	—	—	7,4	0,23	0,8

включены и гидрокарбонаты, хотя и мы считаем изменения этого компонента незакономерными, чтобы показать, что и для компонентов ионного состава байкальских вод на больших глубинах озера нет каких-то больших различий в амплитуде их сезонных изменений по отдельным глубинам.

При рассмотрении табл. 130 обращает на себя внимание лишь менее закономерное изменение величин амплитуды колебаний содержания отдельных компонентов во времени, чем то констатировано нами. Однако и здесь нет оснований утверждать, что воды озера на больших глубинах (глубже 300 м) по своему гидрохимическому облику могут быть расчленены на две хорошо отграниченные друг от друга зоны — срединную зону относительного застоя и глубинную зону динамической активности.

Глава XI

МАТЕРИАЛЫ К ХИМИЧЕСКОМУ БАЛАНСУ БАЙКАЛА

Изучение химического баланса Байкала представляет огромный интерес как с теоретической, так и с практической точки зрения. Собирая свои воды с огромной территории Забайкалья и Прибайкалья, Байкал прежде всего играет роль резервуара, в котором происходит смешение этих вод. Однако, попадая в Байкал, воды его притоков, а также воды атмосферных осадков, выпадающих на поверхность озера, не просто смешиваются с байкальскими водами, а претерпевают более глубокие изменения в своем химическом составе. На это с несомненностью указывает уже простое сопоставление химического состава вод притоков Байкала с составом байкальских вод.

Еще нагляднее различия в химическом составе вод притоков и вод самого озера выявляются из сравнения химического состава вод, притоков со средним составом вод Байкала, на что уже обращалось внимание выше, в главе IV.

Выяснение процессов метаморфоза вод, питающих Байкал, в байкальскую воду, являясь одной из главных проблем современной гидрохимии этого озера, может быть осуществлено только после тщательного изучения химического баланса Байкала.

Химический баланс Байкала, как и баланс любого другого водоема, может быть сведен к внешнему и внутреннему балансу. Внешний баланс сводится к получению веществ извне: с водами притоков, из подземного стока, из атмосферных осадков, из самой атмосферы, с окружающей Байкал суши и донных отложений озера, отдачи их через поверхностный сток из озера, в донные отложения, в атмосферу и в результате хозяйственной *деятельности человека* (промысел рыбы, нерпы и т. п.). Внутренний баланс слагается в процесс перераспределения веществ в водных массах озера в вертикальном и горизонтальном направлениях и обусловлен различиями в химическом составе вод озера в разных его районах и на разных глубинах.

В настоящее время наши знания гидрохимии Байкала не позволяют еще сделать какие-либо количественные выводы о внутреннем балансе Байкала. Что же касается внешнего баланса, то на основании имеющихся данных сейчас возможно провести лишь ориентировочные расчеты, позволяющие, однако, сделать ряд весьма интересных выводов. Для получения точных данных по химическому балансу Байкала требуется проведение дополнительных обширных исследований, осуществление которых намечается Байкальской лимнологической станцией в ближайшие годы.

Из элементов внешнего баланса Байкала лучше всего изучен поверхностный сток в озеро и приход веществ с водами атмосферных осадков, выпадающих на его поверхность. Подземный сток в Байкал совершенно не изучен, поэтому его роль в общем химическом балансе озера не может быть оценена. Предположительно, основываясь на утверждении Г. Ю. Верещагина (1947) о незначительности роли подземного стока в водном питании озера, можно считать, что в химическом балансе Байкала подземный сток также составляет небольшую долю. Нет сведений и о поступлении в воды Байкала веществ из донных отложений озера и с окружающей суши, в связи с чем этими величинами приходится пока пренебречь.

Поверхностный сток из Байкала в р. Ангару изучен более хорошо, хотя и здесь имеющиеся данные все же противоречивы. Достаточно точно может быть учтена роль промысла. Что же касается потерь в атмосферу и ухода веществ в донные отложения, то изучение этих вопросов еще только начинается, и в настоящей работе они затрагиваются частично.

Годовой водный баланс Байкала, согласно последним данным Н. И. Соколова (1952), представлен в табл. 131.

Таблица 131

Годовой водный баланс Байкала

Приход, км³		Расход, км³	
Поверхностные воды . .	47,16	Сток через р. Ангару . . .	53,48
Осадки на поверхности озера	9,38	Испарение с поверхности озера	3,06
Итого	56,54	Итого	56,54

Выше в соответствующих главах работы уже проводились подсчеты количеств отдельных компонентов, сбрасываемых в Байкал с поверхностным речным стоком и с водами атмосферных осадков. Исходя из среднего химического состава воды Байкала и расходов воды р. Ангары, мы подсчитали химический сток из Байкала в Ангару. Все эти данные сведены в табл. 132. Потерями веществ, происходящими в результате хозяйственной деятельности человека, при этом пренебрегли, так как они составляют очень малую долю в общем химическом балансе озера. В самом деле, ежегодный вылов рыбы в Байкале в настоящее время равен примерно 100 тыс. ц (Кожов, 1954), отстрел нерпы — всего 3—5 тыс. ц, что в сумме составляет около 10,5 тыс. т в живом весе. Принимая грубо приближенно, что на долю минеральных компонентов приходится даже 10% живого веса, общее количество минеральных соединений, ежегодно теряемое из Байкала в результате промысла, не превышает 1 тыс. т, т. е. крайне незначительно.

Годовой химический сток в Байкал составляет, как видно из таблицы, 6287,7 тыс. т, из которых на долю органического вещества приходится 442,0 тыс. т. Через р. Ангару из Байкала выносится 5222,4 тыс. т минеральных и 173,8 тыс. т органических веществ. Следовательно, в Байкале ежегодно остается около 600 тыс. т минеральных и 268 тыс. т органических веществ. Куда же расходуется этот остаток?

Чтобы ответить на поставленный вопрос, необходимо прежде всего внимательно проанализировать данные табл. 132. Такой анализ приводит нас к двум главным выводам.

1. Количество основных ионов, а именно: HCO_3', SO_4'', Cl', $Ca^{\cdot\cdot}$, $Mg^{\cdot\cdot}$, $Na^{\cdot}$ и $K^{\cdot}$, вносимых в Байкал с питающими его водами, близки к тем их количествам, которые выносятся из Байкала с водами р. Ангары.

Наблюдаемое, судя по данным табл. 132, накопление этих компонентов в водах озера является кажущимся и лежит в пределах точности расчетов. Ограниченность аналитического материала по химическому составу вод притоков Байкала и приближенность данных по водному балансу озера не позволяют в настоящее время получить более точные расчетные данные по стоку основных компонентов в Байкал и тем самым уточнить их баланс в озере. Действительно, вычисление годового химического стока в Байкал проведено нами довольно приближенно. В главе IV было уже достаточно ясно показано, что годовой химический сток отдельных притоков Байкала заметно меняется по годам, причем изменения эти могут быть объяснены изменениями величин водного стока лишь частично.

Напомним, что, например, общий ионный сток р. Селенги в 1943 г. равнялся 4662 тыс. т, в 1944 г.— 3141,2 тыс. т и в 1951 г.— 3861,6 тыс. т при годовом водном стоке в 1943 г.— 32,04 км³, в 1944 г.—21,74 км³ и в 1951 г.— 28,76 км³, т. е. при увеличении водного стока в 1943 г. по сравнению с 1951 г. на 3,28 км³ ионный сток р. Селенги возрос на 800 тыс. т, тогда как почти такое же увеличение ионного стока в 1951 г. по сравнению с 1944 г. (720

Таблица 132

Химический баланс Байкала (в тыс. т/год)

	$Ca^{\cdot\cdot}$	$Mg^{\cdot\cdot}$	N_2+K_2	HCO_3'	SO_4''	Cl'*	Si	$Fe_{общ}$	Окисляемость	Органическое вещество
Поверхностный речной сток в Байкал	944,77	202,48	238,93	3742,24	318,30	37,30	207,63	13,4	204,56	409,12
То же, атмосферные осадки . . .	18,47	0,94	3,57	53,28	9,09	2,80	1,91	0,00	16,46	32,98
Итого . . .	963,24	203,42	243,50	3795,52	327,39	40,10	209,54	13,4	221,02	442,04
Сток из Байкала	812,80	174,02	267,40	3556,42	278,10	36,00	57,22	1,50	86,64	173,78
Разность	+130,45	+29,40	+23,90	+239,10	+49,29	+4,10	+152,32	+11,90	+134,38	+268,26

* Химический баланс Cl' дан ориентировочно с учетом того, что метод Мора дает по сравнению с меркурометрическим методом результаты завышенные в 2,3 раза.

тыс. т) сопровождалось увеличением водного стока на 7 км³. В своих расчетах нам часто приходилось ограничиваться данными за один год, а в некоторых случаях даже разрозненными за ряд лет, что, конечно, отражается на точности расчетов химического стока в Байкал.

Значительные противоречия имеются и в данных по водному стоку р. Ангары. Так, как уже было указано, годовой водный сток р. Ангары по Н. И. Соколову (1952) определяется величиной 53,48 км³. Б. Д. Зайков (Зайков и Белинков, 1937) определяет его в 58,12 км³ в год (среднее за 36 лет наблюдений). По нашим подсчетам, произведенным по материалам гидрологических ежегодников, за 10 лет — 1942—1951 гг.— он был равен в среднем 62,38 км³ в год. Если на основании всех этих данных подсчитать химический сток из Байкала через р. Ангару, то он выразится цифрами, представленными в табл. 133. Амплитуда колебаний

Таблица 133

Химический сток из Байкала через р. Ангару (в тыс. т/год), вычисленный на основании водного стока р. Ангары

	$Ca^{\cdot\cdot}$	$Mg^{\cdot\cdot}$	$Na^{\cdot}+K$	HCO_3'	SO_4''	Cl'	Si	Fe	Органическое вещество
По Соколову, 53,48 км³/год . . .	812,89	174,02	267,40	3556,42	278,10	30,09	57,22	1,50	173,78
По Зайкову, 58,12 км³/год . . .	883,42	182,17	290,60	3864,98	302,22	34,87	62,19	1,63	188,30
По Вотинцеву, 62,38 км³/год . . .	948,18	193,38	311,90	4178,27	324,38	37,43	66,75	1,75	202,10

этих цифр, как легко видеть, во многих случаях значительно превышает те различия, которые наблюдаются в балансе отдельных компонентов солевого состава в Байкале. Понятно, что столь большое расхождение величин водного стока р. Ангары, получаемое разными авторами, указывает на недостаточность наших знаний по этому вопросу. Если учесть, что водный сток р. Ангары изучен в общем все же значительно лучше, чем поверхностный речной сток в Байкал, то станет ясным, что наши данные по балансу основных компонентов солевого состава в Байкале могут рассматриваться лишь как приближенные, и наблюдаемые в приходо-расходной части баланса различия вряд ли выходят за пределы ошибки вычисления, тем более, что различия эти не превышают 14% от годового прихода компонентов в озеро. Подтверждением нашему выводу является большая близость среднего содержания этих ингредиентов в питающих Байкал водах со средним содержанием их в водах озера и, кроме того, отсутствие процессов сульфато- и карбонатонакопления в донных отложениях Байкала.

2. Что касается таких компонентов, как кремний, железо и органическое вещество, то количества их, ежегодно вносимые в Байкал с питающими его водами, настолько значительно превышают те их количества, которые выносятся из Байкала водами р. Ангары, что объяснять эти расхождения погрешностями расчетов уже нет оснований. Легко подсчитать, что в Байкале ежегодно остается до 150 тыс. т кремния, что составляет 72,4% от всего его количества, вносимого в озеро с питающими озеро водами, до 11,9 тыс. т или 88,8% железа и до 240 тыс. т или 57,9% органического вещества. Дальнейшая судьба этих ингредиентов в Байкале будет подробно освещена ниже в соответствующих главах работы посвященных динамике их в Байкале. Ограничимся пока указанием на то, что железо, бо́льшая часть которого вносится в Байкал в форме коллоидов, подвергается здесь коагуляции и осаждению на дно,

кремний в форме панцирей диатомовых водорослей и отчасти спикул губок также увлекается в донные отложения озера; что же касается органического вещества, то последнее подвергается окислению в толще вод Байкала.

Итак, рассматривая данные по химическому балансу отдельных компонентов в Байкале, мы вслед за Г. Ю. Верещагиным (1947) можем разбить все ингредиенты на три группы. К первой из них относятся основные компоненты ионного состава байкальских вод — гидрокарбонаты, сульфаты, хлориды, кальций, магний, натрий и калий. Содержание этих компонентов в байкальской воде определяется средней величиной их содержания в смеси питающих озеро вод. Накопления их в озере не происходит, а их годовой приход в озеро оказывается равным годовому расходу с водами р. Ангары. Ко второй группе относятся ингредиенты, поступающие в Байкал в количествах, превышающих те, которые выносятся из Байкала с водами р. Ангары и избыток которых, остающийся в озере, увлекается в донные отложения последнего. К таким ингредиентам относятся кремний, железо и, возможно, некоторые другие. Наконец, третью группу составляют компоненты, также поступающие в Байкал в количествах, превышающих их расход через р. Ангару, но в отличие от компонентов второй группы, они претерпевают в озере ряд превращений и рассеиваются в атмосферу. К таким компонентам относится углерод органических веществ, вероятно, свободная CO_2, поступающая с водами притоков Байкала.

Значительное внимание химическому балансу Байкала уделяет в своей диссертации П. Ф. Бочкарев (1955). На стр. 4 автореферата П. Ф. Бочкарев говорит, что в диссертации «приводятся расчеты основных элементов химического баланса Байкала, основанные на большом фактическом материале», а на стр. 13 приводит таблицу химического баланса Байкала, дает краткую его характеристику и приводит таблицу среднего химического состава воды притоков Байкала и среднего состава воды самого озера.

Таблица 134

Химический баланс Байкала (по Бэчкареву, 1955)

	Объем стока воды, км³	Средняя минерализация (при пересчете HCO'_3 на CO''_3, мг/л)	Ионный сток, тыс. т/год							Сток некоторых биогенных элементов и органических веществ, тыс. т/год				
			Ca^{++}	Mg^{++}	$Na^{+}+K^{+}$	HCO'_3 в пересчете на CO''_3	SO''_4	Cl'	Сумма ионов	Si	$Fe_{общ}$	P (неорганических соединений)	N (нитратный)	Окисляемость
Сток в Байкал	64,38	70,3	1158,6	233,2	295,8	2304,9	447,4	85,1	4525,0	214	8,0	—	—	—
Сток р. Ангары у Иркутска	60,75	62,5	977,3	177,4	276,0	1968,0	324,5	74,2	3797,4	60	2,0	2,107	2,050	123,9
Потери в Байкале	3,63	—	181,3	55,8	19,8	336,9	122,9	10,9	727,6	154	6,0	—	—	—

В связи с тем, что в своей работе П. Ф. Бочкарев использовал почти те же материалы, которыми располагали и мы (результаты же его расчетов имеют существенные различия с нашими), считаем необходимым хотя бы кратко коснуться здесь этого вопроса.

Химический баланс Байкала, по вычислениям П. Ф. Бочкарева, выражается цифрами, представленными в табл. 134. Легко видеть, что годовой сток некоторых компонентов в Байкал и сток их из Байкала через р. Ангару, по вычислениям П. Ф. Бочкарева, оказывается значительно более высоким по сравнению с нашими данными. Особенно резко разнится баланс гидрокарбонатов. При пересчете данных П. Ф. Бочкарева, выраженных в CO_3'', на HCO_3' годовой сток гидрокарбонатов в Байкал, по П. Ф. Бочкареву, превышает полученную нами величину примерно на 900 тыс. т, сток из Байкала через р. Ангару — почти на 55 тыс. т. Заметные расхождения имеются у нас с П. Ф. Бочкаревым и по стоку в Байкал других компонентов (кальция, магния, сульфатов).

Однако объяснить причины этих расхождений пока не удается. Вероятнее всего, различия эти вызваны применением разных методов вычисления величин химического стока в Байкал нами и Бочкаревым. Это подтверждает и Бочкарев, не входя, однако, в обсуждение полученных нами данных. Значительные различия в водном балансе Байкала, который был принят при расчетах нами в сравнении с принятыми Бочкаревым данными, не может объяснить суть дела, так как проведение соответствующих пересчетов, т. е. приведение данных по химическому балансу Байкала к единому водному балансу, вызывает расхождения наших данных по другим компонентам.

В соответствии с различиями химического стока в Байкал разнятся наши данные и по среднему химическому составу воды притоков озера (табл. 135 ср. с табл. 49).

Таблица 135

Средний химический состав воды, питающей Байкал (в мг/л) (по Бочкареву, 1955)

$Ca^{\cdot\cdot}$	$Mg^{\cdot\cdot}$	$Na^{\cdot}+K^{\cdot}$	HCO_3'	SO_4''	Cl'^{*}	Si
17,9	3,6	4,5	71,4	6,9	1,3	3,32

* Cl′ рассчитан по данным метода Мора.

В главе, посвященной общей гидрохимической характеристике Байкала, было показано, что средний состав питающих Байкал вод очень близок к составу вод самого озера. Так как вычисление среднего ионного состава питающих Байкал вод проводилось с учетом среднего ионного состава вод его притоков, то полагаем, что наши данные по среднему химическому составу вод притоков Байкала, а отсюда и данные по химическому балансу озера в целом ближе к истинным, нежели данные Бочкарева.

Глава XII

ДИНАМИКА СОЕДИНЕНИЙ АЗОТА И ФОСФОРА В ВОДАХ БАЙКАЛА

Роль соединений биогенных элементов и из них прежде всего азота и фосфора в жизни любого водоема общеизвестна и вряд ли требует особого обсуждения. Достаточно напомнить, что количественное развитие фитопланктона в озерах и в морях в значительной мере зависит от содержания того или иного биогенного элемента и часто даже лимитируется запасами последних. Урожай фитопланктона обычно определяет урожай зоопланктона и далее через ряд пищевых цепей, а иногда и непосредственно рыбную производительность водоема (Зернов, 1948; Книпович, 1938). Как показали исследования ряда авторов (Воронков, 1941; Kreps a. Verjbinskaya, 1932 и др.), по убыли содержания в водах водоема соединений биогенных элементов за период вегетации возможно вычисление первичной биологической продуктивности фитопланктона. Поэтому детальное знакомство с круговоротом биогенных элементов в водоемах представляет несомненный интерес как с теоретической, так и с практической точки зрения, помогая глубже понять происходящие в водоеме процессы, оценить их значение и правильно решить вопрос о путях хозяйственного, скажем, рыбопромыслового использования водоема и его возможной продуктивности.

Вычисление величин первичной биологической продуктивности водоема по количеству потребляемых фитопланктоном соединений биогенных элементов, как нам кажется, при достаточной детализации предлагаемых методов (учет регенерации биогенных элементов при разложении отмершего за период вегетации планктона, учет биогенного обмена водных масс с донными отложениями, поступления биогенных элементов в водоем извне и т. д.) должно дать не менее, а возможно и более точные результаты, чем дает «метод склянок» или вычисление величин первичной продукции по суточным изменениям растворенного кислорода.

На Байкале, где, как известно, основная промысловая рыба — омуль — является планктоноядной, изучение круговорота соединений биогенных элементов как первичного звена пищевой базы омуля приобретает особое значение. Не менее важно знание динамики биогенных элементов в Байкале и для решения некоторых теоретических вопросов биогеохимии.

Для правильного решения данной проблемы совершенно необходимым является детальное знакомство не только с теми изменениями,

которые происходят в содержании соединений биогенных элементов в Байкале в пространстве и во времени, но и знание процессов, вызывающих эти изменения. Узкие гидрохимические исследования оказываются здесь уже недостаточными. Изучение динамики биогенных элементов в водоеме не может ограничиваться только наблюдениями в природе. Помимо систематических наблюдений, возникает необходимость проведения ряда экспериментов, поставленных как в лабораторных условиях, так и непосредственно в водоеме, и выясняющих количественную сторону того или иного звена в круговороте отдельных элементов. Поэтому для познания динамики биогенных элементов в Байкале мы считаем совершенно необходимым изучение процессов химического обмена биогенными элементами между водными массами и донными отложениями озера, изучение путей миграции отдельных биогенных элементов в озере под воздействием как абиотических, так и биотических факторов, включая сюда не только процессы потребления биогенных элементов фитопланктоном, но и дальнейший их путь вплоть до регенерации или ухода из водных масс озера после отмирания организмов или под воздействием иных факторов.

Роль донных отложений в динамике соединений биогенных элементов, в частности соединений азота и фосфора, изучена еще далеко недостаточно. В главе, посвященной химизму придонных слоев воды и грунтовых растворов Байкала, обращалось внимание на повышенное содержание соединений азота и фосфора в придонных слоях воды и грунтовых растворах Байкала по сравнению с их содержанием в верхних слоях воды. Факт этот бесспорно говорит о том, что донные отложения Байкала являются своего рода аккумуляторами соединений биогенных элементов. Их накопление в грунтовых растворах и придонных слоях воды Байкала происходит, несомненно, благодаря крайне медленным процессам перемешивания водных масс озера на больших глубинах, в связи с чем водообмен придонных слоев воды, а тем более иловых вод с вышележащими слоями сильно затруднен.

Значительный интерес представляет изучение процесса накопления соединений биогенных элементов в придонных слоях воды и грунтовых растворах Байкала и выяснение количественной роли отдельных источников, за счет которых происходит это накопление. Несомненно, процесс накопления соединений биогенных элементов в иловых водах и придонных слоях воды Байкала идет за счет регенерации их при разложении остатков животных и, возможно, растительных организмов, опускающихся после отмирания на дно. Ведущую роль в накоплении здесь соединений азота и фосфора должны играть, по нашему мнению, планктонные ракообразные, так как биомасса зоопланктона в отдельные сезоны года достигает в Байкале весьма солидных величин — 300—600 кг/га в слое 0—25 м и более (Кожов, 1947, 1955а). Кремний поступает в придонные слои воды из панцирей диатомовых водорослей. Помимо планктона, на динамику биогенных элементов в Байкале значительное влияние могут оказывать и другие, обитающие в озере организмы, и из них прежде всего массовые формы, играющие в количественном отношении (в общей биомассе) руководящую роль.

Мощным источником соединений биогенных элементов в Байкале являются также растительные остатки, сносимые в озеро с его побережий,— хвоя, листва и пыльца деревьев, остатки травянистой растительности и прочие. К сожалению, количественная оценка этого источника в общем балансе соединений биогенных элементов и органического вещества в озере еще не может быть сделана с достаточной точностью.

Наконец, в последнее время А. Г. Родина (1954) указывает на высокое содержание на камнях и водорослях байкальской литорали нитрифицирующих и азотфиксирующих бактерий. Бактерии эти, по мнению А. Г. Родиной, играют большую роль в динамике минеральных соединений азота в литорали озера. К сожалению, количественных данных по численности указанных групп бактерий в своей работе А. Г. Родина не приводит. Если даже допустить, что для байкальской литорали наличие азотфиксирующих и нитрифицирующих бактерий может иметь какое-то значение, то в общей динамике биогенных элементов в озере этот фактор вряд ли может рассматриваться как сколько-нибудь заметный источник соединений азота.

Попытаемся теперь более подробно рассмотреть наиболее важные звенья динамики соединений азота и фосфора в Байкале и наметить основные пути круговорота этих элементов в озере.

1. РЕГЕНЕРАЦИЯ СОЕДИНЕНИЙ БИОГЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПРИ РАЗЛОЖЕНИИ ОТМЕРШЕЙ ЕПИШУРЫ

В настоящее время установлено, что процесс разложения отмершего фито- и зоопланктона подчиняется уравнению мономолекулярной реакции (Скопинцев, 1938 и 1947). По данным Б. А. Скопинцева (1947), для окисления 90% нестойкого органического вещества морского планктона (в зависимости от величины константы скорости окисления и температуры) требуется от 9 до 112 суток. В связи с этим нам кажется интересным изучение процесса разложения байкальского планктона, что должно помочь глубже подойти к пониманию динамики биогенных элементов в водах Байкал.

Исследования мы начали с изучения процесса разложения главнейшей формы байкальского зоопланктона — рачка епишуры (*Epischura baicalensis*), составляющего 90—98% всей биомассы зоопланктона Байкала (Кожов, 1947). При этом, интересуясь главным образом вопросом регенерации соединений биогенных элементов и из них в первую очередь соединениями азота и фосфора, мы ограничились наблюдениями за изменением лишь некоторых ингредиентов, а именно: $NH_4^{\cdot}$, NO_2', NO_3', PO_4''' и кремния, исключив все остальные определения.

Сбор епишуры был произведен 20 марта 1948 г. в районе Байкальской биологической станции путем многократных вертикальных ловов на глубинах 25—0 м рачковой сетью. К 22 марта собранная епишура оказалась почти полностью погибшей. В тот же день она была переведена в бутыль с водой, взятой из р. Ангары. Химизм взятой воды характеризовался следующими данными: Cl' — 1,7 мг/л, SO_4'' — 4,8 мг/л, $Ca^{\cdot\cdot}$ — 15,6 мг/л, $Mg^{\cdot\cdot}$ — 3,6 мг/л, HCO_3' — 76,0 мг/л. После тщательного перемешивания содержимого бутыли из нее было отобрано шесть проб, объемом по 10 мл для подсчета числа организмов. Среднее число епишуры оказалось равным 1600 экз. на литр. Если принять сырой вес 1000 экз. епишуры равным 50 мг, то общий вес ее составит 80 мг/л. Одновременно были отобраны пробы воды для химического анализа. Все определения велись в предварительно отфильтрованных образцах воды по общепринятым методам гидрохимических исследований.

Бутыль с епишурой инкубировалась в темноте в течение 50 суток при 15°. Содержимое ее ежедневно перемешивалось. По прошествии 2, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 45 и 50 суток, считая с начала постановки опыта, из бутыли после тщательного ее перемешивания отбирались пробы воды для анализа.

Результаты анализов сведены в табл. 136 (рис. 27).

Результаты исследований показывают, что процесс разложения епишуры начинается вскоре после ее отмирания. Процесс аммонификации азотсодержащих соединений заканчивается в основном в первые 20—25 дней, после чего интенсивно идет процесс нитрификации. За 50-дневный период опыта минерализации подверглось 90% всего введенного планктонного азота.

Таблица 136

Изменения химического состава воды под действием разлагающейся епишуры (в мг/л)

Дата	Продолжительность опыта, сутки	N			P (фосфатный)	Si
		аммиачный	нитритный	нитратный		
22.III	0	0 000	0,000	0,049	0,103	1,12
24.III	2	0,140	0,000	0,058	0,126	1,15
27.III	5	0,337	0,000	0,060	0,170	1,16
1.IV	10	0,511	0,015	0,060	0,195	1,16
5.IV	15	0,570	0,036	0,063	0,207	1,16
10.IV	20	0,599	0,036	0,065	0,214	1,16
20.IV	30	0,078	0,578	0,110	0,219	1,16
25.IV	35	0,039	0,481	0,171	0,222	0,16
5.V	45	0,014	0,109	0,656	0,230	1,16
10.V	50	0,010	0,043	0,740	0,231	1,16

Процесс минерализации органических соединений фосфора протекает наиболее интенсивно в первые 15—20 суток. В дальнейшем процесс замедляется и через 45 суток практически почти полностью прекращается. Общий процент минерализовавшегося за 50-дневный период планктонного фосфора равен 88,9.

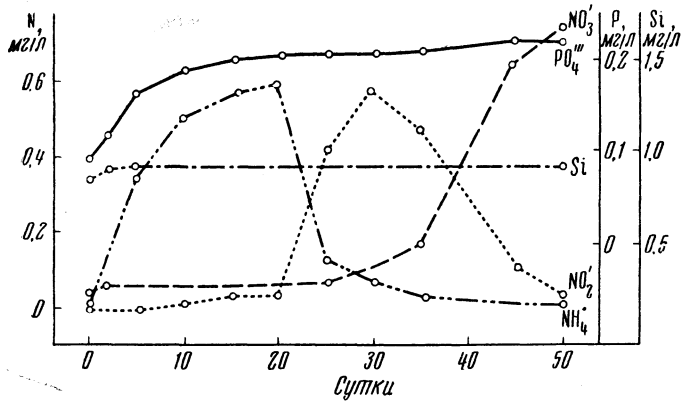


Рис. 27. Некоторые показатели процесса регенерации соединений биогенных элементов при разложении отмерших рачков мишуры

Вычисленные нами по соответствующим уравнениям (Скопинцев, 1938) константы аммонификации и фосфатификации (табл. 137) хорошо согласуются с константами, полученными для процесса разложения планктона другими авторами (Скопинцев, 1938 и 1940).

Чрезвычайно важен вопрос о том, насколько успевает разложиться епишура в толще вод Байкала и в какой стадии минерализации достигают дна отмершие экземпляры. Экспериментальное определение скорости падения епишуры в воде при 15° дало 1,21 мм/сек, или около 105 м/сутки.

В природных условиях благодаря турбулентному перемешиванию водных масс озера скорость опускания отмерших епишура может быть несколько замедленной но, и все же остается, вероятно, достаточно большой. Отсюда можно предположить, что отмершие экземпляры епишуры достигают дна Байкала даже на местах с максимальной глубиной в малоразрушенном состоянии. Это тем более вероятно, что температура воды Байкала даже в летний период значительно ниже 15° (температура опыта). На глубинах же в 250—300 м и глубже температура воды в Байкале держится практически постоянной в течение всего года и равна 3,4—3,6°. Принимая для процесса разложения отмершего планктона уравнение мономолекулярной реакции и температурный коэффициент Вант-Гоффа $Q_{10}=2{,}2$ (Скопинцев, 1947), нетрудно вычислить, что уже при 5° минерализация азотсодержащих органических веществ на 90% закончится у епишуры только через 110 суток. С другой стороны, значительное содержание в воде Байкала растворенного кислорода, количества которого даже на глубинах около 1500—1700 м не опускаются, как уже было указано выше, ниже 77% насыщения, дает возможность предполагать, что процесс разложения рачков епишуры, достигших дна озера, не претерпевает существенных изменений и будет протекать с теми же скоростями, что и в верхних слоях воды.

Таблица 137

Константы аммонификации и фосфатификации разложения епишуры

K_N		K_P	
Крайние значения	Среднее	Крайние значения	Среднее
0,079—0,076	0,078	0,085—0,062	0,072

Попытаемся теперь на основании имеющихся данных выяснить роль епишуры в динамике соединений азота и фосфора в Байкале.

Согласно исследованиям М. М. Кожова (1947, 1955а и др.), у епишуры наблюдаются три ясно выраженные вспышки развития в году, из которых главная приходится на июнь. В этот период биомасса зоопланктона в открытом Байкале в районе пос. Большие Котлы в слое воды 250—0 м достигает 800 кг/га; чаще она колеблется от 300 до 600 кг/га.

Химический состав епишуры показывает, что вид этот содержит 10,32% азота и 1,8% фосфора, в пересчете на сухое вещество (Виноградов, 1935—1944). Влажность епишуры, по нашим данным, составляет около 90% с колебаниями от 88 до 93%.

Если принять, что на долю епишуры приходится 90% от общей биомассы зоопланктона, и взять последнюю даже в 300 кг/га, то и в этом случае в епишуре будет содержаться 3,1 кг/га азота и 0,5 кг/га фосфора. При среднем содержании этих элементов в воде Байкала в 45 мг/м^3 азота и 24 мг/м^3 фосфора содержание их в епишуре составит соответственно 27 и 0,9% от их общего содержания в том же объеме воды (столб воды 0—250 м с площадью в 1 га).

Очевидно, что при отмирании епишуры большая часть (свыше 70—80%) содержавшихся в ней соединений биогенных элементов (азота и фосфора) будет увлечена в грунт. Количественно об этом процессе можно судить по убыли биомассы епишуры за определенный промежуток времени. Приведем в качестве примера некоторые данные по убыли биомассы епишуры за апрель — июль 1945 г. и июнь-июль 1946 г. (табл. 138).

Легко видеть, что в среднем за сутки с отмершей епишурой увлекается в грунт около 0,056 кг/га азота и 0,01 кг/га фосфора.

Таблица 138

Убыль биомассы епишуры и содержание в ней азота и фосфора в слое воды 0—250 м (в кг/га) (по Кожову, 1947)

Год	Число	Биомасса	Число суток между наблюдениями	Убыль биомассы		Азот в биомассе		Фосфор в биомассе	
				за весь период	за сутки	за весь период	за сутки	за весь период	за сутки
1945	13.IV	284							
	16—24.VII	16	41	268	6,54	2,76	0,067	0,48	0,012
1946	28.VI	128							
	19.VII	35	21	93	4,43	0,96	0,046	0,16	0,008

Увлеченные с отмершими организмами епишуры в грунт соединения азота и фосфора в процессе своей регенерации поступают первоначально в придонные слои воды и иловые воды Байкала. Крайне медленные процессы перемешивания глубинных слоев воды с вышележащими слоями должны привести к накоплению биогенных элементов на больших глубинах, к меньшему их содержанию в трофогенном и прилегающих к нему слоях воды озера, что и наблюдается в действительности.

2. РЕГЕНЕРАЦИЯ БИОГЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПРИ РАЗЛОЖЕНИИ ОТМЕРШЕЙ МЕЛОЗИРЫ

Весьма интересно было изучить процесс разложения байкальского фитопланктона. В связи с тем, что главную роль в байкальском фитопланктоне играют диатомовые водоросли и из них, в частности, мелозира (*M. baicalensis*), мы свой выбор остановили на данной форме.

Сбор мелозиры был произведен 9 марта 1950 г. в районе Байкальской биологической станции путем вертикальных ловов на глубинах 25—0 м планктонной сетью из газа № 17 (№ 64 по новой шкале). Пойманный планктон состоял из мелозиры с небольшой примесью циклопов, их науплиусов и науплиусов епишуры. Для отделения от мелозиры рачков пробы планктона были подвергнуты отстаиванию при температуре около 1° в высоких цилиндрах. Через несколько часов нити мелозиры в основной своей массе опустились на дно цилиндра, после чего плавающие в воде рачки и их науплиусы были осторожно слиты. Полученная концентрированная взвесь водорослей содержала лишь незначительную примесь науплиусов епишуры (около 2% от сырого веса водорослей). Для умерщвления клеток водоросли взвесь выдерживалась по 1 часу при температуре 25°, после чего была разведена чистой байкальской водой до концентрации в 5 миллионов клеток мелозиры в литре (просчет под микроскопом 3 проб по 1 мл). Исходя из размеров клеток мелозиры, приводимых Скабичевским (1929), средний объем 1 клетки водоросли был принят равным 10000 μ^3. Считая удельный вес мелозиры равным 1,06, общий вес водорослей в опытном сосуде составлял 54 мг/л.

Проведенный анализ мелозиры показал, что она имеет следующий химический состав (табл. 139).

Таблица 139

Химический состав мелозиры (в % к сухому веществу)

Элемент	Si	Fe	Al	Ca	Mg	P	N	Зола
Содержание, % . . .	22,29	1,13	0,16	0,81	0,69	0,42	1,83	71,25

Влажность мелозиры равнялась 85,3%. Из данных химического анализа введенная в пробу мелозира содержала 0,145 мг/л азота, 0,033 мг/л фосфора и 1,77 мг/л кремния.

Бутыль с мелозирой инкубировали в течение 50 суток при 15° в темноте при ежедневном взбалтывании. В день постановки опыта, на следующий день, а затем через каждые 5 суток с момента постановки опыта из бутыли после тщательного ее перемешивания отбирали пробы воды для исследования. В пробах после фильтрования проводили определение нитратного, нитритного и аммиачного азота, фосфатного фосфора и кремния. Кроме того, в этих опытах проводили определение окисляемости, биохимического потребления кислорода за 5 суток ($БПК_5$). Определение $БПК_5$ вели в нефильтрованных образцах воды. Все анализы выполняли по обычной методике (см. выше).

Результаты исследований представлены в табл. 140.

Таблица 140

Накопление соединений биогенных элементов и органического вещества в воде при разложении мелозиры (в мг/л)

Число суток с начала опыта	N (нитратный)	N (нитритный)	N (аммиачный)	Сумма минеральных соединений азота	P (фосфатный)	Si	Окисляемость	$БПК_5$
0	0,023	0,000	0,000	0,023	0,023	0,95	2,43	—
1	0,023	0,000	0,026	0,049	0,026	1,03	6,16	—
5	0,023	0,002	0,124	0,149	0,042	1,18	6,99	6,26
10	0,023	0,010	0,128	0,161	0,050	1,18	4,34	2,40
15	0,050	0,030	0,073	0,153	0,050	1,18	—	—
20	0,056	0,026	0,062	0,154	0,050	1,18	3,96	2,18
25	0,102	0,006	0,047	0,155	0,051	1,20	—	—
30	0,126	0,006	0,023	0,155	0,051	1,20	2,70	0,96
35	0,136	0,004	0,013	0,153	0,051	1,21	2,36	0,81
40	0,146	0,004	0,006	0,156	0,052	1,21	2,19	0,78
45	0,143	0,003	0,004	0,150	0,053	1,22	—	—
50	0,147	0,003	0,004	0,154	0,053	1,22	2,11	0,19

Как видно из табл. 140, процесс разложения мелозиры начинается вскоре после ее отмирания. Наиболее интенсивно процесс протекает в первые 10 суток, после чего скорость окисления заметно уменьшается. За 50-дневный период опыта минерализации подверглось 90,3% всего введенного планктонного азота, 90,9% планктонного фосфора и лишь 15,2% планктонного кремния. Следует указать, что регенерация кремния практически имела место только в первые 5 суток. В дальнейшем наблюдался лишь ничтожный рост содержания кремния в воде опытных сосудов.

Интересно отметить, что резкий рост общего количества растворенных органических веществ, судя по росту величин окисляемости фильтрованной воды, произошел в течение первых суток. В последующие 4 суток наблюдался лишь небольшой рост содержания растворенных органических веществ, после чего началось довольно быстрое их падение.

$БПК_5$ также дало максимум за первые 5 суток, а в дальнейшем непрерывно понижалось.

Если сравнивать общую убыль кислорода в результате его биохимического потребления с величинами окисляемости воды, то ясно видно, что оба эти фактора прямо противоположны один другому.

Вычисленные нами по соответствующим уравнениям константы скорости аммонификации, нитрификации, фосфатификации и $БПК_5$ весьма

близки между собой и хорошо совпадают с константами, полученными Б. А. Скопинцевым (1938, 1940 и 1947) (табл. 141).

Рассмотрим теперь вопрос о роли мелозиры в общей динамике биогенных элементов в Байкале. Развитие мелозиры в Байкале начинается еще в подледный период — в конце февраля — марте. К концу апреля — маю она достигает максимума развития, а затем по мере прогревания воды постепенно отмирает и опускается на дно, где панцири ее, наряду с панцирями других диатомей, образуют байкальские глубоководные диатомовые илы.

Таблица 141

Некоторые константы процесса разложения мелозиры

Константа	Численное значение
Константа аммонификации (K_A)	0,085
» нитрификации (K_N)	0,079
» фосфатификации(K_P)	0,075
» БПК$_5$ ($K_{БПК}$)	0,083

Для выяснения вопроса о том, в какой стадии минерализации достигают дна отмершие клетки мелозиры, проводилось экспериментальное определение скорости погружения в воде нитей этой водоросли.

С этой целью взвесь из отмерших нитей мелозиры подвергалась отстаиванию в цилиндрах в течение 1 часа, после чего из цилиндров с разных горизонтов отбирались пробы воды по 1 мл, которые и просматривались под микроскопом. Скорость погружения нитей мелозиры оказалась равной 14 см в 1 час или около 3,4 м в сутки (среднее из 11 отсчетов).

Данные эти довольно хорошо согласуются с наблюдениями над скоростью опускания мелозиры в природной обстановке. Так, в момент отмирания мелозиры весной 1950 г. наблюдалось следующее ее вертикальное распределение во времени (табл. 142).

Если принять, что процессы аммонификации и фосфатификации нестойкого органического вещества мелозиры в основном завершаются в первые 10 суток с начала разложения (см. выше), то очевидно, что отмершие нити водоросли успевают опуститься за этот срок на 34 м. Учитывая, однако, что рост растворенных органических веществ (судя по росту величин окисляемости фильтровальных образцов воды) наблюдается лишь в первые 5 суток с начала процесса разложения, можно предполагать, что за этот же срок в раствор перейдут и органические соединения азота и фосфора. Иначе говоря, выщелачивание органических соединений, в том числе и соединений азота и фосфора, из клеток водоросли в основном должно закончиться в первые 5 суток, в течение которых клетки мелозиры успевают опуститься не более чем на 17 м.

Таблица 142

Скорость опускания отмерших нитей мелозиры в оз. Байкал весной 1950 г.

Дата	Нижняя граница водорослей, м	Перемещение границы водорослей, м	Скорость опускания водорослей, м/сутки
18.IV	50	—	—
2.V	100	50	3,5
17.V	150	50	3,5
28.V	200	40—50	3,6—4,5

Так как в Байкале отмирание мелозиры наблюдается при более низкой температуре воды, нежели температура опыта, а именно — при температуре воды на поверхности озера около 6—8° (Скабичевский, 1929), а по нашим наблюдениям при еще более низкой температуре, то процесс разложения будет замедлен. По данным Б. А. Скопинцева (1947), температурный коэффициент Вант-Гоффа Q_{10} для процесса разложения отмершего планктона, как уже указывалось, равен в среднем 2,2. Прини-

мая указанное значение коэффициента Вант-Гоффа и для Байкала, можем легко найти, что выщелачивание органических веществ из отмерших клеток мелозиры будет в основном протекать в 40-метровой толще воды. По нашим наблюдениям, живые нити мелозиры сосредоточены в Байкале в основном в верхнем 20—30-метровом слое воды. На это указывает вертикальное распределение водорослей в период их массового развития, в момент которого они целиком сосредоточены в верхнем 25-метровом слое воды озера, а также проведенные нами исследования изменения энергии фотосинтеза мелозиры с глубиной (см. ниже), показавшие, что компенсационная точка не опускается глубже 25 м.

Из приведенных данных можно считать, что отмершие нити мелозиры пройдут начальную стадию деструкции в верхнем 60—70-метровом слое воды Байкала. Данные эти хорошо согласуются с вертикальным распределением ряда гидрохимических факторов. Так, например, как видно из главы V, окисляемость воды открытого Байкала имеет максимальные значения в поверхностных слоях, на глубине около 50 м окисляемость воды заметно падает и далее до глубины 250 м не испытывает сколько-нибудь существенных колебаний.

Необходимо отметить, что некоторая, иногда, видимо, значительная часть колоний мелозиры начинает опускаться в глубинные слои воды еще до отмирания. Хорошо сохранившиеся клетки этой водоросли были нами найдены в 1953 г. в большом количестве до глубины 100—250 м. Дальнейшая их судьба остается еще неизвестной. Вероятно, они также отмирают на несколько больших глубинах, обогащая соединениями биогенных элементов, в том числе и соединениями азота и фосфора, более глубокие слои воды.

Таким образом, в круговороте соединений различных биогенных элементов в Байкале роль мелозиры оказывается не идентичной. Соединения азота и фосфора, потребленные в процессе жизнедеятельности мелозирой в трофогенном слое озера, после отмирания водорослей в основном будут регенерироваться здесь же и в прилежащих слоях воды. Под действием ветрового и термического перемешивания водных масс содержание соединений указанных элементов в трофогенном слое должно довольно быстро восстановиться. Напротив, значительная часть кремния после отмирания мелозиры будет увлечена в грунт.

3. О СООТНОШЕНИЯХ НИТРАТНОГО АЗОТА И ФОСФАТНОГО ФОСФОРА В ВОДАХ БАЙКАЛА

Как известно, помимо абсолютного содержания, большое значение в водоеме имеет также отношение между азотом его минеральных соединений и фосфатным фосфором. Если это отношение в водах водоема близко к таковому в обитающем здесь фитопланктоне, то последний в период своего массового развития может полнее использовать эти питательные соли. Напротив, если указанные отношения сильно разнятся, то один из элементов — азот или фосфор — может оказаться в минимуме, что неизбежно приведет к замедлению или даже к полному прекращению дальнейшего развития фитопланктона. В своей работе по химии и биологической продуктивности Черного моря С. В. Бруевич (1953) указывает, что по подсчетам Редфильда для Атлантического, Индийского и Тихого океанов среднее отношение азота нитратов к фосфатному фосфору равно 6,7. Величина эта близка к среднему отношению азота к фосфору в морском планктоне. По данным В. А. Водяницкого (1941), в среднем для вод морей и океанов отношение азота его минеральных соединений к фосфатному фосфору равно 9. Соотношения нитратного азота с фосфатным фосфором в водах пресных озер еще почти не изучены, так как по сезонным изменениям в содержании соединений био-

генных элементов в пресных водах, в частности по нитратам и фосфатам, имеется слишком мало данных. В качестве примеров можно указать, что отношение азота его минеральных соединений к фосфатному фосфору в поверхностных слоях воды Белого озера в Косино, вычисленное нами по данным С. И. Кузнецова (1952), равно в среднем около 5,8. Для Бисерова озера под Москвой оно, видимо, не опускается ниже 3,25 (Бруевич, Певзняк, Понизовская и Сибиряков, 1939).

В Байкале в районе пос. Б. Коты отношение нитратного азота к фосфатному фосфору оказывается значительно более низким. Среднегодовые величины этого отношения в водах верхней 250-метровой зоны глубин только в отдельные годы поднимаются до 2,3—2,5, а чаще лежат в пределах 1,5—1,9 (табл. 143).

Таблица 143

Среднегодовые величины отношений нитратного азота к фосфатному фосфору в 250-метровой толще вод Байкала

Год	Глубина, м							
	0	5	10	25	50	100	250	0—250
1948	1,45	1,51	1,60	1,59	1,54	1,40	1,57	1,54
1949	1,75	1,76	1,71	1,68	1,85	1,88	1,80	1,85
1950	1,85	—	—	1,91	1,93	—	1,87	1,88
1952	2,45	—	—	2,38	2,40	2,53	2,46	2,43
1953	2,53	—	—	2,26	2,17	2,24	2,52	2,32
1954	1,25	—	—	1,53	1,53	1,42	1,33	1,35

В вертикальном направлении в пределах верхних 250 м существенных различий в величинах этого отношения не наблюдается. На глубинах же свыше 250 м величины отношения азота к фосфору несколько уменьшаются с глубиной. Так, в 1953 г. отношение азота к фосфору в водах Байкала изменялось с глубиной следующим образом. В слое 0—250 м оно было равно в среднем 2,3, на глубине 500 м — 1,7, на глубине 750 м — 1,6, на глубине 1000 м — 1,5 и на глубине 1200 м — 1,4. Только в придонных слоях воды на больших глубинах, где наряду с нитратным азотом в заметных количествах присутствует аммонийный азот, отношение суммы минеральных соединений азота к фосфатному фосфору вновь возрастает до 3,4. Повышено указанное отношение и в грунтовых растворах Байкала.

Таким образом, в Байкале в районе пос. Б. Коты нитратный азот по отношению к фосфатному фосфору находится в большом дефиците. Отсутствие же в водах озера аммонийного и нитритного азота еще более усугубляет этот дефицит. Не удивительно поэтому, что в годы своего массового развития мелозира весной в период максимума потребляет весь нитратный азот, сводя его содержание до аналитического нуля, что приводит к замедлению темпов развития этой водоросли и даже к частичному ее отмиранию. Дальнейшее интенсивное развитие мелозиры возобновляется лишь после частичной регенерации соединений азота из ее отмерших клеток. В результате развитие мелозиры в такие годы проходит как бы двумя волнами (Вотинцев, 1952б).

В связи с тем, что регенерация соединений азота и фосфора, содержащихся в мелозире, завершается после отмирания последней в основном в верхней 60—70-метровой зоне глубин, непосредственное воздействие этой водоросли и, очевидно, других представителей фитопланктона на динамику соединений азота и фосфора ограничивается именно этими верхними слоями воды озера. Правда, некоторое количество колоний

мелозиры, а также, вероятно, и других водорослей обитает в жизнеспособном состоянии на несколько больших глубинах, и их разложение после отмирания происходит уже не в верхних слоях воды, а на несколько большей глубине, однако роль их в общем круговороте соединений биогенных элементов вряд ли может быть значительной, и заметного влияния на соотношения азота с фосфором они оказать не могут.

Совершенно иное положение наблюдается у зоопланктона. Отношение азота к фосфору у рачка епишуры равняется 5,7, т. е. значительно выше, чем в мелозире. После отмирания епишура, как показали наши исследования (см. выше), должна достигать дна озера в малоразрушенном состоянии [1].

Вероятно, и другие представители рачкового зоопланктона — циклопы и макрогектопус после отмирания также подвергаются разложению в основном в донных отложениях Байкала. Следовательно, байкальский зоопланктон и, в частности, епишура, составляющий, по данным М. М. Кожова (1947), до 90—98% всей биомассы зоопланктона Байкала, при отмирании должен уносить в донные отложения озера относительно больше азота, нежели фосфора.

Отношение азота к фосфору в прочих фаунистических группах Байкала также выше, нежели в байкальской воде. Так, у исследованных нами гаммарид отношение это равно в среднем 6,3 (с колебаниями от 6,0 до 6,8), у моллюсков — 5,8 (с колебаниями от 4,65 до 7,0).

Если взять отношение общего количества минерализовавшегося при разложении отмершего епишуры за определенный промежуток времени азота к общему количеству минерализовавшегося за тот же период времени фосфора, вычисленное по данным наших исследований, то получим следующую картину (табл. 144).

Таблица 144

Изменение отношения минеральных соединений азота к фосфатному фосфору при разложении епишуры в зависимости от времени при 15°

Продолжительность опыта, сутки	2	5	10	15	20	30	45	50
$\frac{N\ (минеральный)}{P\ (минеральный)}$	1,57	2,33	3,00	3,23	3,27	3,40	3,38	3,43

Отношение общего количества минерализовавшегося азота к минерализовавшемуся фосфору в первые 30 суток с начала процесса разло-

[1] В сентябре — октябре 1949 г. на Байкале мы провели опытные драгировки легкой драгой с мешком из мельничного газа на глубинах около 500 м. В отобранных пробах оказалось значительное число рачка епишуры, пораженного грибком — сапролегнией. Одновременно проведенный нами лов планктона на тех же глубинах с отбором проб от дна до поверхности озера показал, что в составе планктона епишуры, пораженного этим грибком, оказалось очень мало. Факт этот с полной очевидностью подтверждает наличие отмерших рачков епишуры в верхних слоях иловых отложений Байкала по крайней мере до глубин 500 м. В связи с этим нам кажется, что отсутствие в иловых отложениях Байкала остатков отмершего зоопланктона объясняется не разрушением последних в толще воды, как то предполагает Г. Г. Мартинсон (1948, 1954), а несовершенством методики отбора проб илов, принятой цитируемым автором. Очевидно, в момент отбора пробы ила стратометром происходит частичное нарушение верхней пленки иловых отложений при ударе стратометра о дно. Вследствие этого остатки зоопланктонов, которые как раз могут находиться только в верхней пленке иловых отложений, так как в более глубоких слоях они будут разложены, не попадут в пробу. Поэтому нельзя согласиться с категорическим утверждением Г. Г. Мартинсона (1954) относительно того, что епишура полностью разрушается в толще вод Байкала и в донных отложениях отсутствует.

жения растет с 1,57 до 3,40. В дальнейшем в связи с затуханием процессов минерализации отмершего епишуры отношение это остается практически постоянным и равным в среднем 3,4. Отсюда, если отмерший епишура в Байкале будет достигать дна озера на больших глубинах в малоразрушенном состоянии, то указанное выше отношение должно будет сохранить свое значение и в придонных слоях воды в связи с крайней медленностью их перемешивания с вышележащими слоями воды на больших глубинах.

Как было показано выше, отношение суммы нитратного и аммиачного азота к фосфатному фосфору равно в придонных слоях воды на больших глубинах в среднем 3,4. Столь полное совпадение экспериментальных данных с действительным распределением биогенных элементов в придонных слоях воды нельзя объяснить случайностью.

Для грунтовых растворов верхнего 10-сантиметрового слоя ила отношение суммы нитратного и аммиачного азота к фосфатному фосфору равно в среднем 3,19.

Приведенные данные ясно показывают, что в донных отложениях Байкала действительно происходит более интенсивное накопление соединений азота по сравнению с фосфором, что безусловно является одной из причин относительного дефицита азота в водных массах озера.

Куда же расходуется тот избыток азота, который накапливается в донных отложениях Байкала? Нам кажется, что вероятнее всего соединения азота подвергаются в Байкале частично денитрификации. Как показали исследования Н. В. Нечаевой и А. Г. Салимовской-Родиной (1935), процесс денитрификации наиболее интенсивно идет как раз в глубоководных илах Байкала, что косвенно подтверждает наши предположения. Впрочем, окончательное решение этого важного вопроса требует проведения специальных исследований.

Наконец, необходимо указать на то, что в динамике соединений азота и фосфора в Байкале нахождение их в донных отложениях составляет лишь одно из промежуточных звеньев. В процессе химического обмена между донными отложениями и водными массами озера соединения азота и фосфора, хотя и медленно, но вновь поступают в воды, откуда вовлекаются в общий круговорот.

Если донные отложения Байкала являются аккумулятором соединений биогенных элементов (в них происходит еще и относительно более быстрое накопление азота по сравнению с фосфором), то в толще вод озера наблюдается возрастание дефицита азота с глубиной при одновременном росте содержания нитратного азота и фосфатного фосфора. Это указывает на более быстрое накопление фосфора по сравнению с азотом на больших глубинах озера. Явление это может быть объяснено либо денитрификацией соединений азота в толще вод Байкала, протекающей с большой интенсивностью в глубинных слоях воды, либо тем, что процессы минерализации фосфорсодержащих органических соединений протекают в Байкале с меньшими скоростями, нежели процессы минерализации органических соединений азота, в связи с чем отмершие организмы планктона при погружении ко дну Байкала и уносят на большие глубины озера относительно больше фосфора, чем азота.

Весьма интересные заключения, подтверждающие только что высказанную мысль о возможном влиянии на относительное распределение азота и фосфора в толще вод Байкала, неравнозначности скоростей регенерации азота и фосфора из их органических соединений, позволяют сделать анализ данных по вертикальному распределению нитратного азота и фосфатного фосфора в водах Байкала. Если принять содержание азота и фосфора на глубине 1200 м, т. е. уже вблизи дна Байкала, в районе наших исследований за 100%, то оказывается, что в верхней

50-метровой толще вод озера минерализации подвергается в среднем около 60—65% азота и 40% фосфора от всего их количества, минерализующегося в 1200-метровой зоне. В верхней 250-метровой зоне глубин азота минерализуется уже до 90%, а фосфора всего 55—60%. В области глубин от 250 до 1000 м дальнейшей минерализации подвергается азота не свыше 5—7%, а фосфора до 30—35%. Следовательно, минерализация органического азота в основном (на 90%) заканчивается в верхней 250-метровой толще вод Байкала, минерализация же органических соединений фосфора протекает до максимальных глубин озера, завершаясь на 90% лишь на глубинах около 1000 м.

4. ОБЩЕЕ ЗАКЛЮЧЕНИЕ О ДИНАМИКЕ СОЕДИНЕНИЙ АЗОТА И ФОСФОРА В ВОДАХ БАЙКАЛА

Материалы исследований, изложенные в предыдущих разделах работы, позволяют прежде всего наметить общую схему динамики соединений азота и фосфора в водах Байкала.

Сезонные изменения в содержании нитратного азота и фосфатного фосфора в водах Байкала подчинены общим для обоих этих компонентов закономерностям. В верхних слоях воды озера сезонная динамика их тесно связана с жизнедеятельностью фитопланктона. С началом весеннего развития фитопланктона, т. е. обычно со второй половины марта, содержание нитратного азота и фосфатного фосфора в трофогенном слое озера довольно быстро понижается. Понижение это идет до момента вскрытия Байкала от льда (весенний минимум). В годы массового развития мелозиры соединения азота весной полностью потребляются из верхних слоев воды Байкала, и их содержание в период максимума численности водорослей равняется аналитическому нулю. Фосфатный фосфор никогда не потребляется фитопланктоном из вод озера полностью, хотя в момент массового развития диатомей весной его содержание и падает нередко до 2—4 мг/м^3.

Вслед за вскрытием озера от льда благодаря ветровому и термическому перемешиванию водных масс Байкала создаются благоприятные условия для обогащения трофогенного слоя озера нитратным азотом и фосфатным фосфором. Это обогащение идет как за счет поступления их из нижележащих слоев воды, так и за счет регенерации из отмирающих клеток водорослей. Так как частично в этот период биогенные элементы продолжают потребляться развивающимся фитопланктоном, то, несмотря на их пополнение, общее содержание азота и фосфора во всей альтернирующей зоне озера несколько уменьшается.

Вертикальное распределение азота и фосфора в течение всего описываемого периода остается обычным: содержание их возрастает с глубиной. Только в момент весенней гомотермии нередко содержание биогенных элементов выравнивается во всей альтернирующей зоне.

С началом заметного прогревания вод Байкала и отмиранием фитопланктона начинается разложение последнего и регенерация соединений азота и фосфора в верхних слоях воды озера. Процесс разложения отмершего фитопланктона в основном завершается в трофогенном слое. Наблюдаемое в июне или июле повышенное содержание нитратов и фосфатов в слое воды 0—25—50 м с последующим понижением в слое 50—100 м и новым ростом на больших глубинах, а также значительное падение величин окисляемости воды на глубинах 25—50 м по сравнению с ее величинами в вышележащих слоях воды ясно показывают, что процессы деструкции мелких форм планктонных организмов заканчиваются в Байкале именно в верхних слоях воды. Вывод этот подтверждается экспериментальным изучением процессов разложения диатомеи мело-

зиры — одного из руководящих видов байкальского фитопланктона. Процесс разложения этой водоросли после отмирания завершается в основном в верхней 60—70-метровой зоне глубин Байкала. Некоторое количество нитей мелозиры опускается на большие глубины озера в жизнедеятельном состоянии. Дальнейшая судьба их остается, к сожалению, не изученной.

Одновременно с обогащением трофогенного слоя биогенными элементами, поступающими в воду в процессе регенерации их из отмершего фитопланктона, происходит дальнейшее их поступление и из нижележащих слоев воды. В результате верхние слои воды Байкала обогащаются соединениями азота и фосфора. Этот рост содержания соединений биогенных элементов в водах озера продолжается до начала летней вспышки развития фитопланктона, в период которой содержание соединений биогенных элементов в верхних слоях воды Байкала вновь резко падает.

В зависимости от температуры воды и ряда других гидрологических факторов летняя вспышка в развитии фитопланктона продолжается с июля по сентябрь или даже по октябрь месяц. В этот период, чаще всего в августе, содержание соединений азота и фосфора в трофогенном слое озера достигает своего летнего минимума.

В последующие месяцы наблюдается новый рост содержания соединений азота и фосфора в верхних слоях воды Байкала. Вначале этот рост идет сравнительно медленно, главным образом за счет регенерации биогенных элементов из отмершего планктона, в период же осенней циркуляции и осенних штормов содержание биогенных элементов в водах альтернирующей зоны заметно возрастает за счет проникновения их из нижележащих слоев воды. Это повышение содержания соединений биогенных элементов продолжается за счет тех же источников и частично за счет вод притоков Байкала и вод атмосферных осадков, выпадающих на поверхность озера в течение всех последующих месяцев.

В вертикальном направлении сезонные изменения в содержании нитратного азота и фосфатного фосфора удается проследить до глубины около 100 м. Глубже закономерный характер этих изменений, связанный с биологическими процессами, протекающими в водоеме, нарушается.

Большое влияние на динамику соединений азота и фосфора в верхних слоях воды Байкала оказывает также зоопланктон. Накапливая значительные количества соединений азота и фосфора в своих тканях, планктонные ракообразные, в частности епишура, после отмирания уносят их в донные отложения озера, так как разложение епишуры и, очевидно, прочих планктонных ракообразных в основном завершается лишь на дне. Благодаря этому иловые и придонные слои воды Байкала оказываются заметно богаче соединениями азота и фосфора по сравнению с верхними слоями воды, чему во многом способствует их застойный характер. В настоящее время у нас нет еще количественных сведений о химическом обмене между донными отложениями и водными массами Байкала. Изучение этого важного вопроса, а равно и скорости круговорота соединений азота и фосфора, попавших в глубинные слои воды озера, является важной задачей будущих исследований Байкала.

Содержание нитратного азота и фосфатного фосфора в Байкале значительно колеблется из года в год. За пеирод наших исследований максимальные среднегодовые величины содержания нитратного азота и фосфатного фосфора в районе пос. Б. Коты в два раза превышали их минимальные величины. Наиболее высокое содержание нитратного

азота отмечено в 1952 г. — 62 мг/м^3 в слое 0—250 м, фосфатного фосфора в 1948 г. — 33 мг/м^3; минимальное для обоих компонентов было отмечено в 1954 г. и равнялось: азота — 23 мг/м^3, фосфора — 17 мг/м^3. Резче всего годовые колебания в содержании азота и фосфора проявляются в верхних слоях воды Байкала. С глубиной амплитуда их несколько понижается, но все же остается еще достаточно большой даже на глубинах 100—250 м.

В водах Байкала в районе пос. Б. Коты наблюдается значительный дефицит нитратного азота по сравнению с фосфатным фосфором. Этот дефицит усугубляется отсутствием здесь аммонийного азота, а также азота нитратов. В среднем отношение азота нитратов к фосфатному фосфору в верхней 250-метровой зоне глубин озера лежит в разные годы в пределах 1,5—2,5. Аммиачный азот, как указано выше, присутствует лишь в иловых водах озера и в придонных слоях воды на больших глубинах. Отсутствие аммиачного и нитритного азота в водах Байкала вероятнее всего можно объяснить быстротой протекания процессов нитрификации соединений азота до нитратов, чему во многом способствует богатство вод Байкала кислородом, а также низкой энергией процессов аммонификации (Нечаева и Салимовская-Родина, 1935).

Благодаря тому, что отношение азота к фосфору в диатомее-мелозире — одной из руководящих форм байкальского фитопланктона, дающей массовые вспышки размножения весной в некоторые годы, значительно более высоко, чем в водах озера, в момент массового ее развития в Байкале наблюдается снижение содержания нитратного азота в трофогенном слое до аналитического нуля, что ведет к приостановке развития мелозиры, снижая ее возможную продукцию. Таким образом, азот в Байкале является в некоторые годы фактором лимитирующим развитие фитопланктона.

Глава XIII

ПУТИ МИГРАЦИИ КРЕМНИЯ В БАЙКАЛЕ

Несмотря на значительную роль соединений кремния в жизнедеятельности многих водных организмов, изучение круговорота этого элемента в пресных озерах до сих пор не привлекало к себе внимания исследователей. Большинство гидробиологов считает, что содержание кремния в водоеме не может лимитировать количественное развитие фитопланктона (диатомовых водорослей), так как соединения этого элемента постоянно присутствуют в воде озер в избыточных, по сравнению с необходимыми для нормального развития диатомей, количествах. Так, К. А. Гусева (1947 и 1951), специально изучавшая причины периодичности в развитии фитопланктона в водохранилищах, утверждает, что наиболее благоприятным для развития диатомовых водорослей является содержание кремнекислоты, равное 0,4 мг/л. Концентрация эта особенно стимулирует рост *Asterionella*. В литературе, по словам К. А. Гусевой, имеются указания на то, что развитие диатомей замедляется при падении содержания кремнекислоты до 0,3—0,5 мг/л, а так как обычно содержание последней в водах пресных озер бывает значительно выше, то, по ее мнению, нет оснований считать, что недостаток кремнекислоты мог бы задерживать развитие этих водорослей.

Не отрицая непосредственного влияния кремния на развитие диатомей, К. А. Гусева считает все же, что значительно важнее косвенная роль кремния, который удерживает в водных массах озер коллоидальные соединения железа — одного из важнейших органогенных элементов, необходимых для хорошего развития ранневесенних форм диатомовых.

Мнение о том, что кремний постоянно присутствует в озерных водах в избыточных по сравнению с необходимыми для нормального развития фитопланктона количествах, нашло свое отражение и в последней сводке «Жизнь пресных вод СССР» (Лепнева, 1950). Там отрицается даже наличие в озерах сезонных изменений содержания кремнекислоты, а также неравномерность его вертикального распределения, с чем вряд ли можно согласиться.

В последние годы Лунд (1954) убедительно показал большую роль кремния в жизнедеятельности фитопланктона (диатомей).

Изложенные обстоятельства побудили нас в своих исследованиях на Байкале обратить на вопросы круговорота кремния в водах этого озера самое пристальное внимание. В результате были получены материалы, позволившие не только вскрыть основные закономерности в распределении и динамике кремния в Байкале, но и наметить и количественно охарактеризовать пути миграции этого элемента в озере и выя-

вить огромное его значение в круговороте органического вещества в Байкале.

Выше уже было показано, что содержание кремния в верхних слоях воды Байкала обычно не поднимается выше 1,3—1,5 мг/л. С глубиной содержание кремния возрастает, достигая на глубинах 1500—1700 м до 2,5 мг/л. Еще более значительный рост содержания кремния отмечается в придонных слоях воды озера на больших глубинах, а также в иловых водах, пропитывающих верхние слои донных отложений Байкала. Так, уже на глубинах 400—500 м придонный слой воды содержит кремния в среднем 2,09 мг/л (среднее из 12 определений), в то время как вода Байкала, взятая с тех же глубин, но не из придонного слоя (т. е. в местах с большими глубинами озера) содержит кремния 1,7—1,8 мг/л. Грунтовые растворы прибрежных песков содержат в среднем в 2 раза больше кремния, нежели поверхностные слои воды озера. На глубинах же 400—500 м и больше содержание кремния в грунтовых растворах возрастает в 9—12 раз, по сравнению с его содержанием в поверхностной воде (табл. 145).

Таблица 145

Среднее содержание кремния в грунтовых растворах донных отложений Байкала по наблюдениям 1948—1950 гг.

Тип осадка	Глубина, м	Горизонт, см	Содержание, мг/л	Число анализов
Прибрежные пески . . .	2—6	0—10	3,56	16
Крупноалевритовые илы .	270—320	0—10	4,02	5
Глубоководные диатомовые илы	400—500	0—10	13,45	12
		10—20	14,80	12
То же	1380	0—10	14,13	2
		10—20	14,82	2

Кремний в Байкале относится к тем немногим элементам, содержание которых в водах озера резко отличается от содержания в питающих Байкал водах. В то время как воды притоков содержат обычно 3—6 мг/л кремния и выше, в водах Байкала, как было показано, среднее содержание кремния равняется всего 1,07 мг/л в поверхностных слоях воды, поднимаясь на максимальных глубинах до 2,5 мг/л.

Произведенные вычисления среднего содержания кремния в питающих Байкал водах дали величину 3,65 мг/л. Следовательно, в воде Байкала содержится кремния в среднем в 3,5 раза меньше, чем в питающих озеро водах. В главе, посвященной химическому балансу Байкала, уже показано, что из 207 тыс. т кремния, ежегодно вносимого в озеро с питающими его водами, с водами р. Ангары выносится всего 57 тыс. т. Следовательно, около 150 тыс. т кремния остается ежегодно в Байкале. Это огромное количество кремния не остается, конечно, растворенным в водах озера, так как в этом случае содержание последнего в водах Байкала очень скоро сравнялось бы с его содержанием в питающих озеро водах, чего на самом деле не наблюдается. Избыток кремния, содержащийся в питающих Байкал водах, в процессе метаморфизации последних уносится в донные отложения Байкала. Если принять общую площадь Байкала равной 31500 км^2, то легко подсчитать, что кремний, ежегодно осаждающийся на дно озера в форме кремнекислоты (SiO_2), образует слой ила около 0,0030 мм (т. е. 0,30 см в тысячелетие). Эта

малая на первый взгляд мощность илообразовательных процессов благодаря отложению избыточной части кремния, поступающего в Байкал, не уступает, однако, мощности всего илообразовательного процесса в некоторых наших северных морях, как, например, в Баренцевом море (Сакс, 1950).

Изучение процессов миграции кремния в Байкале, ведущих в конечном итоге к осаждению большей части этого элемента в донные отложения, представляет, несомненно, один из интереснейших вопросов гидрохимии Байкала. Хотя исследования, выясняющие круговорот кремния в Байкале, были начаты только в самое последнее время, можно уже сейчас дать количественную характеристику основных путей миграции этого элемента в Байкал.

Еще в 1947 г. Г. Ю. Верещагин (1947) указывал на два возможных процесса, ведущих к обеднению вод Байкала кремнием: 1) образование коллоидальной кремнекислоты, ее коагуляция и осаждение; 2) потребление кремнекислоты диатомовыми водорослями с последующим увеличением ее в грунт при осаждении панцирей отмерших диатомовых.

Роль первого из указанных процессов на основании наших исследований нельзя признать сколько-нибудь значительной. Наличие коллоидальной кремнекислоты в водах Байкала до сих пор никем не установлено М. А. Кулаков (1938), определяя общее содержание коллоидов в водах Байкала, не входил в рассмотрение их качественного состава. К тому же примененная им методика исследований не отличалась большой точностью. Не обнаружена коллоидальная кремнекислота и нами, несмотря на специальные ее поиски в водах оз. Байкал. Тем более неясным кажется вопрос об образовании коллоидной кремнекислоты в водах Байкала. Достаточно напомнить, что растворимость кремнекислоты при pH 7—8 составляет около 180—200 мг/л. В водах же Байкала содержание кремнекислоты даже в придонных слоях и верхнем слое иловых вод озера не поднимается выше 25—30 мг/л считая на SiO_2.

Что касается вод притоков Байкала, то многие из них несут постоянно, в течение всего года, или временно, в периоды паводков, значительные количества коллоидной кремнекислоты, которая подвергается коагуляции и осаждению в приустьевых участках. Однако коллоидальная кремнекислота, содержащаяся в водах притоков Байкала, не учитывается при определении кремния в водах водоема. Обычно в гидрохимической практике определяется лишь та часть кремния, которая находится в водах в истинно растворенном состоянии. Говоря о значительно большем содержании кремния в водах притоков Байкала по сравнению с его содержанием в водах самого озера, мы как раз имеем в виду именно ту часть кремния, которая находится в состоянии истинного раствора. Предположение же о переходе этой части кремния в форму коллоидальной кремнекислоты в водах Байкала при отсутствии соответствующих экспериментальных данных нам кажется совершенно необоснованным.

Второй путь исчезновения кремния из воды Байкала, указанный Г. Ю. Верещагиным — потребление кремния диатомовыми водорослями с последующим увлечением его в грунт в форме панцирей этих водорослей — кажется нам основным путем, по которому и идет миграция большей части кремния в Байкале.

Однако, помимо потребления кремния из водных масс озера диатомовыми водорослями, кремний частично потребляется и некоторыми другими организмами, обитающими в Байкале. Среди этих организмов в прибрежной полосе озера большую роль в динамике кремния играют, несомненно, губки, строящие из кремнекислоты свои скелетные образования (спикулы), отлагающиеся на дно озера после отмирания губок.

Попытаемся теперь выяснить количественную роль отдельных организмов — потребителей кремния в общем круговороте этого элемента в Байкале.

1. ГУБКИ (*PORIFERA*) КАК ПОТРЕБИТЕЛИ КРЕМНИЯ В ВОДЕ БАЙКАЛА

Исследованиями Г. Г. Мартинсона (1936, 1938, 1940, 1948) и Л. М. Князевой (1954б) установлено, что в донных отложениях Байкала спикулы губок играют весьма заметную роль. Нахождение спикул байкальских губок в Тункинской котловине указывает на длительную геологическую протяженность, в течение которой эти организмы участвуют в илообразовательных процессах.

Образуя в литоральной зоне Байкала мощные заросли, губки оказывают, несомненно, существенное влияние на динамику некоторых ингредиентов в водах озера. Они строят свои скелетные образования из кремнекислоты и тем самым являются мощным потребителем последней. К сожалению, роль их в круговороте кремния в Байкале до сих пор не была выяснена.

Восполняя этот пробел, нами было проведено прежде всего изучение химического элементарного состава байкальских губок. Изучение это было интересно и с общенаучной точки зрения в связи с полной неизученностью химического состава организмов, населяющих Байкал. Исследованию было подвергнуто пять видов байкальских губок. Результаты анализов их представлены в табл. 146.

Методика анализа была принята следующая. Кремний, железо, алюминий, кальций, магний и фосфор определяли обычными методами анализа силикатов, после сплавления 2 г золы губок со смесью соды и поташа. Хром определяли колориметрически с дифенилкарбазидом после переведения в хромат перекисью водорода; марганец — колориметрически в виде перманганата; свинец — весовым методом в виде сульфата свинца; никель — осаждением в виде диметилглиоксима никеля с последующим прокаливанием и взвешиванием в виде окиси; медь — после отделения никеля осаждением бензоиноксимом; цинк — по Кольтгоффу титрованием ферроцианидом калия в присутствии дифениламина. Азот определялся по Кьельдалю; иод — по Скопинцеву, после озоления губки в присутствии поташа.

Губки для анализов собирали с помощью трала или камнещупа Рубцова, высушивали и измельчали. При этом основание губок, соприкасающееся с грунтом, тщательно очищали от приставших песчинок. Для анализа отбирали средние пробы из всего имеющегося материала.

Содержание кремния колеблется у разных видов губок в пределах 13,56—31,81%. Обращает на себя внимание резко пониженное содержание кремния у. *Lubomirskia baicalensis* по сравнению с другими видами губок, что находится в соответствии с зольностью этого вида. Более подробное изучение зольности *Lubonirskia baicalensis* показало, что увеличение минеральных веществ происходит по мере старения организма губки. Зольность молодых экземпляров ниже, чем старых. Нижняя (более старая) часть губки оказывается более минерализованной по сравнению с верхней молодой частью, что видно из следующих данных:

	Зольность, %
Старый экземпляр (в среднем)	29,80
» » вершинная часть . . .	28,85
» » нижняя часть . . .	36,30
Молодой экземпляр	26,20

Химический элементарный состав байкальских губок (см. табл. 146) с полной очевидностью указывает на значительное содержание в них

Таблица 146

Химический состав байкальских губок (в % на сухое вещество)

Вид губок	Зольность	Si	Fe	Al	Cr	Ca	Mg	Cu	Ni	Pb	Zn	Mn	N	P	j
Lubomirskia baicalensis	29,89	13,59	0,071	0,169	0,081	0,034	0,034	0,019	0,001	0,008	0,0028	0,002	5,17	0,007	0,004
Lubomirskia abeatina	63,57	29,40	0,635	0,057	—	0,054	0,031	—	—	—	—	—	4,31	—	—
Baicalospongia bacillifera	68,98	31,81	0,053	0,021	0,019	0,025	0,021	0,011	0,0009	0,006	0,0030	0,004	4,12	0,009	0,005
Baicalospongia intermedia	68,94	26,65	0,048	0,118	—	0,024	0,058	—	—	—	—	—	3,93	—	—
Swarzewskia popylacia	62,62	29,00	0,018	0,049	—	0,053	0,016	—	—	—	—	—	3,74	—	—

кремния. Концентрируя в своих тканях до 30% кремния, губки выводят его из общего круговорота, а после отмирания увлекают в грунт.

Количественная роль губок в круговороте кремния в Байкале может быть оценена, исходя из данных по биомассе губок. Согласно исследованиям М. М. Кожова (1947), биомасса губок на каменистых участках дна литорали на глубинах 2—8 м достигает нередко до 1 кг/м^2 поверхности дна и выше. Преобладающим видом является здесь *Lubomirskia baicalensis*. Вид этот содержит до 90% воды; содержание кремния достигает 13,5% или около 20% SiO_2 на сухое вещество. Отсюда, общее количество кремнекислоты, содержащееся в губках, выражается в 200 кг/га. Если принимать содержание кремнекислоты в водах Байкала в среднем за 2,3 мг/л, то общее количество ее в воде под 1 га площади поверхности озера над теми же глубинами (2—8 м) составит около 120—150 кг.

Таким образом, содержание кремния в губках оказывается значительно более высоким, нежели в лежащем над ними столбе воды озера.

Если учесть, что губки распространены до значительно больших глубин, примерно до глубины 30—50 м, хотя их биомасса на этих глубинах и уменьшается, но зато здесь обитают виды с повышенным содержанием кремния (до 30%), то можно ориентировочно подсчитать то количество кремния, которое содержится в губках по всему озеру. Это количество оценивается нами приблизительно в 30 тыс. т.

К сожалению, отсутствие данных по продолжительности жизни байкальских губок не позволяет решить вопрос о скорости илообразовательной способности губок Байкала. Можно лишь предполагать, что скорость эта весьма значительна, судя по той роли, какую играют спикулы губок в составе байкальских глубоководных илов.

2. РОЛЬ ДИАТОМОВЫХ ВОДОРОСЛЕЙ В КРУГОВОРОТЕ КРЕМНИЯ В БАЙКАЛЕ

Выше уже указывалось на большую роль диатомовых водорослей в круговороте кремния в Байкале. Как показали исследования Л. М. Князевой (1954б), диатомовые водоросли играют исключительно большую роль в накоплении аутигенной кремнекислоты в донных отложениях Байкала. Вполне понятно, что выявление количественной

роли диатомей в общем круговороте кремния в Байкале представляет большой интерес.

Развитие диатомового планктона в оз. Байкал начинается еще в подледный период — в конце февраля — марте (Яснитский, 1940; Антипова и Кожов, 1953). К концу апреля — маю развитие диатомей достигает максимума, а затем по мере прогревания верхних слоев воды озера происходит постепенное отмирание диатомей с последующим опусканием на дно. Особенно бурные вспышки развития дают в Байкале виды рода мелозира (*M. baicalensis* и некоторые другие). Необходимо отметить, что массовое развитие диатомей весной в Байкале наблюдается не ежегодно. Так, как уже говорилось, мощной вспышке развития мелозиры весной 1950 г. предшествовал трехлетний период (1947—1949 гг.), в течение которого она была представлена в Байкальском планктоне крайне скудно. Лишь более ранние 1945 и 1946 гг. также характеризовались обилием этой водоросли. В последующие 1950—1952 гг. развитие мелозиры в Байкале весной было также слабым. Зато весной 1953 г. водоросль эта дала вновь очень сильную вспышку размножения.

Данные по биомассе диатомового планктона в Байкале в литературе до последнего времени полностью отсутствовали. Имелись лишь самые общие указания (Кожов, 1947), согласно которым биомасса фитопланктона в период его максимального развития в десятки раз превышает биомассу зоопланктона. Лишь в одной из работ В. Н. Яснитского (1934) указывается, что весной в период массового развития диатомей общее число их достигает в Байкале 300 тыс. клеток в 1 л. Так как в составе байкальского диатомового планктона обычно доминирующее положение занимает мелозира, то для приближенного расчета биомассы весеннего фитопланктона можно принять, что данные В. Н. Яснитского относятся именно к этой водоросли. Тогда, считая средний размер одной клетки мелозиры, на основании измерений, приводимых А. П. Скабичевским (1929), равным 10000 μ^3 и удельный вес ее равным 1,06, можем легко найти, что указываемое Яснитским количество дает биомассу, равную 3,16 г/м^3.

В весенне-летний период 1950 г. нами были проведены некоторые наблюдения над сезонными изменениями энергии фотосинтеза и биомассы мелозиры в районе пос. Большие Коты. Не останавливаясь на подробном изложении полученных данных, что сделано нами ранее (Вотинцев, 1952), укажем лишь, что максимальная биомасса этой водоросли под 1 м^2 поверхности озера в слое воды 0—250 м была отмечена 14 июня и равнялась 240 г/м^2 (2400 кг/га)[1]. Биомасса эта не является, видимо, максимально возможной. Так, в период массового развития мелозиры весной 1946 г. ее биомасса под 1 м^2 поверхности озера в том же слое воды 12 мая достигала 458,8 г, т. е. была почти в 2 раза выше найденных нами в 1950 г. величин. Еще более мощное развитие мелозиры было, очевидно, в 1945 г. К сожалению, отсутствие точных количественных данных не позволяет судить о ее биомассе в этот год.

Изучение процесса регенерации кремния при разложении мелозиры после ее отмирания показало, что эта регенерация практически происходит в первые 5 суток с начала разложения отмерших клеток водоросли. В дальнейшем наблюдается лишь ничтожное выщелачивание кремния из

[1] Наши данные по биомассе мелозиры весной 1950 г. получены путем непосредственного взвешивания проб сетного планктона. По данным Н. Л. Антиповой и М. М. Кожова (1953), изучавшим численность этой водоросли весной 1950 г., ее биомасса в этот период достигала 130 г/м^2 (в мае) в слое 0—50 м. Как показывают исследования, в это время мелозира частично опустилась уже на глубину свыше 50 м, чем, вероятно, и объясняется различие величин ее биомассы, найденных нами, с величинами, найденными Н. Л. Антиповой и М. М. Кожовым.

панцирей мелозиры (см. гл. XII). За 50-дневный период опыта в раствор перешло 15,2% всего введенного с планктоном кремния. Если принять, что в мелозире содержится 47,72% кремнекислоты (в пересчете на сухое вещество водоросли), влажность ее равна 85,3% и регенерация кремния из отмерших клеток происходит даже на 20%, то получаем, что с отмершей мелозирой в донные отложения озера в 1946 г. должно было увлекаться кремнекислоты до 257 кг/га, а в 1950 г.— 135 кг/га. Как выяснено исследованиями М. М. Кожова (1955б), массовое развитие мелозиры в Байкале обычно охватывает все озеро. Отсюда можно без преувеличения сказать, что диатомовый планктон Байкала, в частности мелозира, является тем своеобразным «фильтром», который, улавливая растворенный в водах озера кремний и переводя его в донные отложения озера, поддерживает тем самым постоянное содержание кремния в байкальской воде.

Если предположить, что наблюдавшееся в 1946 и 1950 гг. массовое развитие мелозиры охватывало весь Байкал, то после отмирания диатомей в донные отложения озера в 1946 г. должно было поступить около 800 тыс. т, а в 1950 г.— 425 тыс. т кремнекислоты, т. е. в первом случае в 4 раза, а во втором — в 3 раза более того избытка кремния, который вносится в Байкал ежегодно с водами его притоков.

Приведенные расчеты ясно показывают, что вспышки развития диатомовых водорослей, подобные наблюдаемым в 1946 и 1950 гг., могут происходить без нарушения общего баланса кремния в Байкале одновременно по всему озеру приблизительно один раз в 2—3 года или же могут происходить ежегодно, но захватывать только отдельные районы озера. Потребляя в годы своего массового развития огромные количества кремния и переводя его в донные отложения, мелозиры и, возможно, другие диатомеи резко снижают содержание соединений этого элемента в водах озера. На это ясно указывают колебания, которые наблюдаются в среднегодовых величинах содержания кремния в водах Байкала в отдельные годы. Колебания эти, несомненно, обусловлены количественным развитием диатомей и захватывают слои воды до глубины свыше 250 м.

Среднегодовое содержание кремния зависит не только от количественного развития диатомей в данном году, но и от количественного их развития в предшествующие годы. Так, после массового развития мелозиры весной 1946 г. содержание кремния в водах Байкала в последующие 1948—1949 гг. постепенно восстанавливается главным образом за счет поступления его с водами притоков. Однако вспышка массового развития мелозиры весной 1950 г. вновь резко снизила содержание кремния в верхних слоях воды озера.

Таким образом, одним из основных факторов, определяющих баланс кремния в Байкале, является диатомовый планктон и в первую очередь виды рода мелозира, дающие массовые вспышки размножения в отдельные годы.

С другой стороны, само массовое развитие диатомей в Байкале, вероятно, ограничивается содержанием кремния. Во всяком случае массовое развитие мелозиры весной не может происходит по всему Байкалу ежегодно без нарушения баланса кремния в водах озера. Исходя из этого, мы считаем, что кремний в Байкале, несомненно, играет роль одного из лимитирующих ежегодное массовое развитие диатомей факторов.

Глава XIV

О КРУГОВОРОТЕ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА В ВОДАХ БАЙКАЛА

Органическое вещество природных вод играет важную роль в жизни водоемов. Не удивительно поэтому, что изучению его круговорота в пресных и морских водоемах в последнее время уделяется большое внимание, ярким примером которого может служить недавно опубликованная монография Б. А. Скопинцева (1950).

Роль органического вещества в общем круговороте веществ в оз. Байкал оставалась до настоящего времени совершенно не изученной, даже содержание последнего в байкальской воде было точно неизвестно, а о количествах органического вещества судили по величинам перманганатной окисляемости воды.

В главе V было показано, что содержание органического вещества в водах Байкала не остается постоянным в течение года, а напротив, испытывает закономерные сезонные изменения, выраженные наиболее отчетливо в верхних слоях воды — до глубины около 50 м. Эти сезонные изменения в содержании органического вещества тесно связаны с количественными изменениями в развитии фитопланктона. Минимальное содержание органического вещества в водах озера наблюдается зимой в подледный период и летом в июне-июле. Максимумы падают на весну (апрель) и осень (октябрь), т. е. проявляются тотчас за окончанием периодов весенней и летней вегетации планктона. Учитывая, что процессы созидания и деструкции байкальского фитопланктона в основном ограничиваются верхней 60—70-метровой толщей его вод, легко понять, почему этими же глубинами ограничиваются и наиболее отчетливые сезонные изменения в содержании органического вещества.

1. ГОРИЗОНТАЛЬНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА В ВОДАХ БАЙКАЛА

Выше уже было показано, что отношение кислорода перманганатной окисляемости к кислороду окисляемости бихроматной в водах Байкала в один и тот же сезон года остается более или менее постоянным. Это обстоятельство дает нам право рассмотреть вопрос о горизонтальном распределении по озеру органического вещества, используя для этой цели как материалы своих личных исследований, так и многочисленные литературные данные, характеризующие перманганатную окисляемость байкальских вод. Материалы эти вполне сравнимы между собой, так как они относятся только к летнему периоду, а окисляемость везде определялась методом Кубеля в описании его Г. Ю. Верещагиным (1933).

Всего мы располагаем 1200 определениями окисляемости. Из них около 1100 определений относятся к верхнему 250-метровому слою воды озера. Для глубжележащих слоев воды число определений окисляемости весьма ограничено. Об окисляемости придонных слоев воды и вод, пропитывающих донные отложения озера, можно судить лишь на основании нескольких единичных анализов, а также по небольшому числу определений окисляемости в нейтральной среде. Наиболее обширный материал по окисляемости имеется для поверхностных слоев воды до глубины 25 м. Данные эти сведены в табл. 147 .

Таблица 147

Средние величины перманганатной окисляемости воды главнейших районов Байкала в слое 0—25 м (в мг/л)

Районы озера	Число анализов	Окисляемость		
		макс.	мин.	средняя
Северный Байкал, открытое озеро . .	66	4,60	1,41	2,44
То же, прибрежная зона	11	5,00	2,80	3,56
Баргузинский залив	28	5,04	1,41	2,05
Губы Баргузинского залива	14	6,97	2,60	4,81
Чивыркуйский залив	64	2,60	1,21	1,89
Губы Чивыркуйского залива	11	3,28	1,76	2,25
Малое море, северная часть	21	2,95	1,83	2,06
То же, южная часть	68	4,12	2,23	2,56
» » заливы и губы	109	21,71	2,80	11,12
Южный Байкал, у пос. Большие Коты, открытое озеро	294	4,06	0,88	1,92
То же, прибрежная зона	67	4,38	1,42	2,58
Южный Байкал, у Маритуя	10	2,66	1,45	2,08
То же, бухта Песчаная—о-в Ольхон .	46	2,21	1,22	1,93

Как показывает таблица, окисляемость вод трофогенного слоя открытых районов Байкала и его крупнейших заливов — Баргузинского и Чивыркуйского не испытывает резких изменений и равна в среднем около 2,0 мг кислорода на 1 л. Несколько повышена окисляемость верхних слоев воды в районе Северного Байкала и в южной и средней частях Малого Моря, достигая здесь в среднем 2,5 мг/л кислорода. Воды прибрежной части также имеют несколько повышенную окисляемость по сравнению с водами открытых районов озера.

Что касается хорошо защищенных заливов и соров (лагун) Байкала, а также приустьевых участков крупных притоков озера, то воды их имеют еще более высокую окисляемость, достигающую до 10—21 мг/л.

2. ОБ УСТОЙЧИВОСТИ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА БАЙКАЛЬСКИХ ВОД К ОКИСЛЕНИЮ

Уже отмечалось, что отношение кислорода перманганатной окисляемости к кислороду окисляемости бихроматной в водах Байкала лежит в среднем в пределах 38% (поверхность) — 23% (глубина 1200 м). Это с полной очевидностью указывает на преобладание в водах озера устойчивых к окислению органических веществ. Правильность данного вывода косвенно подтверждает и тот факт, что среди сапрофитного населения Байкала значительный процент составляют так называемые микобактерии, которые, как известно, способны использовать трудноусвояемые

органические вещества даже при небольшой концентрации последних в водах водоемов (Кузнецов, 1952).

Преобладание в водах Байкала стойких к окислению органических веществ подтверждается также и соотношениями величин биохимического потребления кислорода и бихроматной и перманганатной окисляемости. Действительно, отношение среднегодовых величин $БПК_5$ к среднегодовым величинам бихроматной окисляемости в поверхностных водах озера составляет в среднем всего 15%. На глубине 250—500 м это отношение падает до 10%, а на глубине 1000—1200 м до 8%. Следовательно, на долю стойкого органического вещества в водах Байкала приходится в среднем от 85% (на поверхности), до 92% (на глубинах 1000—1200 м) от общего содержания органического вещества в водах озера. Цифры эти показывают, кроме того, что нестойкое к окислению органическое вещество в максимальных количествах содержится в поверхностных слоях воды Байкала. Накопление его здесь вполне понятно и происходит в результате жизнедеятельности и распада планктона, количественно наиболее богатого как раз в верхнем трофогенном слое воды. С глубиной вместе с уменьшением численности планктона, падает и содержание нестойких к окислению органических веществ. Однако байкальские воды все же содержат нестойкие к окислению органические вещества и на максимальных глубинах. По своему происхождению эти вещества представляют, вероятно, продукты распада отмерших планктеров, разлагающихся в толще вод озера при погружении на дно. Так как процесс разложения отмерших планктонных ракообразных протекает в толще вод озера лишь частично (в основном же совершается в донных отложениях озера), то, вероятно, эти организмы при погружении на дно после отмирания и являются поставщиками нестойких к окислению органических веществ в глубинные слои воды.

Принимая величины $БПК_5$ эквивалентными содержанию нестойкого к окислению органического вещества, можно легко проследить вертикальное распределение в водах Байкала стойкого органического вещества. Так, в 1953 г. содержание стойкого органического вещества, равное разности между кислородом бихроматной окисляемости и $БПК_5$, в поверхностных водах Байкала составляло в среднем 3,82 мг/л кислорода. На глубинах 250—500 м, оно было равно соответственно 3,56 и 3,52 мг/л, а на глубине 1200 м опускалось до 3,27 мг/л. Отсюда, содержание стойкого к окислению органического вещества в 1953 г. на глубине 1200 м было в среднем на 0,55 мг/л или на 14% ниже, чем в поверхностной воде озера. Убыль $БПК_5$ в пределах тех же глубин (0—1200 м) составляла 0,51 мг/л, т. е. в абсолютных величинах была очень близка к убыли стойкого органического вещества. Однако отношение этой убыли $БПК_5$ к $БПК_5$ в поверхностной воде Байкала составляло 65%. Следовательно, относительное содержание стойкого органического вещества в водах Байкала возрастает с глубиной.

3. НЕКОТОРЫЕ ДАННЫЕ О ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКОЙ ПРИРОДЕ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА БАЙКАЛЬСКИХ ВОД

Преобладание в водах Байкала биохимически стойкого органического вещества уже само по себе говорит о его природе. С достаточной долей вероятности можно предполагать, что в водах Байкала происходит накопление в основном продуктов глубокого распада растительных и животных организмов и что содержание свежего, прошедшего лишь начальные стадии трансформации, органического вещества растительного и животного планктона крайне незначительно. Об этом же говорит низкое общее содержание органического вещества в байкальских водах,

относительно небольшие сезонные колебания и стабильность среднегодовых величин его содержания здесь.

Для более детального знакомства с химической природой органического вещества байкальских вод зимой 1954 г. были проведены исследования, выясняющие содержание в водах озера гуминового комплекса, а также высших жирных кислот.

Изучение гуминового комплекса байкальских вод велось нами по схеме, предложенной И. В. Тюриным (1937) и его учениками для почвенных исследований и успешно примененной к природным водам В. В. Пономаревой (1954), при изучении гуминового комплекса воды р. Невы.

Следует указать, что при работе с байкальской водой в связи с низким содержанием в ней органического вещества в ряде случаев нам пришлось преодолевать значительные трудности. К ним прежде всего относится необходимость оперировать с большими объемами воды — до 100 л и более, упаривание которой при пониженной температуре занимало много времени, что могло повести за собой гидролитическое расщепление органического вещества, т. е. изменение его химической природы. Избегая этого, мы вели упаривание воды небольшими порциями — по 1—2 л с последующим повторным упариванием полученных концентратов до небольшого объема. После проведения предварительных исследований, предпринятых с целью ознакомления с методами, была выбрана следующая методика изучения гуминового комплекса байкальских вод.

50 л воды упаривали на водяной бане небольшими порциями при температуре около 85° до объема 200 мл. Полученный концентрат, имеющий яркую золотисто-желтую окраску, сильно пенился и содержал небольшой беловатый осадок, крепко пристававший к чашке. После прибавления к концентрату на холоду аммиака (из расчета получения 2% раствора) и 12-часового стояния при комнатной температуре концентрат фильтровали через стеклянный фильтр № 3, осадок промывали 3 раза 2%-ным раствором аммиака, и полученный аммиачный раствор упаривали осторожно на водяной бане до объема 50—70 мл.

К концентрату, содержащему весь гуминовый комплекс, добавляли серную кислоту из расчета получения 0,05 *N* раствора при температуре 60—70°. Выпавший осадок гуминовой и ульминовой кислот отфильтровали после 12-часового стояния в теплом месте через хорошо промытый 0,05 *N* серной кислотой плотный фильтр и промывали 0,05 *N* серной кислотой. Фильтрат поступал для определения фульвокислот, осадок же гуминовой и ульминовой кислот растворяли на фильтре 2%-ным аммиаком, раствор доводили водой до объема 100 мл, из него брали пробы по 20 мл на определение углерода гуминовых кислот по методу И. В. Тюрина.

Для определения фульвокислот фильтрат после отделения гуминовых кислот доводили водой до 250 мл, после чего из него брали 2 пробы по 5 мл для определения суммы $C_{орг}$ (по Тюрину) и 2 пробы по 100 мл для определения фульвокислот.

В первой пробе, объемом 100 мл, проводилось общее осаждение фульвокислот, для чего в раствор добавляли 5 мл 5%-ного раствора сернокислого алюминия и осторожным добавлением щелочи pH раствора доводили до пяти. Выпавший осадок алюмината фульвокислот в смеси с гидроокисью алюминия отфильтровывали, тщательно промывали водой и растворяли в 0,05 *N* H_2SO_4. Раствор доводили до объема 100 мл и из него отбирали пробы по 5—10 мл для определения углерода фульвокислот.

Фильтрат после осаждения фульвокислот доводили выпариванием до 100 мл, из него отбирали пробы по 5 мл для определения $C_{орг}$ веществ, не осаждаемых алюминием.

Во второй пробе производили осаждение апокреновой кислоты путем прибавления избытка гидрата окиси бария. Осадок барий-апокренета в смеси с сульфатом бария и карбонатом бария отфильтровывали, промывали водой, после чего апокренат бария растворяли 0,05 *N* H_2SO_4. Полученный раствор доводили до 100 мл, и из него брали пробы по 20 мл для определения углерода апокреновой кислоты.

Как видно из табл. 148, содержание гуминового комплекса в водах Байкала в зимне-весенний период 1954 г. было довольно постоянным. Основную часть его составляли фульвокислоты, из которых около 90% от общей суммы гуматов приходилось на долю креновой кислоты. Апокреновая кислота в сумме с гуминовой и ульминовой кислотами составляли примерно 10% гуминового комплекса.

Помимо гуминового комплекса, мы пытались провести определение содержания в органическом веществе байкальской воды высших жирных кислот.

Таблица 148

Состав гуминового комплекса байкальской воды (в мг/л)

Составляющие	16.I	19.II	12.IV
Углерод гуминовой + ульминовой кислот .	0,04	0,03	0,02
» апокреновой кислоты	0,06	0,07	0,06
» креновой кислоты	0,97	1,02	0,96
» орг. веществ, не осаждаемых алюминием	0,22	—	—
Углерод орг. веществ без гуминовой + ульминовой кислот:			
а) непосредственное определение . . .	1,13	—	—
б) сумма по разности	1,13	—	—

Определение их велось по методике, предложенной Горюновой (1952 и 1954), из 100 л воды после ее упаривания до небольшого объема. Для предотвращения улетучивания жирных кислот при выпаризании в пробу воды добавлялась сода. Последующая фракционная отгонка концентрата с паром показала, что в байкальской воде присутствует одна кислота. Она образовывала на поверхности дестиллята очень тонкие беловатые пленочки, а при повышении температуры дестиллята давала маслянистые капли. К сожалению, содержание этой кислоты было настолько незначительным, что наши попытки получить ее соль серебра для определения молекулярного веса кислоты успехом не увенчались, так как количества этой соли были малы и не позволяли провести точное взвешивание.

Ориентировочно можно предполагать, что в водах Байкала присутствует, видимо, пальмитиновая кислота.

4. К БАЛАНСУ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА В БАЙКАЛЕ

Как и во всяком водоеме, в Байкале органическое вещество может быть подразделено на живое вещество, заключенное в животных и растительных организмах, и на продукты распада этого живого вещества, находящиеся как в толще вод, так и в донных отложениях озера в растворенном и взвешенном состоянии.

Общее количество такого «мертвого» органического вещества, находящееся в толще вод Байкала, можно легко подсчитать, исходя из данных по бихроматной окисляемости байкальских вод. Принимая средневзвешенное значение бихроматной окисляемости вод Байкала равным 3,85 мг/л кислорода, коэффициент для пересчета на сухой беззольный вес — 0,75 и объем водных масс Байкала — 23000 км^3, получим общее количество органического вещества, находящееся в толще вод озера в растворенном и взвешенном состоянии, равным 66700 тыс. т.

Количество органического вещества, находящееся в толще донных отложений Байкала, остается неизвестным. Учет его представляется очень сложным, так как для этого необходимо знать не только содержание органического вещества в толще донных отложений озера по вертикали, но и мощность самих отложений. Если о содержании органического вещества в верхних слоях иловых отложений Байкала в настоящее время имеются некоторые, хотя и немногочисленные данные, то о мощности самих донных отложений этого озера сведения вообще отсутствуют.

Количественная оценка живого вещества на современном этапе наших знаний флоры и фауны Байкала представляет также довольно сложную задачу и может быть сделана лишь приближенно.

Позволим себе более подробно остановиться на материалах, использованных для количественной характеристики биомассы отдельных групп флоры и фауны Байкала. Это позволит более объективно оценить приводимые ниже данные.

Одним из главных продуцентов органического вещества в водах Байкала является, несомненно, фитопланктон. Годовая продукция его может быть подсчитана по данным интенсивности фотосинтеза, полученным методом «склянок». В 1948 г. наблюдения велись нами, в 1955 г. А. В. Самариной (1956). В 1952—1954 гг. А. В. Самариной было проведено значительное число эпизодических наблюдений над интенсивностью фотосинтеза фитопланктона методом «склянок», относящихся главным образом к летним месяцам, что в значительной степени уточняет наши систематические наблюдения 1948 и 1955 гг. В летние периоды 1952 и 1955 гг. несколько серий наблюдений методом «склянок» было проведено в других районах озера. Кроме того, летом 1953 г. С. И. Кузнецов провел исследования интенсивности фотосинтеза байкальского фитопланктона методом меченых атомов (Кузнецов, 1955а и 1955б); полученные результаты очень близко совпадают с нашими.

Не останавливаясь на подробном изложении всех полученных материалов, так как это не входит в задачи настоящей работы, перейдем непосредственно к количественной оценке интенсивности фотосинтеза байкальского фитопланктона с тем, чтобы на основе этих данных подойти к вычислению его годовой продукции в Байкале.

Таблица 149

Среднемесячные величины суточной интенсивности фотосинтеза байкальского фитопланктона в разоне пос. Большие Коты (в мг/л) (по данным автора и А. В. Самариной, 1956)

Месяц	1948 г.	1952 г.	1953 г.	1954 г.	1955 г.	Среднее
I	0,0049	—	0,0034	—	—	0,0041
II	0,0079	—	—	—	0,0105	0,0094
III	0,0060	—	0,0053	—	0,0124	0,0079
IV	0,0150	—	0,0484	—	0,0161	0,0159
V	(0,0112)	—	—	—	0,0142	0,0129
VI	0,0112	—	—	—	0,0169	0,0142
VII	0,0199	0,0255	—	0,0340	0,0199	0,0248
VIII	0,0157	0,0232	—	0,0195	0,0330	0,0229
IX	0,0131	—	—	—	0,0184	0,0157
X	0,0112	0,0053	—	—	0,0142	0,0101
XI	(0,0037)	0,0071	—	—	—	0,0053
XII	(0,0037)	—	—	—	—	(0,0037)

В табл. 149 приводятся среднемесячные величины суточной продукции фотосинтеза байкальского фитопланктона, выраженные в миллиграммах на литр углерода, в слое 0—50 м — по годам и среднее за все годы наблюдений. Из данных этой таблицы нетрудно подсчитать, что годовая продукция фотосинтеза байкальского фитопланктона равнялась в 1948 г. 200 г/м^2 поверхности озера, а в 1955 г. составляла 243 г/м^2.

В годы с высоким урожаем мелозиры продукция фотосинтеза весеннего фитопланктона должна быть значительно выше. Действительно, в апреле 1950 г. интенсивность фотосинтеза фитопланктона в слое воды 0—50 м под 1 м^2 поверхности озера достигала 35 г углерода, а в апреле 1953 г.— 36,5 г. Несомненно, высокая интенсивность фотосинтеза

фитопланктона в апреле 1950 и 1953 гг. в основном обусловлена именно высокой численностью мелозиры. Отсюда, считая продолжительность массового развития мелозиры равной двум месяцам (апрель — май) и вводя соответствующие поправки в величины интенсивности фотосинтеза в 1948 и 1955 гг., можно принять годовую продукцию его в богатые мелозирой годы, равной 230—270 г углерода на м^2 поверхности озера в слое 0—50 м.

Результаты исследований С. И. Кузнецова (1955а и 1955б), а также некоторые данные, полученные нами летом 1955 г., говорят о том, что интенсивность фотосинтеза байкальского фитопланктона в открытых районах озера не имеет существенных различий на всем его протяжении в один и тот же период времени. Обстоятельство это дает право распространить данные по интенсивности фотосинтеза фитопланктона, полученные для района пос. Большие Коты, на все озеро и провести подсчет величины годовой первичной продукции фитопланктона Байкала в целом.

Принимая среднегодовую интенсивность фотосинтеза фитопланктона в бедные мелозирой годы, равной в среднем 220 г., а в урожайные по мелозире годы —250 г углерода под 1 м^2 поверхности озера, нетрудно подсчитать, что годовая продукция фитопланктона Байкала выразится соответственно в 6930 тыс. т и 7875 тыс. т углерода. Считая среднее содержание углерода в сухом веществе байкальского фитопланктона равным 25%, а содержание воды в сыром планктоне — 80%, общая годовая продукция фитопланктона оз. Байкал определится в бедные мелозирой годы в 27720 тыс. т сухой массы, возрастая в урожайные по мелозире годы до 31 500 тыс. т, что составляет соответственно 138 000 тыс. т и 157 500 тыс. т сырого планктона.

Что касается величин биомассы фитопланктона, то они, понятно, будут намного ниже. Только в урожайные по мелозире годы весной биомасса последней достигает до 240—300 г/м^2 поверхности озера (Вотинцев, 1952; Антипова и Кожов, 1953), что составляет около 9,45 млн. т сырого веса по всему озеру. Обычно же биомасса фитопланктона в зоне фотосинтеза не превышает нескольких десятков миллиграмм на кубический метр (Кожов, 1955а).

Приближенно биомасса байкальского фитопланктона может быть оценена из данных по интенсивности его фотосинтеза. Если считать, что суточная продукция байкальского фитопланктона составляет в среднем 10% от его биомассы и исходить из данных табл. 149, то последняя определится в зависимости от сезона года в 60—250 тыс. т углерода. Это количество углерода эквивалентно 300—1250 тыс. т сухой массы или 1200—5000 тыс. т сырого фитопланктона.

Годовая продукция донных макрофитов Байкала может быть подсчитана весьма ориентировочно. Что же касается микрофитов, то об их продуктивности в настоящее время не имеется совершенно никаких сведений. Предположительно роль их в общем балансе органического вещества в озере можно считать небольшой.

Донные макрофиты обитают в прибрежной полосе Байкала, образуя два ясно выраженные пояса. Первый из них, ограничивающийся прибойной зоной каменистой литорали с глубинами до 1—1,5 м, занят улотриксом (*Ulothrix zonata*) и носит название пояса улотрикса (Мейер, 1930). Ширина этого пояса изменяется в зависимости от конфигурации дна озера от 4—8 м до 12—18 м и более, а в среднем равна 10 м. Общая площадь этого пояса до 1600 га.

Второй пояс, примыкающий к поясу улотрикса, простирается с глубины 1—1,5 м до 15—20 м и даже несколько глубже. Здесь в массе развивается несколько видов рода *Draparnaldia*, в силу чего он и получил

название пояса или зоны драпарнальдий. Общая площадь, занятая драпарнальдиями, оценивается в 5 тыс. га.

Из немногочисленных данных, полученных нами в районе пос. Большие Коты, биомасса улотрикса на каменистых участках дна в зоне прибоя определяется в 2 кг/м², а биомасса драпарнальдий в 1 кг/м² (сырого веса) что составляет для всего озера в целом биомассу в 60 тыс. тонн. При содержании воды в улотриксе 91,12%, в драпарнальдии —90,00% и углерода соответственно 38,10 и 39,40% на сухое вещество. Общая биомасса донных макрофитов Байкала в период максимума составляет 5,9 тыс. т сухого вещества или 2,3 тыс. т углерода.

Изучение процессов фотосинтеза макрофитов Байкала (Бочкарев, Вотинцев, Яснитский, 1950; Вотинцев, 1954) показало, что продукция улотрикса за период вегетации достигает 36 кг/м², продукция же видов рода драпарнальдии в среднем 1,0 кг/м² (максимальный вес). Отсюда, общая продукция улотрикса по всему Байкалу составит 180 тыс. т, а продукция драпарнальдий — 500 тыс. т сырого веса, или соответственно 66,0 тыс. т сухого вещества и 25,8 тыс. т углерода.

Динамику биомассы байкальского зоопланктона в последние годы изучал М. М. Кожов (1947, 1948, 1954, 1955а и 1955б). По его данным средняя биомасса байкальского зоопланктона может быть принята равной 20 г/м² поверхности озера, что составляет для всего озера 630 тыс. т. В период максимального развития зоопланктона биомасса его достигает 80 и даже 100 г/м² поверхности озера, т. е. увеличивается по сравнению со средними величинами ее в 4—5 раз.

Годовую продукцию зоопланктона озера Байкал М. М. Кожов определяет в 2000 тыс. т.

Если учесть, что до 90—98% всего зоопланктона составляет в Байкале рачек епишура (Кожов, 1947), что он содержит 90% воды и что содержание углерода в сухом веществе его составляет около 60%, то нетрудно подсчитать, что в среднем в байкальском зоопланктоне содержится примерно 38 тыс. т углерода, годовая же продукция его соответствует 120 тыс. т органического углерода.

Биомасса байкальского зообентоса определяется нами, исходя из данных М. М. Кожова (1947), цифрами, представленными в табл. 150.

Таблица 150

Биомасса байкальского зообентоса поверхности озера (в г/м²) и на все озеро (в тыс. т)

Группа фауны	Литораль		Сублитораль		Супраабиссаль		Абиссаль	
	Поверхность озера	Все озеро	Поверхность озера	Все озеро	Поверхность озера	Все озеро	Поверхность озера	Все озеро
Губки	100,0	150,00	—	—	—	—	—	—
Гаммариды . .	6,8	1,02	6,0	0,90	5,5	0,82	1,0	26,00
Моллюски . .	13,6	2,04	10,0	1,50	3,3	0,50	—	—
Прочие . . .	8,2	1,29	9,0	1,35	13,3	2,00	2,0	52,00

Принимая содержание воды в губках равным 90%, в гаммаридах — 80%, в моллюсках —40% (в целых организмах, с раковиной) и в червях и прочих группах фауны —80%, а содержание углерода соответственно 5, 38, 21 и 30% в сухом веществе, найдем, что биомасса байкальского зообентоса составляет 48,67 тыс т сухого вещества, а это в пересчете на углерод дает 6,93 тыс. т.

Для получения величин годовой валовой продукции зообентоса приведенные в таблице цифры следует увеличить на $^1/_3$ (Кожов, 1947).

Биомасса байкальской ихтиофауны определяется, по нашим подсчетам, основанным на литературных данных, в 89,2 тыс. т (табл. 151).

При содержании воды в рыбах в среднем 80% и углерода 10% от живого веса получаем биомассу сухого вещества рыб Байкала, равной 17,84 тыс. т, а содержание в них углерода 8,92 тыс. т.

Необходимо дать некоторые пояснения к табл. 151.

Наиболее точные данные имеются по биомассе бычковых рыб Байкала (Талиев, 1955; Коряков, 1955). В своей посмертно изданной монографии по бычкам Байкала Д. Н. Талиев (1955) определяет общие запасы бычка—желтокрылки в 3,9 тыс. т, всех донных бычков 2,3 тыс. т. Запасы голомянки Д. Н. Талиев определяет в 3,5 тыс. т, считая ранее опубликованную К. И. Мишариным (1949) ориентировочную цифру в 360 тыс. т явно ошибочной. Однако, как показали исследования Е. А. Корякова (1955), общие запасы малой голомянки выражаются цифрой 200 тыс. ц. Запасы большой голомянки этот автор считает примерно такими же. В последнее время Е. А. Коряков оценивает общую биомассу голомянок округленно в 500 тыс. ц.

Таблица 151

Биомасса ихтиофауны Байкала (в тыс. т)

Название рыб	Биомасса	Автор
Омуль	20,0	К. М. Мишарин
Голомянка . . .	50,0	Е. А. Коряков
Желтокрылка . .	3,9	Д. Н. Талиев
Донные бычки . .	2,3	То же
Сиговые	0,6	К. И. Мишарин
Карповые	6,0	То же
Прочие	0,4	» »
Итого . . .	89,2	

Несколько хуже обстоит дело с определением общих запасов основной промысловой рыбы Байкала — омуля, так как в опубликованных работах имеются сведения только по уловам этой рыбы и частично по промысловым ее запасам. Если принять общую биомассу омуля равной в среднем удвоенной величине его максимального годового улова, то можно оценить ее в 200 тыс. ц. Величина эта хорошо согласуется с расчетами, недавно проведенными М. М. Кожовым (1954).

Биомасса прочих обитающих в Байкале рыб невелика. В открытых районах озера она слагается главным образом за счет донных сигов и хариуса. Прочие виды рыб ограничиваются в своем распространении заливами и сорами Байкала, выходя в открытое озеро лишь в летний период. Общая биомасса всех этих видов принимается, как и для омуля, равной удвоенной величине их среднегодового улова (улов взят по К. И. Мишарину, 1949).

Биомасса единственного обитающего в Байкале млекопитающего — байкальской нерпы — принята нами равной 5 тыс. т, исходя из того, что годовой промысел этого зверя, по данным Т. М. Иванова (1938), исчисляется в 5 тыс. голов, а средний живой вес нерпы равен 100 кг.

Если принять содержание воды в нерпе равным 25%, и углерода 50% от живого веса, то эта биомасса составит 3775 т сухого органического вещества или 2500 т углерода.

В заключение необходимо рассмотреть роль бактериальной флоры в общей биомассе живого вещества в Байкале. Хотя в последнее время в литературе и появились работы, освещающие динамику бактерий в водах Байкала (Родина, 1954; Кожова, 1956), но данных этих совершенно недостаточно для точного вычисления продукции бактериальной флоры

Байкала особенно если учесть, что обе опубликованные работы относятся только к району пос. Лиственичное — пос. Большие Коты.

По данным, приведенным в работе О. М. Кожовой (1956), были рассчитаны средневзвешенные величины биомассы бактерий в слое 0—100 м по месяцам, а отсюда нашли их среднегодовую биомассу (табл. 152).

Таблица 152

Среднемесячные величины биомассы бактерий в водах Байкала в слое 0—100 м (в г/м²) поверхности озера (по Кожовой, 1956)

Месяц	Биомасса	Месяц	Биомасса	Месяц	Биомасса
I	(175)	V	12	IX	2623
II	158	VI	1797	X	1706
III	597	VII	10937	XI	252
IV	(305)	VIII	495	XII	(200)

Примечание. Цифры в скобках взяты интерполяцией.

Среднегодовая биомасса бактерий в водах Байкала в слое 0—100 м оказалась равной 1605 г/м² поверхности озера, что в пересчете на весь водоем дает 50557,5 тыс. т.

Принимая среднюю глубину Байкала равной 1000 м и среднюю биомассу бактерий на глубинах 100—1000 м, по данным А. Г. Родиной (1954), 0,13 г/м³, получим для указанного слоя глубин общую биомассу бактерий под 1 м² поверхности озера равной 117 г, а для всего озера — 3685,5 тыс. т.

Отсюда общая биомасса бактерий определится в 54243 тыс. т, что при влажности бактерий, равной 90% и содержания углерода в сухом веществе 50% дает 5424,3 тыс. т сухого органического вещества или 2712,15 тыс. т углерода.

Изложенные выше данные по биомассе и продукции отдельных групп флоры и фауны Байкала показывают, что общая суммарная биомасса живого вещества претерпевает в Байкале большие сезонные и межгодовые изменения. Особенно резкие сезонные и годовые изменения биомассы проявляются у фитопланктона и бактериальной флоры. В связи с этим в некоторые моменты времени, в частности весной в годы массового развития мелозиры, а также летом в период максимума численности летних форм фитопланктона и бактериальной флоры происходит некоторое эвтрофирование озера.

В табл. 153 приводятся величины биомассы и среднегодовой валовой продукции отдельных групп флоры и фауны Байкала. Легко видеть, что общее количество $C_{орг}$ живого вещества в периоды максимумов составляет до 10% от углерода, находящегося в растворенном и взвешенном состоянии в толще вод Байкала. Столь высокое отношение углерода живого вещества к углероду продуктов деструкции последнего выделяет Байкал не только среди других пресных озер, но и среди водоемов морского типа, где указанное отношение бывает значительно ниже (Скопинцев, 1950). Обстоятельство это приводит нас к весьма важному выводу, а именно: процессы деструкции отмерших организмов планктона и бентоса, а также продуктов их жизнедеятельности протекают в Байкале весьма интенсивно до стадии глубокого распада, в результате чего в водных массах озера остаются в основном лишь наиболее устойчивые к окислению органические соединения. Богатство вод

Таблица 153

Биомасса и годовая валовая продукция отдельных групп флоры и фауны Байкала (в тыс. т)

группа фауны	Сырой вес		Сухой вес		$C_{орг}$	
	Биомасса	Продукция	Биомасса	Продукция	Биомасса	Продукция
Фитопланктон . .	1200—5000	157500	300—1250	31500	60—250	7875
Макрофиты . . .	60	680	5,9	66,0	2,3	25,8
Зоопланктон . .	600—3000	2000	60—300	200	36—180	120
Зообентос	239,4	319,2	48,7	64,0	6,9	9,2
Ихтиофауна . . .	89,2	100	17,8	20,0	8,9	10,0
Млекопитающие .	5,0	?	3,8	?	2,5	?
Бактерии	4000—78000	?	400—7800	?	200—3900	?

Байкала кислородом обеспечивает глубокий распад органических остатков во всех слоях воды, включая придонные, препятствуя одновременно накоплению больших количеств органического вещества в донных отложениях озера [1].

В главе X дана количественная оценка внешнего баланса органического вещества в Байкале. Напомним здесь только что Байкал ежегодно получает с водами притоков 204,56 тыс. т и с водами атмосферных осадков 16,9 тыс. т углерода, что в сумме составляет 221,46 тыс. т.

Это количество органического углерода составляет всего около 6,8% от его содержания в водах трофогенного слоя озера (верхний 25-метровый слой).

С водами р. Ангары из Байкала выносится за год 86,64 тыс. т углерода. Следовательно, в Байкале остается ежегодно 134,82 тыс. т органического углерода.

Каков же внутренний годовой баланс органического вещества в Байкале?

С достаточным основанием можно считать, что весь байкальский фитопланктон, а также донные макрофиты полностью минерализуются в Байкале в течение года. Вероятно, полной минерализации подвергается также и тот избыток органического вещества, который ежегодно вносится в Байкал с водами его притоков, а также с атмосферными осадками, выпадающими на поверхность озера.

Из этого количества следует исключить ту долю живого органического вещества, которая уходит из Байкала с водами р. Ангары в качестве биостока, а также при промысле (рыбный и нерпичий промыслы). По подсчетам Е. А. Корякова (Коряков, 1957) годовой биосток р. Ангары равен приблизительно 5 тыс. т живого вещества, что дает около 0,3 тыс. т органического углерода. Цифры биостока из Байкала через р. Ангару, приводимые Е. А. Коряковым, являются, несомненно, сильно завышенными. Если судить по тем данным среднемесячных величин биостока, которые приводит цитируемый автор, то общий годовой биосток через р. Ангару должен быть равен около 1 тыс. т живого вещест-

[1] Укажем попутно, что рыбная продукция Байкала, выраженная по углероду и равная в среднем 100 тыс. ц (Мишарин, 1949), составляет всего около 0,0013 от продукции байкальского фитопланктона, т. е. 1/770 долю его. По подсчетам Г. Г. Винберга (1956), промысловая рыбопродуктивность озер центральных областей СССР составляет от 1/500 до 1/1500 доли валовой первичной продукции. Близкие величины получены Гримом (Grim, 1949, 1951) для некоторых немецких озер — 1/100 до 1/1500. Таким образом, по степени использования первичной продукции (фитопланктона) Байкал не представляет какого-то исключения среди прочих озер земли.

ва, так как сток в зимние месяцы резко падает. В урожайные по планктону годы сток, возможно, увеличивается до 2 тыс. т.

В результате хозяйственной деятельности человека из Байкала ежегодно извлекается до 100 тыс. ц рыбы и 2,5 тыс. ц нерпы. Это количество промысловых животных составляет 2,25 тыс. т органического углерода.

Потери органического вещества за счет вылетающих из Байкала насекомых в общем его балансе в озере вряд ли могут быть значительными, особенно если учесть, что большая часть имагинальных стадий насекомых, личинки которых обитают в Байкале, после отмирания падает в озеро или сносится сюда с побережий последнего и содержащееся в них органическое вещество вновь вовлекается, таким образом, в общий круговорот в водоеме.

Отсюда, общее количество ежегодно минерализующегося в Байкале органического вещества составляет 8036,3 тыс. т органического углерода.

Указанное количество органического углерода составляет около 24% от общей суммы его, находящегося в толще вод Байкала, т. е., иначе говоря, полный круговорот органического вещества в Байкале завершается в течение 4-х лет.

Столь мощные процессы деструкции органического вещества не могут, конечно, не отразиться на динамике углекислоты в водах Байкала, Г. Ю. Верещагин (1957) относил свободную CO_2 к тем компонентам байкальских вод, для которых Байкал является их «рассеивателем». Ссылаясь на неопубликованные расчеты Б. Н. Форш, Г. Ю. Верещагин считает что процесс отдачи свободной CO_2 из Байкала в атмосферу является одним из самых мощных процессов, протекающих в этом озере.

Это мнение Г. Ю. Верещагина вряд ли справедливо. Действительно, не будет ошибкой принять, что свободная CO_2, образующаяся в процессе разложения отмерших организмов, будет вновь вовлечена в биотический круговорот в процессе фотосинтеза водной растительности. Следовательно, в избытке будет оставаться по существу лишь та ее доля, которая образуется за счет минерализации поступающего в Байкал аллохтонного органического вещества. Основными источниками этого аллохтонного органического вещества являются воды притоков Байкала и воды атмосферных осадков, выпадающих на поверхность озера. С учетом выноса органического вещества с водами реки Ангары в Байкале ежегодно остается около 134,8 тыс. т углерода аллохтонного органического вещества. Это количество органического углерода дает 494,3 тыс. т свободной CO_2, что в пересчете на 1 $м^2$ поверхности озера составляет всего 0,015 г в год.

Сюда необходимо добавить некоторое количество органического вещества, поступающего в воды Байкала с его побережий в виде листвы и хвои деревьев, пыльцы растений, отмерших насекомых и др. животных, а также крупного органического детрита, вносимого реками и не учитываемого при определении окисляемости воды. Оценка количественной роли этого источника органического вещества требует дополнительных исследований.

Глава XV

О КРУГОВОРОТЕ КИСЛОРОДА В БАЙКАЛЕ

Высокая прозрачность байкальских вод, относительная бедность их растворенным органическим веществом, содержание которого не поднимается выше 4 мг/л в пересчете на сухой беззольный вес, и постоянное в течение всего года богатство вод Байкала кислородом — все это придает Байкалу ультраолиготрофный характер и невольно наводит на мысль, что процессы, связанные с динамикой кислорода в Байкале, вряд ли могут быть количественно мощными. Предположение это косвенно подтверждается и сравнительно низкой энергией процессов биохимического потребления кислорода в водах этого озера — величины $БПК_5$ даже в поверхностных слоях воды, наиболее богатых органическим веществом, не поднимаются в течение года выше 1,5 мг/л кислорода, а обычно бывают значительно ниже.

Более внимательный анализ заставляет нас, однако, не только отказаться от высказанного предположения, но и признать, что процессы, связанные с круговоротом кислорода в Байкале, являются одними из самых мощных химических процессов, протекающих в толще вод этого водоема. Это кажущееся несоответствие легко понять, если учесть объем водных масс Байкала и его огромные глубины. Действительно, даже незначительное потребление кислорода при пересчете на весь столб воды от поверхности Байкала до его дна дает уже весьма внушительные цифры.

Как и в других водоемах, в Байкале источниками, обогащающими его воды кислородом, являются кислород фотосинтеза водных растений, атмосфера и воды притоков. Потребляется кислород при дыхании населяющих Байкал организмов и при разложении (окислении) аллохтонного и автохтонного органического вещества как растворенного, так и взвешенного в толще вод или находящегося в донных отложениях озера. Кроме того, кислород выносится из Байкала с водами р. Ангары. Потеря кислорода в атмосферу может иметь реальное значение только в случае его заметного превалирования над процессом инвазии, чего в Байкале, как будет показано ниже, не наблюдается.

В связи с отсутствием сведений о количестве кислорода, ежегодно вносимого в Байкал с водами его притоков, условно примем последнее равным тому его количеству, которое выносится из Байкала с водами р. Ангары. В действительности, вероятно, воды притоков вносят в Байкал несколько меньше кислорода, чем его выносит р. Ангара, так как воды последней содержат высокие количества кислорода в течение всего года, тогда как воды притоков зимой в связи с преобладанием грунтового питания несколько обеднены кислородом.

1. РОЛЬ ФИТОПЛАНКТОНА В КИСЛОРОДНОМ БАЛАНСЕ БАЙКАЛА

Роль фитопланктона в кислородном балансе Байкала может быть достаточно точно оценена по данным интенсивности его фотосинтеза, определенной методом «склянок». Основные результаты этих исследований были изложены нами выше в главе XIV при характеристике баланса органического вещества в водах Байкала. В настоящей главе они интересуют нас с точки зрения кислородного баланса. Исходя из данных табл. 149 нетрудно подсчитать годовую продукцию кислорода фотосинтеза фитопланктона, которая оказывается равной в слое 0—50 м под 1 м^2 поверхности озера в 1948 г.—530 г, в 1955 г.—657 г. В богатые мелозирой годы продукция кислорода фотосинтеза в период массового развития водоросли резко возрастает.

Так, в 1950 г. продукция кислорода в апреле достигала в том же слое воды 180—195 г/м^2, а в 1953 г. составляла 193 г/м^2 поверхности озера, т. е. в 3 раза превышала величины месячной продукции кислорода в те же месяцы 1948 и 1955 гг. Отсюда, вводя соответствующие поправки в расчеты, можно принять продукцию кислорода фотосинтеза байкальского фитопланктона в богатые мелозирой годы равной примерно 700—900 г/м^2 поверхности озера в слое 0—50 м в год.

2. РОЛЬ ДОННЫХ МАКРОФИТОВ В КИСЛОРОДНОМ РЕЖИМЕ БАЙКАЛА

Как показано в главе XIII, данные макрофиты играют существенную роль в общем балансе органического вещества в водах Байкала, особенно в его литоральной зоне. Понятно, что они не могли быть игнорированы нами и в настоящей главе, так как естественно было ожидать, что и в кислородном балансе Байкала донные макрофиты играют также довольно значительную роль.

Для того чтобы решить поставленный вопрос, нами использовались, с одной стороны, материалы по биомассе донных макрофитов Байкала, с другой,—данные по интенсивности их фотосинтеза, полученные совместно с П. Ф. Бочкаревым и В. Н. Яснитским (Бочкарев, Вотинцев, Яснитский, 1950).

Зная годовую продукцию данного вида водоросли или продукцию группы видов, их естественную влажность и содержание органического углерода в сухом веществе водоросли, мы подсчитали общее количество органического углерода, накапливаемое в макрофитах Байкала за период вегетации, а отсюда эквивалентное этому количеству органического углерода количество кислорода, выделенного в процессе фотосинтеза за тот же период (табл. 154).

Таблица 154

Энергия фотосинтеза байкальских донных макрофитов за период вегетации (в тыс. т кислорода)

Макрофиты	Годовая продукция, т. (сырой вес)	Естественная влажность, %	$C_{орг}$ в % к сухому веществу	$C_{орг}$ продукции за период вегетации	Выделено кислорода фотосинтеза, за период вегетации, т.
Улотрикс	160000	91,12	38,10	5420	13870
Прочие виды	680	90,90	39,00	25,8	68,7

Как известно, в процессе жизнедеятельности донные макрофиты, как и все другие растения, расходуют часть накопленной энергии на окислительные процессы (дыхание). Этот расход, конечно, должен быть учтен, так как иначе общий энергетический баланс будет заведомо занижен. Наши исследования (Бочкарев, Вотинцев, Яснитский, 1950) показали, что расход кислорода на дыхание составляет у улотрикса в среднем 14,6%, а у видов рода драпарнальдия — 35,0% суточной энергии фотосинтеза.

Внося соответствующие поправки на дыхание, общий итог процесса фотосинтеза байкальских донных макрофитов за вегетационный период можем выразить для улотрикса в 18,70 тыс. т кислорода, для всех прочих видов — 71,0 тыс. т кислорода, что дает в сумме 89,7 тыс. т кислорода в год.

Если принять площадь байкальской литорали равной 120 тыс. га, легко найти, что за вегетационный период донные макрофиты Байкала выделяют в среднем 74,8 г кислорода на 1 м^2 поверхности озера. Если же распределить это количество кислорода на всю акваторию озера, то оказывается, что на 1 м^2 площади поверхности Байкала донные макрофиты выделяют всего 2,84 г кислорода.

Проведенные расчеты наглядно показывают, что донные макрофиты Байкала, несомненно, играют существенную роль в кислородном режиме байкальской литорали, а это, как мы видели выше проявляется и в динамике кислорода в водах озера, особенно в его суточных изменениях в литорали, а также в повышенном содержании летом в дневные часы в прибрежной полосе озера по сравнению с содержанием в поверхностных слоях воды открытых районов Байкала.

Что же касается общей роли донных макрофитов Байкала в кислородном балансе этого озера, то она, как легко заметить, крайне незначительна.

Следует указать, что некоторое количество кислорода воды Байкала получают еще за счет фотосинтеза донных микрофитов (главным образом за счет донных диатомей). Роль этого источника кислорода в его общем балансе не изучена; впрочем, можно предполагать, что роль эта весьма невелика и во всяком случае несоизмеримо ниже роли данных макрофитов.

3. О РОЛИ ЗООПЛАНКТОНА В КИСЛОРОДНОМ РЕЖИМЕ БАЙКАЛА

Для выяснения роли рачкового планктона в общем балансе кислорода в водах Байкала проводилось определение величин потребления кислорода основными представителями байкальского зоопланктона — рачком епишурой и макрогектопусом, а затем, пользуясь данными М. М. Кожова (1954б) по биомассе ракового планктона Байкала, было рассчитано общее количество кислорода, потребляемое зоопланктоном за сутки и за год.

Методика постановки опытов по определению потребления кислорода епишурой и макрогектопусом была по возможности простой.

Епишуру и макрогектопуса собирали планктонной сетью. Пойманных рачков помещали в сосуд с водой, макрогектопусов отделяли от епишуры. Воду с епишурой, после осторожного перемешивания для более равномерного распределения рачков разливали в склянки с притертыми пробками, объемом около 150 мл. Склянки наполняли водой нацело без пузырьков воздуха. В двух из них тотчас определяли содержание кислорода методом Винклера, остальные укрепляли на тросе с поплавком и опускали в Байкал. По прошествии суток склянки извлекали из воды, и в воде их определяли содержание кислорода, а после этого производили подсчет числа епишуры. Для внесения поправки на потребление кислорода водной массой одновременно ставили такую же серию склянок с чистой байкальской водой.

Сбор взрослых рачков епишуры производили планктонной сетью из крупноячеистого газа путем вертикальных ловов на глубинах 0—250 м. Количество копеподитных и науплиальных стадий епишуры составляло в этих ловах соответственно 2 и 2,4% от общего числа рачков. Интенсивностью их дыхания пренебрегли.

Интенсивность дыхания копеподитных рачков определили по разности со взрослыми. Для этого, воспользовавшись незначительностью численности науплиусов епишуры на глубинах 150—250 м в августе 1948 г. мы провели здесь вертикальные ловы рачков замыкающейся планктоновой сетью из газа № 16. Численность науплиусов в этих ловах составляло около 10%. от общего числа рачков, что в переводе на биомассу давало 0,7%. Пренебрегая этим количеством науплиусов и зная численность и интенсивность дыхания взрослых рачков, вычисляли интенсивность дыхания копеподитных рачков епишуры.

Зная интенсивность дыхания взрослых и копеподитных рачков епишуры мы смогли вычислить и интенсивность дыхания науплиусов. Для этого были проведены ловы планктона сетью из газа № 16 на глубинах 50—0 м, давшие богатые науплиусами сборы.

Изучение потребления кислорода макрогектопусом производилось аналогично, но с той лишь разницей, что склянки перед опытом наполняли чистой водой и в них помещали по 5—10 рачков. По окончании опыта рачков извлекали из воды, обсушивали фильтровальной бумагой и взвешивали на аналитических весах. Следует указать, что нам удалось провести определение дыхания лишь у молодых стадий макрогектопуса (длина тела 8—15 мм), так как взрослые рачки в наших сборах отсутствовали.

Полученные данные сведены в табл. 155.

Таблица 155

Интенсивность дыхания рачков епишуры и макрогектопуса

Вид	Температура опыта, °С	Число опытов	Вес одного рачка, мг	Потребление кислорода экземпляром, мг/час
Епишура взрослая	4,5	4	0,08	$0{,}52 \cdot 10^{-5}$
	5,5	4	0,08	$0{,}58 \cdot 10^{-5}$
	12,3	4	0,08	$1{,}83 \cdot 10^{-5}$
Епишура копеподитная . .	4,5	2	0,04	$0{,}33 \cdot 10^{-5}$
Епишура науплиусы	4,5	2	0,006	$0{,}04 \cdot 10^{-5}$
Молодь макрогектопуса	2,0	8	6,4	$0{,}25 \cdot 10^{-2}$

На основании полученных данных, зная численность или биомассу отдельных планктеров, можно вычислить общее потребление кислорода зоопланктоном за определенный период времени и определить роль зоопланктона в газовом режиме отдельных слоев воды озера.

В табл. 156 приводятся некоторые данные по суммарному потреблению кислорода байкальским зоопланктоном в течение суток в 1948 г. Для ее составления мы воспользовались материалами Биолого-географического института при Иркутском государственном университете по численности байкальского зоопланктона за 1948 г. (сборы Г. Ф. Мазеповой).

Нетрудно видеть, что байкальский зоопланктон поглощает в течение суток лишь весьма незначительные количества кислорода, не превышающие в слое 0—250 м под 1 м^2 поверхности озера 30 мг в сутки. Максимальные количества кислорода в соответствии с вертикальным распределением зоопланктона потребляются в верхних слоях воды, минимальные — в слое 50—250 м.

Таблица 156

Потребление кислорода зоопланктоном Байкала в течение суток в 1948 г. (в мг/м³)

Дата	Глубина, м					Всего в слое 0—250 м под 1 м² поверхности озера, мг
	250—150	150—50	50—25	25—10	10—0	
30.I	0,028	0,043	0,078	0,214		14,40
19.III	0,051	0,019	0,506	0,379		29,07
9.VI	0,028	0,069	0,054	0,494		23,45
9.VII	0,081	0,059	0,052	0,138	0,695	24,30
19.VIII	0,014	0,041	0,033	0,712	0,232	19,37
10.IX	0,023	0,081	0,018	0,134	1,263	25,52
Среднее	0,038	0,052	0,124	0,345	0,546	22,35

Общее потребление кислорода байкальским зоопланктоном в течение года, подсчитанное на основании данных по биомассе зоопланктона, опубликованных в работах М. М. Кожова (1947 и 1954б), относительно невелико. Максимальное количество его было потреблено в 1951 г.— 24 г/м² поверхности озера, минимальное — в 1948 г.— 10,9 г/м².

Как известно, основные представители байкальского зоопланктона — рачки епишура и макрогектопус совершают регулярные суточные вертикальные миграции, в результате которых происходит периодическое перераспределение зоопланктона в толще вод озера. Изменение численности зоопланктона в том или ином слое воды в течение суток, несомненно, оказывает влияние на газовый режим водоема. С этой точки зрения было интересно выяснить какое влияние оказывают на кислородный режим Байкала вертикальные суточные миграции байкальского зоопланктона, и не является ли это влияние настолько значительным, что его следует учитывать при рассмотрении вопроса о кислородном режиме озера.

Изучение влияния суточных вертикальных миграций зоопланктона на кислородный режим водоемов еще только начато. Поэтому в литературе можно встретить самые противоречивые мнения по данному вопросу. Так, В. Г. Богоров (1939 и 1948) считает, что суточные вертикальные миграции *Eurytimora grimmi* в Каспийском море довольно сильно влияют на содержание кислорода и свободной CO_2 в разных слоях воды. М. Е. Виноградов (1952), напротив, убедительно показывает, что дыхание зоопланктона по крайней мере в Дальневосточных морях оказывает лишь незначительное влияние на кислородный режим моря. Что касается пресных озер, то имеющиеся в литературе данные (Винберг, 1937; Скадовский и др., 1938; Щербаков, 1935) указывают на значительное влияние зоопланктона на кислородный режим водоемов, особенно летом при массовом его развитии. Однако вопроса о влиянии суточных вертикальных миграций на газовый режим водоемов авторы этих работ не затрагивают.

Согласно исследованиям А. А. Захваткина (1932) и М. М. Кожова (1947), суточные вертикальные миграции основных представителей байкальского зоопланктона — рачков епишуры и макрогектопуса — могут быть охарактеризованы следующим образом. Рачек епишура в районе пос. Б. Коты весной и летом днем в основной массе держится более или менее рассеянно в слое воды 0—50 м. Ночью, особенно в тихие без-

лунные ночи епишура подтягивается к поверхности, концентрируясь на глубинах 1—5 м.

Макрогектопус летом в дневные часы держится всегда на глубинах свыше 50 м (50—250 м и глубже). В тихие ночи основная масса этих рачков поднимается в слои воды 1—10 м, в бурные ночи они остаются на глубинах свыше 25 м. Миграции макрогектопуса имеют место и зимой, в подледный период. Интересно, что вертикальные миграции совершаются не всей массой рачков одновременно: на глубинах свыше 50 м ночью всегда остается значительное их число, до половины и более от общего количества.

Уже при беглом просмотре цифр последней графы табл. 156 становится совершенно очевидным, что в процессе вертикальных миграций зоопланктон Байкала не может оказывать заметного влияния на изменения в содержании кислорода в отдельных слоях воды. Действительно, если даже допустить (очень грубо), что весь зоопланктон, находящийся в слое воды 0—250 м под 1 м^2 поверхности озера, сосредоточится на ночь в верхнем 5-метровом слое, т. е. в объеме 5 м^3 и будет находиться здесь даже половину суток, то и тогда он сможет поглотить всего от 7,2 мг до 14,5 мг кислорода или в пересчете на 1 м^3 — 1,44—2,90 мг/м^3. В действительности величина эта будет значительно меньше. Численность зоопланктона в 1948 г., для которой рассчитаны величины потребления кислорода, приведенные в табл. 156, нельзя считать максимальной, она бывает иногда значительно больше. Так, по данным М. М. Кожова (1947), в период 1944—1946 гг. численность епишуры в слое 0—250 м под 1 м^2 поверхности озера достигала максимума 26.IX 1944 г. и равнялась 1546 тыс. экз. взрослых и копеподитных рачков и 376 тыс. экз. науплиусов. Указанное количество рачков должно было поглотить в течение суток 538 мг кислорода. Принимая, как и выше, что все рачки на ночь сосредоточаться в слое 0—5 м, они должны снизить содержание кислорода здесь всего на 54 мг/м^3. В действительности эта цифра будет также значительно меньше.

Из приведенных данных можно заключить, что даже в периоды массовых вспышек в развитии зоопланктона последний в процессе суточных вертикальных миграций может снизить содержание кислорода в верхних слоях воды Байкала в течение ночи не более чем на 20—30 мг/м^3 (0,02—0,03 мг/л). В глубинных слоях воды это влияние будет еще меньше.

4. ПОТРЕБЛЕНИЕ КИСЛОРОДА РЫБАМИ БАЙКАЛА

В работе, посвященной кислородному режиму Байкала (Вотинцев и Самарина, 1957), за отсутствием данных по биомассе, нам не удалось количественно охарактеризовать процесс потребления кислорода рыбами, обитающими в Байкале, и пришлось ограничиться лишь грубой оценкой общего поглощения кислорода пелагическими рыбами Байкала, предположив, что они потребляют в течение года половину всего байкальского зоопланктона, и что весь потребленный рыбами планктон расходуется исключительно на окислительные процессы, т. е. прироста веса рыб за счет него не происходит. Понятно, что такой грубый расчет не отражает *реальной роли рыб в кислородном балансе Байкала, давая слишком завышенные величины потребления кислорода рыбами, и может лишь* иллюстрировать малую роль последних в общем балансе кислорода в озере.

В настоящее время в связи с опубликованием новых материалов по промысловым и общим запасам отдельных рыб, обитающих в Байкале, появилась возможность подойти к вычислению общего потребления кислорода последними более реально.

Общие запасы (биомасса) отдельных видов рыб, населяющих Байкал, оценены нами в главе XIV. Что касается сведений о потреблении ими кислорода, то последние, к сожалению, ограничиваются лишь семействами байкальских бычковых (*Cottidae*) и голомянковых (*Comephoridae*), потребление кислорода которыми служило предметом специального изучения (Талиев и Коряков, 1947).

С достаточной точностью можно подсчитать суммарное потребление кислорода общепалеарктическими видами рыб, обитающими в Байкале — сорогой, окунем, щукой, осетром и некоторыми другими, данные по интенсивности обмена которых имеются в литературе (Винберг, 1956а). Что же касается основной промысловой рыбы Байкала — омуля, а также донных байкальских сигов, хариуса и некоторых других видов, то здесь нам пришлось идти по пути аналогий. Интенсивность потребления кислорода байкальским омулем была принята равной средней интенсивности обмена форелей, а интенсивность потребления кислорода донными сигами и другими сиговыми была приравнена условно к интенсивности обмена ладожского сига.

Так как интенсивность потребления кислорода рыбами и другими животными и растениями меняется с изменением температуры среды, то все расчеты были сделаны для среднегодовой температуры воды Байкала, приняв последнюю для слоя 0—250 м равной 4°. Возможно, что принятая нами среднегодовая температура воды указанного слоя несколько завышена — на 0,1—0,2°, что, впрочем, не имеет практического значения.

Таблица 157

Потребление кислорода байкальской ихтиофауной на все озеро (т в год)

Вид	Биомасса, тыс. т.	Потребление кислорода при 4°, мг/г в 1 час	Общее потребление кислорода, т/год	Автор
Омуль	20,0	0,051	8935	К. И. Мишарин, 1949
Голомянка	50,0	0,013	5694	Е. А. Коряков, 1956
Бычек-желтокрылка	3,9	0,044	1503	Д. Н. Талиев, 1955
Донные бычки . . .	2,3	0,025	503	Д. Н. Талиев, 1955
Сиговые	0,6	0,083	436	К. И. Мишарин, 1949
Карповые	6,0	0,060	3153	То же
Прочие (щука, осетр и др.)	0,4	0,030	105	» »
Итого . . .	89,2		20329	

Общее потребление кислорода байкальской ихтиофауной (табл. 157) составляет около 20 тыс. т в год, из которых на долю омуля, голомянок и бычка-желтокрылки, т. е. пелагических рыб Байкала, приходится до 16 тыс. т. или 80%.

Бентоядные рыбы, включая сюда и рыб прибрежносоровой зоны озера, потребляют всего около 4 тыс. т кислорода в год, или 20% от его

общего количества, потребляемого ихтиофауной Байкала. Если отсюда исключить карповых не характерных для районов открытого Байкала, то на долю всех бентоядных рыб, обитающих в самом озере, остается всего 1 тыс. т кислорода в год, т. е. примерно 5%.

Необходимо оговориться, что суммарное потребление кислорода карповыми, очевидно, несколько ниже приводимых величин, так как их биомасса взята нами в размере двухкратного среднегодового улова. В уловы частично включены и некоторые другие водоемы окрестностей Байкала.

Какую же роль в общем кислородном балансе озера играют процессы потребления последнего ихтиофауной?

На первый взгляд общее количество кислорода, потребляемое рыбами Байкала, довольно велико. Однако, если учесть размеры водоема, скажем, площадь его поверхности, то оказывается, что на 1 м² поверхности озера ежегодно за счет дыхания рыб расходуется всего только около 0,6 г кислорода. Величина эта почти в 40 раз меньше того количества кислорода, которое потребляется в течение года под 1 м² поверхности Байкала зоопланктоном.

Таким образом, в общем кислородном балансе Байкала потребление кислорода, обитающими в нем рыбами, играет практически ничтожно малую роль.

5. ПОТРЕБЛЕНИЕ КИСЛОРОДА ДОННЫМИ БЕСПОЗВОНОЧНЫМИ БАЙКАЛА

Потребление кислорода отдельными видами донных беспозвоночных Байкала почти совершенно не изучено. В литературе имеется лишь одна работа, специально посвященная этому вопросу (Базикалова, 1941), касающаяся потребления кислорода байкальскими гаммаридами. К сожалению, автор этой работы не обратил должного внимания на влияние температуры на интенсивность обмена у байкальских амфипод, в связи с чем его данные могут быть использованы лишь с известным приближением (опыты велись примерно при температуре около 18—20°) [1].

Кроме этих опубликованных данных, у нас имеются сведения о потреблении кислорода тремя видами байкальских эндемичных моллюсков, дыхание которых изучалось нами в 1949 г., а также величины потребления кислорода и интенсивность фотосинтеза симбиотической группы байкальской губки. *Lubomirskia baicalensis* и водоросли *Zoochlorella conduthrix* (Бочкарев, Вотинцев, Яснитский, 1950).

Понятно, что провести более или менее точные подсчеты общего потребления кислорода байкальским зообентосом, опираясь на приведенные выше немногочисленные данные, совершенно невозможно, особенно, если учесть, что и сама биомасса зообентоса Байкала до сих пор точно не подсчитана. Поэтому, взяв за основу те данные по биомассе зообентоса, которые приведены выше (см. гл. XIII), нам пришлось ограничиться лишь сугубо приближенным подсчетом потребления кислорода зообентосом Байкала с тем, чтобы все же хотя бы ориентировочно решить вопрос о его роли в общем кислородном балансе озера.

Потребление кислорода байкальскими гаммаридами и моллюсками вычислялось на основании средних величин интенсивности их обмена. Что касается губок, то нам пришлось подсчитать отдельно потребление кислорода *Lubomirskia baicalensis*, в связи с ее симбиозом с *Zoochlorella conduthrix,* и отдельно потребление кислорода всеми прочими

[1] Личное сообщение А. Я. Базикаловой.

видами губок. При этом количество потребляемого кислорода симбиотической группой любомирскии с зоохлореллей выражалось разностью между интенсивностью дыхания и интенсивностью фотосинтеза этого сообщества, равное в пересчете на среднегодовую температуру воды Байкала 0,00163 мг кислорода на 1 г живого веса в час. Биомасса *Lub. baicalensis* была принята равной 150 тыс. т, считая, что ее средняя биомасса на 1 м^2 поверхности дна литорали равна 200 г, и что она занимает примерно около половины всей площади дна литорали. Потребление кислорода прочими видами байкальских губок провизорно приравнено к его потреблению *Lub. baicalensis,* но уже без учета интенсивности фотосинтеза зоохлорелли, что в пересчете на температуру в 4° дает 0,00587 мг кислорода на г живого веса в час. Наконец, интенсивность обмена всех прочих организмов зообентоса условно приравнена к суммарной интенсивности обмена гаммарид и моллюсков. Вероятно, в действительности потребление кислорода этими организмами будет не сильно отличаться от принятой нами величины, так как если, с одной стороны, они и имеют несколько более низкую величину индивидуального основного обмена в связи с менее подвижным образом жизни,

Таблица 158

Потребление кислорода байкальским зообентосом

Вид фауны	Биомасса, т	Потребление кислорода, т/год
Гаммариды	28745	19414
Моллюски	4035	410
Губка-любомирския . .	100000	2140
Прочие губки	50000	2568
Прочие группы фауны	56635	19824
Итого	239415	44386

нежели гаммариды, то, с другой стороны, их биомасса все же значительно выше биомассы гаммарид и моллюсков вместе взятых (табл. 158).

Как показывает табл. 158, общее потребление кислорода организмами зообентоса Байкала составляет около 44,4 тыс. т в год, что в пересчете на 1 м^2 площади поверхности озера дает всего 1,4 г кислорода в год, т. е. в 2,3 раза больше, чем потребляют кислород рыбы.

Таким образом, можно смело утверждать, что и животное население бентоса Байкала в общем кислородном балансе озера играет лишь очень малую роль.

6. РОЛЬ БИОХИМИЧЕСКОГО ПОТРЕБЛЕНИЯ КИСЛОРОДА В ОБЩЕМ КИСЛОРОДНОМ БАЛАНСЕ БАЙКАЛА

Вряд ли будет ошибкой утверждать, что основная масса кислорода расходуется в Байкале на биохимическое окисление автохтонного и аллохтонного органического вещества, а также на дыхание фитопланктона. Подсчитать количество кислорода, расходуемого на эти процессы, казалось бы, возможно, исходя из величин биохимического его потребления водами Байкала за 5 суток ($БПК_5$) [1].

[1] В величины $БПК_5$ частично входит также кислород, расходуемый на дыхание мелких форм зоопланктона (молодь ракообразных, коловратки), попадающих в пробы воды на БПК.

Учитывая, что изменение скорости БПК с изменением температуры подчиняется уравнению Вант-Гоффа, принимая коэффициент Q_{10} равным 2,2 (Скопинцев, 1950), и зная сезонный ход температуры воды в Байкале, мы подсчитали то количество кислорода, которое должно расходоваться в верхней 250-метровой зоне глубин Байкала в течение года на процессы биохимического окисления. Это количество оказалось равным в 1951 г.— 1926 г., в 1952 г.— 2081 г, в 1953 г.— 2919 г на 1 м^2 поверхности озера в год. Легко видеть, что годовые величины БПК всей этой зоны Байкала в 1951—1952 гг. были довольно близки между собой, в то время как в 1953 г. величина БПК оказалась значительно более высокой, что объясняется массовым развитием в этом году диатомеи-мелозиры.

Интересно было сопоставить полученные нами путем расчета по данным $БПК_5$ значения величин биохимического потребления кислорода водами верхней 250-метровой толщи с найденными в озере методом «склянок». Такие расчеты были сделаны для 1948 и 1955 гг. При этом оказалось, что величины $БПК_1$ в слое 0—50 м составляли в течение года в среднем 0,054 мг/л, для слоя 50—100 м — 0,029 мг/л, для слоя 100—250 м — 0,015 мг/л кислорода в сутки. Отсюда, биохимическое потребление кислорода во всей рассматриваемой толще вод в течение года составляет 2170 г на 1 м^2 поверхности озера. Величина эта близка к полученным выше.

Таким образом, годовое биохимическое потребление кислорода только в водах верхней 250-метровой зоны глубин Байкала получается равным в годы с низкой численностью диатомеи-мелозиры в среднем около 2 кг/м^2 поверхности озера, поднимаясь в урожайные по мелозире годы до 3 кг/м^2. Если учесть, что средняя глубина Байкала составляет около 1000 м и что процессы биохимического потребления кислорода, хотя и с меньшей интенсивностью, идут до дна, то величины эти должны быть по меньшей мере удвоены.

Не удивительно поэтому, что уже простое сравнение полученных годовых величин БПК с годовой продукцией кислорода фотосинтеза заставляет отнестись к ним крайне осторожно в связи с резким несоответствием. Действительно, годовая продукция кислорода фотосинтеза байкальского фитопланктона — основного продуцента кислорода в Байкале — составляет всего около 25—30% от тех его количеств, которые ежегодно расходуются на процессы биохимического окисления, только в толще вод верхнего 250-метрового слоя. Недостающие количества кислорода, выражающиеся для этого слоя в 1500—2000 г/м^2 поверхности озера в год, Байкал должен получать исключительно за счет кислорода атмосферы, так как другие его источники практически ничтожны.

Вряд ли, однако, можно допустить наличие в Байкале столь мощного процесса атмосферной реаэрации, так как это совершенно не согласуется с кислородным режимом Байкала, в частности с богатством его вод кислородом даже на максимальных глубинах озера и с высоким содержанием кислорода в зимний подледный период.

Так как у нас нет никаких оснований не доверять данным по продукции кислорода фотосинтеза байкальского фитоплактона, то с особой осторожностью требуется подойти к величинам годового БПК в байкальских водах, учитывая, что последние могут быть искажены влиянием бактериальной флоры, развивающейся на стенках склянок в период экспозиции.

Вычислить истинные величины БПК по разности содержания кислорода в толще вод Байкала (по его падению) за определенные промежутки времени не удалось. В связи с изменением величин содержа-

ния кислорода под воздействием динамических явлений в верхних слоях воды озера и отсутствием правильных сезонных изменений в его содержании на больших глубинах.

Зная же общее количество органического вещества, синтезированного в Байкале в течение года (продукцию фитопланктона и фитобентоса) и количество ежегодно остающегося в озере аллохтонного органического вещества, приносимого с водным стоком в Байкал, и принимая, что все это органическое вещество подвергается в Байкале в течение года полной минерализации, мы подсчитали то количество кислорода, которое требуется на его окисление. Это количество кислорода оказалось равным в обычные годы 600 г/м² поверхности озера, поднимаясь в урожайные по мелозире годы до 680 г/м². Легко видеть, что полученные величины весьма близки к величинам годовой продукции кислорода байкальского фитопланктона.

Из полученных данных нетрудно подсчитать и среднегодовую величину БПК байкальских вод. Величина эта оказывается равной 0,6 мг/л за год, что соответствует 0,0017 мг/л в сутки.

7. ОБЩЕЕ ЗАКЛЮЧЕНИЕ О КИСЛОРОДНОМ БАЛАНСЕ БАЙКАЛА

Кислородный баланс Байкала можно охарактеризовать следующим образом (табл. 159).

Основным источником кислорода, обогащающим воды Байкала, является кислород фотосинтеза фитопланктона. На его долю приходится до 99,5% всего поступающего в воды Байкала кислорода. Роль

Таблица 159

Элементы кислородного баланса Байкала (в г на 1 м² поверхности в год)

Расход		Приход	
Потребители кислорода	Количество	Источники кислорода	Количество
Ихтиофауна	0,6	Фотосинтез донных макрофитов	2,91
Зообентос	0,5		
Зоопланктон	10,9—24,0	Фотосинтез донных микрофитов	0,001
Фитопланктон и бактерии	600,0—680,0	Фотосинтез фитопланктона	530—900

донных макрофитов и, вероятно, микрофитов в общем кислородном балансе Байкала мала, составляя всего около 0,5% от его общего количества.

Главным потребителем кислорода, растворенного в байкальских водах, является фитопланктон и бактериальная флора. На их долю приходится свыше 95% от общей суммы потребляемого в толще вод Байкала кислорода. Дыхание зоопланктона составляет менее 5%, дыхание же зообентоса и ихтиофауны — всего около 0,2% от общего количества потребляемого в водах озера кислорода.

Рассматривая эти данные, легко заметить, одну существенную черту кислородного режима Байкала, а именно: общее количество кислорода, ежегодно расходуемого в толще вод озера практически равно тому его количеству, которое поступает в воды Байкала в процессе фотосинтеза байкальских водорослей.

Это, конечно, не значит, что газообмен с атмосферой имеет в кислородном балансе Байкала подчиненное значение. Напротив, благодаря интенсивному перемешиванию водных масс процессы газообмена с атмосферой протекают в Байкале весьма интенсивно. Это полностью подтверждается богатством вод Байкала кислородом на всех его глубинах, а также близким к равновесному с атмосферой содержанию его в течение всего года в верхних слоях воды озера.

Вероятно, в период массового развития фитопланктона весной и летом значительная доля кислорода фотосинтеза отдается Байкалом в атмосферу. Частично уходит в атмосферу также кислород фотосинтеза донных макрофитов. Несомненно, большие потери кислорода происходят в период летнего прогрева вод озера, когда содержание кислорода в верхних слоях воды падает с 13—14 мг/л (в мае) до 10—9,5 мг/л (в августе).

С другой стороны, в период осеннего охлаждения происходит интенсивное поглощение кислорода верхними слоями воды Байкала из воздуха, в результате чего к моменту замерзания озера содержание его в верхних слоях воды возрастает до 12—14 мг/л.

Глава XVI

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ ГИДРОХИМИЧЕСКИЙ ОБЗОР БАЙКАЛА И НЕКОТОРЫХ КРУПНЫХ ОЗЕР ЗЕМЛИ

После того как Д. Н. Анучин (1918), а за ним и Л. С. Берг (1922) впервые провели сравнение Байкала с крупнейшим африканским оз. Танганьика, в литературе о Байкале стали появляться и другие работы, в которых проводилось сравнение той или иной стороны природы этого водоема, чаще всего его фауны, с другими водоемами Земли. В качестве таких фаунистических аналогов Байкала брались Каспий, озера Иссык-Куль, Телецкое, Охрида, Великие Африканские озера — Виктория, Ньясса, Альберт и некоторые другие (Базикалова, 1935; Верещагин, 1940; Талиев, 1948 и др.). Некоторые из этих водоемов сравнивались с Байкалом в связи с нахождением в них представителей байкальской фауны или ее ближайших родственников, другие — в силу общности их геологического прошлого или некоторых общих черт в формировании фауны (например, в связи с высоким процентом эндемизма, как в случае Великих Африканских озер) и т. д.

Несомненно, большой интерес представляет проведение сравнительного гидрохимического обзора Байкала с некоторыми озерами Земли. Подобное сравнение прежде всего вскроет те главные особенности гидрохимии Байкала, которые отличают этот водоем от прочих и придают ему уникальный характер. Кроме того, сравнение гидрохимического облика Байкала с таковым некоторых других озер проливает новый свет и на проблему так называемой несмешиваемости байкальской фауны.

Как известно, фауна Байкала отличается очень высоким процентом эндемизма. В настоящее время может считаться твердо установленным, что среди животного населения Байкала число эндемичных форм составляет около 70%. За пределами Байкала, исключая рр. Ангару и Енисей, куда проникло значительное число видов байкальских эндемиков, из числа ближайших родственников байкальской фауны известны лишь единицы (Верещагин, 1940; Кожов, 1947). Характерно, что всем им присущ разорванный ареал обитания и что в окружающих Байкал водоемах они не встречаются.

С другой стороны, представители широко распространенной вокруг Байкала общепалеарктической фауны и флоры, населяющей и водоемы, окружающие Байкал, почти не заходят в своем распространении в открытые районы последнего, ограничиваясь, как правило, его закрытыми заливами, губами, сорами и приустьевыми участками рек — притоков Байкала. Только отдельные очень немногочисленные виды

палеарктической, широко распространенной за пределами Байкала фауны и флоры освоили и это озеро.

Таким образом, байкальская эндемичная фауна и флора оказываются ограниченными в своем распространении Байкалом, фауна же и флора общепалеарктическая, напротив, в Байкале отсутствуют.

Г. Ю. Верещагин, обративший вслед за Б. И. Дыбовским внимание на это интереснейшее явление несмешиваемости байкальской и палеарктической, или, как он называл последнюю, «сибирской» фаун (Верещагин, 1927б), пытался объяснить его влиянием тяжелой воды, будто-бы присутствующей в Байкале в повышенных по сравнению с другими озерами количествах.

Гипотеза Г. Ю. Верещагина не нашла в дальнейшем подтверждения и была отвергнута другими исследователями этого озера (Кожов, 1947; Талиев, 1948 и др.). Сама же несмешиваемость байкальской и сибирской фаун объяснялась этими авторами другими причинами, в частности температурой (Кожов, 1947) или температурой в сочетании с особенностями химического состава воды Байкала, особенно богатством его вод кислородом (Леванидова, 1948).

В связи с этим сравнение гидрохимического облика Байкала с таковым других озер Земного шара представляется весьма интересным.

Понятно, что такое сравнение нельзя проводить со всеми более или менее крупными озерами Земли. Такая работа представляет совершенно самостоятельный научный интерес. В настоящей же работе ограничимся лишь немногими объектами для сравнения. Прежде всего такое сравнение проводится с теми крупными озерами, расположенными на территории Восточной Сибири и Северной Монголии, в которых найдены представители байкальской фауны. Сюда относятся оз. Косогол в Монголии и озера верховьев р. Витима в Забайкалье. Далее приводится сравнение химического состава вод Байкала с химизмом вод некоторых других крупных озер, уже служивших ранее объектом сравнительного исследования биологам или географам. И, наконец, Байкал сравнивается с несколькими другими озерами Земного шара, показавшимися нам по тем или иным причинам наиболее интересными и заслуживающими внимания.

Умышленно исключено сравнение Байкала с Каспием и Иссык-Кулем, так как водоемы эти в гидрохимическом отношении совершенно отличны от Байкала в связи с высокой минерализацией их воды.

Необходимо оговориться, что имевшийся в нашем распоряжении опубликованный и рукописный материал по гидрохимии отдельных озер в большинстве своем не мог полностью удовлетворить предъявляемым к нему требованиям, так как страдал неполнотой анализов и часто их малочисленностью. В ряде случаев все сведения по гидрохимии того или иного озера исчерпываются единичными анализами воды, иногда эпизодическими экспедиционными исследованиями. Только для немногих озер, как, например, для Севана и Телецкого озера, имеются данные, характеризующие их круглогодичный гидрохимический режим.

Однако и эти данные не всегда полны и не отражают состава воды озера достаточно подробно. Поэтому гидрохимические очерки отдельных озер несколько отличаются как по своей полноте, так, иногда, и по плану.

Несмотря на указанные недостатки, устранение которых выходит уже за пределы наших возможностей, сравнительный гидрохимический обзор Байкала с другими озерами Земного шара, как нам кажется, отчетливо выявляет основные гидрохимические особенности этого древнего водоема.

1. ОЗЕРО КОСОГОЛ (ХУБСУГУЛ)

Озеро Косогол (Хубсугул), являющееся одним из крупнейших пресных озер Азии, расположено в горах Северо-западной Монголии, южнее горного массива Мунку-Сардык на 50°25′ северной широты и 100°07′ восточной долготы на высоте 1667 м над уровнем мирового океана (Перетолчин, 1902). Длина озера 133,4 км, наибольшая ширина — 39,5 км, глубина — 245 м. Площадь поверхности озера равна 2612 км^2, объем водных масс 317,5 км^3, площадь бассейна — 6165 км^2. В озеро впадает до 40 речек и ручьев, из которых многие функционируют лишь периодически. Вытекает из оз. Косогол в южной его части одна небольшая речка Эг (Эгин-гол), впадающая в р. Селенгу. Таким образом, оз. Косогол имеет гидрографическую связь с Байкалом.

Образование Косогола, видимо, шло аналогично образованию Байкала, судя по тому, что занимаемая им впадина относится к единой системе гигантских впадин, протянувшихся от оз. Косогол на юго-западе до Муйско-Чарской впадины, на северо-востоке (Павловский и Цветков, 1936).

Большой интерес представляет нахождение в оз. Косогол представителей байкальской фауны и флоры. Здесь найдены два вида моллюсков из эндемичных байкальских родов: *Kobeltocochiea michnoe* Ldh. и *Choanomphalus mongolicus* Koz. и диатомовые водоросли *Gomphonema quadripunctatum*, *Melosira scabrosa Amphora mongolica*, обитающие в Байкале (Кожов, 1947; Мейер, 1930).

Температурный режим Косогола, судя по немногим имеющимся данным, весьма суров. Замерзает озеро в конце ноября — начале декабря, вскрывается от льда в конце мая — июне. Летнее прогревание вод озера идет крайне медленно. Максимальная температура воды на поверхности, наблюдаемая в конце июля — августе, не поднимается обычно выше 15°. С глубиной температура воды довольно быстро падает, достигая на глубине 150 м 3,7—3,8°.

Вода Косогола очень чиста и прозрачна. Вдали от берегов, где влияние вод притоков уже не сказывается, по наблюдениям С. П. Перетолчина прозрачность воды озера в июле равнялась 8—11 м. По данным Б. В. Шостаковича, она колеблется от 11 до 25 м.

Химический состав воды озера до последнего времени был совершенно не изучен, и в литературе по этому вопросу никаких сведений опубликовано не было. В августе 1945 г. и феврале 1946 г. по поручению кафедры общей химии Иркутского государственного университета студентом биологического факультета Даши-Доржи Анудариным, изучавшим фауну оз. Косогол, были отобраны пробы воды для химического исследования, которые и были проанализированы в Иркутском университете А. В. Самариной. Материалы этого исследования, к сожалению, до сих пор не опубликованного, любезно предоставлены автором в наше распоряжение (табл. 160).

Как показывают данные анализов, воды оз. Косогол относятся к маломинерализованным гидрокарбонатно-кальциевым водам HCO_3'—$Ca^{··}$—$Na^{·}$ гидрохимической фации. В среднем на долю гидрокарбонатов приходится около 46% экв., кальция — 26,5—34,5% экв., суммы щелочных металлов — 22,9—14,9% экв. Содержание магния, хлоридов и сульфатов составляет лишь незначительную долю в общей минерализации воды озера.

Количество органического вещества в водах оз. Косогол, судя по величинам перманганатной окисляемости воды, невелико и не поднимается выше 2,9 мг/л кислорода.

Таблица 160

Химический состав воды оз. Хубсугул (Косогол) (в мг/л)

Место отбора пробы	Дата	Глубина, м	Температура, °С	HCO_3'	Cl'	SO_4''	$Ca^{\cdot\cdot}$	Окисляемость	Si
Северная часть озера, вблизи устья р. Турта	17.VIII1945г.	5	5,3	165,1	2,9	5,4	41,8	1,32	—
Там же	19. II 1946 г.	0	—	189,5	4,9	6,3	37,8	1,57	1,37
Середина озера, вблизи о-ва Далай-Куйса (1,5 км от берега)	7.VII 1945 г.	30	6,0	174,3	2,9	5,4	41,8	2,67	—
Там же	18.II 1946 г,	0	—	189,5	6,9	4,5	37,8	2,88	2,54
Южная часть озера, вблизи Тойлгото (5 км от берега)	14.VII 1945 г.	20	—	174,3	4,9	5,4	41,8	1,81	—
Там же	17.II 1946 г.	—0	—	220,1	4,9	10,8	37,8	1,89	2,54
Исток р. Эг. (Эгин-Гол)	IX 1945 г.	1	—	152,9	0,9	5,4	39,6	1,65	—
Там же	15. II 1946 г.	0	—	186,5	4,9	6,3	37,4	1,73	1,71

Из биогенных элементов имеются сведения только по содержанию кремния. Количество этого составляющего в водах Косогола не превышает 2,5 мг/л.

В горизонтальном распределении отдельных компонентов в водах озера намечается тенденция к небольшому увеличению их содержания в южной части озера (район озера-залива Тойлгото), проявляющаяся наиболее ясно в зимний период.

Что касается сезонных изменений химического состава воды оз. Косогол, то здесь можно указать на некоторое повышение общей минерализации воды в зимний период. Повышение это происходит главным образом за счет гидрокарбонатов щелочных металлов.

Недостаточная гидрохимическая изученность оз. Коссгол не дает возможности провести подробное сравнение химизма его вод с таковым Байкала. Поэтому приходится ограничиваться только некоторыми отдельными замечаниями по этому важному вопросу.

Исходя из большой общности климатических и отчасти физико-географических условий, в которых находятся оба озера, можно предполагать, что их температурный режим довольно близок один другому. Низкие летние температуры воды оз. Косогол, ограниченность хорошо прогретых слоев воды только вверхней 25-метровой иной зоне и длительность подледного периода подтверждают наш вывод.

По химическому составу своих вод Косогол заметно отличается от Байкала. Общая минерализация его воды, выражаемая суммой основных ионов равняется в среднем летом около 240 мг/л, зимой — 274 мг/л, т. е. превышает минерализацию байкальской воды в 2—3 раза. В отличие от Байкала, воды Косогола содержат значительные количества солей щелочных металлов. По содержанию кремния и органического вещества воды обоих озер, видимо, мало отличаются друг от друга.

2. ОЗЕРО ОРОН

Озеро Орон, изучение которого проводилось летом 1949 г. экспедицией Биолого-географического научно-исследовательского института при Иркутском государственном университете, расположено у подножья Северо-Муйского хребта между 57°03′ и 57°30′ северной широты и 116°34′ и 116°43′ восточной долготы. Длина озера 23,8 км, наибольшая ширина около 4,5 км, максимальная глубина — 184 м (Томилов, 1954).

Бассейн Орона сложен массивными кристаллическими породами (граниты). Площадь его невелика и ограничивается ближайшими окрестностями озера.

В озеро впадают две небольшие речки и несколько мелких ручьев и ключей, образующих нередко красивые водопады. Избыток воды получает сток в р. Витим через протоку, длиной около 1 км и шириной до 600 м. При понижении уровня воды в озере наблюдается подток в него воды из р. Витима.

Цвет воды Орона в июле-августе 1949 г. был голубовато-зеленоватый. Прозрачность ее достигала 7,0—7,5 м.

Укажем, что экспедицией Биолого-географического института в Орон е была обнаружена байкальская полихета (*Manajunkia baicalensis*).

Несмотря на суровые климатические условия, поверхностные воды озера в летний период прогреваются довольно хорошо. В июле-августе температура воды на поверхности озера достигает 15—17°, а в некоторые дни даже 20—21°. Так, например, проведенный 5 августа 1949 г. поперечный разрез через озеро показал, что температура воды на поверхности распределялась следующим образом:

Станция 1 (у берега), 9 час. 40 мин. утра . . . . 17,6°С
» 2 (1,5 км от берега), 11 час. 50 мин . . . 18,05 »
» 3 (3 км от берега), 13 » 30 » . . . . 17,6 »
» 4 (у противоположного берега) 17 час. 50 мин. 20,9 »

Отдельные небольшие мелководные заливы озера прогреваются еще лучше. Так, температура воды Каменной Курьи (общая глубина около 0,6 м) 25 июля 1949 г. в 12 час. 40 мин. дня была на поверхности 22,4°.

В вертикальном направлении наблюдается довольно резкая стратификация температур. Как показывают имеющиеся данные, хорошо прогреваются в летний период лишь самые верхние слои воды озера. В качестве примера приведем вертикальное распределение температуры воды 31 июля и 17 августа 1949 г. (табл. 161).

Таблица 161

Вертикальное распределение температуры воды в оз. Орон (в °С)

31 июля			17 августа		
0 м	50 м	90 м	0 м	100 м	155 м
17,2	5,6	4,2	15,4	6,0	4,2

Химический состав воды Орона изучен далеко недостаточно. Все сведения по этому вопросу ограничиваются материалами, собранными экспедицией Биолого-географическогоо института в летний период 1949 г. Анализы воды выполнялись студенткой Иркутского университета Арбатской. Прежде всего следует указать на чрезвычайно низкую общую минерализацию воды Орона. Сумма ионов не превышает 30—35 мг/л (табл. 162). Преобладающими ионами являются сульфаты, содержание которых достигает 14,9 мг/л, и $Ca^{..}$ — 5,5—7,0 мг/л. Из прочих компонентов следует указать на высокое содержание

Место отбора пробы	Глубина, м	Температура, °С	O_2 мг/л	Насыщение, %	CO_2своб	pH	Са
Против ключа Лесного, 500 м от берега;	0	17,2	10,23	110,7	3,52	6,0	5,6
Общая глубина 97 м (31.VII 1949 г.)	50	5,6	9,83	81,8	5,72	5,9	5,6
Южная часть озера, середина;	90	4,2	8,43	79,6	5,94	4,2	4,2
Общая глубина 161 м (17.VIII 1994 г)	0	15,4	11,43	105,6	1,54	5,6	5,6
	100	6,0	10,18	85,5	5,28	6,9	6,9
	155	4,2	9,92	79,7	6,38	7,0	7,0

Si — 9,3 мг/л в поверхностном слое воды озера и Mn — 0,1 мг/л. Таким образом, поверхностные воды оз. Орон могут быть отнесены к кальций-гидрокарбонатной фации, а глубинные к сульфатно-кальциевой фации.

Низкая общая минерализация воды Орона и одновременное повышенное содержание в ней кремнекислоты обусловлено тем, что формирование вод озера идет в его ближайших окрестностях главным образом за счет стекающих в озеро вод атмосферных осадков, не успевающих даже обогатиться значительными количествами солей при протекании по поверхности суши. Подземное питание озера Орон практически исключено в связи с развитием в его бассейне вечной мерзлоты.

Активная реакция воды Орона постоянно лежит в кислой области. Обычно pH равняется 5,6—6,0, лишь в отдельных пунктах озера поднимаясь до 6,7—7,1. В то же время содержание свободной CO_2 не превышает летом в поверхностных слоях воды озера 3,5 мг/л, содержание же кислорода днем постоянно несколько превышает те его количества, которые определяют нормальное насыщение (10,2—11,2 мг/л, что составляет 102—121% насыщения). Можно было бы предполагать, что кислая реакция воды вызывается большим количеством гуминовых веществ в водах озера. Однако против этого говорят низкие величины окисляемости воды, не превышающие 4,0—5,2 мг/л кислорода. Активная реакция воды Орона обусловлена, по-видимому, низким содержанием в его водах гидрокарбонатов. Последние, как уже указывалось, содержатся в количествах не свыше 5—7 мг/л, считая на HCO_3. В связи с этим даже небольшое количество свободной CO_2 влечет к сдвигу равновесия в кислую область.

Вертикальное распределение кислорода и свободной CO_2 в водах Орона подчиняется общей для всех озер закономерности, а именно: с глубиной наблюдается некоторое падение содержания кислорода и рост содержания свободной CO_2. Необходимо указать, что падение содержания кислорода с глубиной не приводит к резкому дефициту его на больших глубинах озера. Так, например, 17 августа 1949 г. на глубине 155 м содержание кислорода равнялось 9,92 мг/л или 79,7% насыщения, тогда как на поверхности было 10,43 мг/л или 105,6% насыщения. Содержание свободной CO_2 не поднимается на больших глубинах озера выше 6,0 мг/л.

В связи с ростом содержания свободной CO_2 наблюдается подкисление воды с глубиной; pH воды на глубинах 50—100 м падает уже до 5,9—6,0.

Таблица 162

оз. Орон (в мг/л)

Mg	$Na^{\cdot}+K^{\cdot}$	$HCO_3^{\prime}$	$SO_4^{\prime\prime}$	$Cl^{\prime}$	P (фосфатный)	$Fe_{общ}$	Mn	Si	Окисляемость
0,9	—	4,88	—	1,5	Следы	0,25	0,09	9,34	3,7
0,9	—	4,88	—	1,5	»	0,3	0,09	9,34	4,1
1,8	—	4,88	—	1,5	»	0,3	0,09	9,34	4,4
0,9	—	4,88	—	5,0	Следы	0,18	0,09	9,34	5,30
1,8	0,9	4,88	14,9	5,0	»	0,21	0,10	12,61	5,16
1,8	0,9	4,88	14,8	5,0	»	0,27	0,10	14,01	4,72

Суточные изменения содержания газовых компонентов летом по крайней мере в поверхностных слоях воды озера выражены довольно резко. Так, 16—17 августа 1949 г. амплитуда суточных колебаний растворенного кислорода в поверхностном слое воды озера была равна 0,89 мг/л или 8,53% насыщения, а амплитуда колебаний свободной CO_2—1,40 мг/л (табл. 163).

Таблица 163

Суточные изменения содержания кислорода, свободной CO_2, величин pH и температуры воды оз. Орон 16—17 августа 1949 г.

Время	Температура воды, °С	O_2 мг/л	Насыщение, %	$CO_{2своб}$, мг/л	pH
21 час. 00 мин.	15,9	9,83	100,23	1,32	6,75
4 » 00 »	15,8	9,54	99,15	2,28	6,55
6 » 30 »	15,8	9,59	99,67	1,64	6,70
12 » 00 »	15,8	9,82	102,06	1,32	6,75
16 » 00 »	15,7	10,43	108,20	0,88	6,83
18 » 00 »	15,7	9,95	103,21	1,20	6,80

Вертикальное распределение основных ионов довольно гомогенно. Напротив, содержание кремния с глубиной резко возрастает, достигая на глубине 150 м — 14,0 мг/л. Некоторый рост отмечается и в содержании железа.

Приведенные выше материалы показывают, что оз. Орон заметно отличается от Байкала прежде всего значительно меньшей общей минерализацией воды, очень высоким содержанием кремния и железа и кислой активной реакцией. Некоторые различия имеются и в соотношениях отдельных ионов. Так, например, отношение иона магния к иону кальция в водах оз. Орон заметно ниже, чем в водах Байкала, и лежит в пределах 0,16—0,26. Совершенно иные величины имеет и отношение суммы кальция и магния к гидрокарбонатам. Если в водах Байкала это отношение в среднем равно 0,275, то в водах Орона оно достигает 1,33. Это и понятно, если учесть, что по содержанию гидрокарбонатов воды оз. Орон не отличаются от вод атмосферных осадков, выпадающих на территории Прибайкалья и, очевидно, в районе верховьев р. Витима.

По своему газовому режиму оз. Орон, вероятно, близко подходит к Байкалу, как о том можно судить по летнему режиму. Достаточно высокий процент насыщения воды кислородом в оз. Орон и относительно низкое содержание свободной CO_2 летом даже на больших глубинах, а также небольшое содержание органического вещества позволяют утверждать, что и в зимний период подо льдом газовый режим оз. Орон будет достаточно устойчив.

3. ОЗЕРО ТЕЛЕЦКОЕ

Озеро Телецкое расположено в области горного Алтая между 51°20′ и 51°48′ северной широты и 87°14′ и 87°50′ восточной долготы на высоте 450 м над уровнем моря в узкой горной долине. Длина озера равна 77,7 км, наибольшая ширина — около 5 км, максимальная глубина 325 м, объем водных масс 39,78 км³.

В геологическом строении района Телецкого озера основную роль играют коренные породы древнепалеозойской свиты. Лишь местами в строении береговой полосы озера участвуют древнеледниковые отложения, да продукты выноса притоков озера (Бубличенко, 1939).

По вопросу о происхождении озера существуют две точки зрения. В. А. Обручев (1915, 1916), а вслед за ним С. А. Яковлев (1916), А. М. Кузьмин (1936) и другие ученые высказывают мнение о тектоническом (типа грабена) происхождении Телецкого озера. Однако еще в 1914 г. И. Г. Гранэ (Granö, 1917) указывал на его ледниковое происхождение. Мнение И. Г. Гранэ было в дальнейшем развито и достаточно убедительно подтверждено Н. Л. Бубличенко (1939). Последний вскрыл ошибочность некоторых представлений сторонников тектонического происхождения Телецкого озера и показал, что молодость последнего обусловлена вовсе не недавними движениями земной коры, а недавним исчезновением в районе озера ледника. По мнению этого автора, о ледниковом происхождении оз. Телецкого говорит и характер фауны последнего, которая, по исследованиям С. Г. Лепневой, является типичной для альпийских ледниковых озер.

В Телецкое озеро впадает значительное число притоков. В большинстве своем это небольшие горные речки и ручьи. Самым крупным притоком Телецкого озера является р. Чулышман, впадающая в юго-западный угол озера. Вытекает из Телецкого озера одна река — Бия в его северо-западной оконечности. Таким образом, озеро это является проточным.

Горный характер озера, его большие глубины в сочетании с суровыми климатическими условиями оказывают огромное влияние на температурный режим Телецкого озера. Оно холодноводно. В течение 7 месяцев в году вся толща его вод имеет температуру ниже 4°. Наиболее значительные сезонные колебания температуры воды прослеживаются в Телецком озере до глубины около 50 м. Глубже амплитуда сезонных колебаний температуры воды уменьшается. Так, по данным С. Г. Лепневой (Лепнева, 1932), в 1931—1935 гг. сезонная амплитуда колебаний температуры воды Телецкого озера достигала на поверхности 17,14°, на глубине 50 м — 5,96°, на глубине 100 м — 4,33°, на глубине 200 м — 3,01° и на глубине 260 м — 2,83°. Максимальные температуры воды оз. Телецкого достигают 17,5°. Однако столь высокие температуры воды наблюдаются не ежегодно и бывают очень кратковременны — 10—20 дней в году. К тому же хорошо прогреваются только самые верхние слои воды — до глубины не свыше 5 м. На глубинах 20—50 м температура воды даже в период максимального прогрева не поднимается выше 5—8°, а большую часть года лежит в пределах 3,5—4,5°.

Сезонный ход температуры воды в Телецком озере довольно постоянен, исключая режим мелководной северо-западной части озера и залива Камги, который подвержен наибольшим изменениям.

Несмотря на суровость термического режима, Телецкое озеро покрывается льдом не ежегодно. Очень частые и сильные ветры зимой обычно препятствуют замерзанию озера. Только в случае установления зимой на 1—2 суток штилевой погоды, что бывает далеко не каждый год, озеро покрывается льдом, который и сохраняется до начала апреля.

Преобладание массивных кристаллических пород в бассейне Телецкого озера, а также проточность самого озера обусловливает низкую общую минерализацию его воды (табл. 164). Сумма ионов не превы-

Таблица 164

Химический состав воды оз. Телецкого (в мг/л)

Место отбора пробы	Ca	Mg	Na+K	HCO'_3	SO''_4	Cl′	Si	Fe_2O_3 + Al_2O_3	N (аммиачный)	N (нитратный	N (нитритный)
Против с. Артыбаш (19.VII 1928 г.)	11,86	2,22	4,05	51,8	3,28	0,83	2,15	0,74	Нет	0,15	Нет
Против с. Кокаихи (7.IX 1929 г.)	12,85	2,29	25,3	5,18	2,80	0,77	2,1	—	—	0,14	»
В проливе Ажи (4.IX 1929 г.)	—	2,00	3,39	—	3,08	—	2,05	—	—	—	—
В створе Корбу-Чодор (13.VII 1928 г.)	12,00	2,14	2,78	4,88	3,29	0,58	2,05	0,80	—	0,15	Нет
Там же (25.VIII 1930 г.)	12,4	2,1	1,73	4,86	2,8	0,76	2,24	1,0	сл.	0,13	»
Близ устья р. Чулышман 13.VIII 1930 г.)	11,8	2,3	3,92	5,16	3,1	0,97	2,15	0,8	сл.	0,16	»

шает здесь 75 мг/л; из них основную долю составляют гидрокарбонаты и кальций, следовательно воды Телецкого озера можно отнести к $HCO_3' — Ca'' — SO_4''$ гидрохимической фации. К сожалению, число химических анализов воды Телецкого озера весьма ограничено, что не позволяет говорить ни о горизонтальном распределении по акватории озера, ни о сезонных изменениях большинства компонентов ионного состава его вод. Исключение составляют гидрокарбонаты, определения которых в водах озера достаточно многочисленны. Рассматривая данные по гидрокарбонатам, С. Г. Лепнева (1932) приходит к выводу, что содержание последних подвержено сезонным изменениям, а именно: зимой в связи с преобладанием грунтового питания притоков озера оно возрастает, летом же уменьшается. В горизонтальном направлении, как говорит С. Г. Лепнева, наблюдается небольшое увеличение содержания гидрокарбонатов в северо-западной части озера, что автор объясняет выходами здесь известковых пород.

Содержание кремния в водах Телецкого озера относительно невелико. Обычно оно лежит в пределах 1,7—2,2 мг/л, считая на элементарный кремний, и лишь в редких случаях поднимается до 2,5—3,0 мг/л.

По мнению С. Г. Лепневой, каких-либо различий в вертикальном и горизонтальном распределении кремния заметить не удается. Не наблюдается и сезонных изменений в его содержании. Лишь в некоторых случаях было замечено возрастание содержания кремния с глубиной

в середине лета в средней части озера вдали от берегов. Отмечается также падение содержания этого компонента у берегов в момент максимального развития донных диатомовых в июле, а также в южной части озера к концу лета.

Отсутствие сезонных изменений в содержании кремния в водах Телецкого озера может быть объяснено только количественной бедностью фитопланктона. Что же касается гомогенности вертикального и, видимо, горизонтального распределения этого компонента, то последняя вероятнее всего объясняется постоянным интенсивным ветровым перемешиванием водных масс озера, захватывающим часто все слои воды до дна. В пользу этого вывода говорит также отсутствие правильной вертикальной стратификации величин окисляемости воды Телецкого озера.

Кислородный режим озера Телецкого тесно связан с термикой водоема, в результате чего его годовой ход в основных своих чертах обратен сезонным изменениям температуры воды в озере. Максимальное содержание кислорода в поверхностных слоях воды озера — около 13 мг/л — наблюдается зимой, минимум — около 8 мг/л — летом, в момент максимального прогрева поверхностных вод (июль-август). На протяжении всего года на всех глубинах содержание кислорода в водах Телецкого озера близко к нормальному насыщению. Лишь летом в придонных слоях воды на больших глубинах наблюдается некоторый дефицит кислорода — его содержание падает до 80% насыщения при абсолютных величинах около 10 мг/л.

В вертикальном направлении в абсолютных величинах содержание кислорода в летний период возрастает с глубиной от 8—9 мг/л на поверхности до 11 мг/л на глубине 300 м; зимой наблюдается некоторое его падение — от 13 мг/л на поверхности, до 11 мг/л на глубине 300 м. В периоды весенней и осенней гомотермии кислород распределен в водах озера по вертикали почти равномерно.

В горизонтальном направлении отмечается некоторое пересыщение кислородом вод мелководий в связи с пышным развитием здесь донной растительности.

Содержание свободной CO_2 в водах Телецкого озера обычно лежит в пределах 2—2,5 мг/л. Сезонные изменения его содержания выражены слабо. В вертикальном направлении наблюдается небольшой рост содержания свободной CO_2 с глубиной в летний период. В периоды гомотермии она распределена по вертикали более или менее равномерно.

Активная реакция воды Телецкого озера лежит в нейтрально-щелочной области pH=7,3—7,6. Сколько-нибудь заметных закономерных изменений величин pH в вертикальном и горизонтальном направлении, а также в отдельные сезоны года в водах Телецкого озера не наблюдается.

Количество органического вещества в водах оз. Телецкого, как о том можно судить по величинам окисляемости воды, невелико. Минимальные величины окисляемости воды оз. Телецкого наблюдаются зимой — 2—3 мг/л кислорода. Летом окисляемость несколько повышается, но остается все же небольшой 3—4 мг/л кислорода. По вертикали максимальные величины окисляемости воды обычно приурочены к поверхностным слоям. Однако закономерного снижения величин окисляемости с глубиной обычно не наблюдается. Чаще приходится констатировать довольно пеструю картину ее вертикального распределения (табл. 165).

Переходя к сравнительной характеристике гидрохимического облика озер Байкала и Телецкого, необходимо отметить, что близость физико-географических и климатических условий местоположения обоих водоемов обусловили прежде всего сходство их температурного режима. Оба

Таблица 165

Вертикальное распределение некоторых компонентов в водах оз. Телецкого (в мг/л)

Место отбора пробы	Глубина, м	Температура воды, °С	pH	O_2	CO_2 своб	HCO_3'	Si	Окисляемость
Середина озера, в створе Корбу-Чодор (31.VII 1930 г.)	0,5	12,72	7,6	11,16	1,71	49,9	1,91	3,1
	2,5	9,51	—	—	—	—	—	—
	5	4,48	7,6	11,85	2,25	48,5	1,82	—
	10	3,88	7,5	12,15	2,36	47,1	1,96	2,7
	20	3,81	7,5	11,92	2,15	44,3	2,24	3,0
	50	3,74	7,6	12,08	2,38	48,5	2,19	2,9
	100	3,77	7,6	11,82	2,58	48,5	2,05	2,5
	200	3,64	7,6	11,83	2,47	48,5	2,01	3,2
	300	3,55	7,6	12,08	3,22	47,1	2,38	2,5
Середина озера, в створе Корбу-Чодор (16.VIII 1929 г.)	0,5	13,66	7,5	10,00	1,22	41,5	1,31	2,6
	5	13,29	—	—	—	—	—	—
	7	12,24	—	—	—	—	—	—
	10	8,98	7,5	10,84	1,57	44,3	1,68	2,6
	20	6,29	7,5	11,37	1,74	44,3	1,87	2,2
	30	4,40	—	—	—	—	—	—
	50	3,89	7,5	12,00	1,90	44,3	2,05	2,3
	100	3,78	7,4	11,74	2,09	45,7	2,24	2,3
	200	3,59	7,4	12,18	2,09	—	—	—
	300	3,48	7,4	11,79	2,42	—	—	—

озера являются холодноводными, с очень кратковременным периодом относительно высоких летних температур воды даже на поверхности. Для обоих озер характерны постоянные низкие температуры глубинных слоев воды с очень небольшой амплитудой сезонных колебаний. Весеннее нагревание вод обоих озер начинается в марте. Однако период весенней гомотермии в Телецком озере наступает значительно раньше, нежели в Байкале, а именно — в мае, и при значительно более низкой температуре воды — в 2,2—2,3°. В летний период в оз. Телецком устанавливается отчетливая вертикальная стратификация температур с ясно выраженным слоем термоклина на глубинах 30—50 м. Осенняя гомотермия в Телецком озере, как и в Байкале, приходится на вторую половину ноября — начало декабря. Дальнейший процесс охлаждения водных масс Телецкого озера, благодаря отсутствию ледяного покрова зимой, а также интенсивному ветровому перемешиванию захватывает все слои воды до дна в отличие от Байкала, где он ограничивается верхней 200-метровой зоной глубин.

Общая минерализация воды Телецкого озера ниже, чем воды Байкала: сумма ионов здесь равняется всего 75 мг/л, т. е. только около $^3/_4$ минерализации байкальской воды. Несколько ниже в водах Телецкого озера и содержание кремния. По содержанию органического вещества воды обоих озер очень близки между собой.

Значительные различия имеются в содержании нитратного азота и особенно солей железа и алюминия. Содержание нитратного азота в водах Телецкого озера, судя по немногим данным, летом в период наибольшего развития водной растительности, остается очень высоким, в 4—5 раз превышая содержание этого компонента в водах Байкала в тот же период и в 2 раза превышая максимальное содержание нитратов, наблюдаемое в Байкале вообще. Столь высокое летнее содержание

нитратов в водах Телецкого озера совершенно очевидно указывает на бедность растительной жизнью по сравнению даже с таким ультраолиготрофным водоемом, каким является Байкал.

Содержание солей железа и алюминия в водах Телецкого озера несоизмеримо выше, чем в водах Байкала. В отличие от Байкала в Телецком озере наблюдаются правильные сезонные изменения содержания гидрокарбонатов обусловленные, с одной стороны, значительной проточностью озера, с другой — сезонными изменениями характера водного питания его многочисленных притоков. Относительно меньшие по сравнению с Байкалом размеры и глубины Телецкого озера уменьшают, как видно, регулирующее воздействие водных масс последнего на сезонные изменения химизма поступающих в озеро вод.

Газовый режим обоих озер довольно сходен. Воды их на всех глубинах достаточно насыщены кислородом и содержат лишь небольшие количества свободной углекислоты. Можно лишь указать, что в соответствии с большим количественным развитием фитопланктона в Байкале весной и летом поверхностные слои воды его открытых районов в эти периоды года часто бывают немного пересыщены кислородом, чего в открытых районах Телецкого озера в связи с относительной бедностью растительной жизни, видимо, не наблюдается. По этой же причине содержание свободной CO_2 в водах Телецкого озера никогда не падает до нуля, и в воде его не появляются монокарбонаты, что наблюдается в Байкале летом в период расцвета летних форм фитопланктона.

Наконец, следует указать, что благодаря интенсивному ветровому перемешиванию вод Телецкого озера в нем, в отличие от Байкала, в пределах глубин 200—300 м почти никогда не наблюдается хорошо выраженной вертикальной стратификации соединений кремния и органических веществ, а в периоды гомотермии полностью исчезает и стратификация компонентов газов.

4. ОЗЕРО ТАНГАНЬИКА

Одно из величайших пресных озер земного шара — оз. Танганьика — уже давно привлекало к себе внимание исследователей-байкаловедов как возможный аналог Байкала (Анучин, 1918; Берг, 1922 и др.).

Озеро Танганьика расположено в районе восточного африканского рифта между 3 и 9° южной широты на абсолютной высоте 770 м в узкой котловине, окруженной высокими горами. Длина озера 645 км, наибольшая ширина 80 км, средняя ширина 50—65 км, максимальная глубина 1435 м, площадь поверхности 32 000 км^2. В оз. Танганьику впадает свыше сотни притоков, из которых, правда, большая часть пересыхает в сухой период года. Вытекает из него одна р. Лукуга, впадающая в систему р. Конго.

История образования стока из оз. Танганьика заслуживает внимания. Образовавшись в районе восточного африканского рифта, оз. Танганьика долгое время (миллионы лет) было бессточным. В конце плиоцена в результате мощных вулканических процессов один из крупных притоков р. Нила изменил направление своего течения и стал наполнять кратер вулкана Киву, в результате чего в кратере этом образовалось озеро. Избыток воды из оз. Киву нашел выход в оз. Танганьику, образовав довольно мощную р. Рузизи. Воды этой реки подняли уровень оз. Танганьики и послужили причиной образования стока из этого озера в форме р. Лукуги (Beanchamp, 1939).

---

[1] Согласно последним данным Сеймунса (Seymoens, 1956) глубина Танганьики достигает 1470 м.

Тропическое положение Танганьики определяет прежде всего его термический режим. Температура воды в Танганьике чрезвычайно стабильна. В поверхностных слоях воды она колеблется в течение года в пределах 23,7—28,0° (Gunnengton, 1929; Stappers, 1914; Beanchamp, 1939). С глубиной наблюдается лишь небольшое падение температуры воды. Это падение прослеживается до глубины около 400 м. Глубже воды Танганьики имеют постоянную в течение всего года температуру — 23,1° (Marquardsen, 1916). Несмотря на небольшое падение температуры воды с глубиной на оз. Танганьике ясно проявляется слой температурного скачка, хорошо заметный в течение большей части года. Только в сентябре под влиянием дующих в этот период ветров южного направления термоклин на короткое время нарушается. Обычно температурный скачок в Танганьике наблюдается на глубинах 60—85—130 м. Весьма интересно, что глубинные воды Танганьики п о с т о я н н о имеют более низкую температуру, нежели поверхностные слои воды озера. Р. Бошан (Beanchamp, 1939) объясняет это более низкой температурой вод притоков Танганьики. Попадая в озеро, воды притоков двигаются по дну последнего, снижая температуру глубинных слоев воды.

Гидрохимия оз. Танганьики изучена еще очень слабо. Нам не известны опубликованные работы, освещающие гидрохимический режим этого озера. Поэтому приходится базироваться главным образом на данных единичных химических анализов воды Танганьики.

Общая минерализация воды оз. Танганьики достигает до 380 мг/л (Beanchamp, 1939). При этом наблюдается хотя и слабый, но вполне отчетливый рост минерализации воды с глубиной, ясно проявляющийся, в частности, в изменении величин электропроводности воды, а по данным Куферата (Kufferath, 1952) также кальция. Для характеристики химического состава воды из. Танганьики приводим некоторые данные в табл. 166.

Как видно из таблицы, воды оз. Танганьики относятся к $HCO_3' — Na^{\cdot} — Mg^{\cdot\cdot}$ гидрохимической фации и по своему химическому составу довольно своеобразны. Прежде всего обращает на себя внимание большое содержание калия, достигающее до 33 мг/л. Характерно заметно повышенное содержание магния по сравнению с содержанием кальция, а также высокое содержание натрия.

Газовый режим Танганьики весьма характерен. Растворенный кислород содержится в достаточных количествах только в верхних слоях воды. С глубиной содержание кислорода резко падает. Ниже слоя термоклина (60—130 м) кислород полностью отсутствует, а с глубины около 200—300 м появляется сероводород.

Активная реакция воды Танганьики в соответствии с высоким содержанием карбонатов сдвинута в щелочную область. Обычно поверхностный слой воды Танганьики имеет pH около 9,0—9,2. В слое термоклина pH резко падает до 8,6 и далее с увеличением глубины уже не меняется.

Динамика соединений биогенных элементов в Танганьике мало изучена. Кремний содержится в поверхностных слоях воды лишь в очень небольших количествах, обычно менее 0,25 мг/л. С глубиной содержание кремния очень быстро возрастает, достигая на глубинах 1100 м до 10 мг/л. Столь значительный рост содержания кремния с глубиной объясняется, по нашему мнению, лучшей выщелачиваемостью соединений этого элемента из панцирей планктонных диатомей в оз. Танганьике, чему во многом способствует высокая температура и щелочная реакция его воды. Отсутствие же перемешивания глубинных слоев воды в Танганьике с поверхностными слоями создает благоприятные условия для накопления кремния на больших глубинах.

	Плотность воды	$Na^{\cdot}$	$K^{\cdot}$	$\cdot$	$Ca^{\cdot\cdot}$	$Mg^{\cdot\cdot}$	$Fe^{\cdot\cdot}$	$Al^{\cdot\cdot}$	Cl'	SO_4''
Л. Стапперс, 1913 г.	—	26,0	18,0	—	17,6	39,2	—	—	36,5	31,4
Аналитическое управление, 1937 г.	—	—	—	—	14,0	41,0	—	—	31,0	7,0
Химическое управление Лондона 1937 г.	1,00044	59,9	33,1	0,4	11,9	41,6	0,1	0,2	28,3	4,3
Р. Бошан, 1939 г.	—	—	—	—	—	—	Нет	—	—	—

Из немногочисленных данных по содержанию соединений азота и фосфора в водах Танганьики можно заключить, что нитратный азот присутствует, видимо, только в поверхностных слоях воды, да и то в очень

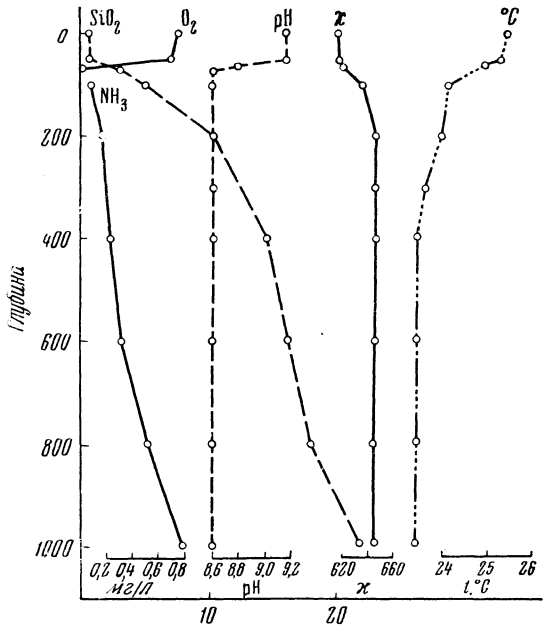


Рис. 28. Вертикальное распределение аммиачного азота, кремнекислоты (в мг/л), кислорода (в мг/л), pH, температуры и электропроводности ($\varkappa$) воды в оз. Танганьика (по Бошану, 1939).

небольших количествах, нитритный азот найден лишь в слое термоклина, что же касается аммонийного азота, то последний в виде следов обнаруживается уже в поверхностных слоях воды, а на глубинах 1000 м его содержание достигает 0,8 мг/л. Наконец, содержание фосфатного

Таблица 166

оз. Танганьики (в мг/л)

N (нитратный)	N (нитритный)	NH_3 своб.	NH_3 (альбуминоидный)	P (фосфатный)	Si	CO_3''	Сумма солей	Сухой остаток при 180°	Электропроводность, $ом^{-1}$	O_2	CO_2 своб.
—	—	—	—	—	1,49	141,0	312,9	—	—	—	—
Следы	Следы	0,04	0,05	—	3,74	200,0	—	386,0	—	—	—
0,1	0,001	—	—	0,03	3,08	190,9	377,0	—	—	—	—
0,07	—	—	—	0,30—0,10	0,25	—	—	—	$(6,2—6,4)\cdot10^{-4}$	7,5—9,0	—

фосфора в водах Танганьики лежит в пределах 0,10—0,30 мг/л, причем наблюдается значительный рост его содержания с глубиной (рис. 28).

Приведенные выше краткие сведения по гидрохимии оз. Танганьика показывают, что последнее резко отличается от Байкала. Действительно, уже различия в местоположении обоих озер определяют различия в их температурном режиме, выражающиеся в стабильности температуры воды оз. Танганьики по сравнению с Байкалом, в отсутствии периода обратной термической стратификации, отсутствии периода гомотермии и наличия постоянного слоя термоклина.

По степени минерализации воды Байкала и Танганьики также отличаются. Общая минерализация воды Танганьики примерно в 4 раза превосходит таковую Байкала. К тому же в отличие от Байкала, где содержание основных ионов не меняется с глубиной, в Танганьике наблюдается рост минерализации воды с глубиной.

Еще более резко отличаются воды Байкала от вод Танганьики по отношениям отдельных ионов между собой. Так, отношение иона хлора к сульфатному иону в водах Байкала равно в среднем 0,36; в водах Танганьики оно поднимается до 9,87. Отношение иона магния к иону кальция в водах обоих озер также различно: в Байкале оно равно 0,32, в Танганьике — 4,77. Только отношение иона калия к иону натрия в водах обоих озер оказывается одинаковым и равно 0,31. Однако такое совпадение является, видимо, случайным, так как абсолютные содержания этих компонентов в Байкале и Танганьике резко разнятся.

При сравнении величин отношений хлор-иона к сульфат-иону в водах Байкала и Танганьики с таковым в других крупных озерах (табл. 167) легко видно, что воды Байкала не представляют в этом отношении какого-то исключения среди пресных озер Земли. Близкие к байкальским отношения ионов хлора к сульфатам и ионов магния к кальцию находим также в водах озер Телецкого, Мичиган, Гурон, Эри. Только воды Ладожского озера, имея близкие к Байкалу величины отношения ионов магния к кальцию, отличаются повышенной величиной отношения ионов хлора к сульфатам. Напротив, в оз. Танганьике указанные отношения резко отличны от таковых большинства других пресных озер и приближаются к отношениям этих ингредиентов в океанической воде.

Столь резкие различия в отношениях указанных пар ионов в водах оз. Танганьики по сравнению с другими озерами и близость этих отно-

Таблица 167

Величины отношений хлор-иона к сульфат-иону и ионов магния к кальцию в водах озер Земли и Мирового океана

Водоем	$Cl' : SO_4''$	$Mg^{\cdot\cdot} : Ca^{\cdot\cdot}$	Водоем	$Cl' : SO_4''$	$Mg^{\cdot\cdot} : Ca^{\cdot\cdot}$
оз. Байкал . .	0,36	0,32	оз. Ладожское	4,40	0,46
оз. Телецкое .	0,33	0,27	оз. Танганьика	9,87	4,77
оз. Мичиган .	0,53	0,48	Мировой океан	9,75	5,10
оз. Гурон . . .	0,54	0,44			

шений к их величинам в океанической воде можно было бы проще всего объяснить морским происхождением водных масс Танганьики. Однако это не так. Озеро Танганьика, как известно, никогда не было связано с морем. Высокое отношение ионов магния к кальцию Р. Бошан объясняет усиленным потреблением кальция моллюсками с последующим увлечением его в донные отложения в форме раковин этих животных. Подтверждение своему предположению он видит в огромном количестве раковин моллюсков в сублиторали и на берегах озера. Преобладание хлора над сульфатами цитируемый автор объясняет восстановлением последних до сероводорода с последующим образованием сульфидов и их осаждением на дно озера. Не отрицая возможной справедливости мнения Р. Бошана, мы считаем, что огромное влияние на формирование состава вод оз. Танганьики, несомненно, оказывают также воды его притоков, в частности воды рр. Рузизи и Малагорази. Отношение ионов магния к кальцию в воде р. Рузизи равно 8,0, хлора к сульфату — 1,3 (содержание указанных компонентов в водах р. Рузизи равно: $Mg^{\cdot\cdot}$ — 67,0; $Ca^{\cdot\cdot}$ — 8,4; Cl' — 23,8; SO_4'' — 17,8 мг/л). К этому следует добавить, что содержание $K^{\cdot}$ в водах р. Рузизи равно 63,0 мг/л, $Na^{\cdot}$ — 94,8 мг/л. Если учесть, что р. Рузизи является одним из главных притоков оз. Танганьики, то станет ясным и значение ее в формировании химического состава воды озера. Кратковременность существования р. Рузизи — около 15 тыс. лет — не может выдвигаться в качестве возражения против значительного влияния ее вод на формирование химизма вод Танганьики. Достаточно вспомнить, что р. Рузизи резко подняла уровень воды в озере, переполнила его котловину и послужила причиной образования постоянного стока из озера в форме р. Лукуги.

Значительное влияние на хлорид-сульфатное равновесие в водах оз. Танганьика могут оказывать также воды р. Малагорази — крупнейшего притока этого озера, где отношение ионов хлора к сульфату оказывается равным 7,4 (содержание Cl' — 15,5 мг/л, сульфатов — 2,1 мг/л). Воды остальных притоков, судя по имеющимся данным, имеют обычный для пресных вод состав. Некоторое засоление отмечается лишь для вод р. Кафуния. Однако дебет этой речки слишком мал и существенного влияния на химизм воды озера она оказывать не может.

Не исключена возможность влияния на химизм вод Танганьики засоленных, богатых хлоридом натрия подземных вод. Это тем более вероятно, что в бассейне р. Малагорази в колодцах Увинца найдены залежи поваренной соли.

Газовый режим Байкала и Танганьики также совершенно различен. Если в Байкале все слои воды до дна богаты кислородом, то в Танганьике кислород содержится лишь в верхних слоях воды, а под слоем термоклина воды этого озера оказываются лишенными кислорода и содержат сероводород. Таким образом, в отличие от Байкала, где жизнь

бьет ключом даже на максимальных глубинах, в Танганьике жизнь ограничена верхней приблизительно 100-метровой зоной глубин. Так как прибрежная платформа в Танганьике развита очень слабо, а местами вовсе отсутствует, то практически донная фауна и флора ютится здесь в приустьевых участках впадающих в озеро рек, а также в районах мелководий — на северной и южной оконечностях озера и в заливе Буртон. Вся остальная котловина озера, за исключением верхнего 100-метрового слоя воды, населенного планктоном, безжизненна.

Что касается соединений биогенных элементов, то очевидно, что поверхностные слои воды Танганьики несколько беднее последними, чем воды Байкала. Поэтому развитие фитопланктона, а за ним и зоопланктона, начинается в Танганьике с районов мелководий, где содержание соединений биогенных элементов оказывается несколько повышенным в связи с поступлением их из донных отложений озера под воздействием перемешивания водных масс. Обычно развитие планктона в Танганьике начинается в июне-июле с южной оконечности озера и затем уже распространяется постепенно на север. В Байкале развитие фитопланктона вовсе не приурочено к районам мелководий. Весенний фитопланктон в массовых количествах развивается по всему озеру почти одновременно.

Заканчивая описание гидрохимического облика оз. Танганьики и его сравнение с таковым Байкала, мы хотели бы отметить, что наблюдаемый ныне облик оз. Танганьики сложился, очевидно, сравнительно недавно, а возможно находится еще в становлении и в настоящее время. Подтверждением этой гипотезы служат те недавние изменения, которые произошли в оз. Танганьике в связи с вторжением в него р. Рузизи. Воды этой реки, значительно отличающиеся по своему химическому составу от вод озера, несомненно, нарушили древний режим оз. Танганьики. Учитывая, что р. Рузизи образовалась примерно около 15 тыс. лет назад и что для заполнения котловины озера водами притоков и атмосферных осадков, имея в виду и испарение с поверхности последнего, требуется также около 15—16 тыс. лет, можно с достаточным основанием считать, что в настоящее время действительно либо только что закончился, либо еще завершается процесс становления нового гидрохимического облика оз. Танганьики.

5. ОЗЕРО СЕВАН

Озеро Севан расположено в Армянской ССР между 40°9′ и 40°38′ северной широты и 45° и 45°40′ восточной долготы на высоте 1914 м над уровнем моря. Длина озера 72 км, наибольшая ширина 40 км, максимальная глубина 99 м, площадь поверхности озера 1416 км^2, объем водных масс 58,5 км^3, водосборная площадь 4890 км^2. В озеро впадает 28 притоков, вытекает из него одна река Раздан (Занга), впадающая в бассейн р. Куры.

Географическое положение оз. Севан определяет относительно высокие температуры его воды. Как правило, Севан не замерзает на зиму. За последние сто с лишним лет известно 7—8 случаев замерзания этого озера. Обычно минимальная среднемесячная температура воды Севана, наблюдаемая в марте, равняется около 2,2°, причем вертикальная ее стратификация в этот период отсутствует. В годы, когда Севан покрывается льдом, температура воды в зимний период оказывается несколько более низкой. Так, в 1949 г. температура воды Малого Севана 10 марта была во всей толще озера всего 0,85°, а 8 апреля — 1,2°.

С началом весеннего прогревания, температура воды Севана на поверхности довольно быстро возрастает, достигая в июле-августе максимума в 17—19° и выше. При этом интенсивному прогреванию подвер-

гается лишь верхний 20-метровый слой воды. Глубже температура воды даже в период максимального прогрева лежит обычно в пределах 8—9°, а в придонных слоях не поднимается выше 7° [1].

Несмотря на то, что бассейн оз. Севан сложен массивными кристаллическими изверженными породами, воды озера относительно высоко минерализованы. В среднем сумма ионов составляет в Севане 720—740 мг/л (Слободчиков, 1951). Преобладающими ионами являются из катионов натрий и магний, из анионов гидрокарбонаты и хлориды (табл. 168), благодаря чему воды Севана относятся к $HCO_3' — Na' — Cl'$ гидрохимической фации.

Таблица 168

Средний химический состав воды Севана (в мг/л)

Место отбора проб	$K^{\cdot}$	$Na^{\cdot}$	$Ca^{\cdot\cdot}$	$Mg^{\cdot\cdot}$	Cl'	SO_4''	HCO_3'	CO_3''	P (фосфитный)	N (нитратный)	Si	Окисляемость
Большой Севан	22,21	79,25	37,39	52,85	61,88	15,70	416,63	38,27	0,12	зимой до 04	0,91	2,3
Малый Севан	22,31	78,33	36,03	54,77	63,08	16,15	426,67	38,76	0,11	зимой до 04	0,90	1,

В водах Севана наблюдается преобладание магния над кальцием, однако, это не является единственной особенностью его гидрохимии. Не менее важной особенностью является также высокое содержание в водах Севана калия — до 22 мг/л и фосфатного фосфора — в среднем 0,12 мг/л. Наконец, необходимо особо отметить резкий дефицит в водах Севана соединений азота, из которых присутствует и то не постоянно, лишь азот нитратов.

В вертикальном направлении основные ионы, исключая гидрокарбонаты, распределены равномерно. Содержание гидрокарбонатов несколько возрастает с глубиной. Заметный рост с глубиной наблюдается у фосфатного фосфора и кремния.

Несмотря на значительную регулирующую роль Севана, химический состав его воды не остается постоянным в течение года. По исследованиям Б. Я. Слободчикова (1951), минерализация воды Севана достигает максимума зимой в январе — марте, а в июне-июле опускается до минимальных в году величин. Аналогичные сезонные изменения претерпевает и фосфатный фосфор: максимальное его содержание наблюдается в ноябре, минимальное в июне. Кремний также достигает годового максимума в ноябре, однако минимальное его содержание падает на раннюю весну — март, что, вероятно, обусловлено потреблением этого ингредиента весенними формами диатомей.

Что касается минеральных соединений азота, то ни аммиачного, ни нитритного азота в водах Севана обнаружено не было. Нитратный азот обнаруживается здесь только с момента осенне-зимнего охлаждения (ноябрь) и до марта, когда его содержание достигает максимума — около 0,04 мг/л. В весенне-летний период нитратный азот в водах Севана полностью отсутствует.

Вопросу динамики азота в водах оз. Севан посвящена недавно опубликованная работа Б. Я. Слободчикова (1955). В связи с тем, что автор этой работы в своих выводах выходит за пределы фактов, а также

[1] В настоящее время, в связи со спуском Севана и понижением его уровня, термический режим озера заметно изменился.

в связи с большой важностью поднимаемого им вопроса мы считаем необходимым остановиться более подробно на этом вопросе.

Большой дефицит соединений азота в водах оз. Севан уже обращал на себя внимание исследователей. В последнее время К. С. Владимирова (1947) пыталась объяснить его интенсивным потреблением соединений азота фитопланктоном, развивающимся в озере. Б. Я. Слободчиков отвергает это объяснение К. С. Владимировой и, следуя за С. Я. Лятти (1932), считает, что столь большой дефицит соединений азота в водах Севана объясняется уходом его в атмосферу в виде элементарного азота в результате интенсивно идущих в озере процессов денитрификации. Не имея прямых доказательств, подтверждающих данное предположение, Б. Я. Слободчиков пытается привлечь для этой цели некоторые экспериментальные данные. Цитируемый автор устанавливал на озере специальные испарители, в которые помещались пробы озерной воды с добавками нитратного азота и вода из притока Севана — р. Гаварагет, где содержание нитратного азота достигает 4 мг/л, а также дистиллированная вода с добавками нитратного азота. Несколько позднее были проведены опыты со смесью озерной и речной воды. Для устранения возможного потребления нитратного азота развивающимся в пробах воды фитопланктоном часть проб фиксировалась формалином.

Результаты этих опытов показали, что содержание нитратного азота катастрофически быстро снижается в опытах с озерной и дистиллированной водой с добавками нитратного азота. При этом заметной разницы в скорости исчезновения нитратного азота в фиксированных формалином пробах по сравнению с нефиксированными не наблюдалось. В пробах речной воды содержание нитратного азота оставалось на протяжении всего опыта практически неизменным. В опытах же со смесью озерной и речной воды наблюдалось исчезновение нитратного азота, причем скорость этого процесса была прямо пропорциональна количеству добавляемой озерной воды.

Во всех опытах наблюдалась, кроме того, прямая зависимость скорости исчезновения нитратного азота от величин испарения с поверхности озера.

Основываясь на этих данных, Б. Я. Слободчиков говорит, что проведенные опыты «полностью подтвердили высказанное ранее Лятти (1932) предположение об уходе азота в атмосферу в виде газа N_2. Исчезновение азотистых соединений непосредственно связано с испарением, достигающим в условиях Севана высокой интенсивности» (Слободчиков, 1955, стр. 189—190). Столь категорические утверждения кажутся нам несколько поспешными. Действительно, если принять, что нитратный азот уходит в атмосферу в виде газа N_2, т. е. подвергается денитрификации — процессу идущему, как известно, только при участии соответствующих бактерий,— то становится совершенно непонятным, почему же тогда этот процесс идет и в фиксированных формалином пробах, где всякие бактериальные процессы, естественно, не могут происходить. Ведь нельзя же предположить, что в течение первых же нескольких часов после постановки опытов произошло полное испарение формалина, добавленного в пробы, и в них вновь проникли денитрифицирующие бактерии. С другой стороны, если связывать процесс исчезновения нитратного азота только с испарением с поверхности озера (или испарителей), то становится неясным, во-первых, каким образом происходит этот процесс «испарения» соединений нитратного азота. Непонятно почему автор считает, что азот в этом случае уходит в атмосферу в виде газа N_2, а также чем объясняется легкая «испаряемость» нитратного азота из проб озерной и дистиллированной воды, его практически полная «неиспаряемость» из проб речной воды, помещенной в те же условия

испарения, а также прямая зависимость «испаряемости» нитратного азота от степени разбавления речной воды озерной в опытах со смесями этих вод. Во-вторых, совершенно неясно откуда могли так быстро попасть в пробы дестиллированной воды денитрифицирующие бактерии. Ведь процесс исчезновения нитратного азота в пробах с дистиллированной водой шел даже более интенсивно, чем с озерной водой.

Изложенные соображения заставляют нас с большой осторожностью относиться к утверждениям Б. Я. Слободчикова относительно судьбы азота его минеральных соединений в водах оз. Севан. Этот интересный и практически важный вопрос, вопреки мнению цитируемого автора, остается не решенным, а попытки автора объяснить исчезновение нитратного азота процессами денитрификации из проб фиксированных формалином говорят лишь о полной неосведомленности его в вопросах общей биологии. Сам же факт такого исчезновения может рассматриваться как какая-то ошибка в проведении эксперимента. Нам кажется, что предположение К. С. Владимировой (1947), объясняющей отсутствие нитратного азота в водах Севана потреблением его фитопланктоном, остается пока единственно справедливым. Окончательное же решение этого вопроса может быть завершено лишь после проведения соответствующих микробиологических исследований.

Сезонные изменения содержания органического вещества в водах Севана, судя по величинам окисляемости воды, неясны. Максимальные величины окисляемости воды Севана в 1947—1948 гг. по данным Б. Я. Слободчикова наблюдались в ноябре — 6,50 мг/л кислорода, в марте — 4,8 мг/л и были приурочены к периодам сильных и продолжительных ветров. В остальное время года окисляемость вод Севана не поднималась выше 2,0 мг/л кислорода.

Химический состав воды отдельных районов Севана не имеет существенных различий. Можно лишь указать на общую тенденцию к повышению минерализации вод Малого Севана по сравнению с Большим Севаном, что объясняется некоторой изолированностью этой части озера в силу особенностей строения озерной котловины.

Сравнение химического состава вод Севана с составом вод его притоков показывает значительные различия, проявляющиеся, в частности, в меньшей общей минерализации вод притоков, и главное в преобладании в водах притоков кальция над магнием. Этот избыток кальция, поступающий в Севан с водами притоков, осаждается на дно в форме карбонатов.

Газовый режим Севана вполне благоприятен. Содержание кислорода на поверхности обычно лежит вблизи нормального насыщения. Однако в разных участках озера могут наблюдаться значительные различия. Неоднородно распределение кислорода и по вертикали, причем, судя по исследованиям Б. Я. Слободчикова (1955), отчетливых закономерных изменений в вертикальном распределении кислорода в водах Севана не наблюдается.

Сезонные изменения содержания кислорода в водах Севана характеризуются годовым максимумом в январе-феврале (около 10,0—10,25 мг/л) и минимумом в ноябре (5,41—4,67 мг/л). В остальное время года содержание кислорода лежит в пределах 7—9 мг/л.

Активная реакция воды Севана лежит в щелочной области с колебаниями в течение года от 8,8 до 9,2 pH. С глубиной заметных изменений величин pH не наблюдается.

Сравнивая гидрохимический облик Севана с таковым Байкала, видим значительные различия. Прежде всего необходимо указать на различие в термике этих озер. Если Байкал является холодноводным, то Севан имеет уже значительно более высокие температуры воды. Прогре-

вание вод Севана идет значительно быстрее, чем прогревание байкальских вод, а сам период высоких температур на Севане более продолжителен, чем на Байкале.

По степени минерализации воды Севан также резко отличается от Байкала. Общая минерализация его воды, как уже говорилось, достигает 720—740 мг/л, т. е. в среднем в 7 раз превосходит минерализацию воды Байкала. Отличны воды Севана от байкальских вод и по соотношениям основных компонентов ионного состава. Если в Байкале отношение магния к кальцию равно в среднем 0,32, то в Севане оно достигает до 1,44. Отношение хлоридов к сульфатам в Байкале равняется всего 0,36, тогда как в Севане оно равно 3,93, приближаясь к хлорид-сульфатному равновесию в Ладожском озере.

Нельзя не отметить высокое содержание в водах Севана калия, а также постоянное наличие карбонатов, количество которых в среднем составляет 38 мг/л.

Высокая магнезиальность севанских вод и наличие карбонатов влечет к постоянному осаждению карбоната кальция в донные отложения озера. Этим Севан опять-таки резко отличается от Байкала, где не только не наблюдается осаждения карбоната кальция, но, напротив, отмечается значительная углекислотная агрессивность вод.

Присущие Севану сезонные изменения содержания основных компонентов ионного состава вод также отличают это озеро от Байкала.

Существенные различия рассматриваемые озера имеют и по содержанию и динамике соединений биогенных элементов, а также органического вещества. Высокое содержание фосфатного фосфора и резкий дефицит соединений азота в водах Севана определяют потенциальные возможности этого водоема в смысле первичной продуктивности его. Если в Байкале фитопланктон в период своего интенсивного развития может использовать соединения азота и фосфора относительно полно, то в Севане развитие фитопланктона всегда лимитируется минеральными соединениями азота при большом избытке фосфатного фосфора. Только содержание кремния в обоих озерах не имеет значительных различий. Что же касается динамики этого элемента, то последняя в Севане еще очень плохо изучена, так же как и динамика органического вещества, о котором можно сказать лишь, что его содержание в водах Севана, видимо, ниже содержания в байкальской воде и, что отсутствие сезонных изменений в величинах окисляемости вод Севана никак не согласуется с интенсивно выраженными сезонными явлениями в жизни севанского фитопланктона, о чем можно судить по работам К. С. Владимировой (1947) и В. Г. Стройкиной (1953).

Наконец, имеются различия и в газовом режиме сравниваемых озер. Здесь следует указать на постоянное отсутствие свободной CO_2 в водах Севана и ее постоянное наличие в байкальских водах, в связи с чем резко отличается и активная реакция воды обоих озер: в Байкале pH воды только в период массового развития летних форм фитопланктона поднимается до 8,4, тогда как в Севане постоянно наблюдается pH не ниже 8,8, а часто до 9,2.

По степени насыщения вод кислородом оба озера близки между собой. Обоим им свойствен зимний кислородный максимум. Однако в Севане годовой минимум кислорода, приходящийся на ноябрь, выражен очень резко по сравнению с Байкалом. К тому же и сам срок наступления минимума не совпадает во времени с байкальским, где он приходится на летние месяцы, и где содержание кислорода никогда не опускается ниже 9 мг/л.

6. ОБЩЕЕ ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Приведенные выше краткие гидрохимические очерки некоторых озер Земли ясно показывают, что все они имеют те или иные особенности химизма своих вод, отличающие их от Байкала. В дополнение к рассмотренным озерам в табл. 169 приводим краткую гидрохимическую характеристику еще ряда озер земного шара.

Как можно видеть из данных табл. 169, и среди этих озер Байкал не имеет аналогов. Наиболее близко по химизму вод подходят к Байкалу озера Гурон и Мичиган. Воды их, как и воды Байкала, относятся к HCO_3'—$Ca^{"}$ гидрохимической фации и имеют близкую к байкальской общую минерализацию воды. Однако по ряду других признаков оба эти озера уже заметно отличаются от Байкала.

Особенности химического состава воды и гидрохимического режима, присущие оз. Байкалу и отличающие его от других озер, не являются вместе с тем чертой, свойственной только этому водоему. С достаточным основанием можно утверждать, что и другие крупные озера имеют каждое свои гидрохимические особенности, проявляющиеся прежде всего в их принадлежности к той или иной гидрохимической фации.

Особенности эти определяются целым комплексом причин, из которых наиболее важными следует признать географическое местоположение водоема и связанные с последним климатические особенности, строение и размеры озерной ванны, геологическое строение водосборного бассейна озера, характер водного баланса, биологические особенности его органического мира и пр.

Рассматривая с этой точки зрения проблему несмешиваемости байкальской и общепалеарктической фаун, мы приходим к выводу, что причины этой несмешиваемости нельзя сводить к одному какому-то фактору.

Признавая вслед за Д. Н. Талиевым (1948) неоэндемизм подавляющего большинства представителей байкальской фауны, мы считаем, что распространение ее в современную нам эпоху за пределы этого водоема ограничивается целым комплексом факторов как биотического, так и абиотического характера, в числе которых, несомненно, важную роль играет стабильность температурного и гидрохимического режима оз. Байкала. Населяющие Байкал эндемичные виды, становление большинства которых шло в самом озере, уже не могут переносить резких изменений внешних условий существования и, попадая в такие несвойственные им условия, скажем, в условия байкальских соров, погибают сами или не дают жизнеспособного потомства.

Те немногие представители байкальской фауны, которые обитают сейчас, помимо Байкала, в немногих уголках земного шара, являясь несомненными реликтами, указывают лишь на более широкое распространение животных «байкальского типа» в былое время. Изучение этих животных и условий их существования представляет огромный интерес для решения вопроса о причинах и темпах эволюции животного мира, но не может пролить свет на причины несмешиваемости байкальской и сибирской фаун, так как все эти виды обитают в условиях, отличных от байкальских. Исключением является байкальская фауна, проникшая в рр. Ангару и Енисей. Детальное ее изучение может, по нашему мнению, внести новые данные и в проблему несмешиваемости. Огромный интерес с точки зрения познания причин несмешиваемости байкальской и сибирской фаун, а не с точки зрения повышения кормности водоемов, как то трактуют некоторые гидробиологи (Грезе, 1931; Бекман и Базикалова, 1951), представляла бы акклиматизация байкальских видов в других водоемах и из них прежде всего в крупных олиготрофных озерах

Таблица 169

Химический состав воды некоторых озер мира (мг/л)

Озеро	$Ca^{\cdot\cdot}$	$Mg^{\cdot\cdot}$	$Na^{\cdot} + K^{\cdot}$	$HCO_3^{\prime}$	$SO_4^{\prime\prime}$	$Cl^{\prime} + B_2^{\prime}$	Сумма ионов	Si	$Fe_2O_3 + Al_2O_3$	Гидрохимическая фация	Автор
Байкал	15,2	3,1	5,8	66,5	5,2	1,4	94,2	1,07	0,01—0,06	$HCO_3^{\prime}—Ca^{\cdot\cdot}—Na^{\cdot}—SO_4^{\prime\prime}$	К.К. Вотинцев
Ладожское . .	7,1	1,9	8,6	40,2	2,5	7,7	68	0,14—1,75	0,18—7,20	$HCO_3^{\prime}—Na^{\cdot}—Cl^{\prime}—Ca^{\cdot\cdot}$	И. В. Молчанов
Онежское . . .	54,2	1,6	1,5	20,4	1,3	1,5	80,2	0,56	2,8	$Ca^{\cdot\cdot}—HCO_3^{\prime}—Mg^{\cdot\cdot}—Cl^{\prime}$	» » »
Чудское . . .	23,9	5,2	11,5	112,8	4,0	5,2	162,6	—	—	$HCO_3^{\prime}—Ca^{\cdot\cdot}—Na^{\cdot}—Mg^{\cdot\cdot}$	А. А. Соколов
Мичиган . . .	26,2	8,2	4,7	58,3	7,1	2,7	107,3	4,67	—	$HCO_3^{\prime}—Ca^{\cdot\cdot}—Mg^{\cdot\cdot}—SO_4^{\prime\prime}$	Ф. В. Кларк
Гурон	24,1	7,0	4,4	51,1	6,2	2,6	95,5	4,58	—	$HCO_3^{\prime}—Ca^{\cdot\cdot}—Mg^{\cdot\cdot}—SO_4^{\prime\prime}$	То же
Эри	31,2	7,6	6,5	59,5	13,1	8,8	127	—	—	$HCO_3^{\prime}—Ca^{\cdot\cdot}—SO_4^{\prime\prime}—Cl^{\prime}$	» »
Женевское . .	42,3	3,4	4,2	51,4	40,5	0,8	142,6	2,24	0,5	$HCO_3^{\prime}—Ca^{\cdot\cdot}—SO_4^{\prime\prime}—Na^{\cdot}$	» »
Цюрихское . .	41,1	7,2	5,1	72,9	11,1	0,8	138,2	—	—	$HCO_3^{\prime}—Ca^{\cdot\cdot}—SO_4^{\prime\prime}—Mg^{\cdot\cdot}$	» »
Косогол . . .	41,8	0,5	23,8	174,3	5,4	2,9	248,7	2,54	—	$HCO_3^{\prime}—Ca^{\cdot\cdot}—Na^{\cdot}—Cl^{\prime}$	А. В. Самарина
Орон	6,9	1,8	0,9	4,9	14,9	5,0	34,4	12,61	0,21	$SiO_2—Ca^{\cdot\cdot}—HCO_3^{\prime}—Cl^{\prime}$	Л. Арбатская
Телецкое . . .	12,4	2,1	1,7	48,6	2,8	0,8	68,4	2,10	0,80	$HCO_3^{\prime}—Ca^{\cdot\cdot}—SO_4^{\prime\prime}—Na^{\cdot}$	С. Г. Лепнева
Танганьика . .	11,9	41,6	93,0	191,0	4,3	28,3	370,1	3,08	0,58	$HCO_3^{\prime}—Na^{\cdot}—Mg^{\cdot\cdot}—K^{\cdot}$	Р. Бошан
Севан	37,4	52,3	101,5	455,8	15,7	61,9	724,6	0,91	—	$HCO_3^{\prime}—Na^{\cdot}—Cl^{\prime\prime}—Mg^{\cdot\cdot}$	В. Я. Слободчиков

Восточной Сибири, в которых сохранились элементы байкальской фауны.

Что касается причин, задерживающих вселение в Байкал представителей общепалеарктической фауны, то здесь большую роль играет, видимо, температурный фактор. Наибольшие возможности для вселения в Байкал имеют конечно холодноводные виды. И, хотя число этих палеарктических видов в Байкале невелико, они все же проникли и освоили или осваивают этот водоем. К таким видам следует отнести некоторых ручейников, ближайшие родственники которых обитают в водах холодных ключей (Кожов, 1947), *Cyclops kolensis* — представителя зимнего планктона многих озер СССР и Западной Европы, обитающего в Байкале и в массе развивающегося в некоторые годы в летний период (Мазепова, 1955), и др.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Воды Байкала по своему химическому составу относятся к маломинерализованным гидрокарбонатно-кальциевым водам. По классификации О. А. Алекина (1948) они принадлежат к первому типу этих вод ($HCO_3' > Ca'' + Mg''$). Академик В. И. Вернадский (1934) относит байкальские воды к кислородно-углеродно-кальциевому виду озерных вод ($O'' - C - Ca''$): по Г. А. Максимовичу (1955) они относятся к $HCO_3' - Ca'' - Na'$ гидрохимической фации.

По содержанию основных компонентов ионного состава и их соотношениям между собой, а также по динамике соединений биогенных элементов и органического вещества Байкал, видимо, не имеет аналогов среди крупных озер земного шара. Наиболее близки по химическому составу своих вод к Байкалу Великие озера Северной Америки, однако воды их содержат значительно большие количества кремнекислоты и железа.

Изучение физико-химического режима Байкала показало, что все компоненты байкальских вод могут быть разделены на две группы в зависимости от их динамики в водоеме.

К первой группе компонентов мы так же как и Г. Ю. Верещагин, относим все основные ингредиенты ионного состава вод Байкала, а именно: кальций, магний, натрий, калий, гидрокарбонаты, сульфаты и хлориды. Содержание этих ингредиентов в водах озера однородно по вертикали и не испытывает пространственных и сезонных изменений на всем протяжении открытого Байкала. Такая стабильность ионного состава вод открытого Байкала обусловливается, с одной стороны, близостью среднего химического состава питающих озеро вод с составом байкальских вод, с другой,— мощным регулирующим воздействием водных масс озера на поступающие в него воды.

Годовой химический сток компонентов ионного состава в Байкал составляет 5845 тыс. т, сток их из Байкала через р. Ангару — 5222 тыс. т. Остаток, составляющий около 10% от общего стока солей, показывает вероятную ошибку наших приближенных расчетов химического баланса озера.

Вторую группу компонентов байкальских вод составляют соединения биогенных элементов — азота, фосфора, кремния, вероятно, железа и марганца, органические вещества и компоненты газов (кислород и свободная CO_2). Содержание всех этих компонентов в отличие от компонентов первой группы подвержено в поверхностных слоях воды озера — до глубины примерно 100—250 м — закономерным сезонным изменениям, обусловленным в основном биологическими и биохимическими процессами, протекающими в толще вод Байкала. В вертикальном

направлении все эти компоненты распределены неравномерно, причем вертикальная стратификация их также в значительной мере определяется биологическими и биохимическими процессами, идущими в Байкале.

Круговорот компонентов второй группы идет в Байкале разными путями. Соединения азота и фосфора в основной своей массе постоянно вовлечены в процессы внутреннего перераспределения. В связи с неизученностью общего баланса этих соединений в озере можно наметить только главные черты их динамики в Байкале. Источниками соединений азота и фосфора являются в основном питающие Байкал воды. Частично минеральные соединения азота продуцируются в самом озере азотфиксирующими бактериями (Родина, 1954). Количественно оба эти источника еще не могут быть оценены. Потери азота и фосфора из Байкала в основном определяются их стоком с водами р. Ангары. По нашим подсчетам годовой сток нитратного азота с водами р. Ангары составляет около 2,4 тыс. т, фосфатного фосфора — 1,3 тыс. т. Потери соединений азота и фосфора с вылавливаемой рыбой, отстреливаемой нерпой, а также с биостоком из Байкала через р. Ангару ничтожно малы. Потери азота в процессе денитрификации азотсодержащих соединений в озере количественно не изучены.

Внутреннее перераспределение соединений азота и фосфора происходит в процессе их потребления фитопланктоном и фитобентосом с последующим вовлечением в пищевые цепи и регенерации из отмерших организмов и продуктов их жизнедеятельности. Потребление и регенерация азота и фосфора первичным звеном — фитопланктоном — в основном ограничивается верхней 70-метровой толщей вод озера. Что же касается той части соединений этих элементов, которая была потреблена фито-, зообентосом и зоопланктоном, то значительная доля ее после отмирания этих организмов увлекается в донные отложения озера, откуда в процессе регенерации вновь поступает в водные массы. Изучение скорости химического обмена между донными отложениями озера и его водными массами, а также скорости внутреннего водообмена (в итоге которого соединения азота и фосфора, попавшие в донные отложения озера и на большие его глубины, вновь будут вовлечены в биологический круговорот), т. е. изучение скорости оборачиваемости этой доли соединений азота и фосфора является важной задачей гидрохимии Байкала, которая требует исследований.

Пути миграции кремния в Байкале имеют одностороннюю направленность. Около $^3/_4$ всего поступающего в Байкал с питающими его водами кремния, т. е. примерно 150 тыс. т в год, увлекается в донные отложения озера в форме панцирей диатомовых водорослей и частично спикул губок. В процессе биологического кремнийосаждения исключительную роль играют в байкале виды рода *Melosira* (*M. baicalensis u*, вероятно, *M. binderana*) и отчасти *Cyclotella*. Сток кремния из Байкала через р. Ангару составляет ежегодно только 50 тыс. т.

Односторонне направленные пути миграции в Байкале имеет и железо. Большая часть этого элемента вносится в Байкал в виде коллоидов и более грубодисперсных взвесей железосодержащих минералов. Эти взвеси непосредственно, а коллоиды после коагуляции осаждаются на дно озера. Лишь ничтожные количества железа остаются в толще вод Байкала в растворенном состоянии.

Однако после осаждения на дно соединения железа не просто захороняются в донных отложениях Байкала, а, напротив, в процессе диагенеза подвергаются перераспределению и концентрации в форме конкреций, корочковидных наростов и т. п. образований.

Динамика органического вещества в Байкале довольно сложна. Источниками его поступления в озеро являются питающие Байкал воды,

вносящие ежегодно до 206 тыс. т органического углерода, растительность побережий, количественная роль которой в общем балансе органического вещества в Байкале еще не изучена и синтез непосредственно в водоеме, оцениваемый нами приблизительно в 7000 тыс. т органического углерода в год. Из этого количества с водами р. Ангары выносится из Байкала ежегодно 86,6 тыс. т углерода, в результате хозяйственной деятельности человека извлекается около 2,2 тыс. т. Остальная масса органического вещества подвергается минерализации в самом озере.

Процессы разложения отмерших организмов фитопланктона завершаются в Байкале в верхних слоях воды — до глубины около 70 м. Разложение прочих организмов в основном происходит в донных отложениях озера. Разложение поступающего в озеро аллохтонного органического вещества происходит как в толще вод Байкала (растворенные и мелкодисперсные органические вещества), так и в донных отложениях (грубый органический детрит).

Низкий процент содержания углерода в донных отложениях Байкала и преобладание в его водах устойчивых к окислению органических веществ говорят о том, что процессы деструкции органического вещества в этом озере идут весьма интенсивно, и накопления его в донных осадках озера не происходит.

С круговоротом органического вещества в Байкале тесно связана динамика свободной CO_2 и кислорода. Расчеты показывают, что под 1 м^2 поверхности озера в Байкале ежегодно образуется до 945 г свободной CO_2. Основная масса её вновь вовлекается в биологический круговорот в процессе фотосинтеза водных растений.

Основным источником кислорода в Байкале является кислород фотосинтеза фитопланктона. На его долю приходится до 99,5% от общей суммы, остаток падает на донные макрофиты. Потребляется кислород на дыхание фитопланктона и окисление автохтонного и аллохтонного органического вещества (около 95%) и на дыхание зоопланктона и ихтиофауны (5%).

Исключительно интересной и своеобразной особенностью кислородного режима Байкала является зимний кислородный максимум с пиком во вторую половину подледного периода (март), обусловленный фотосинтетической деятельностью холодолюбивых форм диатомовых.

Изучение гидрохимического режима Байкала, его придонных вод и грунтовых растворов в сочетании с некоторыми литературными данными позволили наметить схему вертикальной гидрохимической зональности Байкала. В Байкале, по нашему мнению, различаются три зоны: 1) зона основных маломинерализованных гидрокарбонатно-кальциевых вод, богатых кислородом, с подзонами суточной химической активности, сезонной химической активности и глубинной химической стабильности; 2) зона придонных гидрокарбонатно-кальциевых вод, обедненных кислородом и обогащенных железом и кремнием, и 3) зона бескислородных гидрокарбонатно-кальциево-кремнекислых вод, сильно обогащенных железом и органическим веществом.

Подводя итоги гидрохимических исследований Байкала нам кажется целесообразным остановиться кратко и на тех основных задачах, которые стоят перед исследователями — гидрохимиками этого озера на ближайшее будущее.

Едва ли не краеугольным камнем современной гидрохимии вообще и Байкала в частности является изучение его химического баланса. Всестороннее изучение этого вопроса позволит вскрыть и количественно охарактеризовать все основные процессы, протекающие в этом озере, выяснить пути миграции отдельных химических элементов и их роль в биологии водоема, а отсюда подойти и к решению ряда практически

важных вопросов, скажем, к количественной оценке потенциальных рыбопродуктивных возможностей Байкала и т. п. Начатые в этом направлении исследования, основные результаты которых изложены в настоящем труде, уже сейчас позволили с достаточной яркостью охарактеризовать важнейшие биогеохимические процессы, протекающие в толще вод Байкала. Однако эти исследования являются по существу лишь первым шагом на пути решения данной проблемы.

Изучение химического баланса Байкала требует организации систематических гидрохимических исследований как вод самого озера, так и питающих его вод. Хотя в итоге своих исследований нами и делается попытка доказать однородность химического состава вод открытого Байкала на всем протяжении этого озера, все же проведение дальнейших исследований в этом направлении представляется совершенно необходимым. С указанной целью было бы целесообразно организовать систематические круглогодичные гидрохимические наблюдения в нескольких пунктах озера, выбранных с расчетом получения наиболее полной гидрохимической характеристики всех трех основных котловин Байкала. Эти исследования должны проводиться синхронно, по единой программе, охватывая все слои воды озера от поверхности до дна. Они имеют еще и другое значение, так как вскроют те различия в динамике биогенных элементов в отдельных котловинах озера, которые вызываются климатическими особенностями Байкала в разных его районах.

Для получения точных количественных данных по химическому стоку в Байкал необходимо продолжить систематические гидрохимические исследования притоков этого озера, охватив наблюдениями все важнейшие притоки Байкала и, кроме того, ряд малых рек. Необходимо также организовать систематическое изучение химизма вод атмосферных осадков, выпадающих на поверхность озера в разных его районах. Эти исследования, помимо огромного самостоятельного научного интереса, позволят точнее осветить химический баланс озера.

Большое значение для получения точных количественных данных по химическому балансу Байкала имеют также исследования подземных источников, питающих озеро. Правда, судя по близости среднего химического состава вод Байкала со средним химическим составом питающих его вод, роль подземного питания озера, вероятно, невелика, тем не менее сбрасывать со счета возможное влияние этого фактора на общий химический баланс Байкала нет оснований.

Изучение химического баланса Байкала немыслимо без знания химического стока из Байкала. Этот сток в основном определяется р. Ангарой. Однако нельзя забывать и об уносе веществ из Байкала при испарении, при вылете имагинальных стадий водных насекомых, а также об изъятии их человеком в процессе промысла.

Одной из важнейших проблем гидрохимии Байкала, разрешение которой необходимо для глубокого познания внутреннего баланса озера, является также изучение процесса превращения вод притоков Байкала в байкальскую воду. В соответствующих разделах настоящей работы нами показано, что химический состав воды притоков Байкала отличается от химического состава вод самого озера. Попадая в Байкал, воды притоков подвергаются не только простому механическому перемешиванию с байкальскими водами, но претерпевают более сложные превращения, происходящие под воздействием как абиотических, так и биотических факторов. В результате, как показано выше, лишь основной ионный состав воды озера формируется простым смешением вод, питающих Байкал. Что же касается прочих компонентов, то их содержание в водах Байкала не соответствует уже среднему содержанию в смеси питающих озеро вод. Выше были показаны пути миграции в Бай-

кале соединений железа, кремния, азота, фосфора и ряда других компонентов. Однако совершенно неизвестно ни распределение вод притоков в озере в зависимости от внешних гидрометеорологических и иных факторов, ни скорость их превращения в байкальские воды. Не изучен еще детально и сам процесс этого превращения.

К проблеме химического баланса Байкала тесно примыкает также изучение химического обмена между донными отложениями и водными массами озера. Наши исследования по существу только наметили основные различия химизма грунтовых растворов, придонных и вышележащих слоев воды озера. Задачей будущих исследований является изучение скорости самого обмена и выяснение количественной стороны этого процесса, о чем уже говорилось выше.

Нельзя забывать также проблему динамики биогенных элементов и органического вещества в Байкале. В этом направлении необходимо продолжить исследования, вскрывающие пути миграции отдельных химических элементов в озере, необходимо углубить работы по определению биологической продуктивности Байкала химическими методами, уточнить роль отдельных источников органического вещества в его общем балансе в Байкале и, наконец, изучить физико-химическую природу самого органического вещества байкальских вод.

Несомненный интерес представляет изучение химического состава ледяного покрова озера и подледного слоя воды.

Необходимо также изучение содержания в водах Байкала редких и рассеянных элементов, таких, как бор, медь, марганец, бром, иод и др. Их роль в жизни растений и животных настолько велика, что без учета этого фактора сейчас уже невозможно правильно оценить потенциальную продукционную способность Байкала.

Наконец, совершенно самостоятельную, чрезвычайно интересную в теоретическом отношении и практически важную задачу представляет изучение формирования химического состава воды и гидрохимического режима Ангарских водохранилищ и в первую очередь Иркутского моря, являющегося заливом Байкала.

В своей работе нам не удалось подробно остановиться на многих частных вопросах гидрохимии Байкала, имеющих большое практическое значение, как, например, на вопросе об агрессивном действии байкальских вод на различные гидротехнические и инженерные сооружения, на вопросах рыбохозяйства, связанных с эксплуатацией Ангарского водохранилища и т. п.

ЛИТЕРАТУРА

Алекин О. А. (1948). Общая гидрохимия. М., Гидрометеоиздат.

Алекин О. А. (1949). Гидрохимия рек СССР. Тр. Гос. гидролог. ин-та, вып. 15, ч. 3.

Антипова Н. Л., Кожов М. М. (1953). Материалы по сезонным годовым колебаниям численности руководящих форм фитопланктона оз. Байкал. Тр. Иркутского ун-та, серия биол., **7**, вып. 1—2.

Анучин Д. Н. (1918). Байкал и Танганьика. Природа, № 2—3.

Базикалова А. Я. (1935). К систематике байкальских *Amphipoda*. Тр. Байкальск. лимнолог. ст., т. VI.

Базикалова А. Я. (1941). Потребление кислорода байкальскими амфиподами. Изв. АН СССР, серия биол., № 1.

Бекман М. Ю, Базикалова А. Я. (1951). Биология и продукционные возможности некоторых байкальских и сибирских бокоплавов. Проблемы гидробиологии внутренних вод. Сб. статей, вып. 1.

Бервальд Э. А. (1939). Опыт изучения превращения органического вещества в пресноводном водоеме. Сб. научно-студ. работ Моск. гос. ун-та. Биология, вып. 6.

Берг Л. С. (1922). Сравнение озер Байкала и Танганьики. Изв. Географич. ин-та, вып. 3.

Берг Л. С. (1910). Фауна Байкала и ее происхождение. Биол. журнал, **1**, вып. 1.

Берг Л. С. (1949). Байкал, его природа и происхождение его органического мира. В кн.: «Очерки по физической географии». М., Изд-во АН СССР.

Богоров В. Г. (1948). Вертикальное распределение зоопланктона и вертикальное расчленение вод океана. Тр. ин-та океанологии АН СССР, т. II.

Бочкарев П. Ф. (1932). Материалы по активной реакции воды Байкала. Тр. Вост.-Сиб. гос. ун-та, **1**.

Бочкарев П. Ф. (1934). Физико-химическая характеристика воды северной части Байкала. Изв. Биол.-геогр. ин-та при Иркутск. гос. ун-те, **6**, вып. 1.

Бочкарев П. Ф. (1935). Гидрохимические исследования, произведенные в Чивыркуйском заливе на Байкале летом 1932 года. Изв. Биол.-геогр. ин-та при Иркутск. гос. ун-те, **6**, вып. 2—4.

Бочкарев П. Ф., Власов Н. А., Козяр М. П. (1947). Наблюдения над суточным ходом некоторых гидрохимических факторов в воде оз. Байкал. Тр. Иркутск. гос. ун-та, серия химич., **3**, вып. 1.

Бочкарев П. Ф., Вотинцев К. К., Яснитский В. Н. (1950). Об энергии фотосинтеза некоторых макрофитов оз. Байкал. Докл. АН СССР, **70**, № 3.

Бочкарев П. Ф., Щепетунин В. С., Вотинцев К. К. (1938). Гидрохимические исследования притоков Байкала, I. Круглогодичный гидрохимический режим реки Большой. Изв. Биол.-геогр. ин-та при Иркутск. гос. ун-те, **8**, вып. 1—2.

Бочкарев П. Ф. (1955). Гидрохимия рек Восточной Сибири. Автореферат докт. диссертации. Новочеркасск, Гидрохимический ин-т АН СССР.

Бруевич С. В. (1933). Методика химической океанографии. М., Изд-во АН СССР.

Бруевич С. В. (1936). Определение продукции органического вещества в море. Акад. В. И. Вернадскому (сб. статей). М., Изд-во АН СССР, **1** и **2**.

Бруевич С. В. (1937). Гидрохимия Среднего и Южного Каспия. М., Изд-во АН СССР.

Бруевич С. В., Певзняк Р. М., Понизовская В. Л., Сибиряков М. А. (1939). О влиянии донных отложений на химизм пресноводных водоемов. Гидрохимические материалы, т. XI.

Бруевич С. В., Виноградова Е. Г. (1940). Накопление биогенных элементов в грунтовых растворах Северного Каспия в связи с характером грунтов. Докл. АН СССР, **26**, № 6.

Бруевич С. В., Виноградова Е. Г. (1940). Вертикальное распределение солености и биогенных элементов в грунтовых растворах Северного Каспия. Докл. АН СССР, **26**, № 6.

Бруевич С. В. (1944). Некоторые методы химического исследования грунтов и грунтовых растворов моря. Тр. Научно-исслед. учрежд. Главн. упр. гидрометслужбы СССР, серия 5, вып. 7.
Бруевич С. В., Виноградова Е. Г. (1946). Биогенные элементы в грунтовых растворах Северного, Среднего и Южного Каспия. Докл. АН СССР, **54**, № 5.
Бруевич С. В., Виноградова Е. Г. (1947). Химический состав грунтовых растворов Каспийского моря. Гидрохимические материалы, т. XIII. Сообщение I.
Бруевич С. В., Виноградова Е. Г. (1947). Химический состав грунтовых растворов Каспийского моря. Гидрохимические материалы, т. XIII. Сообщение II.
Бруевич С. В. (1953). Химия и биологическая продуктивность Черного моря. Тр. Ин-та океанол. АН СССР, **7**.
Бубличенко Н. Л. (1937). Гидрологическое строение берегов Телецкого озера и его происхождение. Исследование озер СССР, вып. 9.
Буркcер Е. С., Федорова Н. Е. (1953). Роль химического состава атмосферных осадков в формировании природных вод. Гидрохимические материалы, т. XXIV.
Буркcер Е. С., Федорова Н. Е. (1954). Роль химического складу атмосферных опадив у формувании природных вод. Наук. зап. Киевск. держ. ун-т, **13**, № 4.
Буров В. С., Кожов М. М., Талызин М. Ф., Тимофеев С. И. (1934). Материалы к распределению грунтов и фауны прибрежной полосы Северного Байкала. Изв. Биол.-геогр. ин-та при Иркутск. гос. ун-те, **6**, вып. 1.
Верещагин Г. Ю. (1922). Отчет о работах, произведенных на Байкале во время командировки Императорской Академии наук летом 1860 года. Тр. Комиссии по изуч. оз. Байкал, т. 1.
Верещагин Г. Ю. (1925). Из результатов работ Байкальской экспедиции Академии наук СССР летом 1925 г. Жизнь Бурятии, № 5—6.
Верещагин Г. Ю. (1927а). Термические наблюдения, произведенные в южном Байкале летом 1926 г. Докл. АН СССР, серия А и В.
Верещагин Г. Ю. (1927б). Гидрохимические наблюдения в южном Байкале летом 1926 г. Докл. АН СССР, серия А-20.
Верещагин Г. Ю. (1927в). Некоторые данные о режиме глубинных вод Байкала в районе Маритуя. Тр. Комиссии по изуч. оз. Байкал., т. 2.
Верещагин Г. Ю., Сидорычев И. Н. (1929). Зимний химический режим рек Селенги и Уды. Докл. АН СССР, серия А-18.
Верещагин Г. Ю. (1932). Суточный ход некоторых гидрологических элементов на Байкале и его лимнологическое значение. Тр. Байкальск. лимнолог. ст., т. II.
Верещагин Г. Ю. (при участии Аничковой и Форш) (1933). Методы полевых гидрохимических исследований в их применении к гидрологической практике. М., Гидрометеоиздат.
Верещагин Г. Ю., Горбов А. И., Менделеев И. Д. (1934). К вопросу о нахождении в природе воды аномальной плотности. Докл. АН СССР, **2**, № 2.
Верещагин Г. Ю. (1935). Два типа биологических комплексов Байкала. Тр. Байкальск. лимнолог. ст., т. VI.
Верещагин Г. Ю. (1936). Основные черты вертикального распределения динамики водных масс на Байкале. Акад. В. И. Вернадскому (сб. статей). М., Изд-во АН СССР, **2**.
Верещагин Г. Ю. (1939). Происхождение и история фауны и флоры Байкала в связи с вопросом о происхождении их в континентальных водах вообще. Изв. Гос. географ. об-ва, № 9.
Верещагин Г. Ю. (1940). Происхождение и история Байкала, его фауны и флоры. Тр. Байкальск. лимнолог. ст., т. X.
Верещагин Г. Ю. (1947). Байкал. Иркутск. Географгиз (серия научно-популярная).
Верещагин Г. Ю. (1949). Байкал. Иркутск, Географгиз (серия научно-популярная).
Вернадский В. И. (1934). История минералов земной коры. История природных вод. М., Изд-во АН СССР, часть 1, вып. 2.
Винберг Г. Г. (1934). Опыт изучения фотосинтеза и дыхания в водной массе озера. К вопросу о балансе органического вещества. Сообщение I. Тр. Лимнол. ст. в Косино, т. 18.
Винберг Г. Г., Иванова А. И. (1935). Опыт изучения фотосинтеза и дыхания в водной массе озера. К вопросу о балансе органического вещества. Сообщение 2. Тр. Лимнолог. ст. в Косино, т. 20.
Винберг Г. Г. (1937). Некоторые наблюдения на гумусовых озерах (Истровские озера). К вопросу о балансе органического вещества. Сообщение 4. Тр. Лимнол. ст. в Косино, т. 21.
Винберг Г. Г., Кузнецова З. И. (1939). Наблюдения над фотосинтезом и дыханием водной массы Глубокого озера. К вопросу о балансе органического вещества. Сообщение 3. Тр. Лимнолог. ст. в Косино, т. 22.
Винберг Г. Г., Яровицына Л. И. (1939). Суточные колебания количества растворенного кислорода как метод измерения величины первичной продукции водоемов. Тр. Лимнолог. ст. в Косино, т. 22.

Винберг Г. Г. (1948). Биотический баланс Черного озера. Бюлл. Моск. об-ва испыт. прир., отд. биол., т. 53, № 3.
Винберг Г. Г. (1948а). Эффективность утилизации солнечной радиации планктоном. Природа, № 12.
Винберг Г. Г., Захаренко И. С. (1950). К количественной характеристике роли планктона в круговороте веществ в озерах. Докл. АН СССР, **73**, № 5.
Винберг Г. Г. (1956а). Интенсивность обмена и пищевые потребности рыб. Минск, Изд-во Белорусск. гос. ун-та.
Винберг Г. Г. (1956б). Первичная продуктивность планктона. Ж. общ. биол., **17**, вып. 5.
Вилисова И. К. (1954). Сравнительный обзор зоопланктона Посольского сора и прибрежных районов открытого Байкала. Тр. Байкальск. лимнол. ст., т. XIV.
Виноградов А. П. (1939). Химический состав планктона. Тр. Биогеохим. лаб. АН СССР, т. 5.
Виноградов А. П. (1935—1944). Химический элементарный состав организмов моря. Тр. Биогеохим. лаб., АН СССР, т. 3, 4 и 6.
Виноградов М. Г. (1952). Влияние дыхания зоопланктона на уменьшение содержания кислорода в различных слоях воды. Докл. АН СССР, **82**, № 4.
Владимирова К. С. (1947). Фитопланктон оз. Севан. Тр. Севанск. гидробиол. ст., т. 9.
Водяницкий В. А. (1941). К вопросу о биологической продуктивности Черного моря. Тр. Зоологич. ин-та АН СССР, т. 7, вып. 2.
Водяницкий В. А. (1944). К вопросу о биологической продуктивности Черного моря. Тр. Зоол. ин-та АН СССР, т. 7, вып. 2.
Вознесенский А. В. (1907). Очерк климатических особенностей Байкала. В кн.: «Лоция и физико-географический очерк Байкала». Иркутск, Изд-во Главного гидрографич. управления.
Воронков П. П (1941). Подсчет первичной продукции методом баланса питательных солей. Тр. научно-исслед. учрежд. Главн. упр. гидрометслужбы СССР, серия 5, вып. 2.
Ботинцев К. К (1948а). О роли губок в динамике кремнекислоты в воде оз. Байкал. Докл. АН СССР, **62**, № 5.
Ботинцев К. К. (1948б). Наблюдения над регенерацией биогенных элементов при разложении *Epischura baicalensis*. Докл. АН СССР, **63**, № 6.
Ботинцев К. К. (1950). Биогенные элементы в грунтовых растворах оз. Байкал. Докл. АН СССР, **75**, № 1.
Ботинцев К. К. (1952а). Материалы по динамике биогенных элементов в водах оз. Байкал. Докл. АН СССР, **84**, № 2.
Ботинцев К. К. (1952б). Энергия фотосинтеза и сезонные изменения биомассы. *Melosira baicalensis*. Докл. АН СССР, **84**, № 3.
Ботинцев К. К. (1953а). Суточный ход кислорода и первичной продукции в верхнем слое оз. Байкал. Докл. АН СССР, **88**, № 1.
Ботинцев К. К. (1953б). Влияние суточных вертикальных миграций зоопланктона на кислородный режим оз. Байкал. Докл. АН СССР, **92**, № 1.
Ботинцев К. К. (1953в). О скорости регенерации биогенных элементов при разложении отмершей *Melosira baicalensis*. Докл. АН СССР, **102**, № 3.
Ботинцев К. К. (1954). Химический состав вод атмосферных осадков Прибайкалья. Докл. АН СССР, **95**, № 5.
Ботинцев К. К. (1954). Метод склянок и истинная продукция водорослей. Рукопись. Фонды Байкал. лимнолог. ст.
Ботинцев К. К. (1955а). Вертикальное распределение и сезонная динамика органического вещества в воде оз. Байкал. Докл. АН СССР, 101, № 2.
Ботинцев К. К. (1955б). Биохимическое потребление кислорода водой оз. Байкал. Докл. АН СССР, **102**, № 5.
Ботинцев К. К. (1955в). Пути миграции кремния в оз. Байкал. Тр. Всес. гидробиол. об-ва, т. 7.
Ботинцев К. К. (1956а). К гидрохимии залива Мухор на Байкале. Изв. Физ.-хим. ин-та при Иркутск. гос. ун-те, т. 4, вып. 1.
Ботинцев К. К. (1956б). Гидрохимия озер Байкала и Таганьики. Сравнительный обзор. Изв. АН СССР, серия геогр. (в печати).
Ботинцев К. К., Самарина А. В. (1957). Кислородный режим озера Байкал. Тр. Всес. гидробиол. об-ва, т. 8.
Ботинцев К. К. (1958). Некоторые итоги гидрохимических исследований оз. Байкал. Изв. Сибирск. отд. АН СССР, № 2.
Ботинцев К. К (1960). Главнейшие результаты гидрохимических исследований оз. Байкал. Тр. Третьего Всесоюзн. гидрологич. съезда, т. X.
Ботинцев К. К. (1960). О распространении вод. р. Селенги в оз. Байкал в летне-осенний период. Докл. АН СССР, **131**, № 3.
Гедройц К. К. (1933). Химический анализ почвы. М., Госсельхозиздат.

Гильзен К. К. (1915). Исследование грунта озер России. Материалы по исследованию грунта Байкальского озера. Изв. Русск. геогр. об-ва, т. 51, вып. 3.
Гортиков В. И. (1930). Гидрохимические исследования лета 1928 года в районе Байкальской биологической станции в Б. Котах. Изв. Биол.-геогр. ин-та при Иркутск. гос. ун-те, **4**, вып. 3—4.
Гортиков В. М. (1936). Применение электропроводности к исследованию воды р. Ангары и оз. Байкал. Зап. Гос. гидрол. ин-та, Л., Гидрометеоиздат, т. 15.
Горюнова С. В. (1952). Характеристика растворенных органических веществ в воде Глубокого озера. Тр. Ин-та микробиол. АН СССР, т. 2.
Горюнова С. В. (1954). Характеристика растворенных органических веществ в воде Белого озера. Тр. Ин-та микробиол. АН СССР, т. 3.
Грезе В. Н. (1951). Байкальские элементы фауны как акклиматизационный фонд. Тр. Всес. гидробиол. об-ва, т. 3.
Грушко Я. М. (1947). Микроэлементы в питьевой воде. Гигиена и санитария, № 5.
Грушко Я. М. (1948). Микроэлементы в питьевой воде. Гигиена и санитария, № 1.
Гусева К. А. (1947). Причины периодичности в развитии фитопланктона Учинского водохранилища. Бюлл. Моск. об-ва испыт. прир., отд. биол., т. 52, № 6.
Гусева К. А. (1951). Причины периодичности в развитии фитопланктона Учинского водохранилища. Санитарная характеристика водоемов. Тр. Акад. мед. наук СССР, т. 10.
Далматова Т. В. (1939). Наблюдения над температурой последнего слоя воды на Байкале весною 1932 г. Тр. Байкальск. лимнолог. ст., т. IX.
Дацко В. Г. (1940). Суточный ход кислорода и биомассы фитопланктона в Азовском море. Докл. АН СССР, **27**, № 1.
Дегопик И. Я. (1951). К вопросу о химическом составе воды некоторых притоков Байкала. Тр. Байкальск. лимнолог. ст., т. XIII.
Думитрашко Н. В. (1935). Геоморфология Прибайкалья. Проблемы Бурят-Монгольской АССР, т. 1.
Думитрашко Н. В. (1948). Основные вопросы геоморфологии и палеогеографии Байкальской горной области. Тр. Ин-та географии АН СССР, т. 42.
Думитрашко Н. В. (1949). Рельеф берегов Байкала и история его образования. В кн.: Г. Ю. Верещагин. «Байкал». М., Географгиз.
Думитрашко Н. В. (1952). Геоморфология и палеогеография Байкальской горной области. Материалы по геоморфологии и палеогеографии СССР. Тр. Ин-та географии АН СССР, т. 55, вып. 9.
Думитрашко Н. В. (1954). Рецензия на книгу В. В. Ламакина «Ушканьи острова и проблема происхождения Байкала». Вопросы географии, сб., **36**.
Дыбовский Б. И., Годевский В. (1870). Предварительный отчет о фаунистических исследованиях на Байкале. Отчет о действ. Изв. Сиб. отд. Имп. Русск. геогр. об-ва.
Дыбовский Б., Годлевский В. (1877). Отчет о занятиях в 1876 г. Изв. Сиб. отд. Имп. Русск. геогр. об-ва, т. 8, № 3—4.
Дыбовский Б., Годлевский В. (1897). Физико-географические исследования на Байкале в 1869—1870 гг. Тр. Вост.-Сиб. отд. Имп. Русск. геогр. об-ва, № 1 (Байкальский сб., вып. 1).
Зайков Б. Д., Белинков С. Ю. (1937). Средний многолетний сток рек СССР. Тр. Гос. гидрол. ин-та, вып. 2.
Захваткин А. А. (1932). К познанию суточных вертикальных миграций байкальского зоопланктона. Тр. Байкальск. лимнол. ст., т. II.
Зернов С. А. (1948). Общая гидробиология. М., Изд-во АН СССР.
Иванов К. И. (1948). Основные черты гидрохимического режима приустьевого пространства р. Волги и северной части Каспийского моря. Тр. Гос. океаногр. ин-та, вып. 4 (16).
Иванов Т. М. (1938). Байкальская нерпа, ее биология и промысел. Изв. Биол.-геогр. ин-та при Иркутск. гос. ун-те, **8**, вып. 1—2.
Карноухов А. С. (1936). К гидрохимии Баргузинского залива (по материалам экспедиции Биол.-геогр. ин-та Иркутск. гос. ун-та). Изв. Биол-геогр. ин-та при Иркутск. гос. ун-те, **7**, вып. 1—2.
Кленова М. В. (1931). Отчет о работе комиссии по механическому анализу при Гос. океаногр. ин-те (ГОИН). Бюлл. ГОИН, вып. 1.
Кожов М. М. (1947). Животный мир озера Байкал. Иркутск. Огиз.
Кожов М. М. (1954а). Современное состояние и очередные проблемы развития рыбного хозяйства БМАССР. В сб.: «Материалы по изучению производительных сил Бурят-Монгольской АССР», вып. 1.
Кожов М. М. (1954б). Вертикальное распределение планктона и планктоноядных рыб оз. Байкал. В сб.: «Вопросы ихтиологии», вып. 2.
Кожов М. М. (1955а). Новые данные о жизни толщи вод озера Байкал. Зоол. журн., № 1.
Кожов М. М. (1955б). Сезонные и годовые изменения в планктоне озера Байкал. Тр. Всес. гидробиол. об-ва, т. 6.

Кожова О. М. (1956). К биологии *Epischura baicalensis Sars* в оз. Байкал. Изв. Биол.-геогр. ин-та при Иркутск. гос. ун-те, **16**, вып. 1—4.
Книпович Н. М. (1938). Гидрология морей и солеватых вод. М., Пищепромиздат.
Князева Л. М. (1954а). Вивианит в донных илах озера Байкал. Докл. АН СССР, **97**, № 3.
Князева Л. М. (1954б). Осадкообразование в озерах влажной зоны СССР. Южный Байкал. В кн.: «Образование осадков в современных водоемах». (под редакцией Н. М. Страхова). М., Изд-во АН СССР.
Князева Л. М. (1957). Современные осадки южной части озера Байкал. Тр. Байкальск. лимнолог. ст., т. XV.
Концевич В. И. (1930). Химический режим р. Ангары. Изв. Биол.-геогр. ин-та при Иркутск. гос. ун-те, **5**, вып. 1.
Коренман И. М. (1936). Количественный микрохимический анализ. М., ОНТИ.
Коряков Е. А. (1955). О плодовитости и типе нерестовой популяции у голомянок (*Pisces, Comephoridae*). Докл. АН СССР, **101**, № 5.
Коряков Е. А. (1957). Первые данные по биостоку из озера Байкал. Изв. Вост. филиала АН СССР, № 7.
Крохин Е. М. (1939). Некоторые особенности зимнего термического режима литорали на Байкале. Тр. Байкальск. лимнолог. ст., т. IX.
Кузнецов С. И., Щербаков А. П. (1930). Некоторые физико-химические данные о Северном Байкале. Тр. Комиссии по изучению оз. Байкал, т. 3.
Кузнецов С. И. (1934). Сравнительное изучение азотного, фосфорного и кислородного режима Глубокого и Белого озер. Тр. лимнол. ст. в Косино, вып. 17.
Кузнецов С. И. (1945). Биологический метод оценки богатства водоема биогенными элементами. Микробиология, **14**.
Кузнецов С. И. (1951). Сравнительная характеристика биомассы бактерий и фитопланктона в поверхностном слое воды среднего Байкала. Тр. Байкальск. лимнолог. ст., т. XIII.
Кузнецов С. И. (1952). Роль микроорганизмов в круговороте веществ в озерах. М., Изд-во АН СССР.
Кузнецов С. И. (1955а). Использование радиоактивной углекислоты C^{14} для определения сравнительной величины фотосинтеза и хемосинтеза в ряде озер различных типов. В сб.: «Изотопы в микробиологии». М., Изд-во АН СССР.
Кузнецов С. И. (1955б). Использование радиоактивного углерода для определения величин фотосинтеза в водоемах. Доклады, представленные Советским Союзом на международную конференцию по мирному использованию атомной энергии.
Кузнецов С. И. (1957). Микробиологическая характеристика вод и грунтов Байкала. Тр. Байкальск. лимнолог. ст., т. XV.
Кузьмин А. И. (1936). Материалы к расчленению ледникового периода в Кузнецко-Алтайской области. Изв. Зап.-Сиб. отд. геол. комитет, т. 8, вып. 2.
Кулаков М. А. (1938). Коллоидные вещества в природных водах. Изв. АН СССР, сер. геогр. и геол., № 1.
Леванидова И. М. (1948). К вопросу о причинах несмешиваемости байкальской и палеарктической фаун. Тр. Байкальск. лимнолог. ст., т. XII.
Ламакин В. В. (1952). Ушканьи острова и проблема происхождения Байкала. М., Географгиз.
Лепнева С. Г. (1932). Термика, прозрачность, цвет и химизм воды Телецкого озера. Исследование озер СССР, вып. 9.
Лепнева С. Г. (1950). Жизнь в озерах. В кн. «Жизнь пресных вод СССР». М., Изд-во АН СССР, т. 3.
Лопатин Г. В. (1957). Приток поверхностных вод в Байкал. Тр. Байкальск. лимнолог. ст., т. XV.
Ляттн С. Я. (1932). Гидрохимический очерк озера Севан. Материалы по исслед. оз. Севан и его бассейна, ч. 4, вып. 2.
Мазепова Г. Ф. (1955). Вертикальное распределение байкальского циклопа *Cyclops baicalensis* в озере Байкал. Изв. Биол.-геогр. ин-та при Иркутск. гос. ун-те, **13**, вып. 2.
Максимович Г. А. (1948). Основы учения о гидрохимических фациях. Памяти акад. С. А. Зернова (сб. статей). М., Изд-во АН СССР.
Максимович Г. А. (1955). Химическая география вод суши. М., Географгиз.
Малюга Д. П. (1945). К содержанию меди, никеля, кобальта и других элементов семейства железа в природных водах. Докл. АН СССР, **37**, № 2.
Малюга Д. П. (1946). К геохимии рассеянных никеля и кобальта в биосфере. Тр. Биогеохим. лаб. АН СССР, т. 8.
Мартинсон Г. Г. (1936). Распределение спикул губок в скважине глубокого бурения у с. Посольское на Байкале. Докл. АН СССР, **4**, вып. 6.
Мартинсон Г. Г. (1938). Ископаемая спонгиофауна третичных отложений Прибайкалья. Докл. АН СССР, **21**, № 4.
Мартинсон Г. Г. (1940). Материалы к исследованию ископаемой микрофауны Прибайкалья. Тр. Байкальск. лимнол. ст., т. X.

Мартинсон Г. Г. (1948). Остатки животных организмов в донных отложениях Байкала. Докл. АН СССР, **59**, № 2.
Мартинсон Г. Г. (1951). Третичная фауна моллюсков Восточного Прибайкалья. Тр. Байкальск. лимн. ст., т. XIII.
Мартинсон Г. Г. (1954). Зоологический анализ донных отложений Байкала. Тр. Байкальск. лимнолог. ст., т. XIV.
Менделеев И. Д. (1935). Об аномальной плотности глубинных вод Байкала. Докл. АН СССР, **3**, № 3.
Мейер К. И. (1930). Введение во флору водорослей озера Байкал. Бюлл. Моск. об-ва испытат. прир., отд. биол., т. 39, вып. 3—4.
Мессинева М. А. (1957). Биогеохимическое исследование глубоководных осадков Байкала. Тр. Байкальск. лимнолог. ст., т. XV.
Методика химического анализа питьевых и сточных вод. М., Изд. Санит. ин-та им. Ф. Ф. Эрисмана, 1938.
Мишарин К. И. (1949). Промысел и воспроизводство рыбы на Байкале. Иркутск, Иркутское книжное изд-во.
Нечаева Н. В., Салимовская-Родина А. Г. (1935). Микробиологический анализ грунтов Байкала. Тр. Байкальск. лимнолог. ст., т. VI.
Обручев В. А. (1915). Алтайские этюды. Землеведение, кн. 3. М., изд. МОИП
Обручев В. А. (1916). Происхождение Телецкого озера. Природа, № 2.
Обручев В. А. (1914). Орфографический и геологический очерк Юго-Западного Забайкалья (Селенгинской Даурии). Отчет об исслед. 1895—1898 гг. Геол. исслед. и развед. работы по линии Сиб. жел. дор., вып. 22.
Обручев В. А. (1938). Геология Сибири. М., Изд-во АН СССР, т. 3.
Обручев В. А. (1953). Положение и происхождение впадины оз. Байкал. Тр. Иркутск. гос. ун-та, серия геол., т. 9.
Осипов С. К. (1939). Наблюдения над интенсивностью фотосинтеза и дыхания в водной массе озера. Бюлл. Моск. об-ва испыт. прир., отд. биол. т. 48, № 2—3.
Павловский Е. В., Цветков А. И. (1936). Северо-Западное Прибайкалье. Изв. АН СССР, серия геол., № 3.
Павловский Е. В. (1937). Впадина озера Байкал. Изв. АН СССР, серия геол., № 2.
Павловский Е. В. (1941). Проблема происхождения впадины озера Байкал. Природа, № 3—4.
Павловский Е. В. (1948). Сравнительная тектоника мезозойских структур Восточной Сибири и великого рифта Африки и Аравии. Изв. АН СССР, серия геол., № 5.
Перетолчин С. П. (1902). Озеро Косогол. Тр. Казанск. об-ва естествоисп., т. 53.
Пресняков Е. А. (1940). Палеогеографические условия происхождения Байкала. Тр. Байкальск. лимнолог. ст., т. X.
Помыткин Б. А. (1955). Сгонно-нагонная денивеляция уровня южной части озера Байкал. Автореферат кандидатской диссертации. Байкальск. лимнолог. ст., АН СССР.
Пономарева В. В. (1947). О методах выделения и химической природе фульвокислот. Почвоведение, № 12.
Пономарева В. В., Эттингер А. И. (1953). О природе органического вещества, растворенного в невской воде. Докл. АН СССР, 88, № 1.
Пономарева В. В., Эттенгер А. И. (1954). К характеристике органического вещества, растворенного в невской воде. Ж. прикладн. химии, **27**, № 7.
Ратеев М. А. (1952). Глинистые минералы в донных осадках Южного Байкала. Докл. АН СССР, **82**, № 6.
Родина А. Г. (1954). Бактерии в продуктивности каменистой литорали озера Байкал. Проблемы гидробиологии внутренних вод. Сб статей, вып. 2.
Россолимо Л. Л. (1957). Температурный режим озера Байкал. Тр. Байкальск. лимнолог. ст., т. XVI.
Сакс В. Н. (1950). О скорости накопления современных морских осадков. Природа, № 6.
Самарина А. В. (1954). О круговороте органического вещества в водах залива Мухор Малого Моря на озере Байкал. Тр. физ.-хим. ин-та при Иркутск. гос. ун-те, т. 5.
Самарина А. В. (1956). Некоторые данные о продукции кислорода фотосинтеза в водных массах озера Байкал. Тр. Всес. гидробиол. об-ва, т. 10.
Самойлов Я. В., Рожкова. (1925). Отложения кремнезема органического происхождения. Тр. Ин-та прикладной минералогии АН СССР, т. 18.
Селиванов Л. С. (1946). Геохимия и биогеохимия рассеянного брома. Тр. биогеохим. лаб. АН СССР, т. 8.
Скабичевский А. П. (1929). К биологии *Melosira baicalensis*. Русск. гидробиол. журн., т. 8, № 4—5.
Скадовский С. Н., Коршиков А. А., Амлинский И. Е., Брюхатова А. Л. (1938). Биология планктона и физико-химический режим Петровских озер Оршанского торфяника Московской области. Зоол. ж., **12**, вып. 3.
Скопинцев Б. А. (1938). О скорости регенерации биогенных элементов (N, P) при бактериальном разложении планктонных организмов. Микробиология, **7**, вып. 6.

Скопинцев Б. А., Брук Е. С. (1940). Исследование регенерации соединений азота и фосфора при разложении отмершего фитопланктона. Докл. АН СССР, **26**, № 8.
Скопинцев Б. А. (1947). О скорости разложения органического вещества отмершего планктона. Докл. АН СССР, **58**.
Скопинцев Б. А. (1950). Органическое вещество природных вод. Тр. гос. океаногр. ин-та, т. 17.
Слободчиков Б. Я. (1951). Гидрохимический режим озера Севан по данным 1947—1948 гг. Тр. Севанск. гидробиол. ст., т. 12.
Слободчиков Б. Я. (1951). Подледный гидрохимический режим озера Севан 1949 г. и его рыбохозяйственная оценка. Тр. Севанск. гидробиол. ст., т. 12.
Слободчиков Б. Я. (1955). Кислородный режим озера Севан. Тр. Севанск. гидробиол. ст., т. 14.
Слободчиков Б. Я. (1955). Проблема азота в водах оз. Севан. Тр. Севанск. гидробиол. ст., т. 14.
Соколов Н. И. (1952). Гидрография СССР (воды суши). Л., Гидрометеоиздат.
Справочник по водным ресурсам СССР. Лено-Енисейский район. Л., Изд-во ЦУЕГМС, **16**, вып. 1, 1936.
Страхов Н. М. (1948). Распределение железа в осадках озерных и морских водоемов и факторы его контролирующие. Изв. АН СССР, серия геол., № 4.
Стройкина В. Г. (1953). Фитопланктон пелагиали озера Севан. Тр. Севанск. гидробиол. ст., т. 13.
Талиев Д. Н. (1948). К вопросу о причинах и темпах дивергентной эволюции байкальских *Cottoidea*. Тр. Байкальск. лимнолог. ст., т. XII.
Талиев Д. Н. (1955). Бычки подкаменщики Байкала. М., Изд-во АН СССР.
Талиев Д. Н., Коряков Е. А. (1947). Потребление кислорода байкальскими *Cottidae*. Докл. АН СССР, **58**, № 8.
Толмачев В. А. (1954). Сводный отчет по гидрохимическому режиму оз. Байкал. Байкальск. лимнолог., ст., ч. 1 и 2.
Толмачева А. П. (1954). Сводный отчет по изучению гидрохимического режима притоков Байкала. Байкальск. лимнолог. ст., ч. 1 и 2.
Толмачев В. А. (1957). Некоторые гидрохимические показатели внутреннего водообмена в Байкале. Докл. АН СССР, **113**, № 3.
Толмачев В. А. (1957). О сезонных колебаниях растворенного кислорода на больших глубинах Байкала. Докл. АН СССР, **113**, № 2.
Томилов А. А. (1954). Материалы по гидробиологии некоторых глубоководных озер Олекмо-Витимской горной страны. Тр. Иркутск. гос. ун-та, серия биол., т. II.
Тюрин И. В. (1947). Органическое вещество почвы. М., Сельхозгиз.
Тюрин И. В. (1951). К методике анализа для сравнительного изучения состава почвенного перегноя или гумуса. Тр. Почв. ин-та АН СССР, т. 38.
Федоров С. С. (1935). Исследования грунтов Байкальского озера (Чивыркуйский и Баргузинский заливы). Изв. Биол.-геогр. ин-та при Иркутск. ун-те, **6**, вып. 2—4.
Федынский В. В. (1951). Гравитационная характеристика предгорных и межгорных впадин в геосинклиналях. Сб. памяти акад. Архангельского. М., Изд-во АН СССР.
Форш Б. Н. (1930). Физико-химические свойства воды бассейна речки Маритуйки на Байкале. Тр. Второго Всес. гидролог. съезда, т. 3.
Форш Т. Б. (1930). Химический состав притоков южной части Байкала. Тр. Второго Всес. гидролог. съезда, т. 3.
Форш Т. Б. (1931). К вопросу о химическом составе воды притоков оз. Байкал. Тр. Байкальск. лимнолог. ст., т. I.
Форш Б. Н. (1954). Солевой сток реки. Опыт теоретического анализа. Тр. Байкальск. лимнолог. ст., т. XIV.
Форш Л. Ф. (1957). Особенности термического режима поверхности воды Байкала. Тр. Байкальск. лимнолог. ст., т. XV.
Франк-Каменецкий А. Г., Ваксберг Н. М. (1925). Исследование воды Байкала и реки Слюдянки. Иркутск. мед. журн., **3**, № 1—2.
Франк-Каменецкий А. Г. (1929). Жир байкальского тюленя (Phocha sibirica). Докл. АН СССР, серия А.
Шамов Г. И. (1949). Сток взвешенных наносов рек СССР. Тр. Гос. гидролог. ин-та, вып. 20 (74).
Ширшов П. П. (1934). Жизнь полярного моря. Поход Челюскина, М., Изд. Главсевморпути, т. 1.
Шулейкин В. В. (1938). **Физика моря, ч. 2.**
Черский И. Д. (1881). Предварительный отчет о геологическом исследовании береговой полосы оз. Байкал. Изв. Вост.-Сиб. отд. Имп. Русск. геогр. об-ва, т. 12, № 2 и 3.
Цурикова А. П. (1954). Некоторые данные о химическом режиме рек Голоустной и Култучной. Тр. Байкальск. лимнолог. ст., т. XIV.

Щербаков А.П. (1935). О поглощении кислорода некоторыми планктонными ракообразными. Тр. лимнол. ст. в Косино, т. 19.
Яковлев С.А. (1916). О происхождении Телецкого озера. Изв. Русск. геогр. об-ва, т. 2, вып. 6.
Янко А.П. (1953). К гидрохимической характеристике притоков юго-западной части оз. Байкал. Изв. физ.-хим. ин-та при Иркутск. гос. ун-те, т. 3, вып. 1.
Яснитский В.Н., Бланков Б., Гортиков В.М. (1927). Отчет о работах Байкальской биологической станции при Иркутском биолого-географическом институте за 1926—1927 гг. Изв. Биол.-геогр. ин-та при Иркутск. гос. ун-те, **3**, вып. 3.
Яснитский В.Н. (1930). Результаты наблюдений над планктоном Байкала в районе Биологической станции за 1926—1928 гг. Изв. Биол.-геогр. ин-та при Иркутск. гос. ун-те, **4**, вып. 3—4.
Яснитский В.Н. (1934). Планктон северной оконечности Байкала. Изв. Биол.-геогр. ин-та при Иркутск. гос. ун-те, **6**, вып. 1.
Athkins W. (1922). The Hydrogene ion concentration of the sea water in ist relation to photosyntetic changes. J. Marine Biol. Assoc. U. K., **12**, N 4.
Beanchamp R. (1939). Hydrology of Lake Tanganyika. Inernat. Rev. Hydrobiol., **39**, H. 3/4.
Beanchamp R. (1940). Chemistry and hydrography of Lakes Tanganyika and Nyasa. Nature, **157**, N 3981.
Benchamp R. (1946). Lake Tanganyika. Nature, **157**, N 3981.
Fickeler P. (1927). Der Baikalsee. Naturwissenschaften, **15**, N 1—2.
Frank-Kameneckij A., Koucevic V. (1926a). Das Wasser des Selenga-Flusses. Докл. АН СССР, серия А-6.
Frank-Kameneckij A., Koucevic V. (1926б). Hydrochemische Untersuchung des Wassers des Baikalsees. Докл. АН СССР, серия А—7.
Frank-Kamenecki A., Koucevic V. (1927). Hydrochemische Untersuchungen der wichtigsten Zuflüsse des Baikalsees. Докл. АН СССР, серия А—14.
Gillman C. (1933). The hydrology of Lake Tanganyika. Tanganyika Territory. Geol. Surv. Dept. Bull. N 5.
Granö J. (1947). Les formes du relief dans l'Altai Russe et leur genese.
Grim J. (1949). Die Produktionsleistung unserer Seen. Allgem. Tischererei-Ztg, **74**.
Grim J. (1951). Eine Vergleich der Productionsleistung des Bodensee-Untersees, der Obersees und des Sckleinsees. Abhandl. Fischerei, **4**.
Gunnington A. (1929). The Fauna of the African Lakes. Proc. Zool. Soc., London.
Halbfass W. (1928). Der Baikal und der Tanganyika, die beiden tiefsten Seen der Erde. Geogr. Z., **34**.
Johansen H. (1925). Der Baikalsee. Physiographischer und Biogeographischer Überblick. Mitteil. Geogr. Ges. München, 18, H. 1.
Kreps E., Verjbinskaja N. (1932). The consumption of Nutrient salts in the Barents Sea. J. 7, N 1.
Kufferath J. (1952). Le milien biochimique dans Exploration hydrobiologique du lac Tanganika (1946—1947). Resultats scientifiques, 1.
Lund J. (1954). The seasonal cycle of the plankton cliatom. Melosira italica Kutz. subsp. subarotica O. Müll. J. Ecol., **43**, N 1.
Marquardsen H. (1916). Die Seen Tanganjika. Moero, Bangweolo. Mitt. Deutsch. Sch., **29**
Schmidt C. (1818). Hydrologische Untersuchungen. 82. Das Wasser des Baikalsees, Bull. Acad. Imp. Sci. SPb., **24**.
Symoens J.J. (1956). Le lac Tanganika. Naturalistes belges, **37**, N 11—12.
Stappers L. (1914). Recherches bathymetrique sur les lacs Moero et Tauganika. Ann. biol. lacustre, t. VII.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие 3

Введение 5

Глава I. **Основные физико-географические и геологические данные о Байкале** 10

Глава II. **Краткий очерк температурного режима Байкала** 15

Глава III. **Химический состав атмосферных осадков, выпадающих на поверхность Байкала** 24

Глава IV. **Гидрохимическая характеристика притоков Байкала** 31

1. Река Селенга 32
2. Река Верхняя Ангара 40
3. Река Баргузин 43
4. Река Турка 44
5. Малые притоки Байкала 48

Река Тыя 49
Река Давша 50
Река Бугульдейка 53
Река Голоустная 53
Реки Восточного побережья Южного Байкала 55
Реки Западного побережья Южного Байкала 69

6. Общая гидрохимическая характеристика притоков Байкала 71
7. Химический сток притоков Байкала 74

Глава V. **Вертикальное распределение, сезонные и суточные изменения отдельных ингредиентов в водах открытого Байкала** 79

1. Кислород 79
2. Свободная углекислота 96
3. Активная реакция 101
4. Фосфатный фосфор 107
5. Азот аммиачный, нитритный и нитратный 114
6. Кремний 116
7. Железо 124
8. Марганец 126
9. Кальций 127
10. Магний 129
11. Натрий и калий 129
12. Гидрокарбонаты 130
13. Сульфаты и хлориды 132
14. Общее содержание органического вещества 132
15. Перманганатная окисляемость 134
16. Биохимическое потребление кислорода 148
17. Электропроводность 150
18. О содержании некоторых более редких и рассеянных элементов . . 151

Глава VI. **Химический состав донных отложений Байкала** 153

Глава VII. **Химический состав придонных слоев воды и грунтовых растворов Байкала** 163

Глава VIII. **Общая гидрохимическая характеристика открытого Байкала** . . 171

Глава IX. **Гидрохимическая характеристика основных обособленных участков Байкала (заливы, бухты, соры-лагуны и губы)** 179

1. Малое Море 179
2. Баргузинский залив 193
3. Чивыркуйский залив 195
4. Посольский сор 198
5. Залив Провал 201
6. Селенгинское мелководье 205
7. Северобайкальский сор 207
8. Губы открытого Байкала 208

Глава X. **Вертикальная гидрохимическая зональность открытого Байкала** . . 210

Глава XI. **Материалы к химическому балансу Байкала** 221

Глава XII. **Динамика соединений азота и фосфора в водах Байкала** . . . 227

1. Регенерация соединений биогенных элементов при разложении отмершей епишуры 229
2. Регенерация биогенных элементов при разложении отмершей мелозиры . 232
3. О соотношениях нитратного азота и фосфатного фосфора в водах Байкала 235
4. Общее заключение о динамике соединений азота и фосфора в водах Байкала 239

Глава XIII. **Пути миграции кремния в Байкале** 242

1. Губки (*Porifera*) как потребители кремния в воде Байкала 245
2. Роль диатомовых водорослей в круговороте кремния в Байкале . . . 246

Глава XIV. **О круговороте органического вещества в водах Байкала** . . . 249

1. Горизонтальное распределение органического вещества в водах Байкала 249
2. Об устойчивости органического вещества байкальских вод к окислению . 250
3. Некоторые данные о физико-химической природе органического вещества байкальских вод 251
4. *К балансу органического вещества в Байкале* 253

Глава XV. **О круговороте кислорода в Байкале** 261

1. Роль фитопланктона в кислородном балансе Байкала 262
2. Роль донных макрофитов в кислородном режиме Байкала 262
3. О роли зоопланктона в кислородном режиме Байкала 263
4. Потребление кислорода рыбами Байкала 266
5. Потребление кислорода донными беспозвоночными Байкала 268
6. Роль биохимического потребления кислорода в общем кислородном балансе Байкала 269
7. Общее заключение о кислородном балансе Байкала 271

Глава XVI. **Сравнительный гидрохимический обзор Байкала и некоторых крупных озер земли** 273

1. Озеро Косогол (Хубсугул) 275
2. Озеро Орон 277
3. Озеро Телецкое 280
4. Озеро Танганьика 284
5. Озеро Севан 289
6. Общее заключение 294

Заключение 297

Литература 302

Константин Константинович
Вотинцев

Гидрохимия озера Байкал

Утверждено к печати
Восточно-Сибирским филиалом
Сибирского отделения Академии наук СССР

Редактор издательства *Н. С. Багина*
Технический редактор *О. Г. Ульянова*

РИСО АН СССР № 3-110В Сдано в набор 6/I 1961 г.
Подписано к печати 28/IV-1961 г. Формат 70×108¹/₁₆ печ. л. 19¹/₂
усл. печ. л. 26,72 уч.-издат. л. 24,7 Тираж 1000 экз. Т-05431
Изд. № 4849 Тип. зак. 3652

Цена 1 руб. 93 коп.

ИСПРАВЛЕНИЯ И ОПЕЧАТКИ

Стр.	Строка	Напечатано	Должно быть
6	16 сн.	Лиственичный	Лиственка
21	22 св.	табл. 2	табл. 1
39	12 сн.	50	500
101	11 св.	углекислоты	углекислотой
125	10 св.	ее до объема	ее объема
160	26 сн.	на	из
221	13 сн.	процесс	процессе
228	13 сн.	0—25	0—250
256	Таблица	зообентоса	зообентоса на 1 $м^2$
256	таблица, графы 2, 4, 6, 8	поверхность	1 $м^2$ поверхности
270	1 сн.	. В связи	, в связи
276	9 сн.	иной	
282	22 сн.	его	ее
283	24 сн.	нагревание	прогревание

К. К. Вотинцев.