551.4
ST191

АКАДЕМИЯ НАУК СССР

М. Н. Тарасов

ГИДРОХИМИЯ ОЗЕРА БАЛХАШ



ИЗДАТЕЛЬСТВО АКАДЕМИИ НАУК СССР
МОСКВА 1961

551.4 89140
КТ19I Тарасов М.Н.
Гидрохимия озера
Балхаш. 1961. 1р35

АКАДЕМИЯ НАУК СССР

ГИДРОХИМИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
(Новочеркасск)

551.4
КТ191

М. Н. Тарасов

ГИДРОХИМИЯ ОЗЕРА БАЛХАШ

89140

ИЗДАТЕЛЬСТВО АКАДЕМИИ НАУК СССР
МОСКВА
1961

551.46 +551.48+551.49+577.472

ОТВЕТСТВЕННЫЙ РЕДАКТОР
член-корреспондент АН СССР
О. А. АЛЕКИН

ОБРАБОТАНО

ОТ РЕДАКТОРА

На территории нашей страны находится много больших озер, некоторые из них являются крупнейшими в мире. Рациональное использование этих водоемов представляет огромное значение для народного хозяйства, в частности, для навигации, энергетики и рыбного промысла, водоснабжения и других целей. Поэтому естественно стремление исследователей к всестороннему изучению озер и познанию их особенностей.

Можно с удовлетворением отметить, что в настоящее время все крупные озера Советского Союза в той или иной мере затронуты исследованиями. Степень их изученности, разумеется, далеко не одинакова. Так, озера Таймырское, Ханка и Зайсан весьма скупо освещены в литературе, в то время как по крупнейшим советским озерам — подлинным морям — Каспию и Байкалу имеется богатейший материал. Кроме того, не для всех озер собранный материал систематизирован и обобщен в виде монографий. Примером первого всестороннего монографического обобщения материалов является работа старейшего русского озероведа Л. С. Берга «Аральское море» (1908). За последние 20 лет вышли из печати монографические описания озер Телецкого, Чудского, Ладожского, Онежского, Иссык-Куля.

Среди других крупных озер нашей страны, имеющих большое народнохозяйственное значение, следует особо отметить оз. Балхаш, которое в течение долгого времени оставалось недостаточно изученным. Несмотря на многочисленные посещения его рядом путешественников и исследователей в прошлом, более или менее обстоятельных работ, всесторонне характеризующих это озеро, не было опубликовано. Начиная с 1930 г., был собран значительный материал по гидрографии, гидрологии, гидробиологии и гидрохимии оз. Балхаш, однако полученные данные оказались чрезвычайно неоднородными, а нередко и разноречивыми. Бóльшая часть собранных материалов по оз. Балхаш вообще не была опубликована.

Много неясностей было в области гидрохимии, своеобразие которой представляет одну из наиболее интересных особенностей озера. Прежде всего поразительным фактом, или даже, как его называл Л. С. Берг, «географическим парадоксом», является присутствие столь мало минерализованного (0,5—5,5 *г/л*) озера в условиях засушливого пустынного климата этой части Казахстана. Последнее обстоятельство в свое время вызвало в литературе целую дискуссию и для ее объяснения было высказано немало различных предположений, основанных преимущественно на изменении климатических и геологических условий.

Второй особенностью химического состава воды озера является ярко выраженная неоднородность ионного состава воды по длине, связанная с воздействием испарения, вытянутой формой озера и опресняющим действием р. Или. Эта неоднородность представляет классический пример постепенного изменения ионного состава воды, метаморфизирующегося при увеличении минерализации.

Наконец, третьей особенностью является редко наблюдающаяся для современных водоемов способность образования доломитов. Этот процесс имеет большое значение для изучения осадкообразования, для целей сравнительной литологии и вызывает сейчас большие разногласия.

Чрезвычайно велико значение оз. Балхаш для народного хозяйства Казахстана. Озеро является основным источником водоснабжения промышленного Прибалхашья и транспортной магистралью. Оно также широко используется для рыбного промысла, играющего значительную роль в экономике края; кроме того, на озере процветает ондатровый промысел.

Особенно остро ставится вопрос об изучении оз. Балхаш в последние годы при проектировании Капчагайской ГЭС и предполагаемом частичном изъятии стока р. Или для наполнения Капчагайского водохранилища и орошения Приилийской долины. При сокращении притока вода озера, и без того близкая по своей минерализации к допускаемому пределу, может оказаться непригодной для водоснабжения. Но прогноз возможной минерализации воды и связанный с этим выбор наиболее благоприятного варианта проекта строительства затруднялся не только малой изученностью химического состава оз. Балхаш, но и недостаточностью сведений по ряду других гидрологических характеристик.

Данная работа возникла именно в связи с поставленными практикой задачами. Для прогноза будущей минерализации воды оз. Балхаш потребовалось решить ряд вопросов общего характера. Надо было обобщить сведения по картографии, пересмотреть водный баланс озера, условия водообмена между отдельными частями озера, собрать материал по гидрогеологии бассейна и, наконец, по-новому рассмотреть все сведения по химии воды, дополнив их собственными исследованиями.

В результате многолетней работы, наряду с успешным решением практически важной задачи, был собран и обобщен большой разносторонний, ценный материал по оз. Балхаш, послуживший основой для составления настоящего труда. Это придает ему характер работы, выходящей за рамки обычного гидрохимического очерка, и приближает его к озероведческой монографии. В этом несомненная ценность данной работы.

Наиболее подробной в монографии является гидрохимическая часть, в которой рассматривается химический состав воды озера, причины его неоднородности на различных участках последнего, гидрохимический режим и генезис состава. Эта часть составлена главным образом по собственным материалам автора, лично совершившего четыре экспедиционные поездки на место, во время которых озеро было покрыто густой сетью разрезов, на которых изучался химический состав воды. Именно этот материал позволил серьезно подойти к составлению современного солевого баланса озера. Автор правильно решает «географическую загадку» малой минерализации воды оз. Балхаш, видя ее в потере солей при колебаниях уровня, в результате чего соли, выделившиеся в своеобразных миниатюрных «карабогазголах», развеиваются или погребаются отложениями. Возможны также потери солей и вблизи береговой полосы.

Подсчет количества солей, приносимых с грунтовым питанием, является наиболее трудным вопросом в химии оз. Балхаш (и, в частности, при составлении его солевого баланса). Автор хотя и решает его, но, пожалуй, именно эта сторона баланса наиболее нуждается в уточнении.

В работе, в пределах имеющегося материала, затронуты все стороны химии озера, в частности, впервые в литературе приводятся сведения о содержании в воде элементов рассеяния (микроэлементов) биогенных веществ, величин окисляемости. Сложность гидрохимических особенностей оз. Балхаш несомненно потребует в дальнейшем новых исследований, которые позволят уточнить некоторые еще не совсем ясные стороны его режима. Но несомненно то, что данная работа,основанная на новых обширных исследованиях, автора с привлечением старых, большей частью еще не опубликованных материалов, является ценным вкладом в изучение химии наших крупных озер, заполняя пробел, который существовал для оз. Балхаш.

О. А. Алекин

ВВЕДЕНИЕ

Озеро Балхаш, расположенное в центральной части Азиатского материка и занимающее по своей величине третье место среди других водоемов Азиатской части СССР (после Аральского моря и Байкала), до недавнего времени было изучено сравнительно мало. Многовековая оторванность от главных проезжих дорог, резко континентальный климат в сочетании с пустынным ландшафтом, отсутствие видимых природных богатств и чрезвычайно низкая плотность оседлого населения — служили этому причиной.

Между тем в Прибалхашье заключены неисчерпаемые богатства, однако обнаружить и освоить их стало возможным только при советской власти. Крупнейшие месторождения меди, открытые на северном берегу озера в 1928 г., послужили базой для строительства Балхашского медеплавильного завода, дающего ныне самую дешевую медь. Кроме меди, здесь добывают свинец, олово, цинк и другие металлы. Организация в этом районе разработки полиметаллических рудных месторождений и развитие металлургии цветных металлов обусловили приток сюда и соответствующей рабочей силы. Здесь возник и разросся г. Балхаш, насчитывающий ныне до сорока тысяч населения. Северное Прибалхашье также богато неметаллическими ископаемыми — гранитами, порфирами, кварцитами, известняками, огнеупорными и цветными глинами и т. д. В Прибалхашских озерах добывают поваренную соль и тенардит. На побережье озера построены два рыбных завода и созданы десятки рыболовецких колхозов. Ежегодно в озере вылавливают 100—150 тыс. *ц* рыбы, причем улов сазана составляет более 25% всей его добычи в СССР. В дельтах рек, впадающих в озеро, Государственное ондатровое хозяйство заготавливает миллионы шкурок ондатры, славящейся ценностью своего меха (300 экз. ее было завезено в 1927 г. из Северной Америки). В низовьях рек успешно развивается сельское хозяйство. Главным образом отсюда снабжается г. Балхаш и другие пункты Прибалхашья огородными и бахчевыми культурами. Озеро служит дешевым водным путем, связывающим между собой различные пункты побережий, а также Карагандинскую железную дорогу с Турксибом.

Все перечисленные отрасли народного хозяйства в той или иной форме непосредственно связаны с ресурсами оз. Балхаш. Громадное значение этого водоема для экономики Прибалхашья становится еще более очевидным, если учесть, что озеро до сих пор остается основным источником водоснабжения населения, предприятий и транспорта [1]. В связи с этим не менее очевидной становится и необходимость изучения химического состава воды, а также различных химических превращений, влияющих на ее состав. Эта необходимость стала особенно острой в связи с предполагаемым сооружением Капчагайского водохранилища на р. Или — этой «кормилице и поилице» оз. Балхаш, дающей около 70% всего стока в озеро. Изъятие части стока Или вызовет из-за наличия высокого испарения значительное падение уровня воды в оз. Балхаш, а это в свою очередь, при отно-

[1] В дальнейшем предполагается также снабжать балхашской водой предприятия, строящиеся на расстоянии 80—100 *км* от озера.

сительно малых глубинах озера, окажет сильное влияние на увеличение ее минерализации. Если при этом принять во внимание, что существующая в настоящее время минерализация западной части озера и так относительно велика (на севере она достигает 2,0 *г/кг*), то становится понятной необходимость учета тех изменений состава воды озера, которые произойдут после сооружения Капчагайской плотины.

По ряду признаков оз. Балхаш является уникальным водоемом не только в нашей стране, но и среди других водоемов земного шара, в частности, по резкой неоднородности состава воды по акватории. Сравнительно невысокая минерализация воды озера, расположенного среди пустынь и не имеющего истока, дало основание Л. С. Бергу (1904) считать его «географическим парадоксом». Озеро Балхаш является одним из немногих водоемов, в котором и поныне происходит образование доломита. Перечисленные обстоятельства придают всестороннему изучению озера большой теоретический интерес.

К сожалению, опубликованная литература по гидрохимии этого озера крайне ограниченна. Между тем в архивах различных учреждений имеется довольно обширный материал, содержащий результаты химического анализа многих проб воды, отобранных из озера в различных его пунктах на протяжении последних 25 лет. Часть этих данных была сосредоточена в ведомственных архивах различных учреждений Ленинграда и Москвы (ВНИОРХ, ГГИ и др.) и затем систематизирована Ленинградским отделением Гидроэнергопроекта (Н. М. Бененсон). Однако эти материалы имели существенный недостаток, так как были получены различными исследователями в соответствии с разнообразными задачами, стоявшими перед ними. Отсутствие синхронности в отборе проб воды для химического анализа, единой методики, а также полноты анализа, слабая изученность отдельных районов озера значительно снизили ценность, осложнили обработку и затруднили использование этого материала для более или менее полной гидрохимической характеристики озера в настоящем и ее изменении в будущем в связи с зарегулированием Или.

В связи с этим Гидрохимическим институтом Академии наук СССР с 1955 по 1958 г. на оз. Балхаш и в Прибалхашье было проведено несколько полевых исследований, а также собран архивный материал по гидрохимии озера в различных учреждениях Казахской ССР (Балхашский медеплавильный завод, санэпидстанция г. Балхаш, Институты энергетики и зоологии Академии наук Казахской ССР, Управление Туркестано-Сибирской ж. д.). В настоящей работе изложены как эти данные, так и обобщенные результаты всех известных нам предшествующих гидрохимических исследований, находящихся в опубликованной литературе и архивах.

Автор приносит глубокую благодарность члену-корреспонденту Академии наук СССР О. А. Алекину за ценные указания, сделанные им как во время работы, так и при редактировании рукописи.

Глубокую признательность автор выражает всему коллективу Балхашского отделения ВНИОРХ в частности, его директору С. Н. Иванову за большую дружескую помощь, оказанную при выполнении полевых работ, а также старшим лаборантам Гидрохимического института А. И. Фоминой и А. В. Кадомцевой, обеспечившим выполнение значительной части аналитической работы.

Считаю своим долгом горячо поблагодарить также капитана И. Ф. Скобычкина, прекрасно знающего озеро и трижды плававшего с автором.

Глава I

ОБЗОР ПРЕДШЕСТВУЮЩИХ ГИДРОХИМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Обзор физико-географических и естественно-исторических исследований, проводившихся в бывшем Туркестане с древних времен, можно найти в ряде опубликованных работ (Богданов, 1875; Мушкетов, 1886; Шнитников, 1925; Аболин, 1930; Домрачев, 1933). Считая излишним повторять последнее, отметим только, что по сравнению с другими районами Балхаш и Прибалхашье посещались исследователями и путешественниками очень редко, в результате чего до начала текущего столетия даже элементарные сведения об озере и особенно о его гидрохимии были крайне скудны и противоречивы. Мы ограничимся только обзором гидрохимических исследований, который в хронологическом порядке приводится ниже.

Первые сведения о качестве воды оз. Балхаш относятся к середине XIII столетия. В 1253 г. французский король Людовик IX для обращения татарского хана в христианство посылает к нему миссионера Вильгельма де Рубрука, представившего королю отчет о своих «отдаленных странствиях». О юго-восточной части озера он писал: «...оно казалось нам столь бурным, как океан. И мы видели на нем большой остров. Мой товарищ приблизился к его берегу и помочил в нем льняную ткань, чтобы отведать вкус воды, она была солоновата, но все же пригодна для питья» (Иоан де Плано-Карпини, 1911, стр. 1—12).

По свидетельству мусульманского историка Мухамеда Хайдера (Берг, 1904) вода озера в XVI столетии была пресной.

Сведения, относящиеся к XIX в., также не выходят за рамки качественной оценки воды. С. П. Гагарин (1843) сообщает, что вода озера красная и пригодная к употреблению. И. Ефимовский пишет: «Вода во время спокойного состояния поверхности озера вкусом несколько солоноватая, однакож годна в пищу, когда же ветры взволнуют ее, она делается горько-соленою и тогда вовсе не годна к употреблению» (1855, стр. 74—75).

В. Кузнецов (1856) оценивает воду как пресную, в заливах же и на отмелях — как горько-соленую. По П. Семенову: «Вода Балхаша прозрачна, но солоновата и не годна для питья» (1863, стр. 208); этого же мнения придерживается и Бабков (1867). В. Фишер впервые и причем правильно указывает на неоднородность солености по длине озера. «Вода в Балхаше,— писал он,—вообще солоновата, но соленость ее весьма различна в разных местах. Близ устьев Или и далее к северу, по всей широкой юго-западной части, она почти совершенно пресная и вполне пригодна для питья и пищи; к востоку, по мере сужения озера, соленость воды увеличивается и в крайней северо-восточной части она уже совершенно солена и негодна к употреблению. В крайней южной части озера, т. е. в заливе Ала-Куль, вода до того солена, что дикие животные, утоляя ею нестерпимую жажду в сильную жару, нередко издыхают от того» (1883, стр. 13).

В 1884 г. А. М. Никольский (1885) с целью зоологического исследования озера обследовал северное его побережье от р Аягуз до урочища

Дересин, а также юго-восточное от Аягуз до устья Лепсы и отметил противный солоноватый вкус воды в Восточном Балхаше. И. В. Мушкетов писал: «Вода в Балхаше менее соленая, чем в Арале, что объясняется относительно большим притоком пресной воды и меньшею величиною озера» (1886, стр. 151).

В 1886 г. юго-западное побережье озера посетил геоботаник А. Н. Краснов, который отметил, что «...вода по всему западному побережью почти совсем пресная» (1886а, стр. 347; 1886б). Ихтиолог С. Абрамович, напротив, отмечал, что «вода в озере солоноватая и светлая» (1889, стр. 218—219).

Начало текущего столетия ознаменовалось посещением оз. Балхаш экспедицией, преследующей общегеографические и зоологические цели; возглавлял ее Л. С. Берг (1903). Экспедиция спустилась вниз по Или от Илийска до оз. Балхаш и обследовала юго-западную оконечность озера. «Балхаш,— писал Берг,— вопреки господствующему мнению — озеро пресное (в районе Мынарала.— *М. Т.*). И далее, поскольку мы могли проникнуть на восток (до Каракамыса.— *М.Т.*), повсюду вода озера была совершенно пресная. То же подтверждают топографы, прошедшие по всему берегу оз. Балхаш. Этот факт достоин внимания. Пресное озеро без истока, в стране с сухим континентальным климатом, среди пустынь, где выпадает менее 200 мм осадков в год, есть географический парадокс» (1904, стр. 593). Предполагая что вода оз. Балхаш соленая, Берг имел с собой набор бюреток и пипеток для определения хлора в морской воде (Р. Л. Берг, 1955). Однако из-за малой минерализации воды использованы, они, по-видимому, не были, и поэтому ни одной цифры, характеризующей состав воды озера, в работах Л. С. Берга не приведено.

Сведения о гидрохимии озера, приводимые другими исследователями, посетившими его в начале текущего столетия, также не выходят за границы оценки вкусовых качеств воды. А. Картыков, проводивший в 1903 г. топографическую съемку северного и северо-западного берега озера, указывал, что озеро вполне пресноводно и что люди и лошади пили воду даже из залива Ала-Куль (Картыков, 1903; Балхашская экспедиция, 1906) [1]. Не лишены интереса оригинальные сведения, полученные им накануне экспедиции от Омского военно-топографического отдела, согласно которым вода в озере для питья не пригодна, но «на расстоянии одной версты от берега, почерпнутая с глубины, вода для питья годна» (Картыков, 1912). Б. Ф. Мефферт (1912), проводивший на северном берегу озера в 1910 г. геологические работы, считает оз. Балхаш солоноватоводным бассейном, западная часть которого переживает временное опреснение. А. М. Лундинг (1913) считает воды центральной части бассейна пресными, у северных же берегов, вдали от устьев рек —горько-солеными. В. И. Сарычев (1925), говоря о неоднородности солености по длине озера, по сути дела, повторил выводы, сделанные 40 лет назад В. Фишером.

Можно еще упомянуть о двух экспедициях на озеро в 1921 г. Первая из них под руководством Н. Ф. Пешкова (На оз. Балхаш, 1925), проводившая гидрографические изыскания на озере, вскоре же после начала работы, во время шторма потерпела аварию; вторая, в программу которой входили гидрографические и гидрологические исследования, из-за отсутствия флота и фуража не состоялась (Котельников, 1922).

Резюмируя обзор сведений по гидрохимии озера за рассмотренный период, можно отметить, что на оз. Балхаш до 30-х годов текущего столетия не проводилось ни одного сколько-нибудь систематического исследования. Этим и следует объяснить то обстоятельство, что до недавнего времени отсутствовали сведения не только о составе воды озера, основанные на результатах химического анализа, но даже не было единого мнения о

[1] Здесь и в дальнейшем, когда автор работы неизвестен, ссылки на литературу нами даются по названию работы.

ее питьевых качествах. Последнее объясняется тем, что исследователями посещались различные районы озера, отличающиеся по качеству воды в них, причем оценка качества давалась субъективно. Сказалось также и непостоянство гидрологических условий.

В истории изучения оз. Балхаш с 1928 г. наступил новый этап, который ознаменовался началом работ Балхашской комплексной научно-промысловой экспедиции. Возникла она по инициативе Комитета содействия постройке Туркестано-Сибирской железной дороги, проведена же в основном силами Института рыбного хозяйства. Руководил экспедицией П. Ф. Домрачев.

Основной задачей экспедиции было рыбохозяйственное исследование озера. Наряду с этим были изучены батиметрия озера, грунты, термика и химический состав воды, дана характеристика планктона и бентоса и рассмотрен ряд других вопросов. Работа проводилась главным образом в летние периоды 1928—1931 гг. Впервые в истории исследования озера экспедиции удалось проехать весь водоем с запада на восток, покрыв его поверхность густой сетью гидрологических станций, и обследовать все характерные участки и пункты его побережий. О ходе работ экспедиции и ее результатах П. Ф. Домрачевым опубликовано 14 работ (1929—1940). К сожалению, бо́льшая часть обширного гидрохимического материала (всего 3199 определений) осталась неопубликованной, и автором дана лишь сводная таблица крайних содержаний ингредиентов химического состава воды в пяти выделенных им физико-географических районах озера.

В целом полученные Балхашской экспедицией об озере сведения следует рассматривать как первые, наиболее ценные, большие по объему и разносторонние по содержанию. Они не потеряли своего значения до наших дней.

В начале 30-х годов (1930 — 1932) на оз. Балхаш был проведен ряд изысканий, направленных на освоение природных богатств Прибалхашья, а также связанных с водоснабжением развивающейся промышленности. Так, летом 1930 г. экспедиция Угольного института с целью исследования запасов балхашита произвела изыскания в районе Юго-Западного Балхаша и в заливе Ала-Куль (Кумпан, 1931; Сазонов, 1931).

В 1930—1931 гг. Всесоюзным институтом Галургии было проведено маршрутное рекогносцировочное обследование соляных озер южного побережья оз. Балхаш. Летом 1930 г. экспедиция прошла вдоль побережья от устья р. Каратал до восточной оконечности озера, летом 1931 г.— от устья р. Каратал на запад до рыбных промыслов Карабас. В результате было исследовано и описано 48 соляных озер Южного Прибалхашья (Корф и Еловская, 1936).

В 1931—1932 гг. в заливе Ала-Куль работали две экспедиции, организованные СОПС АН СССР. Эти экспедиции, основной целью которых было дальнейшее выяснение вопроса о происхождении балхашита и изучение технико-экономических свойств сапропелевых отложений озера, дали также некоторые сведения по гидрохимии залива (Штурм, 1932, 1934).

В этот же период экспедиционным сектором Государственного гидрологического института с целью выбора места водозабора для строящегося Прибалхашского медеплавильного комбината были проведены некоторые гидрохимические исследования в восточной части Западного Балхаша (Панов, 1932). Другая экспедиция, преследовавшая те же цели — изыскание источников водоснабжения Прибалхашстроя (Лилейко, 1932), в 1931 г. работала в Северном Прибалхашье в долинах рек Токрау, Джаксы-Сары-Су и Кайракты. Было также совершено три рейса вдоль северного побережья западной части озера и подробно обследованы заливы Берлы, Малый Сарышаган и Бертыс.

В 1931—1932 гг. М. И. Гуревичем (1934) изучался гидрохимический режим северной прибрежной полосы озера от острова Тасарал на западе до пролива Узунарал на востоке (около 150 *км*). Впервые, правда в ог-

раниченном районе (заливы Тарангалык, Бертыс и Малый Сарышаган с прилегающей пятикилометровой зоной), были выполнены зимние наблюдения.

Накопленные до 1935 г. сведения по гидрологии Балхашского бассейна обобщает в своей большой работе А. В. Шнитников (1936). Им впервые приводятся элементы солевого и, особенно подробно, водного баланса озера.

Институт геологических наук АН СССР с 1940 по 1946 г. под общим руководством Н. М. Страхова проводил на оз. Балхаш работы по изучению его современных отложений и, в частности, доломита (начальник отряда Д. Г. Сапожников). Вместе с всесторонним исследованием донных осадков (всего 160 станций) немалое внимание было уделено гидрохимии водоема. Первое сообщение о нахождении в донных осадках доломита находим у Д. Г. Сапожникова (1942). В. Д. Коншин (1945), сопоставляя химический состав восьми проб воды, отобранных им летом 1941 г. вдоль всего озера, увязывает метаморфизацию воды с образованием известковых и известково-доломитовых отложений в озере. Н. М. Страхов (1945, 1945а, 1951, 1954), всесторонне рассматривая процессы образования известково-доломитовых осадков в современных и древних водоемах, дал оригинальную концепцию образования доломита в оз. Балхаш. В монографии Д. Г. Сапожникова (1951), обобщающей результаты его многолетней работы на оз. Балхаш и посвященной современным осадкам и геологии озера, вместе с подробнейшей характеристикой процессов осадкообразования в целом, получил дальнейшее развитие вопрос садки кальцита и доломита химическим путем. Этим же проблемам посвящены еще его две работы (1954, 1954а).

Г. Р. Юнусов (1951) с июля 1941 по май 1942 г. с целью выяснения наиболее благоприятных районов для водоснабжения проводил гидрохимические исследования в западной пресноводной части озера — от его южной оконечности до острова Тасарал. Всего в указанном районе было отобрано и проанализировано 582 пробы воды, 214 из них — в зимний период. К сожалению, этот материал, за исключением небольшой работы (1950), опубликован не был.

В течение десяти лет (с 1941 г.) изучением соляных озер Казахстана занимался Е. В. Посохов (1949, 1949а, 1949б, 1955). В его монографии (1955), обобщающей эти исследования, имеются сведения также и о гидрохимии Балхаша. Некоторые соображения о засолении озера и о мерах опреснения западной его части им были опубликованы ранее (1946).

Казахский государственный медицинский институт с 1949 по 1952 г. изучал влияние сбросных вод Балхашского промышленного узла на качество воды озера (Корякин и др., 1958). Результаты химического анализа 14 проб воды, отобранных в разных пунктах озера летом 1953 г., и сопоставление их с данными других авторов находим в работе Е. В. Бурмакина и Г. В. Домбровского (1956), посвященной рыбохозяйственным вопросам.

Ряд учреждений Казахстана, деятельность которых связана с оз. Балхаш, регулярно или эпизодически производили химический анализ воды озера в различных его пунктах. Так, например, эпидстанция г. Балхаш примерно один раз в месяц контролирует химический состав воды у водозаборов в бухте Бертыс; дорожная химическая лаборатория Туркестано-Сибирской ж. д. проводит ту же работу (не систематически) у водозаборов, расположенных вдоль северо-западного побережья озера и обслуживающих железную дорогу Моинты—Чу; Институт зоологии АН Казахской ССР в 1953—1954 гг. отобрал и исследовал ряд проб воды озера и т. д.

Заканчивая обзор известных нам исследований, в той или иной мере связанных с изучением гидрохимии оз. Балхаш, отметим, что, несмотря на сравнительно большой накопленный до настоящего времени материал, специальных гидрохимических исследований, охватывающих весь этот интересный водоем, все же не проводилось. До сих пор нет также сводки, обобщающей весь накопленный материал. Последние две задачи и взял на себя автор настоящей монографии.

Глава II

ОБЩАЯ ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА БАССЕЙНА ОЗЕРА БАЛХАШ

1. МЕСТОПОЛОЖЕНИЕ И ОРОГРАФИЯ

Водосборный бассейн оз. Балхаш (рис. 1), занимающий огромную территорию — около 500 тыс. квадратных километров, большей своей частью находится в пределах Казахской ССР и частично на территории Китайской Народной Республики.

Северной границей бассейна служит Каркаралинская возвышенность (до 1450 *м* над ур. м.) и далее на восток хребет Чингиз-Тау (800—1000 *м*). На северо-востоке бассейн ограничен хр. Тарбагатай (2000—2100 *м*) и его отрогами. На востоке граница проходит по водоразделу (350—400 *м*), разделяющему оз. Балхаш от системы озер Ала-Куль. Западная часть бассейна граничит с пустыней Бет-Пак-Дала (400—700 *м*). На юго-западе, юге и юго-востоке водораздельная линия проходит по горным сооружениям системы Тянь-Шань — Чу-Илийским горам (до 1800 *м*), а затем по хребтам Заилийский Алатау (4000—5000 *м*), Кунгей Алатау (до 4600 *м*), Халык-Тау (до 4000 *м*), Нарат (до 4100 *м*), Боро-Хоро (до 4000 *м*) и Джунгарский Алатау (4000—5000 *м*).

Орография бассейна весьма сложна. Все же отчетливо можно выделить три основных орографических типа. В южной и юго-восточной частях бассейна преобладает рельеф гор и предгорий (рис. 2 и 3)[1]. По своей гипсометрии этот район господствует над всем бассейном и является активной частью водосбора. Здесь берут начало все главные реки, питающие оз. Балхаш (Или, Каратал, Ак-Су и Лепса).

Северная и северо-западная части бассейна (южная граница — оз. Балхаш) характеризуются мелкосопочным рельефом (рис. 4), своеобразие которого заключается в сочетании равнин с островершинными сопками, холмами, увалами, небольшими хребтами и короткими долинами сухих или пересыхающих рек. Абсолютные высоты отдельных массивов составляют 500—600 *м*. Над окружающей их холмистой равниной они поднимаются обычно на десятки, а иногда и сотни метров. Отсюда берут начало все небольшие реки, текущие в сторону оз. Балхаш, и, как правило, не достигающие его (Моинты, Токрау и др.).

Центральную, наиболее пониженную часть бассейна, занимает Балхашская впадина с оз. Балхаш. Абсолютная отметка озера в настоящее время — около 340 *м*. Балхашская впадина является аккумулятивной песчано-пустынной равниной, куда сносилась и сносится масса продуктов разрушения гор, прилегающих с юга и востока. Наклон равнины в сторону оз. Балхаш измеряется ничтожно малой величиной. В восточной части наклон несколько больше, чем в западной.

[1] Все фотографии, если нет дополнительных замечаний, выполнены нами. — *М. Т.*

Д. Г. Сапожников (1951) выделяет три основных генетически различных типа поверхности равнины. К первому из них относятся наиболее низкие, примыкающие к берегам озера, почти совершенно ровные участки поверхности, бывшие дном отступившего ныне оз. Балхаш. Местами на этих участках встречаются небольшие песчаные холмы — результат процессов развеивания. Второй тип представляет собой аллювиальную равнину, пересеченную многочисленными сухими руслами р. Или и ее протоками. Между руслами в результате деятельности ветра местами образовались бугристые пески. Главное значение в формировании поверхности здесь имела и имеет деятельность реки. Этот тип поверхности характерен для западной части Балхашской впадины. Третий, преобладающий в пределах Балхашской впадины морфологический тип, представляет равнину, покрытую бугристыми песками (рис. 5), возникшими благодаря эоловой переработки аллювиальных отложений. Бугристые пески обычно ориентированы в северо-западном направлении и поднимаются над окружающей равниной на 5—10 *м*. Развиты они на громадной территории — от предгорий Джунгарского Алатау до левобережья Или. Северной их границей служит оз. Балхаш.

Северное Прибалхашье и Балхашская впадина являются неактивными частями бассейна, так как речной приток с них в озеро практически отсутствует.

2. ИСТОРИЯ БАЛХАШСКОЙ КОТЛОВИНЫ И ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ БАССЕЙНА

Геологическая история Балхашской котловины сложна и до сих пор еще недостаточно выяснена; поэтому взгляды по данному вопросу весьма противоречивы.

Допалеозойская и палеозойская история территории, занимаемой ныне бассейном озера, большинством исследователей (Шнитников, 1936; Корф и др., 1936; Шлыгин, 1952; Сваричевская, 1952 и др.) характеризуется рядом повторных трансгрессий и регрессий моря — результатом горообразовательных процессов. Так, в кембрии и в нижнем силуре территория была покрыта неглубоким морем с серией островов. В верхнем силуре или в начале девона море отступило. В среднем девоне, по-видимому, было два этапа наступления моря, сменившихся в начале каменноугольного периода отступлением его к северо-западу. В конце карбона почти весь бассейн вновь покрылся морем, отложившим глинисто-известковые илы и в дальнейшем опять отступившим.

В течение всего мезозоя территория бассейна представляла сушу с равнинным рельефом, покрытую мелкими озерами.

С началом третичного периода наблюдается новая трансгрессия моря на восток. В палеогене море, однако, не дошло дальше района Чуйской долины и лишь в конце палеогена (в олигоцене) оно, по-видимому, распространилось и на район Джунгарского Алатау (Костенко, 1946). Широкое распространение олигоценового моря повлекло за собой общее смягчение климата. В южной части современного бассейна образовалось большое количество озер, возможно, временами соединявшихся в единое озеро и обусловивших последующее широкое распространение гипсоносных и соленосных цветных глин и песчаников. В неогене в этом районе также преобладала водная среда.

К третичному периоду относится начало поднятий современных хребтов, сопровождаемое прогибаниями во впадинах.

Время образования самостоятельной Балхашской впадины, ее связь с другими бассейнами и этапы ее истории, начиная с четвертичного периода и до наших дней, имеют много различных толкований.



Рис. 2. В Заилийском Алатау. Высокогорное оз. Иссык



Рис. 3. У подножья Заилийского Алатау



Рис. 4. Казахский мелкосопочник в районе станции Моинты

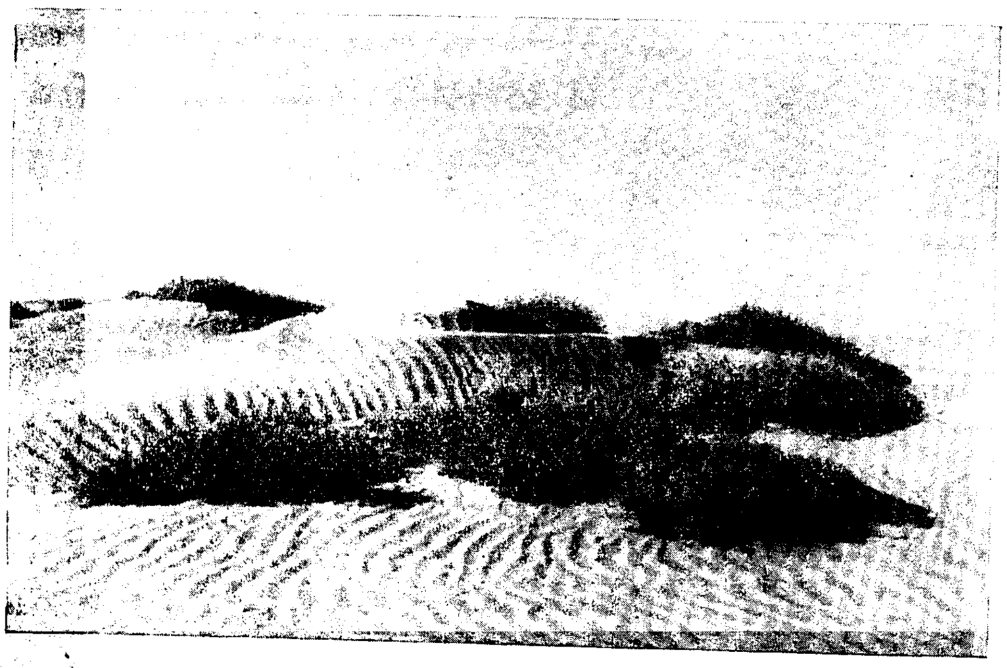


Рис. 5. Бугристые пески в Южном Прибалхашье

Для нас эти вопросы представляют особый интерес, поскольку с ними в значительной мере связаны возраст современного оз. Балхаш и его гидрохимия.

Здесь можно отметить следующие четыре основных точки зрения.

1. Озеро Балхаш с группой озер Сасык-Куль, Ала-Куль и Эби-Нор представляет остаток третичного моря, включавшего в себя Арало-Каспийский бассейн. После третичного периода в силу динамических и климатических факторов это море значительно сократилось, оставив после себя группу названных выше усыхающих озер (Мушкетов, 1886; Шлегель, 1914; Аболин, 1930).

На возможную связь Балхашского и Арало-Каспийского бассейнов, но в несколько ином виде, указывали также В. И. Толстов (1929) и А. А. Григорьев (1932). По их предположению некогда вся система Алакульских озер, оз. Балхаш и р. Чу была громадной рекой, в которую впадали все существующие теперь притоки этой системы, питаемые тогда мощными ледниками Тянь-Шаня, Памира и Алтая. Эта огромная речная долина открывалась на западе через бассейн р. Чу в Арало-Каспийский бассейн. Поднятие горстов к западу от современного оз. Балхаш создало завал долины, преградило путь реке, и в результате на востоке образовалось оз. Балхаш.

2. По мнению второй группы исследователей, хотя и не совпадающему в отдельных деталях, оз. Балхаш является молодым водоемом, геологическая история которого еще далеко не закончена. Его уровень никогда не поднимался на 5—10 *м* выше современного. Отсутствие Арало-Каспийских отложений западнее Балхашского бассейна, пресноводный характер водоема и слабое развитие жизни в нем впервые привело к этому выводу Л. С. Берга. «Балхаш,— писал он,— в его теперешнем виде есть сравнительно молодое озеро. Котловина его раньше была сухой, соли, отложенные ранее на дне, были покрыты с течением времени субаэральными отложениями, а затем эта котловина снова наполнилась водою» (1904, стр. 594).

Е. В. Посохов (1946, 1955) категорически отрицает большие размеры древнего оз. Балхаш. Наоборот, эстуарийный характер старых устьев Или и обнаружение торфа в речных отложениях озера свидетельствуют, по мнению этого автора, о меньших размерах озера в послеледниковую эпоху. Он считает, что уровень озера никогда не превышал современный более чем на 10 *м*. З. А. Сваричеекая (1952) также сомневается в существовании большого общего водного бассейна; Ала-Куль и оз. Балхаш, по ее мнению, молодые самостоятельные впадины. Образование последней она относит к верхнечетвертичному времени. М. К. Вяткин (1948) предполагает, что до вторжения Или через Капчагайское ущелье (в конце вюрмской эпохи) Балхашская котловина была сухой.

К сторонникам геологической молодости оз. Балхаш следует также отнести Д. Д. Квасова, согласно предположениям которого (1959) еще совсем недавно в Илийской впадине существовало Илийское озеро, вытянутое в широтном направлении и замыкаемое на северо-западе низким плато Карой (где теперь находится Капчагайское ущелье). Это озеро, оконтуренное горизонталью 600 *м*, имело площадь около 13—16 тыс. *км*^{2}, т. е. по размерам лишь немногим уступало современному оз. Балхаш.

На месте последнего, в пределах восточной его части, раньше существовало «оз. Прибалхаш», которое питалось реками Каратал и Ак-Су и занимало примерно $^1/_4$ современной площади озера. Тогда же (среднечетвертичное время), как одно целое, существовало Ала-Куль — Сасык-Кульское озеро, в которое впадала р. Лепса.

Вследствие постепенного отложения в Илийском озере наносов, либо в результате увеличения водоносности реки Или, уровень этого озера начал повышаться и образовалась Нижняя Или, которая постепенно «пропиливала» ущелье Капчагай. В результате этого Илийское озеро со

временем было спущено, на месте же Балхашской впадины образовалось современное оз. Балхаш.

3. Согласно третьей точке зрения (Костенко, 1946; Сапожников, 1951), современный Балхаш развился из бассейна, расположенного у северного подножья гор. В силу тектонических процессов в начале четвертичного периода, сопровождавшихся, с одной стороны, поднятием гор, с другой — прогибанием Балхашской впадины, а также в силу быстрого заноса бассейна осадками, приносившимися водами, стекавшими с гор, озеро постепенно мигрировало к северу и северо-западу и к настоящему времени достигло северо-западной окраины впадины.

Н. Н. Костенко полагает, что Палеобалхаш как самостоятельное озеро начал развиваться в первой половине мезоплейстоцена. К этому же периоду он относит отделение Ала-Кульского бассейна от Балхашского. Чередование периодов оледенения (по-видимому их было три), характеризующихся прохладным и влажным климатом, с периодами потепления и сухости, влекло за собой колебание размеров оз. Балхаш, главным образом в южном направлении. В первую стадию своего существования оз. Балхаш достигало максимальных размеров — южная его граница проходила примерно по линии Илийск — Талды-Курган. Во второй половине мезоплейстоцена оз. Балхаш резко сократилось, возможно даже, что оно исчезло совершенно. В неоплейстоцене озеро вновь заполнилось водой.

Прогибание Балхашской впадины, продолжавшееся в течение всего четвертичного периода, продолжается и по настоящее время. Выходы третичных отложений на окраинах озера на высоте 40—50 *м* выше современного его уровня, прослеживание по дну озера старых русел Или, присутствие в донных отложениях торфа, аральский тип южных берегов в западной части Восточного Балхаша и ряд других показателей свидетельствуют о недавнем погружении побережья. Область современного прогибания вытянута полосой в направлении с юго-востока на северо-запад и захватывает южную часть Западного Балхаша и его западное побережье. Ось прогибания расположена параллельно Чу-Илийским горам. Наряду с погружением на некоторых участках в районе оз. Балхаш наблюдаются и поднятия (Д. Г. Сапожников, 1952).

4. Четвертая точка зрения, которую разделяет большинство исследователей, сводится к предположению о былой связи оз. Балхаш с лежащей на восток от него системой озер. Одни при этом признают существование большого водного бассейна, объединявшего Балхашскую и Ала-Кульскую впадины и уходившего далее через Джунгарские ворота на восток в Джунгарию, где в его границы входил также бассейн озера Эби-Нор (Румянцев, 1911; Мефферт, 1912; Русаков, 1926; Никольский, 1928; Корф, 1935; Никитин, 1941а). Другие ограничивают размеры бассейна Балхаш-Ала-Кульской впадиной (Голубев, 1867; Лундинг, 1913, 1915; Шлегель, 1926; Лебедев, 1928; Терлецкий, 1931; Шнитников, 1936, 1949; Курдюков, 1952; Бурмакин, 1956). Связь оз. Балхаш в прошлом с Арало-Каспийским бассейном этими исследователями отрицается. Справедливость последней точки зрения находит свое подтверждение в ряде следующих фактов.

Б. Ф. Мефертом в районе залива Сарышаган, на его северной стороне, на высоте около 30 *м* над уровнем озера, были обнаружены древние озерные террасы из несцементированного галечника, свидетельствующие о высоком стоянии озера [1]. Террасовые образования на северном берегу оз. Балхаш на высоте 30, 70 и 140 *м* были также найдены Б. И. Барсуком, М. П. Русаковым и другими геологами. Прекрасно сохранившиеся береговые валы имеются и на берегах современного озера на 10—12 *м* выше его уровня (рис. 6). Указанные факты, гипсометрия впадины и ряд других

[1] З. А. Сваричевская рассматривает эти образования как неогеновые террасы р. Моинты.



Рис. 6. Оз. Балхаш. Береговые валы на п-ове Шаукар:

1 — молодой береговой вал, от которого озеро отошло недавно; *2* — старый береговой вал, соответствующий стадии бассейна Сассык — Ала-Куль. (*Заимствовано из работы* К. В. Курдюкова, 1952)

89140

соображений дали основание К. В. Курдюкову (1952) наметить контуры древнего Балхаш — Ала-Кульского водоема в трех стадиях его существования. В период последнего оледенения и затем в послеледниковое время существовал единый Балхаш — Ала-Кульский водоем с площадью водного зеркала в 102 000 $км^2$, оконтуренный горизонталью около 400 *м*. Во вторую стадию существовало уже два обособленных водоема — расширенный Балхашский с площадью 35 400 $км^2$ и Сасык — Ала-Кульский. Третья стадия характеризуется современным очертанием озер. Курдюковым были подсчитаны основные климатические характеристики, обеспечивающие существование древнего бассейна с площадью водного зеркала 102 000 $км^2$. Осадки должны были составлять 330 *мм/год*, испарение — 670 *мм* и приток рек — 27,5 $км^3$, т. е. климатические условия в то время были более мягкими, чем современные. Устанавливая цикличность колебания уровней озер в связи с колебанием величины осадков и температуры воздуха, А. В. Шнитников (1949, 1950) также констатирует, что ранее р. Или была несравненно многоводнее, чем сейчас, и, следовательно, уровень озера был значительно выше современного. Уменьшение по колонкам сверху вниз доломитности илов в оз. Балхаш (Страхов, 1945; Сапожников, 1951) также свидетельствует о том, что раньше Балхашский водоем находился в условиях влажного климата, в которых доломит не образуется. Впоследствии климат становился все более и более засушливым и затем перешел в современный, что в сочетании с другими факторами привело к доломитообразованию в озере.

Заслуживают также внимания сведения, относящиеся к XIII в., приводимые упомянутым выше Вильгельмом де Рубруком. Пересекая равнину, занимаемую в настоящее время цепью Ала-Кульских озер, он отмечал, что «среди бывших гор, в юго-восточном направлении, тянулась долина, а затем между горами было еще какое-то большое море и через эту долину от первого моря до второго протекала река» (стр. 112). Если к этому добавить, что дорога, по которой проходил миссионер, лежала на несколько десятков километров от современного южного берега озера (параллельно ему) и что спутник миссионера по пути пробовал вкус воды озера, то станет ясным, что оз. Балхаш в этот период соединялось рекой с разобщенными

друг от друга в настоящее время Ала-Кульскими озерами и имело размеры значительно бóльшие, чем теперь. По показанию местных жителей, даже в начале текущего столетия в многоводные годы наблюдался водный поток из оз. Сасык-Кулы в оз. Балхаш.

Недавняя связь оз. Балхаш с Ала-Кулем находит свое подтверждение и в сходстве ихтиофауны этих бассейнов (маринка, пятнистый губач, балхашский окунь и др.) (Бурмакин и др., 1956). Впервые на этот факт указал А. М. Никольский (1885). Он считал, что в Балхашский бассейн входили озера Балхаш, Сасык-Куль, Ала-Куль, Эби-Нор и все впадающие в них реки. Едва ли, однако, в недалеком прошлом к этому бассейну относилось оз. Эби-Нор, поскольку порог Джунгарских ворот, являющийся водоразделом Ала-Кульского и Эби-Норского бассейнов, лежит на 120 *м* выше современного уровня воды в Ала-Куле (отметка уровня у Ала-Куля, как и у оз. Балхаш, примерно 340 *м*, у Сасык-Куля — на 7 *м* выше).

В нескольких скважинах, заложенных восточнее и северо-восточнее Бурлю-Тюбинского плёса оз. Балхаш, до глубины 10—15 *м* было обнаружено чередование песков с прослоями красной глины. Эти осадки следует отнести к озерным осадкам древнего Балхаш—Ала-Кульского бассейна (Терлецкий, 1931). Ниже залегают красные и синие глины третичного возраста.

Наконец, бесчисленное множество в Прибалхашье реликтовых озер, находящихся в различных стадиях усыхания и нередко расположенных на значительном расстоянии от озера, бесспорно, свидетельствует о постепенном сокращении оз. Балхаш, некогда занимавшего значительно большие размеры.

Геологическое строение современной территории, занимаемой бассейном озера, не менее сложно, чем его история. Д. Г. Сапожников (1951) в бассейне озера выделяет следующие, отличающиеся друг от друга структурно-геологические единицы: 1) области молодых поднятий, захватывающие хребты северного Тянь-Шаня, а также Джунгарский Ала-Тау, Халык-Тау, Бороторо и некоторые другие; 2) межгорные впадины — Илийская и частью Ала-Кульская; 3) палеозойская платформа Центрального Казахстана (район северо-западного Прибалхашья) и 4) Балхашская впадина.

В самых общих чертах геологическое строение этих структурных единиц приводится ниже, причем здесь мы находим отложения всех эпох — от нижнепалеозойских до современных.

Палеозой. Области молодых поднятий в главной своей массе слагаются палеозойскими породами. Среди них можно выделить осадочные, эффузивные, интрузивные и метаморфические породы. Среди осадочных пород распространены конгломераты и всевозможные песчаники, а также песчанистые и глинистые сланцы. В меньшем количестве встречаются известняки, мергели, доломиты и другие осадочные образования. Из эффузивных пород, обычно переслаивающихся с осадочными, преобладают кварцевые порфиры и порфириты, из интрузивных — граниты.

Южная оконечность палеозойской платформы Центрального Казахстана, представляющая северную часть водосборного бассейна озера, по своему геологическому строению весьма сходна со строением горной области. Здесь также главную роль играют различные по возрасту палеозойские породы — разнозернистые песчаники, глинистые и известково-глинистые сланцы, кварциты, конгломераты и из вулканических пород — граниты, порфиры и др.

В пределах Балхашской впадины и межгорной Илийской и Алакульской палеозойские породы покрыты более поздними образованиями.

Мезозой. В начале мезозоя в юго-восточном Казахстане господствовали преимущественно процессы денудации и выносы материала. Поэтому нижнемезозойские образования здесь отсутствуют. В середине и конце мезозоя в Илийской и частично Ала-Кульской впадинах протекали процессы

седиментации, приведшие к накоплению юрских и меловых отложений. Юрские образования в этих впадинах представлены кирпично-красными конгломератами, желтыми конгломерат-песчаниками, серыми и красными глинами и песчано-глинистыми сланцами. Отложения меловой системы (точно их возраст не доказан) сосредоточены в восточной и средней частях Илийской впадины и представлены песчаниками с прослоями конгломератов из хорошо окатанной гальки с гипсовым цементом.

Другая, значительно бóльшая часть бассейна, в мезозое представляла область накопления продуктов выветривания палеозойских образований. В некоторых местах эти образования перекрываются третичными осадками. Среди пород коры выветривания здесь отмечены конгломераты, галька и цемент, которые почти полностью переработаны в глины. Почти полностью замещены минералами глин и изверженные породы. Такие глинистые породы неоднократно встречаются в Северо-Восточном Прибалхашье.

Третичные отложения. Отложения третичной системы на рассматриваемой территории развиты очень широко. Преимущественно они представляют собой однообразную толщу жирных пластичных глин, окрашенных в красный, бурый, серый, желтый, зеленый и другие цвета. Этим глинам обычно приписывают палеогеновый возраст. Отличительной чертой последних является присутствие в них гипса — либо в виде отдельных мелких кристалликов, либо в виде крупных прослоев, простирающихся на значительном протяжении. Мощность третичных отложений различна. Во впадинах и на склонах гор мощность составляет значительные величины (на краю Балхашской впадины до 100 *м*, на юго-западных склонах Джунгарского Алатау — 40—75 *м*). В горных сооружениях эти отложения встречаются в виде тонкого покрова. Абсолютные высоты, на которых они обнаружены, достигают 1000 *м* и реже — 1700—1800 *м*.

Третичные отложения широко распространены в Северном и Западном Прибалхашье, главным образом в пределах пониженных участков. В южной части бассейна они обнаружены в предгорьях Джунгарского Алатау, широко распространены по северному склону Заилийского Алатау, а также в пределах Илийской впадины. Третичные отложения были зафиксированы на дне оз. Балхаш, а также на южном берегу озера.

Четвертичные отложения. На рассматриваемой нами территории четвертичные отложения так же, как и третичные, развиты широко, но неравномерно. Наибольшего развития они достигают в части бассейна, ограниченной с севера оз. Балхаш, с юга — цепью горных сооружений. В общем виде схема структуры четвертичных отложений здесь следующая. В горах эти отложения представлены валунно-галечными накоплениями моренного происхождения, в предгорной полосе — флювиогляциальными и пролювиальными образованиями, в пределах аккумулятивных равнин — преимущественно аллювиальными, а также древними озерными и эоловыми отложениями. Основание речных террас в горных частях территории обычно сложено мощной толщей галечников, выше которой лежат лёссовидные суглинки, а в отдельных случаях — песчаники или пески. По мере удаления от гор на север, с одной стороны, наблюдается уменьшение величины частиц обломочного материала (галечниковая часть переходит в песчаные и песчано-глинистые образования), с другой — увеличение мощности покрывающих лёссовидных суглинков.

Древнечетвертичные озерные образования, представленные известняками и мергелями, наблюдаются в средней и восточной частях Илийской депрессии. Значительное место среди четвертичных отложений занимают пески эолового происхождения. В пределах пустынного Юго-Восточного Прибалхашья они распространены на площади во много тысяч квадратных километров. Эоловые пески известны также в Илийской впадине, в низовьях других рек, по восточному побережью озера.

В северной части бассейна четвертичные отложения распространены значительно реже. Здесь они представлены аллювиальными песками, суглинками и галечниками, слагающими, обычно широкие плоские днища речных долин и межсопочных впадин.

Современные осадки оз. Балхаш являются составной частью озерно-речных четвертичных отложений.

§3. ПОЧВЫ И РАСТИТЕЛЬНОСТЬ

В пределах водосборного бассейна оз. Балхаш в соответствии с зональным изменением климата и растительного покрова, в южном направлении наблюдается последовательная смена широтно вытянутых почвенных зон. В пределах бассейна можно выделить три характерных района — северный, центральный и южный.

Северный район. Характеризуется преобладанием светло-каштановых почв различной солонцеватости, покрытых типчаково-полынными ассоциациями. Солонцеватость почв в низинах и речных долинах повышается. Нередко в замкнутых котловинах или низких террасах речных долин развиты луговые солончаки. Большинство светло-каштановых почв имеет на глубине 60—100 *см* горизонт скоплений гипса. Для всех почвенных зон Казахского мелкосопочника и, в частности, для рассматриваемой зоны светло-каштановых почв характерно большое количество щебнистых и маломощных разностей, развитых в условиях близкого залегания коренных пород. Наблюдаются они обычно на сопках и склонах, где почвенный покров часто прерывается выходами коренных пород (рис. 7). Южная граница района проходит примерно по 48 параллели (см. рис. 1).

Центральный район. Занимает бóльшую часть бассейна; его покрывают главным образом бурые, часто солонцеватые и солончаковатые почвы. В пределах этой зоны большие пространства заняты песками и солончаками. На севере район ограничен примерно 48-й параллелью, на юге и юго-востоке — предгорьями и горными областями.

В Северном и Западном Прибалхашье преобладают хрящевато-суглинистые и хрящевато-супесчаные бурые почвы в комплексе с солонцами в замкнутых понижениях — суглинистые и супесчаные бурые почвы в комплексе с солончаками. Растительный покров чрезвычайно беден и представлен полынно-солянковой или полынно-злаково-солянковой растительностью (Козлов, 1941а).

Южное Прибалхашье в большей своей части характеризуется отложениями древнего и современного аллювия. Древнеаллювиальные песчаные отложения в настоящее время на значительных пространствах развеяны и образуют массивы бугристых песков (пески Сары-Ишик-Отрау и Тау-Кумы). На перевеянных участках в области пустынных степей развиты бурые пустынно-степные почвы и малокарбонатные сероземы, большей частью незасоленные. На пойменных террасах рек и в дельтах встречаются участки суглинистого и глинистого аллювия. Здесь развиты комплексы такыровидных сероземов, такыров и солончаков. Наиболее низкие части русловых пойм (области молодых дельт и низкие побережья оз. Балхаш) заняты лугово-болотными почвами в комплексе с солончаками.

В центральном районе распространены однолетние костры, мятлики, пустынная ромашка, песчаная осока, пустынная осока. Представителями кустарниковой растительности являются джузгуны, песчаные акации и др. Значительные пространства песчаных пустынь Южного Прибалхашья и периферических частей речных долин заняты зарослями саксаула (рис. 8). (Рубцов, 1952; Пальгов, 1953).

Южный район. Включает предгорные равнины и горные массивы, расположенные в южной части бассейна. Здесь мы имеем вертикальные почвенные зоны и особые типы горных почв, связанные с



Рис. 7. Выход коренных пород из-под щебнистого почвенного покрова в Северном Прибалхашье

условиями горного климата, рельефа и материнских пород. По мере поднятия в горы наблюдается постепенная смена пустынно-степных и степных почв лесостепными, горными лесными почвами и, наконец, горно-луговыми.

Почвенный покров предгорных лёссовых равнин Джунгарии и Заилийского Алатау характеризуется развитием почв типа малокарбонатных



Рис. 8. Саксаульный лес на правом берегу р. Ир

сероземов. Граница распространения этой зоны находится на высоте 550—600 *м*. Выше, от 700—750 до 1000—1200 *м*, преобладают горно-каштановые почвы. Сероземы и горно-каштановые почвы не солонцеваты и не засолены. Только в местах выхода грунтовых вод, обычно в нижней части предгорных равнин, развиты солончаковатые почвы лугово-сероземного типа.

На высоте 1000—1800 *м* лежит пояс горных лесостепных ландшафтов. Здесь преобладают горные черноземы, местами выщелоченные и оподзоленные, а также серые лесные почвы.

Пояс горных лугово-лесных ландшафтов простирается на высоте 1800—2700 *м*. Под лесами здесь обычно развиты темноцветные горно-лесные почвы, под лугами — черноземовидные горно-луговые почвы.

На высоте 2700—3000 *м* располагается пояс субальпийских ландшафтов с преобладанием темноцветных горно-луговых почв, с участками дерновых лугово-степных.

Выше 3000—3100 *м* находится пояс альпийских ландшафтов. Почвенный покров здесь развит лишь местами и представлен светлыми, малоразвитыми горно-луговыми почвами.

В горах, с увеличением высоты, происходит закономерная смена пояса лиственного леса и кустарников поясом хвойного леса и альпийских лугов. Еще выше располагаются скалы, вечные снега и ледники.

Засоленность почв бассейна озера весьма различна. В табл. 1 приведены результаты анализа водных вытяжек для некоторых характерных разновидностей почв.

Почвы повышенных участков рельефа, где отсутствуют условия для аккумуляции солей, обычно засолены очень слабо — содержание воднорастворимых солей составляет сотые и десятые доли процента. В речных долинах, в бесчисленных впадинах, в прибрежьях оз. Балхаш и в местах высокого залегания грунтовых вод засоленность почв резко возрастает и достигает 2—5 и даже 10%. Преобладающий тип засоления — сульфатно-хлоридный.

4. ГИДРОГРАФИЯ И ЭЛЕМЕНТЫ ГИДРОЛОГИИ

Реки

Реки бассейна оз. Балхаш можно разделить на две группы—южные и северные притоки озера. К первой группе относятся Или, Каратал, Ак-Су и Лепса (см. рис. 1). В приходной части водного баланса озера эти реки играют ведущую роль. Северные притоки, главные из которых Аягуз, Баканас, Токрау и Моинты, как правило, поверхностного притока в озеро не дают.

Охарактеризуем кратко перечисленные реки.

Южные притоки

Р е к а И л и. Это самая крупная из впадающих в озеро рек; образуется из двух ветвей — Кунгеса и Текеса. Общая протяженность реки от истоков Текеса составляет 1384 *км*, из них 790 *км* река протекает в пределах Казахстана (Пальгов, 1953).

В верхнем и среднем течении в реку преимущественно слева впадают многочисленные притоки, берущие свое начало в горах Тянь-Шаня и питаемые ледниково-снеговыми водами. В нижнем течении река притоков не имеет.

Первые 300 *км* от китайской границы Или протекает в широкой однообразной долине шириной в 40—120 *км*. В 10 *км* ниже с. Илийского река врезается в Капчагайские горы, где образует ущелье, сложенное порфировыми скалами (рис. 9).

При выходе из ущелья она вновь вступает в область равнины (рис. 10) и ниже образует обширную дельту. Имея довольно быстрое течение и протекая по равнине с небольшим уклоном (средний уклон от Кульджи до устья—0,00026; Шнитников, 1936), р. Или разрушает свои берега, часто меняет форватер, дробится на рукава и протоки, отделенные от главного русла намытыми песчаными островами и косами. Река несет огромное количество взвешенных частиц.

Река Или принадлежит к рекам со смешанным питанием. Расположение истоков и многих притоков в области вечных снегов и льдов на высоте более

Таблица 1

Химический состав воднорастворимой части некоторых почв бассейна оз. Балхаш (в-%)

Номер разреза	Местоположение разреза	Почва	Глубина отбора, *см*	Сухой остаток	Cl'	SO_4''	$HCO_3''+CO_3''$	$Ca^{\cdot\cdot}$	$Mg^{\cdot\cdot}$	$Na^{\cdot}+K^{\cdot}$	Автор
			Центральный район								
			Северное Прибалхашье								
184	Верхний участок долины р. Токрау	Солонцеватая хрящевато-суглинистая почва пустынно-степного типа	0—9	0,041	0,001	0,004	0,021	0,003	0,002	0,004	Материалы экспедиции ВИУА (Козлов, 1941а)
			9—20	0,064	0,001	0,004	0,043	0,012	0,002	0,001	
			24—38	0,068	0,002	0,004	0,048	0,013	0,002	0,002	
			38—48	0,074	0,001	0,006	0,054	0,014	0,002	0,002	
18	Современная долина р. Токрау	Засоленная луговая почва	5—10	1,704	0,323	0,800	0,084	0,095	0,023	0,420	То же
			20—30	1,134	0,187	0,417	0,056	0,026	0,017	0,284	
			60—70	0,338	0,046	0,043	0,103	0,004	0,003	0,078	
			100—110	0,174	0,010	0,007	0,079	0,007	0,004	0,025	
			150—160	0,058	0,003	0,002	0,050	0,012	0,002	0,004	
			184—195	0,026	0,001	0,007	0,030	0,007	0,002	0,004	
64	Побережье залива Бертыс	Хрящеватая глинисто-песчаная бурая почва	0—2	0,486	0,001	0,271	0,049	0,202	0,001	—	(Козлов, 1941)
			2—15	1,896	0,051	1,191	0,049	Следы	Следы	—	
			20—23	1,998	0,124	1,056	0,016	0,169	0,013	—	
			35—40	1,808	0,168	0,981	0,014	0,148	0,033	—	
			75—80	1,116	0,185	0,468	0,013	0,066	0,022	—	
			120—125	1,932	0,146	0,793	0,08	0,285	0,015	—	
125	То же	Солончак	0—2	7,174	3,235	Много	0,018	Много	—	—	То же
			0—13	3,788	1,305	0,676	0,013	0,221	0,009	—	
			20—25	2,806	1,614	Мало	0,041	Нет	—	—	
			45—50	2,984	1,756	»	0,013	»	—	—	
			105—110	2,700	0,916	0,638	0,013	0,129	0,017	—	
			170—175	4,652	0,340	Очень много	0,013	Много	—	—	

Таблица 1 (продолжение)

Номер разреза	Местоположение разреза	Почва	Глубина отбора, *см*	Сухой остаток	Cl'	SO_4''	$HCO_3' + CO_3''$	$Ca^{\cdot\cdot}$	$Mg^{\cdot\cdot}$	$Na^{\cdot}+K^{\cdot}$	Автор
			Южное Прибалхашье								
29	Урочище Ак-Дала	Супесчаный светлый серозем	0—6	0,128	0,083	0,004	0,066	0,016	0,016	—	Мухля, 1929, 1930 (Слесаревич, 1941)
			15—22	0,100	0,001	0,011	0,063	0,014	0,014	—	
			35—45	0,316	0,064	0,035	0,107	0,020	0,020	—	
			100—110	1,116	0,128	0,592	0,028	0,075	0,103	—	
			180—190	0,730	0,033	0,422	0,023	0,085	0,091	—	
			230—240	0,375	0,001	0,221	0,025	0,122	0,023	—	
37	То же	Такырный серозем	0—5	0,252	0,007	0,013	0,091	0,019	0,009	—	Мухля, 1929 (Слесаревич, 1941)
			10—17	0,132	0,001	0,019	0,080	0,011	0,012	—	
			35—40	0,452	0,025	0,247	0,056	0,019	0,049	—	
			65—70	0,502	0,033	0,339	0,036	0,047	0,059	—	
			95—100	0,562	0,019	0,295	0,088	0,039	0,048	—	
			150—160	0,130	0,004	0,030	0,063	0,009	0,012	—	
			190—200	0,110	0,004	0,019	0,051	0,008	0,011	—	
26	Прибаканаская равнина	То же	0—7	0,077	0,002	—	0,057	—	—	—	Шелаев, 1927 (Слесаревич, 1941)
			15—25	0,170	0,010	—	0,104	—	—	—	
			35—40	0,220	0,020	0,056	0,077	—	—	—	
			75—80	0,192	0,025	0,063	0,046	—	—	—	
			150—155	0,193	0,015	0,098	0,023	—	—	—	
26	Дельта р. Лепсы	Луговая такыровидная почва	0—1	1,92	0,22	0,88	0,020	—	—	—	Корсак и Шредер, 1933 (Слесаревич, 1941)
			1—3	4,82	1,40	1,49	0,023	—	—	—	
			3—6	6,19	1,94	1,62	0,021	—	—	—	
			8—20	3,25	1,28	0,41	—	—	—	—	
			30—40	0,75	0,26	0,12	—	—	—	—	
			232—237	0,54	0,04	0,29	—	—	—	—	
			285—295	0,38	0,04	0,18	—	—	—	—	

Таблица 1 (окончание)

Номер разреза	Местоположение разреза	Почва	Глубина отбора, *см*	Сухой остаток	Cl'	SO_4''	$HCO_3' + CO_3''$	$Ca^{··}$	$Mg^{··}$	$Na^{·}+K^{·}$	Автор
—	Долина р. Каратал, уроч. Кангай	Луговая почва	6—21	0,218	0,006	0,051	0,072	0,013	0,005	—	Никитин, 1933
			28—46	0,112	0,004	0,040	0,042	0,011	0,001	—	(Слесаревич, 1941)
			65—85	0,062	0,001	Нет	0,038	0,009	0,008	—	
			200—210	0,095	0,001	»	0,029	0,006	0,007	—	
643	Дельта р. Или	Аллювиально-луговая суглинистая почва	0—9	1,364	0,263	0,518	0,019	0,147	0,059	—	Козлов, 1941
			9—18	0,321	0,035	0,123	0,040	0,032	0,013	—	
			30—35	0,230	0,028	0,090	0,047	0,022	0,008	—	
66	Современная дельта р. Или	Солончак	0—0,5	3,711	0,014	2,370	0,028	0,147	0,006	—	Козлов, 1932
			0,5—6	10,600	0,677	6,112	0,027	0,174	0,078	—	(Слесаревич, 1941)
			6—17	5,008	0,755	1,681	0,016	0,176	0,096	—	
			20—25	1,713	0,397	0,436	0,020	0,023	0,045	—	
			90—95	2,531	0,452	0,607	0,019	0,036	0,050	—	
44	Прибрежная полоса оз. Балхаш	Солончак	0—1	1,912	0,013	1,194	0,064	0,140	0,010	—	Шелаев, 1927
			1—10	7,825	0,013	5,233	0,055	0,138	0,017	—	(Слесаревич, 1941)
			15—20	4,075	0,260	2,395	0,032	0,138	0,021	—	
			30—40	4,190	0,917	1,687	0,026	0,112	0,060	—	
			90—100	0,246	0,004	0,025	0,044	0,008	0,001	—	
			225—230	0,077	0,013	0,014	0,021	0,005	0,001	—	
		Южный район									
		Предгорная полоса									
31/200	Бывший Лепсинский уезд	Светлый серозем	0—10	0,053	0,001	Нет	0,032	—	—	—	Надеждин, 1930
			20—30	0,045	0,002	»	0,029	Нет	—	—	(Слесаревич, 1941)
			60—70	0,038	0,002	»	0,035	—	—	—	
			110—120	0,967	0,026	Следы	0,029	—	—	—	
11	Шлейф Чу-Илийских гор	Такырный серозем	0—10	0,222	0,003	0,063	0,083	0,020	0,011	—	Мухля, 1926
			12—15	0,081	0,004	Следы	0,064	0,018	0,002	—	(Слесаревич, 1941)
			50—60	0,401	0,149	»	0,074	0,034	0,003	—	
			80—85	0,305	0,145	0,012	0,045	0,012	0,003	—	

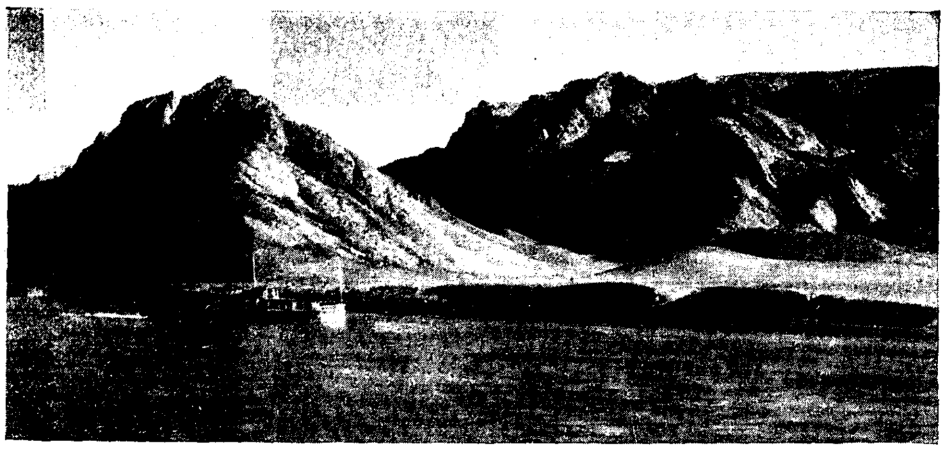


Рис. 9. Река Или в Капчагайском ущелье

5000 *м* определяет основной ледниково-снеговой тип питания [1]. Расположение значительной части Илийской долины среди массивов высоких



Рис. 10. Река Или перед дельтой

горных хребтов способствует интенсивному питанию реки грунтовыми водами.

Наконец, обширность водосборного бассейна, охватывающего территорию около 154 000 *км*² (Рыбин, 1952) с различными климатическими зонами, определяет также заметную роль и атмосферных вод в питании реки.

Среднемесячные расходы Или в 11 *км* ниже с. Илийского с 1911 по 1954 г., а также их средние величины за этот 44-летний период (по данным УГМС

---

[1] Во всем бассейне оз. Балхаш находится 459 ледников с общей площадью 1000—1100 *км*² (Горбунов, 1939).

Казахской ССР) приведены на рис. 11 и 12. Водный режим реки характеризуется следующими фазами. Весной, в результате таяния зимних осадков, в бассейне проходит небольшой паводок; далее расходы продолжают расти за счет таяния снега и льда в горах и достигают своего максимума (925—930 *м³/сек*) в июле — начале августа. Примерно с середины августа

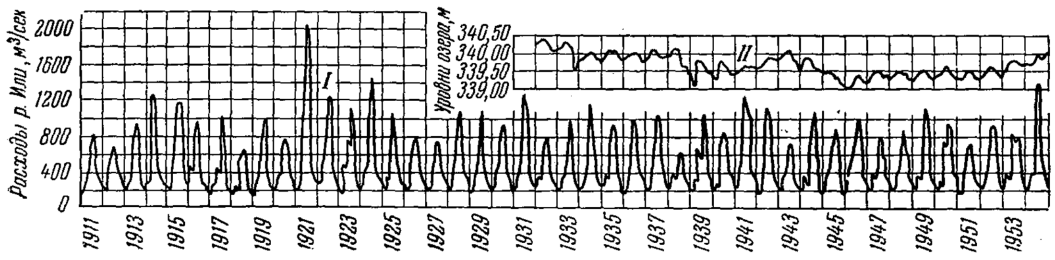


Рис. 11.

I — среднемесячные расходы р. *Или в 11 км ниже* с. Илийского с 1911—1954 гг; *II* —среднемесячные уровни *оз.* Балхаш с 1932—1954 гг.

расходы реки начинают падать и зимой снижаются до минимальных (195—205 *м³/сек*).

Среднегодовой расход реки в рассматриваемом створе за период 1911—1954 гг. составляет 465 *м³/сек*, или 14,7 *км³/год*. Значительная часть из этого количества воды, не доходя до озера, теряется в виде русловых потерь и потерь в дельте.

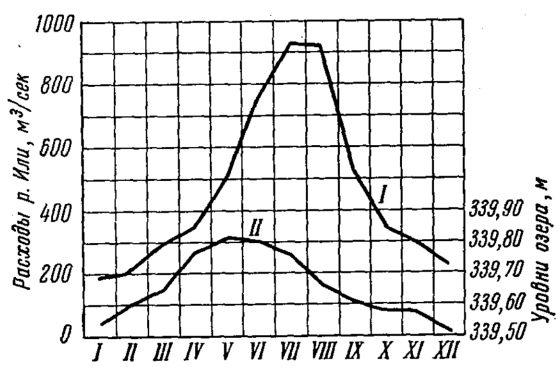


Рис. 12.

I — среднемесячные многолетние расходы р. *Или в 11 км ниже* с. Илийского (в среднем за многолетие 1911—1954 гг.);*II* —годовой ход уровней оз. Балхаш (в среднем за многолетие 1932—1957 гг.)

Рассмотрим, что представляет собой дельта в настоящее время и остановимся кратко на ее истории.

Общая дельта Или, занимающая территорию около 12 000 *км²*, имеет вид треугольника, ограниченного правой составляющей системы сухого русла Баканас — Чит-Баканасом, системой проток Топара и оз. Балхаш (сухое русло Баканас имеет три ветви — Чит-Баканас, Орта-Баканас и Нарын-Баканас).

Современная дельта (рис. 13) по размерам вдвое меньше. Ее границами служат оз. Балхаш и система проток Джидель и Топар. Расположенная между ними Или образует третью систему.

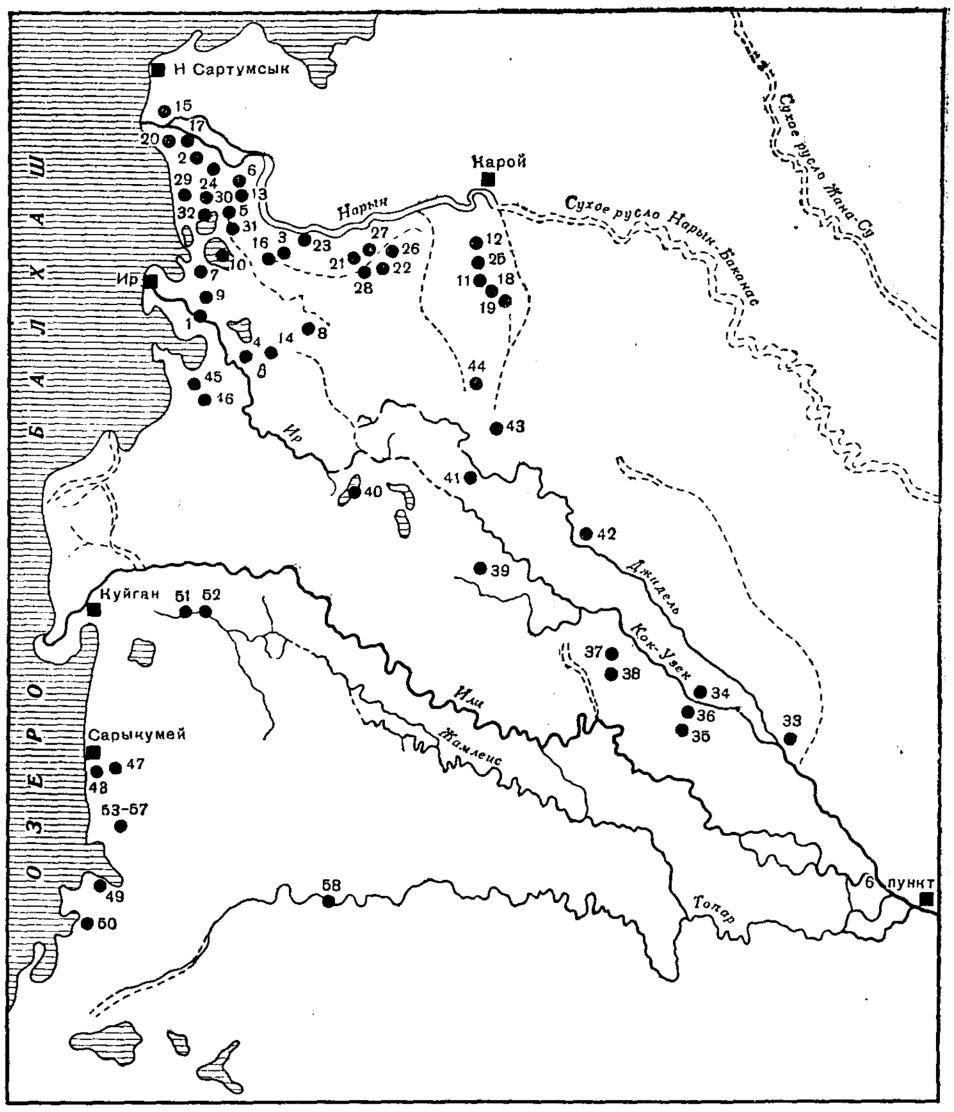


Рис. 13. Схематическая карта современной дельты р. Или.

Черный квадрат — населенные пункты; черный кружок — пункты отбора проб воды из озер и проток.

Согласно предположениям Б. К. Штегмана (1952), основанным на всестороннем анализе ландшафтов, растительности и конфигурации озер и проток дельты, история последней представляется в следующем виде. Первоначально дельта Или совпадала с современной, затем она переместилась на северо-восток, где ныне находятся сухие русла Баканасов. Протоки старого русла Или были засыпаны песком, и здесь образовалась пустыня.

Впоследствии, в результате прогибания древней долины, вызванного тектоническими причинами, Или проложила себе новое (современное) русло, в результате чего Баканасы остались без воды [1]. Река Или протекала тогда одним руслом и, не доходя до Балхаша, впадала в систему озер. В даль-

[1] Согласно замерам А. В. Попова (1959), произведенным 16.IX.1946 г., дно сухого русла Баканас в том месте, где оно отходило от р. Или, возвышалось над урезом воды в реке на 1,6 *м*.



Рис. 14. Северо-восточный участок современной дельты р. Или

нейшем эти озера были занесены, и затем по мере заполнения долины основного русла наносами от него стали ответвляться протоки, которые также постепенно заносились и отмирали. Самыми верхними, молодыми и крупными из них являются Джидель и Топар.

Так образовалась дельта в современном ее виде. Предположения Б. К. Штегмана разделяет также Н. Г. Рыбин (1955). Образование Ба-

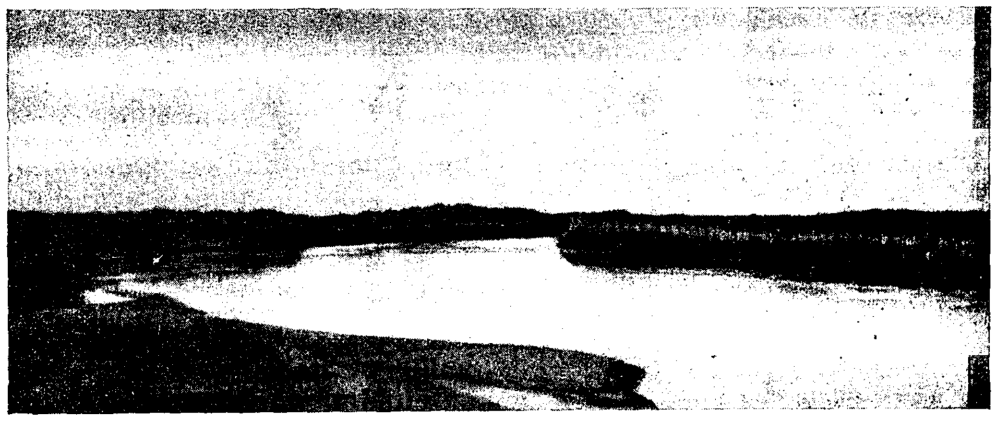


Рис. 15. Протока Джидель

канасов он относит к концу среднечетвертичного или началу верхнечетвертичного времени.

Современная дельта представляет сложную систему параллельных гряд песчаных барханов, чередующихся с бесчисленными протоками, озерами и болотами, покрытыми непроходимыми зарослями тростника (рис. 14 и 15). Среди пестрой мозаики из песка, воды и тростника, прекрасно наблюдаемой с самолета, причудливо извивается главное русло Или (рис. 16).

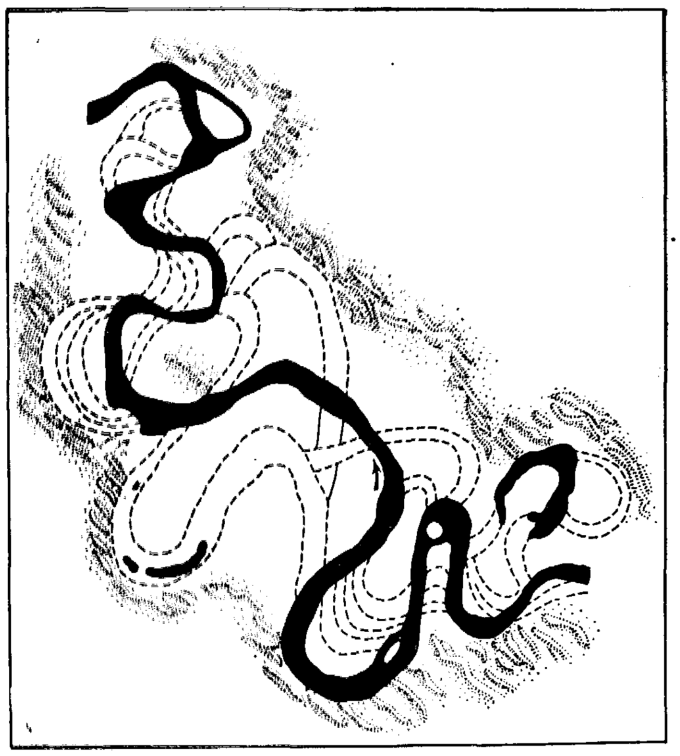


Рис. 16. Отрезок главного русла р. Или (Штегман, 1952)

Б. К. Штегман, который изучал дельту непрерывно в течение четырех лет, неоднократно наблюдал отмирание старых и образование новых меандр. Он находил места, где по одному и тому же отрезку русла течение шло то в одном, то в обратном направлении. Бывают случаи, когда дно старых русел, брошенных рекой, возвышается над окружающей долиной на целый метр и т. д. Со слов рыбаков и охотников, промышляющих в дельте, водоносность отдельных проток резко колеблется. Та или иная протока, еще год назад бывшая многоводной, быстро мелеет и высыхает, вода же прокладывает себе новый путь.

Примерно то же относится и к основным протокам, в частности, к Топару. А. Картыков (1903) отмечал, что в 1903 г. вода в Топаре была. Л. А. Молчанов (1929) отметил, что протока Топар настолько усиливается, что, возможно, вода из залива Ала-Куль пойдет в оз. Балхаш.

В последние же годы (1956—1957), несмотря на повсеместное повышение уровня в дельте, воды в Топаре почти не было.

Динамичность процессов в дельте, обусловленная чрезвычайно низким уклоном равнины, высоким содержанием взвешенных веществ в Или и большой подвижностью песков, определяет разнородность по размерам, генезису, режиму и другим показателям бесчисленных озер, расположенных в дельте. Крупные озера здесь комбинируются с небольшими впадинами, временно залитыми водой; проточные озера, имеющие источником питания илийскую воду,— с изолированными озерами, расположенными в межбарханных впадинах и питаемыми грунтовыми водами; высыхающие и высохшие озера — с недавно заполненными; пресные — с солеными и т. д.

Естественно, что, попав в описанные господствующие в дельте условия, значительная часть илийской воды растекается по дельте, испаряется и

транспирируется. Поэтому фактическое среднегодовое поступление вод Или в озеро будет, по сравнению с притоком реки в 11 *км* ниже с. Илийского, меньше на величину русловых потерь от этого створа до дельты и величину потерь в дельте.

Среднегодовой расход Или в вершине дельты (уроч. Уш-Джарма) составляет 455 *м*³/*сек*, или 14,38 *км*³/*год*, т. е. русловые потери до дельты равны 0,32 *км*³/*год*. Средняя величина потерь в дельте на испарение и транспирацию, подсчитанная на основании данных аэрофотосъемки и натурных наблюдений, проводимых в дельте в 1953—1955 гг., составляет 4,0 *км*³/*год*, или 126 *м*³/*сек* среднегодового расхода (Соседов, 1955). Таким образом, средний годовой приток Или в озеро составляет: 14,7—0,32—4,0=10,38 *км*³, или 329 *м*³/*сек* [1].

Река Каратал. Эта река является вторым по величине притоком оз. Балхаш после Или. Имеет три составляющих: собственно Каратал, Кок-Су и Биже. Свое начало все они берут на снежных вершинах и ледниках северо-западных склонов Джунгарского Алатау. В верхней части река имеет характер бурных горных потоков. Ниже впадения р. Биже Каратал углубляется в Прибалхашскую песчаную равнину, где, сильно извиваясь, образует широкую пойму.

В районе дельты река разветвляется на несколько протоков и рукавов. Здесь много озер и заболоченных участков. Общая длина Каратала — 432 *км*, площадь водосбора 14 220 *км*².

Питание реки смешанное. Весной она питается в основном за счет таяния зимних осадков, летом — за счет ледников и атмосферных осадков.

На рис. 17 и 18 показаны хронографы расходов реки в створе Найман-Суек с 1941 по 1957 г. и среднемесячные многолетние величины расходов за этот период. Максимальные расходы наблюдаются в июне, минимальные — в январе-феврале.

Среднегодовой расход реки в створе Найман-Суек за период 1930—1957 гг. составляет 68,3 *м*³/*сек*. Потери от этого створа до устья реки И. С. Соседовым (1955) оцениваются в 1,8 *м*³/*сек*. Таким образом, средний годовой приток в озеро за счет Каратала составляет 66,5 *м*³/*сек*, или 2,10 *км*³/*год*.

Река Ак-Су. Берет начало из ледников Джунгарского Алатау на высоте свыше 4000 *м* и по своему характеру приближается к рекам с высокогорным ледниковым питанием. Длина реки 256 *км*, площадь водосборного бассейна 4151 *км*² (Рыбин, 1952). Из графиков расходов (рис. 17 и 18) видно, что режим реки Ак-Су характеризуется двумя паводками — весенним и летним.

Небольшой весенний паводок происходит за счет таяния зимних осадков. Более значительный летний паводок с максимумом в июле-августе — результат таяния ледников. На графике (см. рис. 18) он выражен недостаточно ярко, так как значительная часть стока этой реки летом разбирается на орошение.

В створе с. Кур-Ак-Су среднегодовой расход реки за период 1930—1957 гг. составляет 9,3 *м*³/*сек*. Учитывая, что до устья река теряет примерно 2 *м*³/*сек* своего расхода, по данным Соседова (1955), средний годовой расход реки в озеро составляет 7,3 *м*³/*сек*, или 0,23 *км*³/*год*.

Река Лепса. Впадает в оз. Балхаш почти одним руслом с Ак-Су. Берет начало на северных склонах Джунгарского Алатау. В верховьях Лепса протекает по крутым лесистым склонам хребта, в среднем и нижнем течении — в низких песчано-глинистых берегах (рис. 19).

---

[1] А. В. Шнитников, не имея данных, ошибочно предполагал, «...что в оз. Балхаш поступает из Или количество вод не меньшее, чем их протекает через Илийскую станцию» (1936, стр. 66).

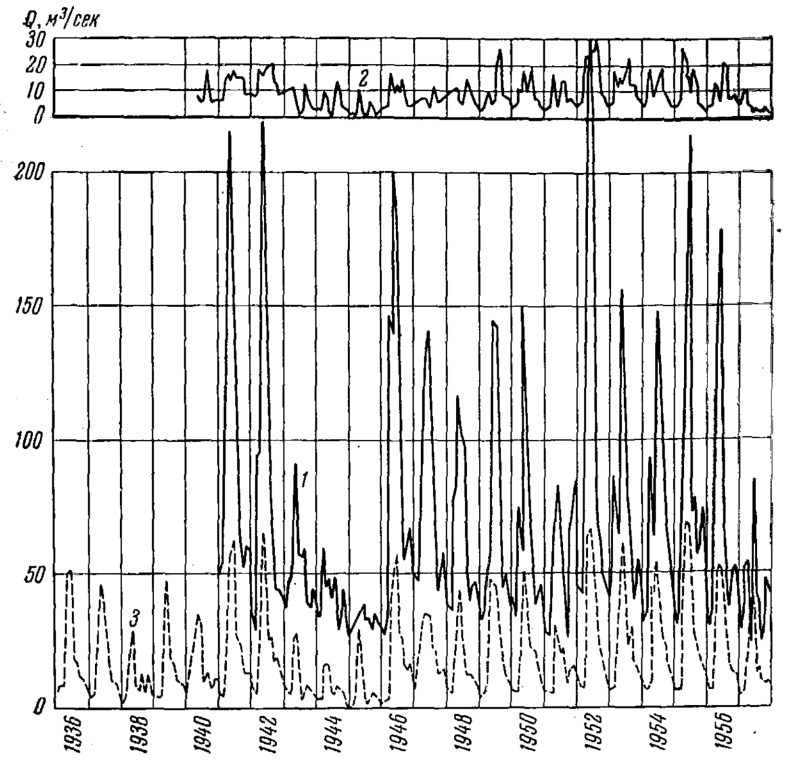


Рис. 17. Среднемесячные расходы рек Каратал, Ак-Су и Лепса.

1 — Каратал в створе Найман-Суек; *2*— Ак-Су в створе Кур-Ак-Су; *3*—Лепса в створе совхоза Лепса

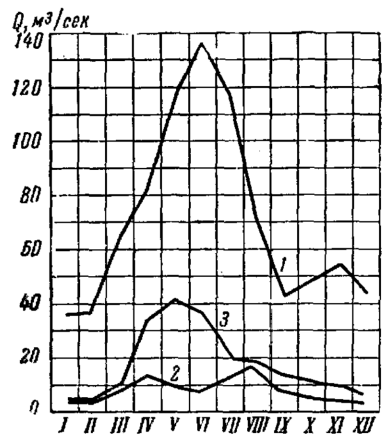


Рис. 18. Среднемесячные многолетние расходы рек Каратал, Ак-Су и Лепса.

1 — Каратал в створе Найман-Суек в среднем за многолетие 1941—1957 гг; *2*— Ак-Су в створе Кур-Ак-Су в среднем за многолетие 1944—1945 и 1949—1957 гг.; *3*— Лепса в створе совхоза Лепса в среднем за многолетие 1936—1957 гг.



Рис. 19. Река Лепса в нижнем течении у совхоза Лепса

При впадении в озеро река образует небольшую дельту. Длина Лепсы— 287 *км*, площадь бассейна — 4100 *км*² (Рыбин, 1952). По своему питанию и режиму Лепса весьма сходна с Караталом. Отличие ее состоит лишь в том, что максимальные расходы у Лепсы наблюдаются в мае, а не в июне, как у Каратала.

Графики расходов реки в створе совхоза Лепса даны на рис. 17 и 18. Среднегодовой расход в этом створе за период 1930—1957 гг. составляет 17,5 *м*³/*сек*, или 0,55 *км*³/*год*. Эту величину можно принять за приток в озеро, так как рассматриваемый створ находится всего лишь в нескольких километрах от устья.

Северные притоки

Река Аягуз. Эта река и сеть ее притоков берут начало на склонах хребтов Чингиз-Тау и Тарбагатай на высоте около 1000 *м*. Длина реки около 380 *км* (Песков, 1941). Река имеет смешанное питание за счет таяния снега весной и летних атмосферных осадков. Максимальные расходы наблюдаются в апреле, минимальные — зимой.

Связь р. Аягуз с озером непостоянна. В отдельные годы ее воды доходят до оз. Балхаш, в другие же она не дает притока в озеро. Так, А. Картыков (1912) в 1903 г. наблюдал опресняющее действие Аягуза на большом прилегающем к устью участке озера. По указаниям Н. Бенцелевича (Шнитников, 1936), в 1913 г. устье реки было открытым и в теплое время года даже доступным для входа небольших катеров.

Однако в 1928—1929 гг., во время работ П. Ф. Домрачева (1931), поверхностный сток в озеро река имела только весной. По И. С. Соседову, средний многолетний поверхностный приток вод реки в озеро равен 5,6 *м*³/*сек*, или 0,18 *км*³/*год*.

Реки Баканас, Токрау и Моинты. Все они берут начало с возвышенностей южной части Казахской складчатой страны. Все реки маловодны. Питаются они исключительно за счет весеннего таяния снегов

(в апреле-мае), проходящего в короткий отрезок времени. Все они, теряясь в собственных отложениях, как правило, не доходят до озера намногие десятки километров и только некоторые из них в отдельные полноводные весенние периоды (например, р. Токрау в 1931 г.) могут дать кратковременный поверхностный приток в озеро. В остальное время года их течение продолжается на некотором расстоянии в виде подземного аллювиального потока, который наиболее значителен у Токрау. Практически поверхностного притока воды в озеро эти реки не дают.

Приток с береговой полссы

В результате выпадения осадков, с собственной активной водосборной площади озера, которая по Д. Г. Сапожникову (1951) равна около 6000 *км*², в озеро также стекает некоторое количество воды. Оно, правда, небольшое, так как осадки здесь невелики, но учитывать его следует. Имея в виду, что модуль среднего годового стока для рассматриваемой территории не превышает 0,5 *л/сек* с 1 *км*² (Зайков, 1946), приток воды с береговой полосы составляет примерно 0,09 *км*³/*год*. Почти целиком это количество попадает в озеро весной, во время таяния зимних осадков. На остальные сезоны приходится лишь 10—20% поступления таких вод.

Озера

В последнее время описанию озер Казахстана был посвящен целый ряд весьма обстоятельных работ (Рыбин, 1952; Посохов, 1955 и др.), поэтому мы ограничимся краткой характеристикой только тех озер, которые находятся в Прибалхашье и имеют непосредственное отношение к гидрохимии оз. Балхаш.

К таким озерам относятся уже упомянутые выше многочисленные озера дельты Или, Юго-Восточного Прибалхашья, а также северо-западного и северного побережий оз. Балхаш.

Озера Юго-Восточного Прибалхашья. Эти водоемы расположены на участке от русла протоки Ир — на западе до залива Карашаган — на востоке. Большинство указанных озер приурочено к прибрежной полосе озера шириной 5—10 *км*; некоторые же из них находятся и на более значительном расстоянии от оз. Балхаш. По своему генезису рассматриваемые озерные котловины делятся на три группы: котловины бессточных озер, котловины озер стариц реки и котловины реликтовых озер (Корф и Еловская, 1936).

Изолированные безымянные котловины (первая группа) беспорядочно разбросаны среди бугристых и барханных песков. Обычно они имеют округлую форму, пологие невысокие склоны и небольшие размеры (не более 150 *м* в диаметре). Питаясь почти исключительно за счет таяния снега, эти озера имеют воду только весной. Летом вода испаряется, и на дне озерца остается либо небольшая корка сухих солей, либо рассол.

Котловины озер стариц реки (вторая группа) располагаются в низовьях Каратала. Их происхождение, как указывает само название, связано с рекой. Образовавшиеся в них озера имеют продолговатую форму и некоторые из них достигают в длину более 10 *км*. В первой стадии своего существования эти водоемы обычно имеют подземную связь с рекой, а во время паводка питаются речными водами (озера Камбакты-Коль, Жана-Су и др.). При смене рекой русла связь ее с озером постепенно прекращается, и последнее из пресного превращается в соляное (группа соляных озер Тал-Чурат, Камыш-Бельге, Уялы и др.).

Котловины реликтовых озер (третья группа) в Прибалхашье наиболее многочисленны (рис. 20). К образовавшимся в них озерам следует отнести Чемышкуль, Кара-Куль, Карашаган и многие другие. Часть озер этого типа



Рис. 20. Залив Карашаган; вдали виднеется реликтовое соляное озеро

периодически заливаются водой оз. Балхаш при повышении уровня последнего, другая часть, более отдаленная от побережья, имеет с оз. Балхаш только подземную связь. Еще дальше располагаются изолированные озера. В соответствии с этим более опресненные озера встречаются ближе к оз. Балхаш, дальше располагаются более соленые и еще дальше — самосадочные озера. Чаще всего озера вытянуты, согласно направлению заливов Южного Балхаша, с севера на юг. Размеры их самые различные, но обычно не превышают сотню гектаров.

Озера северо-западного и северного побережий оз. Балхаш. Несмотря на то, что на этих побережьях имеется очень много характерных для мелкосопочника замкнутых впадин, озер здесь все же значительно меньше, чем в Южном Прибалхашье. Только в тех случаях, когда имеются благоприятные условия водного питания, в котловинах образуются озера. Весной многие впадины заполняются талыми водами; с наступлением жарких дней вода в них испаряется и они превращаются в такыры. Только немногие из них имеют характер настоя-



Рис. 21. Одно из соляных озер группы Майкамыс

щих озер, при этом преимущественно соляных. К ним можно отнести озера Кашкантенгиз (Тузлы) и Терсаккан, озера п-ова Бертыс, группу озер Тектурмас-Майкамыс (рис. 21), оз. Кок-Домбак и др. Питание всех этих озер, за исключением оз. Кок-Домбак, в прошлом осуществлялось за счет оз. Балхаш, и поэтому их можно рассматривать как реликты оз. Балхаш. Озеро Кок-Домбак, по-видимому, плесово-речного происхождения (Посохов, 1949, 1949а, 1955).

5. ГИДРОГЕОЛОГИЯ

Гидрогеология Балхашского бассейна до сих пор изучена слабо. Все же имеющиеся по этому вопросу в литературе сведения позволяют дать общее представление о подземных водах бассейна и даже в первом приближении оценить количественно их роль в питании оз. Балхаш. Последнее для нас является наиболее важным. Подземные воды Северного и Южного Прибалхашья целесообразно охарактеризовать раздельно, так как гидрогеологические условия в этих районах неодинаковы.

Северо-Западное и Северное Прибалхашье подземными водами не богато. Здесь преобладают воды трещинного типа, питаемые за счет атмосферных осадков. Вследствие большого количества трещин наиболее обводнены граниты. Однако дебит источников обычно не превышает 1 *л/сек*. Только скважины, попадающие в зоны тектонических разломов, дают до 5 *л/сек* воды (Посохов, 1955). Повышенной водоносностью обладают также известняки, содержащие трещинно-карстовые воды. Песчаники, порфиры и особенно различные сланцы почти безводны.

Особое место здесь занимают подземные воды, приуроченные к аллювиальным отложениям древних и современных долин. Б. К. Терлецкий отмечает, что «...особенностью северо-восточного Казахстана является тот, на первый взгляд, парадоксальный факт, что в полупустынях Северного Прибалхашья, там, где количество атмосферных осадков редко превышает 100—150 *мм/год*, мы наблюдаем мощные аллювиальные потоки пресных вод, распространяющихся в речных отложениях широких долин» (1932, стр. 31).

На наличие значительных запасов подземных вод удовлетворительного качества, заключенных в аллювиальных отложениях речных долин, единогласно указывали многие исследователи, работавшие в Северном Прибалхашье по изысканию источников водоснабжения «Прибалхашстроя» (Филимонов, 1931; Основные пути развития..., 1931; Лилейко, 1932; Иванов, 1932; Распопов, 1932, Кунин, 1935 и др.). Дебит аллювиального потока р. Моинты составляет 6—8 *л/сек*, р. Джамчи — до 10 *л/сек* (Посохов, 1955), р. Токрау — 50 *л/сек* (Иванов, 1932) [1]. Подземное течение имеют также реки Баканас, Аягуз и другие.

Помимо подземного потока крупных речных долин с обширными водосборами в Северном Прибалхашье имеют также значение подземные воды многочисленных коротких долин с площадями водосбора 10—12 *км²*. Модуль грунтового стока таких долин в самых южных точках Северного Прибалхашья достигает 0,2—0,5 *л/сек* с 1 *км²* (Макаренко, 1951).

Глубина залегания подземных вод различна. Трещинные воды чаще всего залегают глубоко, подземные воды речных и коротких долин обычно не глубже 2—5 *м*. В прибрежной полосе, непосредственно примыкающей к озеру, в силу подпора водами Балхаша, подземные воды подходят к поверхности совсем близко. Их циркуляция здесь резко замедляется.

Исходя из анализа гидрогеологических условий в прибрежных районах озера, У. М. Ахмедсафиным (1955) были подсчитаны примерные величины объемов различных типов подземных вод, дренируемых озером. По его подсчетам с северо-западного и северного побережий озера в год должно

[1] Е. В. Посохов, основываясь на результатах исследований последних лет, считает, что эта цифра сильно занижена.

поступать около 3 млн. $м^3$ трещинных и 20 млн. $м^3$ подземных вод из коротких долин. Примерно 3 млн. $м^3$ из этих количеств тратится на испарение. Следовательно, в итоге годовой подземный приток в озеро за счет этих двух типов составляет около 20 млн. $м^3$. Ссылаясь на данные С. М. Шапиро, Ахмедсафин указывает, что в 50—70 *км* от озера долины крупных рек Северного Прибалхашья несут до 34 млн. $м^3/год$ аллювиальных подземных вод. Из них, по мнению Ахмедсафина, 5—6 млн. $м^3$ отбирается на водоснабжение, не менее 18 млн. $м^3$ уходит на испарение и транспирацию и остаток, т. е. примерно 10 млн. $м^3$, стекает в оз. Балхаш.

Таким образом, суммарное поступление подземных вод в озеро с Северного и Северо-Западного Прибалхашья составляет около 30 млн. $м^3/год$.

Южное Прибалхашье в отношении запасов грунтовых вод и питания ими оз. Балхаш находится в более благоприятных и выгодных условиях, чем Северное. Некоторая часть воды, стекающая с расположенных на юге гор, помимо питания рек, по-видимому, фильтруется в конусы выноса рек и далее распространяется под Прибалхашской пустыней. Другим, пожалуй, основным источником грунтовых вод должны быть сами реки, нижние части бассейнов которых сложены легко фильтрующими песками. Определенную роль в питании подземных вод играют также атмосферные осадки и конденсированная из воздуха влага. Все эти предпосылки, а также некоторые фактические данные дали основание большинству исследователей придти к общему выводу о том, что в пределах всего Южного Прибалхашья имеется постоянный поток подземных вод, направленный от гор к озеру (Русаков, 1931; Терлецкий, 1931, 1932; Никитин, 1932; Посохов, 1955; Оборин, 1959 и др.).

Глубина залегания подземных вод увеличивается в сторону гор. В прибрежной полосе озера они находятся на глубине не более 2 *м*, в центре пустыни — на глубине 5—10 *м*, в предгорных районах — на глубине 10—100 и более метров.

Водный баланс подземных вод Южного Прибалхашья, приводимый Ахмедсафиным, представлен в следующем виде (в млн. $м^3$):

Приход:		Расход:	
а) инфильтрация атмосферных осадков	211	а) капиллярное испарение	341
б) фильтрация речных вод	1330	б) внутригрунтовое испарение	181
в) фильтрация из горных и предгорных районов	116	в) транспирация растениями	899
Всего	1657	Всего	1421

Разница между приходом и расходом в 240 млн. $м^3$ представляет примерное годовое поступление подземных вод в оз. Балхаш с юга.

Следовательно, суммарный подземный приток в озеро с севера и с юга составляет около 270 млн. $м^3/год$. При этом, по мнению Ахмедсафина, из них 180 млн. $м^3$ поступает в западную часть озера и 90 млн. $м^3$—в восточную.

Следует отметить, что другими авторами подземный приток в озеро оценивается по-иному. Так, например, А. В. Шнитников (1936) предполагал, что поступление в озеро за счет аллювиального потока речных долин Северо-Западного и Северного Прибалхашья составляет не менее 1560 млн. $м^3$ в год. Величину притока других типов подземных вод он приравнивает величине инфильтрации из озера. Г. Р. Юнусов суммарный годовой подземный приток вод в озеро оценивал в 1500 млн. $м^3$. Д. Г. Сапожников считал, что «...оз. Балхаш со стороны северного и западного берегов получает подземных вод в количестве, в 1500 раз меньшем того количества воды, которое вносится в этот бассейн поверхностным речным стоком» (1951,

стр. 46), т. е. около 10 млн. *м*³/*год*. В своих дальнейших рассуждениях мы используем цифры, приводимые Ахмедсафиным, так как они наиболее современны и получены на основании всестороннего анализа гидрогеологических условий Прибалхашья [1].

6. КЛИМАТИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ПРИБАЛХАШЬЯ

Географические границы оз. Балхаш расположены между 45°00′ и 46°50′ с. ш. [2] и 73°20′ и 79°30′ в. д., по Гринвичу (рис. 22).

Озеро Балхаш находится в условиях сухого резко континентального климата, свойственного центральной части Азиатского материка. Ввиду значительной протяженности озера в широтном направлении его разные участки (главным образом западная и восточная части) имеют различные основные климатические характеристики. Поэтому в дальнейшем климатические условия Западного и Восточного Балхаша будут освещены нами отдельно.

Температура и влажность воздуха. В табл. 2 приведены средние месячные и годовые температуры воздуха, характеризующие тепловой режим Прибалхашья. Из данных этой таблицы следует, что температура воздуха в западной части озера в течение всего года несколько

Таблица 2

Средние месячные и годовые температуры воздуха и воды оз. Балхаш
(по Домрачеву, 1935)

Район озера	*t*	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Средняя годовая температура
Западный Балхаш	$t_{возд}$	−18,0	−16,7	−4,1	10,7	16,9	23,9	26,6	24,6	15,4	7,4	−0,8	−11,5	6,2
	$t_{вод}$	0,2	0,04	0,2	8,6	16,7	21,1	23,8	21,4	15,7	8,4	2,4	0,2	9,9
Восточный Балхаш	$t_{возд}$	−25,6	−23,6	−5,9	5,2	14,9	19,8	21,5	20,9	14,2	7,3	−1,7	−15,4	2,6
	$t_{вод}$	0,2	0,1	0,6	4,5	13,5	19,4	20,1	19,8	14,2	7,7	1,7	0,4	8,5

выше, чем в восточной; при этом она колеблется в широких пределах. Годовая амплитуда среднемесячных температур достигает 47°. Наиболее холодные месяцы — январь и февраль, наиболее жаркие — июль и август.

Максимальные летние температуры достигают 40°, минимальные зимние —45°. Следовательно, максимальная амплитуда колебания температур доходит до 85°.

Сочетание высоких летних температур с малым количеством осадков приводит к чрезвычайной сухости воздуха. Абсолютная влажность последнего в пределах Прибалхашья колеблется от 2—3 *мм* в зимние месяцы и до 14—15 *мм* — в летние. Относительная влажность воздуха в среднем за год составляет 60—65% (Терлецкий, 1931; Сапожников, 1951).

Облачность. Значительная сухость климата определяет малую облачность в Прибалхашье. Минимум облачности приходится на лето, когда каждый второй день здесь ясный, а пасмурный — только одиннадцатый. В остальные летние дни солнце закрывается облаками только при-

[1] Химия речных и подземных вод Прибалхашья будет подробно рассмотрена в главе шестой, химия озерных вод в главе седьмой.

[2] Без залива Алакуль, который в настоящее время почти отделился от озера.

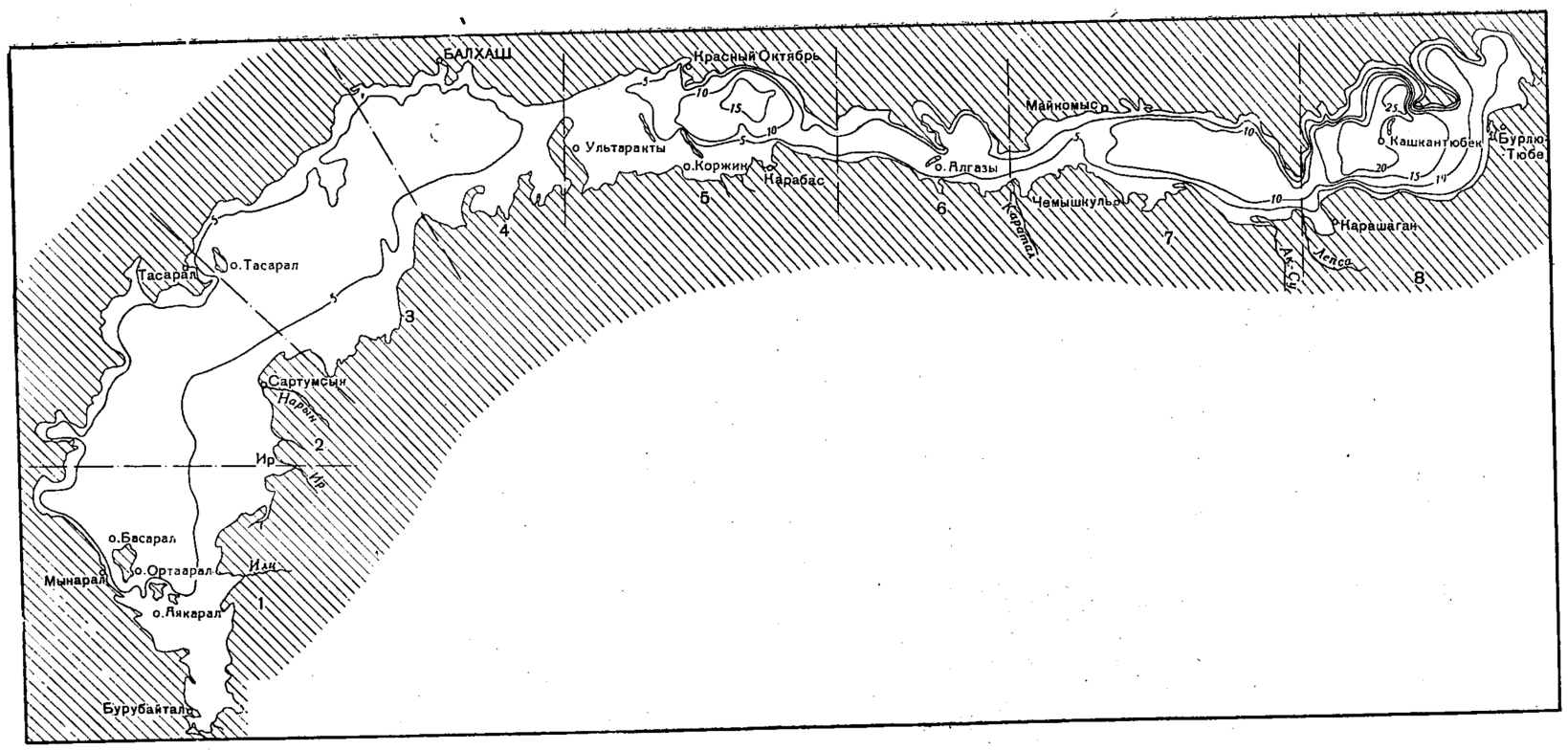


Рис. 22. Батиметрическая карта озера Балхаш

мерно на $^1/_8$ часть дневного времени (Пальгов, 1953). Максимальная облачность наблюдается в зимние месяцы. Средняя годовая облачность около 40—45%.

В е т е р. Почти постоянные ветры являются одной из характерных особенностей Прибалхашья. Среднегодовое распределение скоростей и направлений ветра за многолетний период по 8 румбам в трех пунктах озера наглядно представлено на рис. 23. В восточной части озера преобладают северо-восточные и северные ветры (повторяемость соответственно 32 и 24%), в средней части озера — северо-восточные (повторяемость 42%), в южной оконечности—северные, северо-западные и северо-восточные (повторяемость в сумме 66%). Следует подчеркнуть, что направление господствующих ветров, особенно в западной части озера, совпадает с продольной осью озера. Как увидим дальше, следствием этого являются интенсивные сгонно-нагонные течения. Среднегодовая скорость ветра достигает довольно большой величины (4,8—4,9 *м/сек*) [1]. Наиболее сильные ветры, имеющие характер бурь, дуют с юго-запада. Их скорость часто достигает 15 и более *м/сек*.

При таких бурях в воздух поднимаются громадные тучи пыли, застилающие солнце (рис. 24). Однако они бывают непродолжительны и прекращаются так же внезапно, как и начинаются. Ветры северных румбов более постоянны и не так сильны. Бывают на Балхаше и штили. По многолетним данным, в Бурлю-Тюбе в году 114 штилей, в г. Балхаше — 57, в Бурубайтале — 141. Но, как правило, они кратковременны и быстро сменяются ветрами. Максимальные среднемесячные скорости ветра

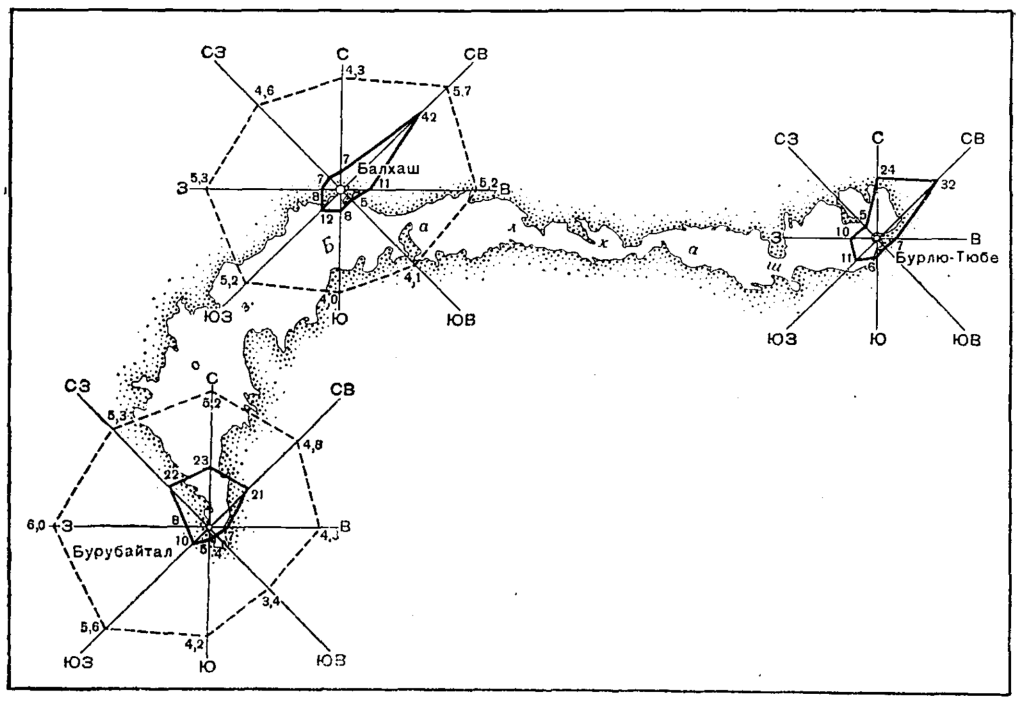


Рис. 23. Розы ветров Прибалхашья.

Цифры в углах больших многоугольников—средняя годовая скорость ветра (в *м/сек*); цифры в углах малых многоугольников — средняя годовая повторяемость направлений ветра (в%)

[1] П. Ф. Домрачев (1940) давал несколько завышенную величину — 6,2 *м/сек*.

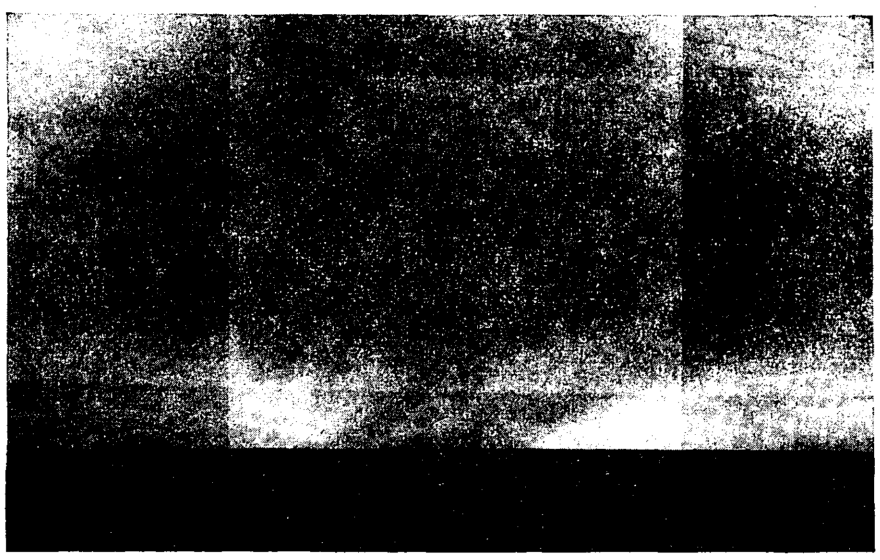


Рис. 24. Пыльная буря в Прибалхашье

приходятся на летние месяцы, минимальные — на зимние. В суточном ходе силы ветра наблюдается одна особенность, заключающаяся в том, что начавшийся утром ветер к полудню усиливается, а к вечеру постепенно затихает.

Испарение. Высокие летние температуры, сухость воздуха и сильные ветры, характерные для Прибалхашья, создают идеальные условия для испарения воды с поверхности озера. Испарение является главной статьей в расходной части водного баланса озера. Имевшее место до недавнего времени отсутствие непосредственных наблюдений привело к расхождению в оценке различными авторами величины испарения. Так, по А. В. Шнитникову (1936), испарение составляет 1400, по Г. Р. Юнусову — 960, по Л. К. Блинову (1956; Блинов и Буркальцева, 1957) — 1150 *мм/год* и т. д. По мнению И. С. Соседова, наиболее отвечающей действительности следует считать величину, полученную З. А. Викулиной на основании данных непосредственных наблюдений на оз. Балхаш, а именно — 930 *мм/год*.

Результаты поверочных расчетов, произведенных И. С. Соседовым, показали, что эта величина лучше других соответствует водному балансу озера. По его же подсчетам для западной части испарение составляет 952, а для восточной — 902 *мм/год*. Наиболее интенсивное испарение наблюдается в летние месяцы, когда на озере дуют сильные ветры.

Осадки. Относительно количества осадков, выпадающих в районе озера, в литературе имеются довольно разноречивые сведения. Объясняется это тем, что величины осадков получены либо на основании случайных наблюдений по отдельным пунктам побережий озера, либо по пунктам, значительно удаленным от оз. Балхаш. Ниже приведем некоторые из этих цифр:

Количество осадков, *мм/год*	Автор
Редко достигают 100	А. Лундинг (1913)
70—100	М. П. Русаков (1931)
150—250	С. А. Никитин (1932)
Не более 250	П. Ф. Домрачев (1933б)

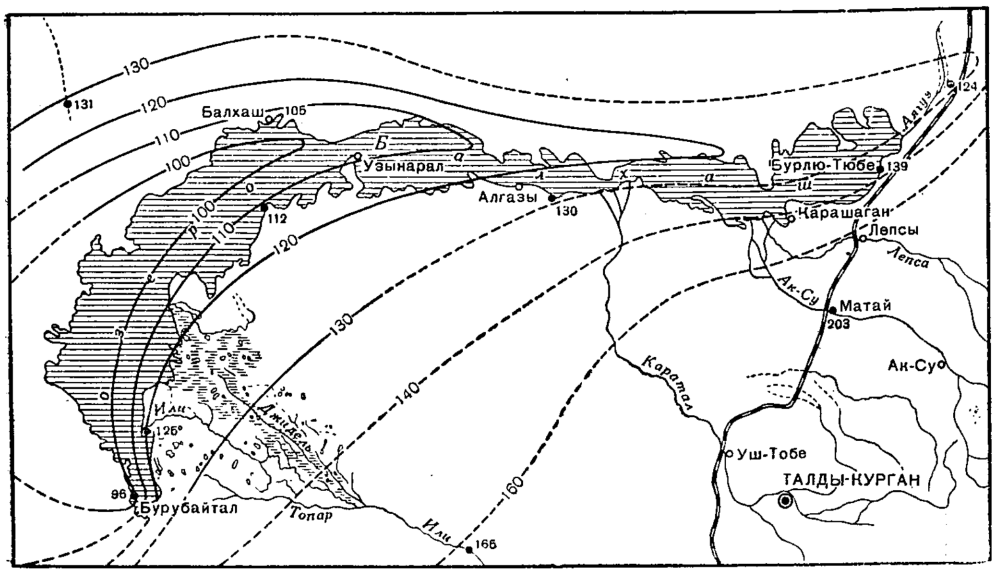


Рис. 25. Норма осадков за год в районе оз. Балхаш (в *мм*), по И. С. Соседову

Количество осадков, *мм/год*	Автор
180	А. В. Шнитников (1936)
125	А. В. Николаев (1936)
Близко к 180	П. Ф. Домрачев (1940)
100—120	В. В. Слесаревич и С. Ф. Песков (1941а)
Не более 100	Д. Г. Сапожников (1951)
На востоке 142, на западе 90—95	Е. В. Посохов (1955)

Даже из приведенных сведений ясно, что атмосферных осадков в районе оз. Балхаш выпадает очень мало. Однако остановиться на какой-либо из этих цифр трудно. Наиболее достоверны в этом отношении данные, приводимые И. С. Соседовым в виде схемы изогиет годовых осадков, составленной на основании материалов отдела климата Казахского научно-исследовательского гидрометеорологического института по средним многолетним значениям осадков в различных пунктах озера (рис. 25). Подсчитанный по этим данным средний слой осадков для всего озера составляет 110 *мм/год*, причем для западной части — 102, для восточной — 122 *мм/год*. Из годовой суммы осадков в теплый период (IV—X) в западной части выпадает около 50%, в восточной части — около 60%.

Снежный и ледовой покров. Высота залегания снежного покрова в Прибалхашье небольшая. В наиболее снежные месяцы зимы — январе и феврале — средние многолетние декадные высоты его здесь не превышают 10—20 *см*. Продолжительность снегового покрова около пяти месяцев, примерно с ноября по март.

Подо льдом озеро также находится около пяти месяцев. Во второй половине ноября оно начинает покрываться льдом, во второй декаде апреля — вскрывается. Восточная часть озера замерзает несколько раньше западной и вскрывается на 1—2 недели позже ее. Освобождение озера от льда начинается от устья Или, последними очищаются заливы восточной части озера. Толщина льда на озере в среднем 0,6—0,7 *м*, реже 0,9—1,0 *м*. В особенно холодные зимы, например, зимой 1929/30 г., максимальная толщина льда в январе-феврале достигала 1,5 *м* (Домрачев, 1930).

Глава III

МОРФОМЕТРИЯ, ГИДРОФИЗИКА И ОРГАНИЧЕСКИЙ МИР ОЗЕРА

1. ХАРАКТЕРИСТИКА ПОБЕРЕЖИЙ И МОРФОМЕТРИЯ ОЗЕРНОЙ КОТЛОВИНЫ

Для оз. Балхаш характерно два типа побережья: возвышенное каменистое и низменное песчаное. Для западного и северного берегов озера характерен первый тип. Слагаясь твердыми палеозойскими породами, берега здесь обычно возвышаются над уровнем воды на 20—30 *м*. Отдельные сопки достигают высоты 40—60 и даже 115 *м* (гора Талгыр). Нередко берега, круто спускаясь к воде, имеют характер обрывов (рис. 26). Часто между скалами прибрежных сопок и озером существует неширокая прибрежная отмель, покрытая обломками скал, щебнем или окатанной и неокатанной галькой. На отдельных участках встречаются береговые валы (см. рис. 6). Северный и западный берега изрезаны сравнительно мало. Лишь местами, например в районе Мынарала, наблюдается значительная изрезанность береговой полосы, сопровождаемая множеством бухт, заливов и прибрежных надводных и подводных островов (рис. 27). Низменные и равнинные участки на северном берегу встречаются сравнительно редко. Таковы небольшие равнины, сложенные озерными или озерно-речными песчаными отложениями, расположенные в низовьях рек Токрау и Аягуз, в районе урочища Қаракамыс и некоторые другие.

Юго-восточный берег озера от залива Бурлю-Тюбе до Қарашагана по своему характеру мало чем отличается от северного. Он также возвышен. сложен коренными породами, почти не изрезан (рис. 28).

Совершенно иной характер имеет южное побережье от залива Қарашаган до современной дельты Или. Здесь преобладает низкое песчаное побережье,



Рис. 26. Северный обрывистый берег оз. Балхаш

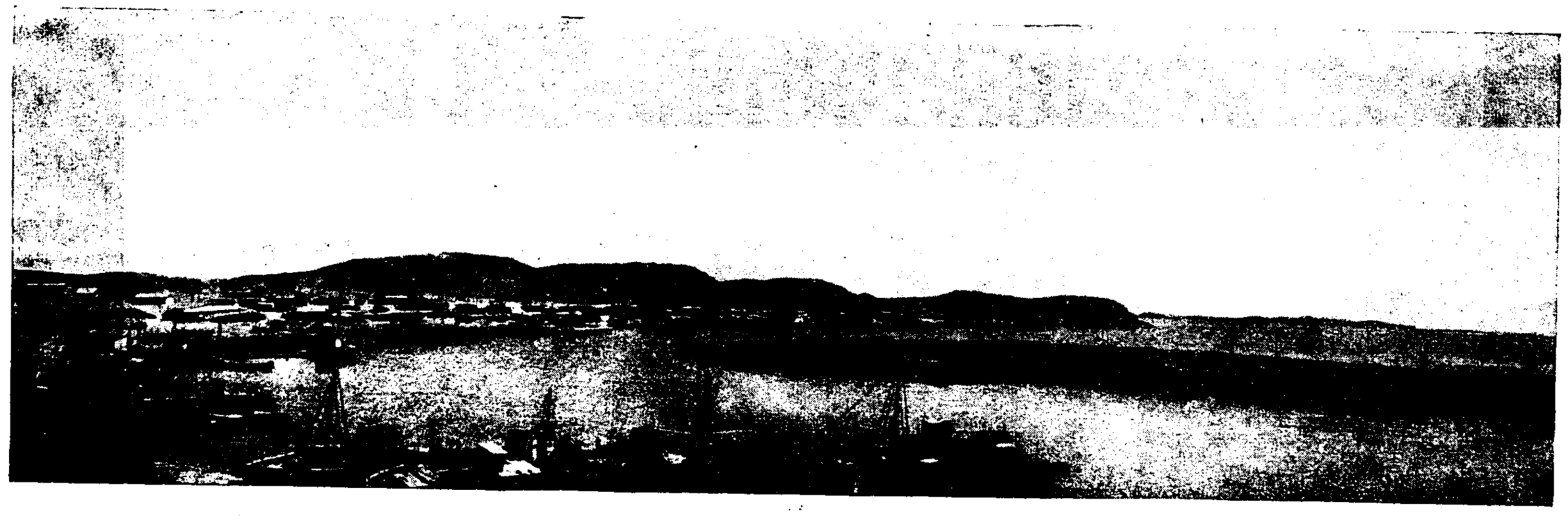


Рис. 27. Побережье оз. Балхаш в районе Мынарала

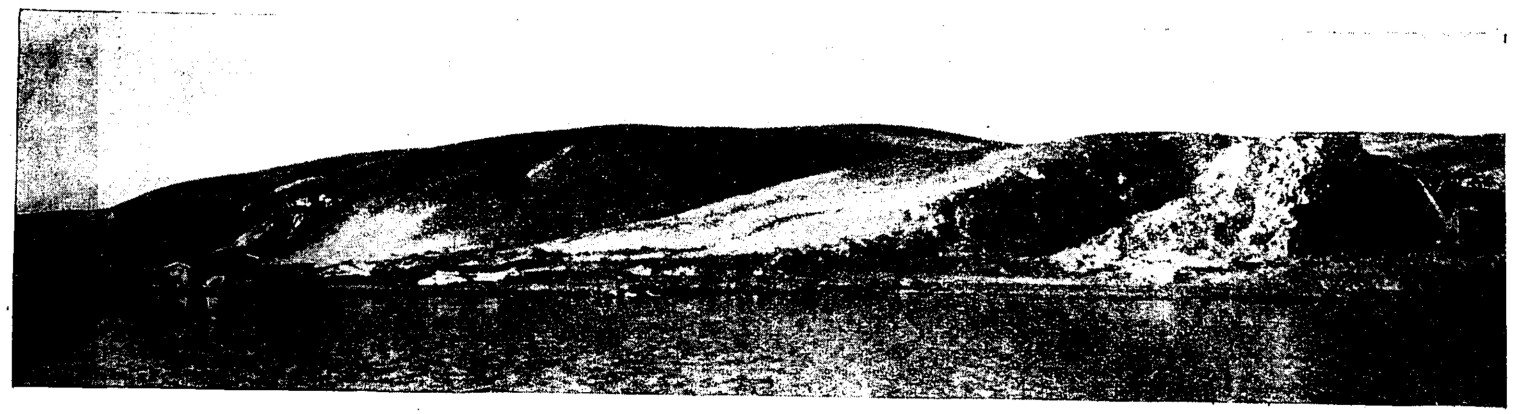


Рис. 28. Восточный берег залива Карашаган



Рис. 29. Песчаные бугры на южном берегу оз. Балхаш в районе Коржина

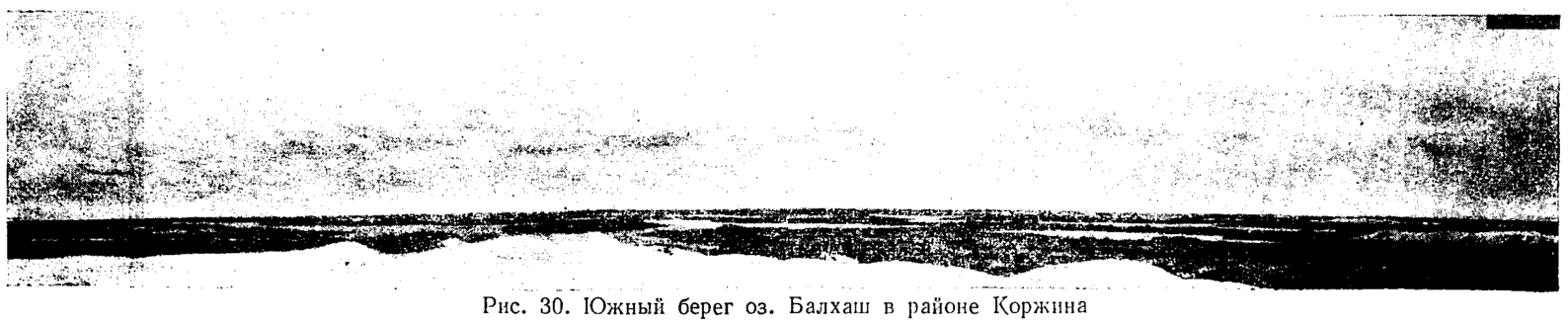


Рис. 30. Южный берег оз. Балхаш в районе Коржина

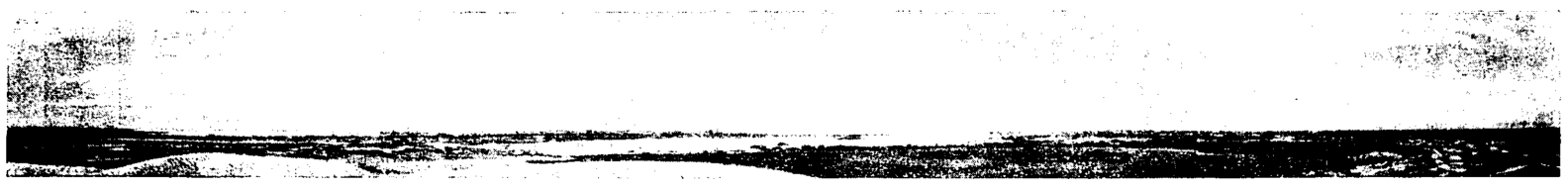


Рис. 31. Южный берег оз. Балхаш в районе Карабаса

поднимающееся всего лишь на 1—2 *м* над водой. Иногда песчаный берег переходит в топкий илистый. К равнинному берегу кое-где подходят невысокие (5—10 *м*) песчаные холмы и барханы. В восточном направлении их количество и высота увеличиваются (рис. 29).

Многочисленные отмели и косы, далеко выступающие в озеро, и не менее многочисленные заливы, глубоко вдающиеся в берег, создают большую изрезанность береговой полосы. В результате низкого положения берега, зачастую покрытого тростником, периодических колебаний уровня (с общей тенденцией к понижению) и подвижности песков и без того слабо выраженная береговая линия постоянно меняет свои очертания. Косы и отмели превращаются в прибрежные острова, заливы и заливчики — в озера. Часть из них постепенно теряет связь с оз. Балхаш и превращается в соляные озера. Последние постепенно высыхают и нередко заносятся песком. Общий вид южного побережья иллюстрируется рис. 30 и 31.

При взгляде на карту оз. Балхаш бросается в глаза развитие береговой линии озера в целом — показатель ее развития (частное от деления длины береговой линии на длину окружности круга, равновеликого акватории озера) составляет 5,06; у Арала (Блинов, 1956) эта же величина равна 3,54.

Озеро имеет множество крупных заливов, мысов, полуостровов. Наибольшие среди заливов — Ала-Куль, Каракамыс, Кашкантенгиз, Сарышаган, Бертыс, Балыктыколь, Карашаган и др. Из полуостровов следует отметить Коржинтюбек, Караагаш, Бертыс, Байгабыл, Шаукар, Кентюбек, Сарыисек и ряд других [1]. Полуостровом Сарыисек, который вдается в озеро на 21 *км*, озеро делится на две части — Восточный Балхаш и Западный Балхаш, соединяющиеся проливом Узунарал [2].

Крупных островов на озере сравнительно мало. В южной части озера против устья Или расположен наиболее крупный архипелаг островов под общим названием Учарал. В него входят три больших острова — Басарал, Ортаарал, Аякарал и множество мелких. Из других островов можно упомянуть Тасарал, группу островов Узунарал, два длинных и узких острова, вытянутых в северо-западном направлении, Ультаракты и Коржин, острова

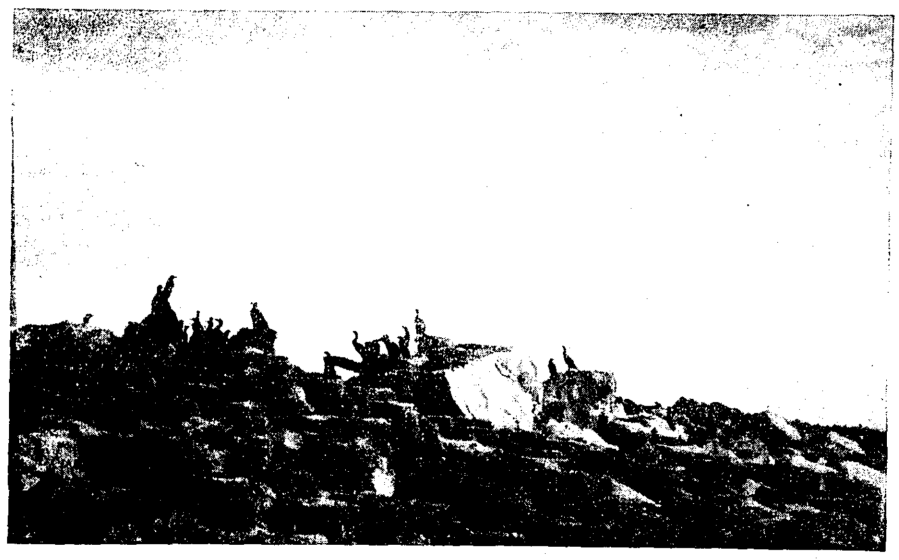


Рис. 32. На одном из островов в районе п-ова Кентюбек

[1] Подробное описание всех заливов и полуостровов можно найти в работах П. Ф. Домрачева (1930; 1933б; 1935).

[2] Этот полуостров образовался за счет наносов древнего протока Ортасу (Попов, 1959).

Алгазы, Кашкантюбек и другие. Вдоль берегов озера располагается также много мелких островов. Острова, прилегающие к южному берегу озера, обычно низменны и поросли камышом. Наоборот, острова северных побережий — каменисто-скалистые, высотой 5—6 *м*. Они почти лишены растительности и часто на них гнездится бесчисленное множество разнообразных птиц (рис. 32).

Сведения о морфометрии озера, так же как и о качестве его воды, долгое время были весьма разноречивы. Некоторые из этих сведений для иллюстрации приведены в табл. 3. Заметные расхождения основных морфометрических данных являются, с одной стороны, результатом колебаний уровня оз. Балхаш, с другой — отсутствием точных сведений, а также погрешностями при съемках. Не затрагивая сейчас вопроса о колебаниях уровней оз. Балхаш, который будет специально рассмотрен в следующей главе, ограничимся пока приведением рис. 33, на котором сопоставлены карты оз. Балхаш по съемкам различных лет. Не трудно видеть, что очертания озера подвергались значительным изменениям.

Последняя, наиболее точная инструментальная съемка озера, была выполнена Балхашской экспедицией, организованной Среднеазиатским управлением водных путей совместно с Институтом рыбного хозяйства в 1928—1931 гг. По данным П. Ф. Домрачева (1933б), принимавшего в ней

Таблица 3

Морфометрия оз. Балхаш по данным различных авторов

(в пересчете на метрическую систему единиц)

Длина, *км*	Ширина, *км*	Глубина, *м*	Площадь, *км²*	Объем, *км³*	Автор
640	До 65	—	—	—	И. Ефимовский (1855)
640	8—85	До 21	—	—	В. Кузнецов (1856)
540	До 85	Не >21	22 600	—	П. Семенов (1863)
620	55—90	—	—	—	В. Фишер (1883)
860	16—105	—	—	—	С. Абрамович (1889)
до 540	8—85	Не >25	—	—	А. М. Лундинг (1913)
640	90	—	18 900	—	Потоцкий (1925)
640	До 90	До 24 (в западной части)	22 018	—	Б. Х. Шлегель (1926)
660	3,5—95	Не > 20	20 000	—	С. А. Никитин (1932)
—	—	10—15 (средняя)	20 000	200—300	А. В. Николаев (1936)

непосредственное участие, морфометрические характеристики озера, отнесенные к уровню озера 340,5 *м* [1], имеют значения, приведенные в табл. 4.

Указанные цифры получены на основании батиметрической карты в крупном масштабе. Эта карта, уменьшенная нами на пантографе, изображена на рис. 22. По более поздним подсчетам Государственного гидрологического института (1939 г.), основанным на материалах той же экспедиции в 1928—1931 гг., получены цифры, почти не отличающиеся от приведенных в табл. 4. Полученные нами во время гидрохимических съемок в 1955—1958 гг. данные по глубинам озера также совпадают с указанными на рис. 22. Из этого рисунка, а также из табл. 4 следует, что по сравнению с громадными размерами озера глубины его ничтожны. Максимальная глубина в 26,5 *м* обнаружена в Восточном Балхаше, западнее п-ова Кентюбек. Средняя же глубина озера около 6,1 *м*.

[1] Все отметки даны в системе высот Академии наук Казахской ССР.

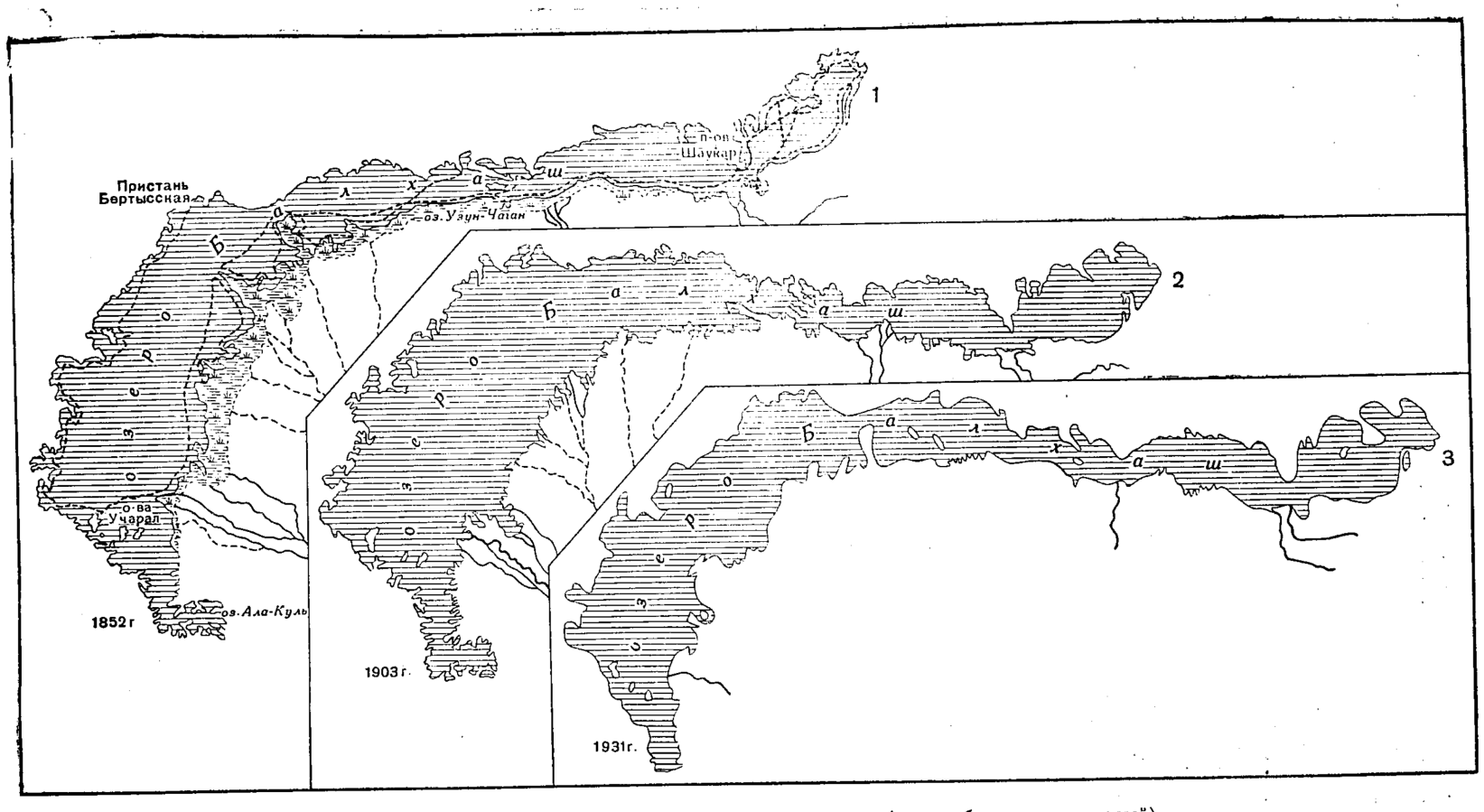


Рис. 33. Карты оз. Балхаш по съемкам различных лет (масштаб карт одинаковый).

1 — съемка Нифантьева (Песков, 1941); *2* — съемка военно-топографического отдела в Туркестане, выполненная А. Н. Картыковым и М. Е. Ивановым (Песков, 1941); *3* — материалы Балхашской экспедиции 1928—1931 гг. (Домрачев, 1933б)

Таблица 4

Основные морфометрические данные оз. Балхаш
(по П. Ф. Домрачеву)

Части озера	Площадь, км²	Длина береговой линии, км	Наибольшая протяженность, км		Максимальная глубина, м	Средняя глубина, м	Объем, км³
			длина	ширина			
Залив Ала-Куль	372	186	43	18	4,25	3,00	1,1
Западный Балхаш:							
с заливом Ала-Куль	10 804	1255	296	71	11,0	4,79	52,1
без залива Ала-Куль	10 432	1069	253	71	11,0	—	51,0
Восточный Балхаш	6 771	1128	299	48	26,5	8,79	58,4
Озеро в целом:							
с заливом Ала-Куль	17 575	2383	595	71	26,5	6,13	110,5
без залива Ала-Куль	17 203	2197	552	71	26,5	—	109,4

Ложе оз. Балхаш представляет ряд чередующихся более или менее обширных котловин. В Западном Балхаше имеется две обширных котловины с глубиной до 7 *м*. Одна из них расположена у западного берега озера и вытянута в северном направлении от острова Тасарал до мыса Коржинтюбек, вторая — к югу от Бертысской бухты. Небольшие котловины с такой же глубиной находятся у залива Сарышаган и восточнее мыса Караагаш. Котловина с глубиной до 11 *м* расположена северо-западнее о-ва Тасарал. Не считая залива Бертыс, максимальная глубина которого 14 *м*, это самое глубокое место Западного Балхаша. В Восточном Балхаше небольшая по площади котловина глубиной до 16 *м* занимает пространство к северо-востоку от острова Коржин. Такая же по глубине, но более обширная по площади котловина расположена западнее полуострова Шаукар. Наконец, наиболее глубокая впадина, до 26 *м*, занимает центральную часть самого восточного Бурлю-Тюбинского плёса озера.

На оз. Балхаш встречаются и мелководья. Между устьями рек Или и Ир, вдоль восточного побережья озера, вытянута большая отмель. От восточного берега она отделена узкой и относительно глубокой протокой. Отмели, причиняющие много неприятностей судоводителям, расположены восточнее пролива Узунарал (сам пролив также мелководен). Много мелководий западнее о-вов Ультаракты и Коржин. Близ устья Каратала подводная мель уходит на 8—9 *км* от берега.

Полоса небольших глубин располагается вдоль юго-восточного и затем южного берегов озера; напротив, вдоль северо-западного и северного берегов наблюдаются максимальные глубины. Наряду с этим, глубины увеличиваются от южной оконечности озера к восточной. Средняя глубина Западного Балхаша составляет 4,79 *м*, Восточного — 8,79 *м*.

По морфологическим особенностям строения котловины и другим признакам озеро можно подразделить на несколько районов. П. Ф. Домрачев, например, по гидрологическим особенностям выделил пять естественно-географических районов оз. Балхаш (1933б, 1935); по промыслово-географическим соображениям — семь районов (1933в). Г. Р. Юнусов только в юго-западной части озера наметил девять районов, различающихся по «гидрохимической структуре».

Мы делим все озеро на восемь районов, границы и нумерация которых показаны на рис. 22 [1] (стр. 41).

[1] Четыре района, выделенных в Восточном Балхаше, совпадают с районами П. Ф. Домрачева (1933в).

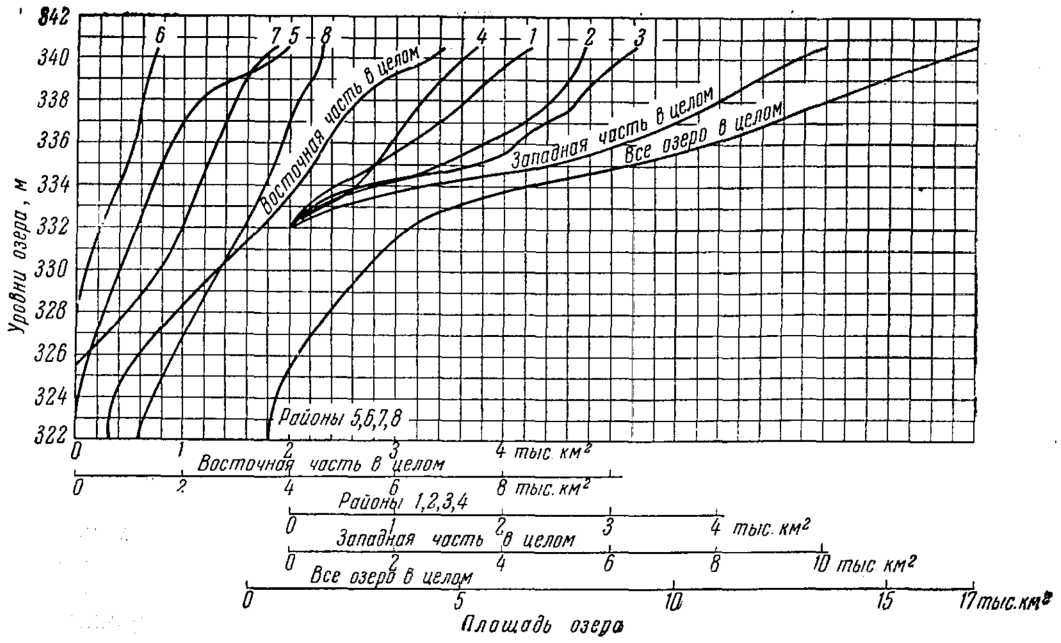


Рис. 34. Кривые зависимости площади зеркала оз. Балхаш от уровня

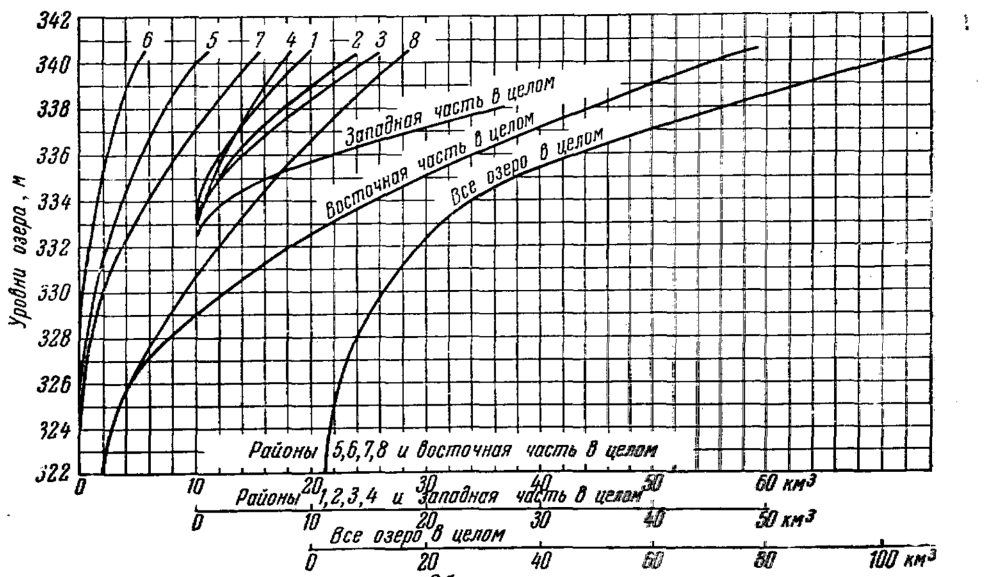


Рис. 35. Кривые зависимости объема оз. Балхаш от уровня

Путем планиметрирования указанной выше батиметрической карты в масштабе 1 : 300 000 отдельно для каждого из восьми районов, для Западного и Восточного Балхаша и для всего озера в целом были построены кривые зависимости площадей и объемов озера от его уровней (без залива Ала-Куль). Они изображены на рис. 34 и 35 [1].

Говоря об основных морфометрических характеристиках оз. Балхаш, нельзя забывать об их непостоянстве. Пологость котловины озера, находящая свое отражение в характере приведенных кривых, ведет к тому, что даже незначительное колебание уровней озера влечет за собой заметное изменение его объема и площади. Колебание же отметок, выражающееся в метрах, приводит к изменениям размеров озера, которые оцениваются десятками процентов. Например, по данным М. П. Карбасникова (1924), площадь оз. Балхаш без островов по съемке 1903 г. (высокий уровень) составляла 22 270 *км*². К 30-м годам площадь озера сократилась до 17 000 *км*², т. е. примерно на 25%, причем по всему южному побережью освободилась полоса суши шириной 15—20 *км*.

Немалую роль в преобразовании чаши озера играют процессы разрушения и намывания берегов, отложение на дне взвешенных веществ, приносимых реками, а также поступление в озеро частиц эоловым путем. Все эти процессы протекают медленно, но, действуя непрерывно, они постепенно вносят изменения в морфометрию озерной котловины. В устье Или, например, за счет вносимого рекой обломочного материала, берег ежегодно продвигается в сторону озера, примерно, на 150—200 *м* (Сапожников, 1951). Определенные изменения в морфологию котловины вносит также и упомянутое выше прогибание ее.

2. ВОЛНЕНИЕ И ТЕЧЕНИЯ В ОЗЕРЕ

В о л н е н и е. Это явление находится в прямой зависимости от ветрового режима. Большей частью на озере наблюдается интенсивное волнение. Размеры волн в зависимости от глубины озера, направления, силы и продолжительности ветра различны в разных частях озера. Высота волн в восточной части достигает 3—3,5 *м*, в западной — не более 2,5 *м* (Домрачев, 1935). Волны же высотой 1,3—1,8 *м* наблюдались нами неоднократно.

Д. Г. Сапожниковым было показано, что волнение оказывает большое влияние на процессы отложения осадков в озере. В тех случаях, когда глубина бассейна меньше половины длины волны, волна касается дна и взмучивает донный осадок. Расчеты, произведенные указанным автором, показали, что «... движение воды, вызванное волнением, во время сильных ветров достигает дна во всех, даже в наиболее глубоких восточных плёсах оз. Балхаш. Разница заключается лишь в том, что в западном и других мелководных плёсах волнение почти постоянно взмучивает осадки, тогда как в восточных плёсах это происходит только в сильные бури и проявляется относительно слабо» (1951, стр. 30).

Работа волн сказывается также в трансформации берегов озера. Обрушиваясь с большой силой на северный и западный берега, около которых находятся наибольшие глубины озера, волны непрерывно разрушают их. Наоборот, в области мелководных южного и восточного берегов происходит их наращивание за счет намывания материала, приносимого волнами из соседних частей бассейна.

[1] В литературе данных о зависимости площадей и объемов озера от уровней не встречено. Кривые площадей и объемов для Западного и Восточного Балхаша, а также для всего озера имеются в диссертации Г. Р. Юнусова. Величины площадей озера, полученные по нашей кривой, в интервале отметок уровней 337,0—340,0 *м* отличаются от таковых, подсчитанных по данным названного автора в среднем на — 3,7%, величины объемов — на +2,4%. Попутно можно отметить, что полученные по нашим кривым площадь и объем озера при отметке 340,5 *м* лишь на 1,5% меньше соответствующих величин, приводимых П. Ф. Домрачевым (см. табл. 4).

Т е ч е н и я. Течения, наблюдаемые в оз. Балхаш, относятся к двум типам: 1) постоянное стоковое течение в западной части озера, являющееся результатом притока больших масс воды Или; 2) временные нагонные, сгонные и компенсационные, возникающие в разных частях водоема под влиянием ветров.

Предположение о наличии постоянного течения в озере впервые высказал В. Фишер, который писал: «...посредине озера существует, вероятно, хотя незначительное течение по направлению от устья Или к С-З или С-З-С» (1883, стр. 6). Балхашской экспедицией (1928—1931 гг.), возглавляемой П. Ф. Домрачевым, было установлено, что это постоянное течение имеет круговой характер и направлено по ходу часовой стрелки. Оно было обнаружено и отчетливо прослежено экспедицией на основании гидрохимических определений на многочисленных гидрологических станциях. Зарождаясь в устье Или, под действием вносимых рекой вод, это течение направляется на запад, затем в районе Мынарала поворачивает на север и вдоль западного, северо-западного и северного берегов озера доходит до пролива Узунарал. Здесь, встретив на своем пути препятствие в виде узкого и мелководного пролива и большого п-ова Сарыисек, оно поворачивает на юг, затем на юго-восток и дальше, значительно потеряв свою силу, постепенно затухает у восточных берегов Западного Балхаша [1]. Такое направление течения определяется и морфологией озерной котловины. Глубины озера возрастают от устья Или к западному берегу озера и остаются максимальными вдоль западного, северо-западного и дальше северного берегов (см. рис. 22). Естественно, что течение имеет именно это направление. Полученный нами гидрохимический материал полностью подтверждает описанный характер течения. Правда, Г. Р. Юнусову, работавшему в юго-западной части озера зимой 1941/42 г., не удалось обнаружить этого течения подо льдом при помощи вертушки. Однако это свидетельствует лишь о том, что указанное течение настолько медленное, что не поддается инструментальному измерению.

Нагонные, сгонные и компенсационные течения на озере, обусловленные ветровой деятельностью, возникают во все сезоны, кроме зимних, когда поверхность его покрыта льдом. Особенно хорошо они заметны в узких проливах, например, в проливе у с. Бурубайтал, в Узунарале и в проливах, отделяющих о-в Алгазы от берегов. Направления и скорости этих течений находятся в прямой зависимости от ветра. По данным П. Ф. Домрачева (1935), в период его работ скорость течения в проливе Узунарал в обоих направлениях составляла 0,5—1,3 *м/сек*. Скорость течения, по наблюдениям Г. Р. Юнусова, составляла 0,21—1,07 *м/сек*. По сведениям Ленинградского отделения Гидроэнергопроекта, проводившего в проливе Узунарал работы с июля 1954 г. по февраль 1955 г., максимальные скорости течения не превышали 0,51 *м/сек*, в среднем же они составляли 0,19 *м/сек*. На основании 15 замеренных в этот период расходов воды в проливе Узунарал составить заключение о каких-либо преобладающих направлениях течений не представилось возможным, так как в зависимости от направления ветра в одних случаях наблюдалось движение воды с запада на восток, в других — в противоположном направлении. При сильных и длительных ветрах, особенно при ветрах, дующих в направлении продольной оси озера, а также в периоды затишья после них, заметные скорости течения наблюдаются не только в проливах, но и в более широких частях озера. Например, во время наших работ в Восточном Балхаше в 1958 г. 12 и 13 августа дул сильный ветер со скоростью 8—10 *м/сек* северо-восточного и восточного направлений. Он согнал большие массы воды из Бурлю-Тюбинского плёса в Лепсинский. К вечеру 14.VIII ветер

[1] Циркуляционное течение, возникающее, по-видимому, по аналогичной причине, наблюдается в приплотинной части Цимлянского водохранилища (Фесенко, 1955а).

стих и вода пошла в обратном направлении. Замеренная нами при штиле скорость движения воды южнее залива Шаукар оказалась равной 0,13 *м/сек*.

Водные массы, двигаясь вдоль побережий и нередко встречая на своем пути препятствия в виде полуостровов и мысов, изменяют направление своего движения. Течения при этом приобретают характер отдельных струй и завихрений, которые уходят далеко в открытое озеро. С указанным явлением, по мнению Д. Г. Сапожникова (1951), связано появление песчаных осадков в средней части озера, где обычно развиты более тонкие илы.

Стоковое течение Или в сочетании с переменными течениями, возникающими под влиянием ветров, служит причиной большой динамичности водных масс озера. Естественным следствием последней, как увидим ниже, является непостоянство гидрохимических характеристик для одних и тех же пунктов озера во времени и их резкое изменение по акватории водоема. Однако, несмотря на сложность картины, характерным для динамики водных масс озера, определяемым спецификой его водного баланса в целом, как будет видно ниже, является преобладание течений, несущих массы воды с запада на восток, над обратным их поступлением.

3. ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ВОДЫ

Температура воды. Средняя годовая температура воды западной части озера, так же как и температура воздуха, несколько выше, чем восточной (9,9° против 8,5°). Причем в вегетационный период Западный Балхаш имеет температуру выше, чем Восточный, зимой же наоборот (см. табл. 2). Максимальную температуру вода имеет в июле; средняя температура в этом месяце в западной части озера — 23,8°, в восточной — 20,1°. Как правило, в мелководных заливах температура воды летом на 1—2° выше, чем в открытом озере. Максимальная наблюдавшаяся нами температура была 29° (15.VII 1956 г.).

Из-за постоянных ветров и небольших глубин озера термическая стратификация здесь выражена очень слабо. Это отмечал еще Л. С. Берг (1903), указывавший, что в Западном Балхаше температура воды у дна лишь на 0,5—1,0° выше, чем у поверхности. П. Ф. Домрачев (1930а, 1935) также констатировал, что даже в жаркие штилевые дни разница температур по вертикали не превышала 3,5°. Цифры того же порядка получены нами для летних периодов 1956—1958 гг. В большинстве случаев температура придонных горизонтов воды была всего на 1—2° ниже температуры поверхностных слоев. Это относится и к более глубоководному Восточному Балхашу. Только в одном случае температура воды на глубине 20,5 *м* оказалась на 8,5° ниже, чем у поверхности (восточнее п-ова Коктюбек 27.VII 1956 г. в 10 часов утра).

Прозрачность воды. О прозрачности можно судить на основании карт, изображенных на рис. 36. Прозрачность воды увеличивается от 20—40 *см* в районе устья Или до 10—12 *м* в восточной части озера. Вместе с тем в Западном Балхаше у юго-восточного побережья она примерно в два раза выше, чем у северо-западного. Такой характер изменения прозрачности объясняется несколькими причинами.

Постоянное волнение на озере взмучивает донные осадки и, как указывалось, тем интенсивней, чем меньше глубина водоема. В связи с этим увеличение прозрачности озера в восточном направлении совпадает с увеличением глубин озера. П. Ф. Домрачевым установлена связь между глубиной оз. Балхаш и минимальным значением прозрачности (Сапожников, 1951):

Глубина, *м*	2—3	5—6	9—10	12—13	15—16
Минимальные значения прозрачности, *см* . . .	15	25	30	100	200

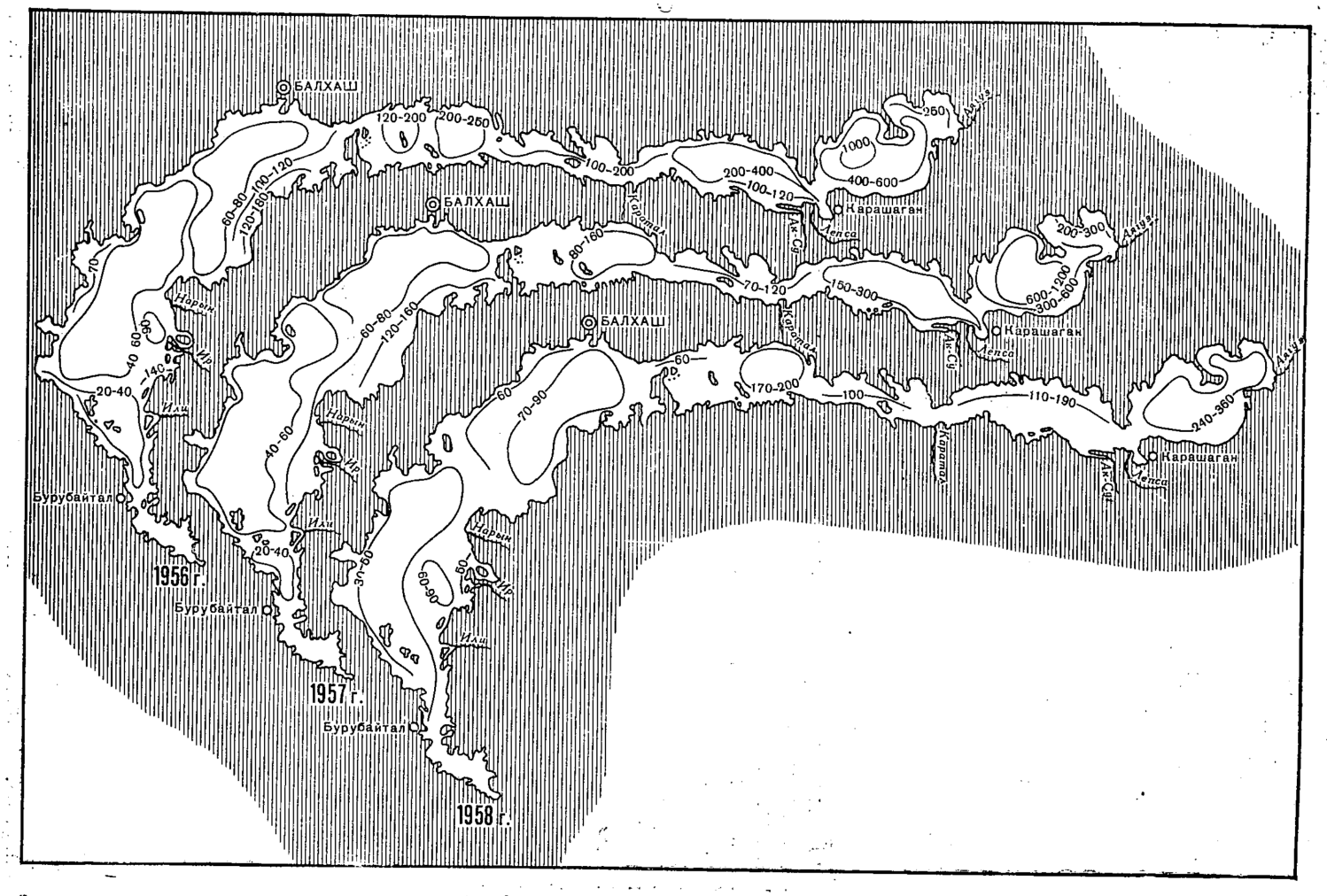


Рис. 36. Прозрачность воды оз. Балхаш (в *см*)

Наблюдаемое различие значений прозрачности по годам (рис. 36) объясняется различием режима ветров в периоды наших работ. Увеличение прозрачности в восточном направлении связано также с постепенной седиментацией вносимых Или взвешенных веществ.

Наконец, коагуляция взвешенных веществ в соленой воде происходит гораздо быстрее, чем в пресной. Поэтому прозрачность воды озера увеличивается в тех же направлениях, в каких растет и минерализация.

В течение года наименьшая прозрачность наблюдается летом, наибольшая — зимой. Например, по данным П. Ф. Домрачева, прозрачность в южной оконечности озера в августе составляет 38, в январе — 87 и в феврале — 112 *см*.

Цвет воды. Цвет воды озера постепенно меняет свои оттенки от мутно-желтоватого в юго-западной оконечности озера до красивого неватого или изумрудно-зеленого с голубоватым оттенком — в восточной. Возможно, это в какой-то мере связано с распределением в озере флоры, так как известно, что диатомовые водоросли сообщают воде желтоватый оттенок, а синезеленые вызывают зеленую окраску с голубым оттенком.

4. ОРГАНИЧЕСКИЙ МИР ОЗЕРА

«...Дно Балхаша такая же тоскливая пустыня, как и его берега» (Берг, 1904, стр. 594). Это мнение Л. С. Берга просуществовало до 30-х годов, когда, начиная свои исследования, П. Ф. Домрачев обратил внимание на большие рыбные запасы озера при значительной упитанности рыб. Это никак не вязалось с мнением о бедности органического мира. В результате дальнейших работ экспедиции первоначальное мнение о чрезвычайной бедности бентоса Балхаша пришлось несколько изменить.

К настоящему времени известно 9—10 групп донного населения озера. Из них отмечены моллюски, хирономиды, олигохеты, остракоды и некоторые другие. По разнообразию видов моллюски ограничены, но количественно развиты хорошо. В направлении от пресноводной западной части озера к более осолоненной восточной количество встречающихся видов моллюсков уменьшается; так в западном плёсе их обнаружено 10 видов, в Бурлю-Тюбинском—6 (Янковская, 1933). Необходимо отметить, что в большинстве случаев раковины представлены почти исключительно мертвыми формами. Д. Г. Сапожников (1951) это объясняет тем, что раковинный материал принесен в озеро либо с берегов, либо из притоков.

Наиболее важны в кормовом отношении хирономиды. А. Ю. Микулин, проведший подробное изучение хирономид, определил 19 форм этой группы, из которых 4 преобладают над другими. Плотность населения хирономид весьма значительная и возрастает с запада на восток. Это дало основание упомянутому автору сделать вполне определенный вывод о том, что «...кормность дна озера Балхаш с запада на восток неуклонно повышается» (1933, стр. 93).

Зоопланктон оз. Балхаш подробно изучал В. М. Рылов. По его данным, зоопланктон оз. Балхаш сравнительно беден. Он представлен 50 видами. Из них 5 видов простейших, 28 — коловраток, 6 — веслоногих и 11— ветвистоусых рачков. Однако, учитывая, что значительное место здесь занимают рачки (ценная пища для рыбы), указанный автор считает, что «...пищевая значимость планктона оз. Балхаш может быть признана удовлетворительной» (1933, стр. 66). Планктон открытой части оз. Балхаш во всех его районах имеет хорошо выраженный озерный характер. В устье Или в заметной степени встречаются прудовые формы зоопланктона. В результате роста минерализации воды озера с запада на восток качественный состав зоопланктона изменяется в этом направлении от пресноводных форм к солоноватоводным. Интересно отметить, что в западной части озера видовой состав планктона более разнообразен, чем в восточной. Так, из 22

планктонных форм, наиболее часто встречающихся в озере, в западной части обнаружено 20 форм, в Бурлю-Тюбинском плёсе — всего 13.

Флора водорослей оз. Балхаш бедна. Исключения составляют только прибрежные части водоема и заливы, где водоросли сплошь покрывают значительные площади. В результате обработки собранных Балхашской экспедицией 60 проб, охватывавших почти всю акваторию озера в его открытой и прибрежной частях, было выявлено 308 форм водорослей (Киселев, 1951). Из них 211 представлено диатомовыми, 42 — зелеными, 41— синезелеными и 14 — прочими формами. Большинство найденных форм относится к донным, встречающимся большей частью единично и не играющим существенной роли в планктоне открытой части озера. Сравнительную бедность качественного состава планктона озера И. А. Киселев объясняет своеобразием гидрохимии водоема. Им установлена заметная неравномерность горизонтального распределения водорослей, обусловленная главным образом неодинаковой минерализацией воды разных участков озера. По своему отношению к минерализации 115 из найденных форм (38%) относятся к пресноводным, 140 (45%) — к солоновато-пресноводным и 53 (17%) — к солоноватоводным.

Вдоль мелководного побережья озера, главным образом южного, сильно распространены густые заросли тростника, занимающие здесь значительные площади и достигающие высоты 6—8 м.

Рыбное население оз. Балхаш представлено 11 видами рыб (Иванов, 1959). Главными из них, имеющими промысловое значение, являются сазан, два вида маринки и окунь. Кроме них, водится пятнистый и одноцветный губачи, балхашский гольян, лещ, усач, серебряный карась и шип.

Из приведенного материала следует, что в биологическом отношении оз. Балхаш далек от пустыни, какой представлял его себе Л. С. Берг. В то же время озеро и не отличается изобилием органического мира.

Специфика гидрохимии водоема сказывается и на размещении животного и растительного мира по его акватории. Хотя до настоящего времени еще нет достаточных количественных данных [1], все же, основываясь на изложенном, можно заключить, что восточная часть озера, в общем более бедная, по сравнению с западной, по разнообразию форм населяющих ее организмов, богаче по их абсолютным количествам. Как увидим ниже, это подтверждается и нашими данными по окисляемости воды в различных частях озера.

[1] В 1956 г. мы работали на озере совместно с экспедицией Института зоологии АН Казахской ССР, которая на 173-х станциях, равномерно расположенных по озеру, собрала большой материал по биологии водоема. Последний, к сожалению, пока не опубликован.

Глава IV

УРОВНИ И ВОДНЫЙ БАЛАНС ОЗЕРА

У р о в н и. Вопрос о колебаниях уровня оз. Балхаш, имеющий как теоретический, так и практический интерес, уже неоднократно затрагивался в литературе.

Выше, при рассмотрении истории Балхашской впадины уже отмечалось, что, по мнению К. В. Курдюкова, произошло значительное сокращение площади озера от 100 000 $км^2$ в четвертичном периоде до размера оз. Балхаш наших дней (15 000 $км^2$), оконтуренного горизонталью 340 *м*. В связи с этим можно указать, что, согласно существующим взглядам, в ходе уровней озер наблюдается определенная цикличность, выражающаяся в последовательной смене их подъемов и спадов, что связано с цикличностью атмосферных осадков и температурой воздуха. Например, А. В. Шнитников (1949, 1950) для озер Евразии, наряду с короткими циклами колебания уровней (29—45 лет), установил наличие длительных циклов продолжительностью в 1800 лет. Он предполагает, что «чрезвычайное многоводье системы оз. Балхаш в XV—XVI вв., а может быть и ранее» (1949, стр. 72) связано с максимумом одного из таких циклов.

Несомненный интерес представляет режим уровней оз. Балхаш в течение последнего столетия. По достоверности и подробности сведений об уровнях озера промежуток с 1850 г. по настоящее время можно разбить на три периода.

Первый период (с 1850 по 1910 г.) характеризуется чрезвычайно скудными сведениями, носящими большей частью качественный характер. Так, В. Фишер (1883) на основании работы Бабкова (1867) и некоторых других сведений указывал, что уровень озера с 1852 по 1883 г. заметно понизился. А. М. Никольский, побывавший на озере в 1884 г., со слов охотников, писал: «...не будет слишком много, если мы примем, что уровень озера понижается каждые 10 лет на один аршин» (1885а, стр. 42). П. Ф. Домрачев (1933б), В. А. Селевин (1933) и Е. В. Посохов (1955) так же отмечают, что с 1850 по 1890 г. уровень озера находился в состоянии падения.

Примерно с 1890 г. начался подъем уровня. Л. С. Берг в 1903 г. указывал, что «Балхаш в настоящее время прибывает и в весьма сильном масштабе. По словам киргизов, прибывание началось 8—12 лет тому назад» (1904, стр. 496). Подъем уровня в этот период отмечали также П. К. Залесский (1904) и А. И. Корнеев (1911). Б. Ф. Мефферт (1912) промерами установил, что за 7 лет (1903—1910) уровень ежегодно поднимался примерно на 20 *см*. М. П. Русаков (1926) дает близкую цифру — 0,202—0,206 *м/год*. При этом он указывает, что такая интенсивность подъема наблюдалась с 1890 по 1910 г.

Сведения об уровнях озера *во второй период*, охватывающий 1911—1931 гг., хотя также немногочисленны, но более точны, так как большинство из них получено на основании нивелировочных замеров по установленным реперам. Весь этот период характеризуется падением уровня.

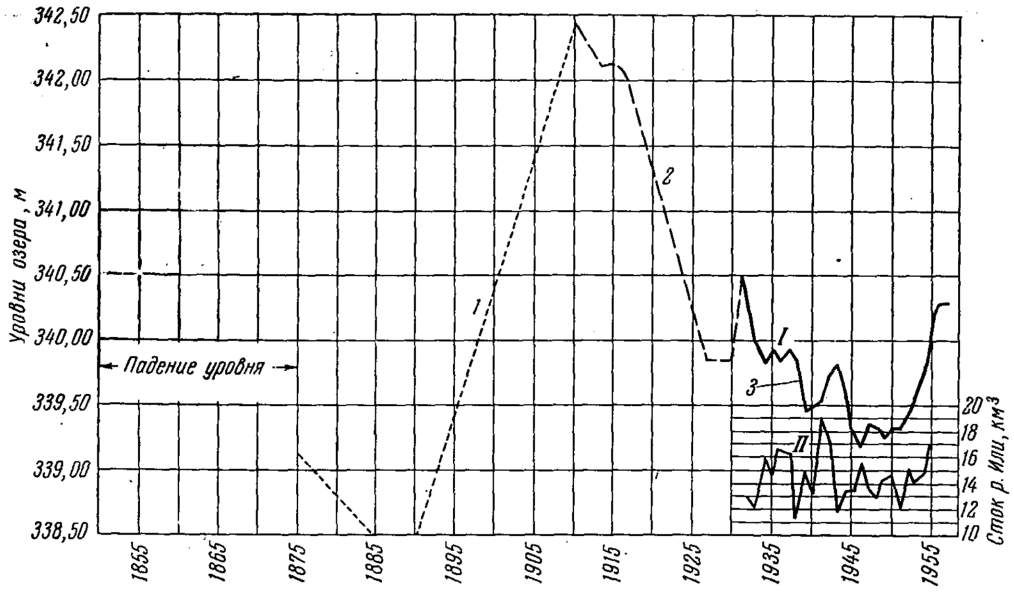


Рис. 37. Режим уровней оз. Балхаш (*I*) и сток р. Или, по средним годовым данным (*II*).

1 — сведения весьма приближенные; *2* — то же, приближенные; *3* — то же, точные. В период с 1850 по 1875 г. происходило падение уровня озера, но сведений о величинах этого падения не имеется

Б. Ф. Мефферт (1915) сообщал, что в период с 10. IX 1910 по 12.V 1913 г. уровень озера упал на 30 *см*. С 1913 по 1917 г. на берегу бухты Карашаган работал первый водомерный пост. В работах Б. К. Терлецкого (1931) и А. В. Шнитникова (1936) приведены кривые хода среднемесячных уровней озера за этот период. Падение среднегодовых уровней за пять лет составило около 35 *см*. По сообщению П. А. Дмитриева, нивелировкой установлено, что с 1913 по 1921 г. произошло обмеление озера на 1,13 *м*, по сведениям Н. С. Смирнова, в период с 14.VIII 1921 по 1.IX 1929 г. уровень озера снизился на 1,19 *м* (Селевин, 1933). По нивелировке при строительстве Турксиба осенью 1928 г. отметка уровня озера была 339,85 *м*. Как указывает П. Ф. Домрачев (1933б), примерно такой же она была и в 1930 г. По сведениям того же автора в 1931 г. уровень озера повысился на 65—70 *см*. Ряд других исследователей также единогласно указывает на падение уровня озера с начала текущего столетия по 1929 г. Например, В. И. Сарычев (1925) считает, что с 1915 по 1921 г. падение уровня составляло 2—6 *см/год*. По М. П. Русакову (1926), с 1912 по 1925 г. уровень упал на 65 *см*. Романенко оценивает падение уровня в период 1903—1929 гг. в 1,85 *м*, Яковлев — больше 2 *м* (Селевин, 1933). По Б. П. Панову (1932), падение уровня с 1924 по 1930 г. составило примерно 1 *м*. Наконец, П. Ф. Домрачев (1933б) установил, что с 1910 по 1930 г. уровень озера упал на 2,5—2,8 *м*.

Третий период (с 1932 г. до настоящего времени) характеризуется регулярной работой в основном четырех постов, равномерно расположенных по озеру — Бурубайтал, Бертыс, Карашаган и Бурлю-Тюбе. Сведения о режиме уровней в этот период наиболее достоверны и полны.

На основании изложенных сведений нами на рис. 37 изображен ход уровней озера за последнее столетие. При выборе данных для построения кривой предпочтение, естественно, отдавалось цифрам, полученым нивелировкой, а также согласующимся между собой. Данные об уровнях с 1932 по 1957 г. получены как средние по всем работающим на озере в этот период постам. Необходимо еще раз отметить, что сведения, относящиеся к первому периоду (1850—1910 гг.), характеризуют ход уровней в основном качественно;

относящиеся ко второму периоду (1911—1931 гг.) — примерно количественно и только данные за 1932—1957 гг. (третий период) отображают ход уровней довольно точно.

Из рассмотрения рис. 37 видно, что уровень озера подвержен периодическим колебаниям. В течение примерно 40 лет с 1850 по 1889 г., наблюдалось понижение уровня. Затем, в течение 20 лет (1890—1910 гг.) уровень повышался. В последующие 36 лет (1911—1946 гг.) повышение вновь сменилось понижением; с 1947 г. опять начался подъем. П. Ф. Домрачев (1933б) считал, что весь цикл повышения и понижения уровня оз. Балхаш составляет около 40 лет, причем, полуцикл, т. е. повышение или понижение, продолжается от 20 до 22 лет. Он предполагал, что 1931 г. является началом нового подъема. Однако, как следует из приведенного материала, период понижения уровня озера затянулся до 1946 г. В 1931 г. наблюдалось лишь небольшое кратковременное повышение. Таким образом, полный цикл изменения уровня повышения и понижения оз. Балхаш составляет не 40, а около 60 лет, причем подъем длится около 20 лет, а спад — около 40. Как уже отмечалось А. В. Шнитниковым (1950), для степных озер Западной Сибири и Северного Казахстана установлены циклы изменений уровней продолжительностью в 29—45 лет. Отклонение оз. Балхаш от этой закономерности, очевидно, объясняется комбинированным питанием впадающих в озеро рек, главную роль в котором играют воды от таяния снегов и ледников в горах.

Уровень оз. Балхаш испытывает также колебания от года к году. Последнее в заметной степени находится в связи с колебанием речного стока в озеро. На рис. 37 для сравнения с ходом уровня озера построена кривая колебания стока наиболее многоводной р. Или в створе ниже с. Илийского за период 1932—1954 гг. Легко представить, что в общем за многолетие колебания уровней озера соответствуют изменению стока этой реки, причем уровни озера реагируют на изменение стока примерно с запозданием на один год.

Следует отметить, что характер колебания уровней озера, изображенный на рис. 37, не плохо согласуется с аналогичным графиком, полученным для периода 1879—1955 гг. Г. Р. Юнусовым (1959) при помощи установленных им связей между стоком Или, осадками в ее бассейне и уровнями озера.

Внутригодовое колебание уровней находится в прямой зависимости от внутригодового распределения расходов впадающих рек и испарения с поверхности озера (см. рис. 11). Годовая амплитуда колебаний уровней составляет 0—75 *см*. Режим уровней довольно хорошо согласуется с режимом расходов Или, но максимум уровней воды в озере наступает на 2—3 месяца раньше максимальных расходов реки. Более наглядно это можно было видеть на рис. 12, где приведены средние величины за ряд лет. Зимой, в соответствии с ростом расходов Или, растет и уровень озера, достигая своего максимума в мае. С конца мая, несмотря на продолжающееся довольно быстрое увеличение расходов реки, уровень озера падает, так как начинает сказываться испарение, роль которого особенно велика в летний период. Поэтому уровень озера летом продолжает падать, хотя приток Или (и других рек) возрастает до максимума. Осенью, из-за испарения, хотя оно и не так сильно, как летом, и из-за уменьшения расходов рек наблюдается дальнейшее снижение уровня. Годовая амплитуда колебаний уровней озера в среднем за многолетие равна 30 *см*.

Водный баланс. Решение вопросов, связанных с водным балансом оз. Балхаш, стало возможным только совсем недавно, так как раньше необходимых для этого сведений почти не было. Насколько нам известно, в течение последних 20 лет водный баланс озера с той или иной степенью подробности и точности составлялся различными авторами: А. В. Шнитниковым (1936); Г. Р. Юнусовым (Казахстан, 1950), И. С. Соседовым и Л. К. Блиновым (1956); Л. К. Блиновым и М. А. Буркальцевой, 1957).

Общее уравнение водного баланса оз. Балхаш за некоторый период можно представить в следующем виде:

$$V_р + V_{подз} + V_{атм} + V_{бп} - V_{исп} - V_{бер} = \pm\Delta V. \quad (1)$$

Здесь: $V_р$ — речной приток;
$V_{подз}$ — подземный приток;
$V_{атм}$ — атмосферные осадки на зеркало озера;
$V_{бп}$ — приток с береговой полосы;
$V_{исп}$ — испарение с зеркала озера;
$V_{бер}$ — потеря воды в результате отшнуровывания заливов и инфильтрации в дно и берега озера;
ΔV — изменение объема озера.

Впервые водный баланс озера с максимальным использованием имевшегося материала был подсчитан А. В. Шнитниковым (см. ниже). Однако, как указывал и сам автор, из-за недостатка такого материала расчет имел лишь ориентировочный характер. Баланс был составлен для периода 1913—1917 гг., для которого имелись наблюдения за ходом уровня озера, причем площадь озера была принята равной 22,3 тыс. $км^2$. В балансе учитывались речной и аллювиальный приток, осадки, весенний приток с береговой полосы, изменение объема воды в озере и испарение. Расход за счет инфильтрации им приравнивался к приходу подземных вод (табл. 5).

Таблица 5

Водный баланс оз. Балхаш
(по А. В. Шнитникову)

Приход	Объем воды, $км^3$	Доля в общем приходе, %	Расход	Объем воды, $км^3$	Доля в общем расходе, %
Речной приток	20,00	66,4	Испарение ** . . .	30,10	100,0
Аллювиальный приток . .	1,56	5,2			
Осадки*	4,01	13,3			
Весенний приток с береговой полосы	1,11	3,7			
Среднегодовое сокращение объема	3,42	11,4			
Всего	30,10	100,0	Всего . . .	30,10	100,0

* Из расчета 180 *мм/год*.
** Из расчета 1350 *мм/год*.

Можно согласиться с автором, что приведенный баланс в отношении абсолютных значений отдельных слагаемых носит ориентировочный характер. Положительной стороной является попытка автора учесть все многообразие факторов, влияющих на водный режим озера.

Е. В. Посохов (1946) и Г. Р. Юнусов (1950), Казахстан (1950) впервые указали на существующий между западной и восточной частями озера постоянный водообмен, с преобладающим направлением с запада на восток. Обусловлен он спецификой водного баланса каждой из этих частей отдельно. В результате превышения притока Или в западную часть озера над притоком джунгарских рек в восточную ежегодно из западной части в восточную поступает значительное количество воды. Проточностью Западного Балхаша указанные авторы справедливо объясняют сравнительно невысокую минерализацию озера в этой части. Г. Р. Юнусовым рассчитан баланс отдельно для западной и восточной частей озера за 10 лет.

Водный баланс оз. Балхаш, по Г. Р. Юнусову (1950), имеет следующий вид (в *мм* толщины слоя воды):

Западный Балхаш, площадь 10430 *км*²		Восточный Балхаш, площадь 6730 *км*²	
Приток речных вод в озеро	1222,1	Приток речных вод в озеро	277,0
Осадки на поверхность озера	96,6	Осадки на поверхность озера	91,6
Испарение с поверхности озера	947,6	Испарение с поверхности озера	947,6
Величина прибыли или убыли воды в озере	+366,1	Величина прибыли или убыли воды в озере	—579,1

Пересчитав толщину слоя воды на объем, получим, что ежегодно из западной части в восточную должно поступать около 3,8 *км*³ воды. В другой, более поздней работе (1959), указанный автор приводит несколько иные значения отдельных элементов (статей прихода — расхода) баланса (табл. 6).

Таблица 6

Водный баланс оз. Балхаш по его частям и для озера в целом при отметке уровня 340,4 *м*
(по Г. Р. Юнусову, 1959)

Приход, *км*³	Западная часть	Восточная часть	Оз. Балхаш в целом	Расход, *км*³	Западная часть	Восточная часть	Оз. Балхаш в целом
Поверхностный приток	10,37	3,57	13,94	Испарение	11,0	6,60	17,60
Атмосферные осадки	1,18	0,98	2,16				
Подземный приток	0,60	0,90	1,50				
Отток — приток	—1,15	1,15	0,0				
Всего	11,0	6,60	17,60	Всего	11,0	6,60	17,60

В частности, величина водообмена составляет 1,15 *км*³/*год*, испарение— 960 *мм*/*год*, атмосферные осадки — 110 *мм*/*год* для Западного Балхаша и 130 *мм*/*год* — для Восточного.

Условия, в которых находится Балхашский бассейн, в частности, его орографи́ческое положение по отношению к окружающей территории исключает возможность фильтрации воды в дно озера и последующий ее отток в пограничные с бассейном районы как в северном, так и в южном направлениях. Фильтрация воды на запад в сторону пустыни Бет-Пак-Дала с последующей разгрузкой в долине р. Чу маловероятна из-за ничтожной величины напорного градиента и низкой фильтрационной способности глинистых пород, слагающих пустыню. Фильтрация в восточном направлении тоже исключается хотя бы потому, что уровень оз. Сасык-Куль лежит на 7 *м* выше уровня оз. Балхаш. Фильтрация в дно озера невозможна также из-за его кальматажа илистыми отложениями, мощность которых достигает нескольких метров.

Более вероятна потеря воды в отшнуровывающихся от озера заливах при колебании уровня озера, а также частичная инфильтрация воды в берега озера на отдельных его участках.

О. А. Алекин, рассматривая вопрос о происхождении солевого состава воды Аральского моря, отмечал, что «...одной из сторон расхода, несомненно, является потеря солей с отшнуровывающимися от моря заливами, превращающимися в озера с сильно минерализованной рапой» (1947, стр. 71).

Возможности потери воды при отшнуровывании заливов и за счет инфильтрации в берега оз. Балхаш определяются всей обстановкой озера. Идеальные для этого условия имеются на южном побережье. Здесь, как мы уже отмечали, берег сложен главным образом легко фильтрующими песками и имеет чрезвычайно низкий уклон. Он сильно изрезан и изобилует многочисленными и мелководными озерами, отделенными от Балхаша более или менее широкими песчаными пересыпями (см. рис. 30 и 31). Очевидно, питание этих озер в значительной мере происходит за счет фильтрации балхашской воды. Этот факт, как увидим ниже, находит свое подтверждение и в расчетах солевого баланса, являясь наиболее вероятным объяснением несоответствия малой минерализации озера по сравнению с ионным стоком в него.

Рассматривая балансовые соотношения для Аральского моря, Л. К. Блинов (1956) установил, что приход воды в нем превышает ее расход примерно на 20 *мм* поверхностного слоя в год. Несмотря на это средний многолетний уровень озера остается постоянным, что автор относит за счет потери воды путем фильтрации через песчаный грунт берегов. Им же, с целью показать значимость этого фактора на других подобных водоемах, были произведены балансовые расчеты для оз. Балхаш (1957). В расчетах были использованы только три основных составляющих баланса: речной приток, осадки и испарение. Площадь акватории принималась равной 17 659 $км^2$. Баланс был составлен для двух периодов — многоводного 1910—1928 гг. и маловодного 1941—1947 гг. Исходные и результирующие цифры сведены в табл. 7.

Таблица 7

Водный баланс озера Балхаш

(по Л. К. Блинову)

Приход	Толщина слоя воды, *мм*	Объем воды, $км^3$	Расход	Толщина слоя воды, *мм*	Объем воды, $км^3$
1910—1928 гг.					
Речной приток . .	1110	19,140	Испарение	1150	19,900
Осадки	250	4,330			
Всего . . .	1360	23,470	Всего . . .	1150	19,900
1941—1947 гг.					
Речной приток . .	1010	17,352	Испарение	1150	19,900
Осадки	200	3,460			
Всего . . .	1210	20,817	Всего . . .	1150	19,900

Превышение прихода над расходом в первом случае равно толщине слоя 210 *мм/год*, во втором — 60 *мм/год*. Положительный водный баланс озера указывает на существование иного расхода воды, кроме испарения, т. е. расхода на фильтрацию через грунт берегов. Расход на фильтрацию указанный автор рассчитал также и косвенным путем. Предполагая, что солевой запас озера не меняется, он считает, что ионный сток рек за вычетом солей, выпадающих в осадок, равен количеству солей, потерянных за счет фильтрации:

$$V_р S_р - C = V_ф S_ф.$$

Определяя из этого уравнения объем профильтровавшейся воды — $V_ф$ и пересчитывая его на толщину слоя при различной площади зеркала озера, он приходит к выводу, что ежегодно (в среднем за многолетие) путем фильтрации через грунт берегов теряется 40—50 *мм* слоя воды [1].

Хотя исходные цифры, использованные Л. К. Блиновым для балансовых расчетов по оз. Балхаш, явно устарели и в балансе учтены только три главные составляющие, тем не менее им совершенно правильно показано значение береговой фильтрации в водном и солевом балансах оз. Балхаш, а также и других бассейнов, расположенных в зоне пустынь [2].

Наиболее совершенные балансовые соотношения для оз. Балхаш установлены И. С. Соседовым По сравнению с рассмотренными выше расчетами других авторов, составленный им для периода с 1.I 1935 по 1.I1954 г. водный баланс следует считать наиболее обоснованным, так как при осуществлении этой работы ее автором был использован весь материал, накопленный до 1954 г., а также выполнен целый ряд специальных расчетов по уточнению некоторых элементов баланса. Выше (в главах II и III) мы уже приводили количественные характеристики отдельных элементов водного баланса, рекомендуемые И. С. Соседовым. Там же давалось их обоснование. Поэтому здесь мы не будем повторяться и в табл. 8 приведем

Таблица 8

Водный баланс озера Балхаш при площади водного зеркала 17 100 км²

(по И. С. Соседову)

Приход	Толщина слоя воды, *мм*	Объем воды, км³	Доля в общем приходе, %	Расход	Толщина слоя воды, *мм*	Объем воды, км³	Доля в общем приходе, %
Речной приток в западную часть	625	10,67	67,1	Испарение . . .	930	15,90	100,0
Речной приток в восточную часть	179	3,06	19,2				
Подземный приток . . .	16	0,27	1,7				
Осадки	110	1,90	12,0				
Всего . . .	930	15,90	100,0	Всего . . .	930	15,90	100,0

водный баланс озера в окончательном виде, как после округлений и увязки дает его И. С. Соседов. Несмотря на тщательность проработки, в приведенном балансе не учтены хотя и малые, но несомненные составляющие: в приходе — сток воды с береговой полосы, в расходе — потеря воды в отшнуровывающихся заливах и при инфильтрации в берега озера. Возможно для водного баланса они не имеют существенной роли из-за малого удельного веса по сравнению с другими членами, но для солевого баланса значение этих составляющих и главным образом второй из них — сомнений не вызывает. Поэтому считаться с ними необходимо.

Учтя опыт предыдущих исследователей и взяв за основу данные И. С. Соседова, нами составлены водный баланс для всего озера в целом и отдельно для западной и восточной его частей. Все цифры, представляющие средние годовые значения слагаемых баланса, сведены в табл. 9 и 10. Баланс составлен

[1] При расчете им приняты следующие значения величин: $V_р S_р = 4{,}32$ млн. *т*, $C = 0{,}84$ млн. *т* и $S_ф = 3{,}97$ *г/л*.

[2] Говоря о фильтрации в берега, Л. К. Блинов, по-видимому, имеет в виду и отшнуровывание заливов.

Таблица 9

Водный баланс оз. Балхаш в целом при площади водного зеркала 15 500 км²

Приход	Индекс по уравнению (1)	Толщина слоя воды, *мм*	Объем воды, *км³*	Доля в общем приходе, %	Расход	Индекс по уравнению (1)	Толщина слоя воды, *мм*	Объем воды, *км³*	Доля о общем расходе, %
Речной приток . .	$V_р$				Испарение	$V_{исп}$	930	14,40	93,0
Или		671	10,38	66,8	Отшнуровывание заливов и инфильтрация в берега	$V_{бер}$	74	1,14	7,0
восточные реки		197	3,06	19,6					
Подземный приток	$V_{подз}$	17	0,27	1,7					
Приток с береговой полосы	$V_{бп}$	6	0,09	0,6					
Осадки	$V_{атм}$	110	1,70	11,0					
Среднее сокращение объема . .	ΔV	3	0,04	0,3					
Всего . . .		1004	15,54	100,0	Всего . . .		1004	15,54	100,0

Таблица 10

Водный баланс западной и восточной частей оз. Балхаш

Приход	Толщина слоя воды, *мм*	Объем воды, *км³*	Доля в общем приходе, %	Расход	Толщина слоя воды, *мм*	Объем воды, *км³*	Доля в общем расходе, %
Западный Балхаш*							
Приток р. Или . . .	1135	10,38	90,0	Испарение	952	8,72	75,5
Подземный приток .	20	0,18	1,5	Отшнуровывание заливов и инфильтрация в берега . . .	62	0,57	4,9
Приток с береговой полосы	4	0,04	0,3	Отток в восточную часть	249	2,26	19,6
Осадки	102	0,93	8,0				
Среднее сокращение объема	2	0,02	0,2				
Всего . . .	1263	11,55	100,0	Всего . . .	1263	11,55	100,0
Восточный Балхаш **							
Приток восточных рек	485	3,06	49,0	Испарение	902	5,68	91,2
Подземный приток .	14	0,09	1,4	Отшнуровывание заливов и инфильтрация в берега . . .	88	0,57	8,8
Приток с береговой полосы	8	0,05	0,8				
Осадки	122	0,77	12,3				
Среднее сокращение объема	3	0,02	0,4				
Приток из западной части	358	2,26	36,1				
Всего . . .	990	6,25	100,0	Всего . . .	990	6,25	100,0

* Площадь зеркала 9160 *км²*.
** Площадь зеркала 6340 *км²*.

для периода 1935—1954 гг. при средней за этот период отметке озера 339,56 *м* и соответствующей средней площади водного зеркала 15 500 *км*². Превышение прихода над расходом, составляющее для всего озера 1,14 *км*³/*год* или 74 *мм* слоя воды (табл. 9), мы относим за счет отшнуровывания заливов и инфильтрации в берега озера [1]. Относительно частных балансов Западного и Восточного Балхаша (см. табл. 10) следует заметить, что при их составлении ввиду близких значений длины береговой линии Западного и Восточного Балхаша, а также их объемов (см. табл. 4) мы допускали, что приток с береговой полосы, среднее сокращение объема и потеря воды в заливах и при инфильтрации, подсчитанные для всего озера, распределяются примерно поровну между западной и восточной частями. Полученное в Западном Балхаше превышение прихода над расходом, равное 2,26 *км*³/*год*, представляет не что иное, как количество воды, поступающей ежегодно из западной части озера в восточную в результате дефицита речного притока в восточной части. Эта величина водообмена, полученная нами тем же путем, каким ее получил И. С. Соседов, очень мало расходится с его данными. У Соседова она равна 2,35 *км*³/*год*.

В заключение обзора состояния водного баланса отметим, что несмотря на определенные достижения в количественной оценке его отдельных элементов, основанные на материалах более или менее длительных натурных наблюдений, все же некоторые данные носят приближенный характер. С большим приближением, например У. М. Ахмедсафиным, оценена роль подземного притока в озеро (возможная погрешность до 100%), безусловно, наблюдается неточность при расчете потерь воды в дельте на испарение и транспирацию ($\pm$ 0,3 $\div$ 0,4 *км*³), недостаточен ряд наблюдений за осадками, неточны исходные данные по батиметрии озера и т. д. Все это вместе со сложностью физико-географических условий, в которых находится озеро, бесспорно, вносит определенную погрешность в баланс. Поэтому в дальнейшем его следует уточнять и совершенствовать.

[1] На механизме этих процессов более подробно остановимся дальше, при рассмотрении солевого баланса озера.

Глава V

ЗАДАЧИ, ОБЪЕМ И МЕТОДИКА НАШИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Проводимые нами исследования ставили две задачи: 1) характеристику гидрохимии озера в его естественном состоянии и 2) прогноз основных гидрохимических показателей озера при предполагаемом зарегулировании р. Или.

Как уже отмечалось выше, существующий по гидрохимии озера материал имел целый ряд существенных недостатков. Более или менее подробно были охарактеризованы лишь отдельные участки озера (например, юго-западная часть озера и район залива Бертыс), гидрохимическая съемка, выполненная П. Ф. Домрачевым, была сильно растянута во времени, химический состав воды в большинстве случаев характеризовался неполным анализом и т. д. Поэтому, даже после систематизации, материал исследований прошлых лет давал лишь общее представление о гидрохимии водоема и мог быть использован лишь для ориентировочного прогноза. Особенно слабо были изучены биогенные вещества и газовый состав озера. Следовательно, нам необходимо было повторно, по возможности в сжатые сроки, провести подробные гидрохимические съемки всего озера в целом. Эти съемки дали бы представление о гидрохимии водоема в отдельные годы, что при сопоставлении с материалами прошлых лет дало бы сведения о динамике химического состава озера за большие периоды. Стационарные наблюдения на озере позволили бы судить о годовом режиме.

Согласно этому общему плану, нами на оз. Балхаш в 1955—1958 гг. были проведены полевые исследования. Летом 1955 г. была осуществлена первая рекогносцировочная экспедиционная поездка на озеро. За шесть дней (с 29 июля по 3 августа) с судна из озера были отобраны пробы воды для химического анализа из 35 пунктов, отстоящих друг от друга на расстоянии 15—20 *км*, на трассе: пос. Куйган — г. Балхаш — пос. Карашаган [1]. Маршрут следования судна показан на рис. 38. На озере было также намечено четыре пункта для ежемесячного отбора проб воды: ст. Чиганак, г. Балхаш, пос. Карашаган, пос. Бурлю-Тюбе. Пробы воды в этих пунктах отбирались в 1956—1957 гг. сетью Гидрометеослужбы Казахской ССР и пересылались в институт. Летом 1956 г. за 35 дней (с 26 июня по 29 июля) была выполнена подробная гидрохимическая съемка всего озера. В основу съемки была положена десятикилометровая сетка с общим количеством станций — 173 (см. рис. 38). Такая же съемка была повторена летом 1957 г. за 16 дней (с 30 июня по 15 июля). В 1955—1957 гг. изучали главным образом ионный состав воды. В пробах определяли Cl', SO_4'', $HCO_3' + CO_3''$, $Ca^{\cdot\cdot} + Mg^{\cdot\cdot}$, $Ca^{\cdot\cdot}$, pH и температуру. Одновременно определяли прозрачность воды, метеорологические условия и глубины озера. В 1958 г.

[1] Пробы отбирались при помощи батометра системы Рутнера.

предпочтение было отдано изучению биогенных веществ и газовому составу. Работа была проведена на 60 равномерно расположенных на озере станциях за 24 дня (с 25 июля по 17 августа). В пробах определяли pH, Cl', $P^{мин}_{раст}$, PO_4''', $NH_4^{\cdot}$, $NO_2^{\cdot}$, $NO_3^{\cdot}$, SiO_2, окисляемость, растворенный кислород. В восьми пунктах озера (в центре каждого из восьми выделенных районов) определение биогенных веществ было проведено по расширенной программе. Здесь дополнительно были определены $P_{вал}$, $N_{вал}$ и $N^{общ}_{раст}$. Кроме того, в Западном и Восточном Балхаше было проведено по одной суточной станции, имевшей главной целью наблюдения за суточным ходом кислорода. Как и в прошлые годы определяли прозрачность воды, глубины и метеорологические условия. На многих станциях наряду с поверхностными пробами воды (0,5 *м*) отбирали придонные.

Для составления солевого баланса в период 1956—1957 гг. нами был организован ежемесячный отбор проб воды для химического анализа из рек Или, Каратал, Ак-Су и Лепса в створах, по возможности наиболее близко расположенных к устьям, а в поселках Карашаган и Бурлю-Тюбе в этот же период на гидропостах для анализа отбирали атмосферные осадки. Одновременно с гидрохимической съемкой озера в 1958 г. в нижних течениях рек, впадающих в озеро, по расширенной программе были определены биогенные элементы.

Несомненный интерес представляло несоответствие имеющегося в оз. Балхаш запаса солей со сроком, в течение которого этот запас мог образоваться. Очевидно должен существовать неучитываемый ранее постоянный расход солей из озера. Предполагалось, что таким расходом может быть потеря солей в отшнуровывающихся от оз. Балхаш при его сокращении заливах и озерах с последующим развеиванием сухих солей ветрами и заносом озер песками. Для проверки этого предположения нами была обследована значительная часть побережья озера (главным образом южного), северная часть дельты Или и отобраны пробы воды из прилегающих к побережью озер (см. рис. 38). Более подробное обследование дельты было осуществлено экспедицией Лаборатории озероведения АН СССР (начальник В. М. Катанская) в течение 1955 и 1957 гг., которая отобрала пробы воды из 58 озер и проток дельты. Местоположение пунктов отбора указано на рис. 13. Химический анализ этих проб был выполнен нами.

Кроме перечисленных полевых исследований оз. Балхаш и Прибалхашья, в 1955 г. нами был совершен осмотр с самолета долины р. Или, некоторых ее притоков и центральной части дельты. В 1957 г. на фелюге удалось проехать по протокам Нарын, Ир, Джидель, затем вверх по Или до пос. Илийского и обратно до оз. Балхаш с одновременным отбором проб воды.

В 1956 г. гидрохимическая съемка была выполнена на арендованном судне «Каспиец», в 1957 г.— на судне «Шашубай» и в 1958 г.— на судне «1 Мая». Большинство гидрохимических определений производили сразу же после отбора пробы в полевой химической лаборатории, расположенной на борту судна. На месте определяли Cl', $HCO_3^{\cdot} + CO_3''$, $Ca^{\cdot\cdot} + Mg^{\cdot\cdot}$, $Ca^{\cdot\cdot}$, pH, PO_4''', $NH_4^{\cdot}$, NO_2, $NO_3^{\cdot}$, SiO_2, окисляемость и растворенный кислород. Пробы воды для определения в них SO_4'', $P_{вал}$, $N_{вал}$ и $N^{общ}_{раст}$ анализировали в лаборатории института.

При проведении гидрохимических определений пользовались преимущественно руководством по химическому анализу вод суши (Алекин, 1941; 1954). Содержание ионов хлора обычно определяли аргентометрически, при малом же содержании (10 и меньше *мг/л*) — меркурометрически (Крюков и Номикос, 1955). Содержание сульфатных ионов определяли весовым методом в виде $BaSO_4$. Сумму гидрокарбонатных и карбонатных ионов (карбонатная щелочность) определяли прямым титрованием соляной кислотой в присутствии метилового оранжевого с продуванием пробы возду-

хом, лишенным CO_2[1]. Сумму ионов кальция и магния (жесткость) определяли титрованием пробы раствором трилона Б в присутствии хромогена черного ЕТ-00, содержание ионов кальция — титрованием тем же раствором трилона Б с мурексидом в качестве индикатора (Фесенко, 1955). Содержание ионов магния рассчитывали по разности между жесткостью и содержанием кальция. Общее содержание ионов натрия и калия вычисляли по разности между суммой анионов и суммой катионов в *мг-экв/л*. Для пересчета вычисленного содержания суммы щелочных металлов из *мг-экв/л* в *мг/л* полученную величину умножали на эмпирический коэффициент, равный 25 (Алекин, 1954) [2].

Величину pH определяли колориметрически с применением буферных растворов с точностью до 0,05 (интервал шкалы 0,1 величины pH), затем вносили температурную, а после определения содержания главнейших ионов и солевую поправки. Содержание нитритных и нитратных ионов определяли колориметрически: нитриты — при помощи реактива Грисса, нитраты — с дифениламином. Определение кремния также производили колориметрически с молибдатом аммония и раствором K_2CrO_4 как стандартом. Окисляемость определяли перманганатным методом в щелочной среде, содержание растворенного в воде кислорода — обычным иодометрическим методом. Содержание фосфора — $P^{мин}_{раст}$ и $P_{вал}$ определяли колориметрическим методом с молибденовым раствором. В отличие от метода нагревания пробы с концентрированной серной кислотой, применяемого для разрушения органического фосфора и перевода его в неорганический, нами был использован метод «мокрого» сожжения с бертолетовой солью, значительно сокративший время определения $P_{вал}$ (Каплин и др., 1959). Содержание различных форм азота — $N^{мин}_{раст}$, $N^{общ}_{раст}$ и $N_{вал}$ определяли колориметрически при помощи реактива Несслера. Перевод органических форм в неорганические производили также методом сожжения с бертолетовой солью с последующей отгонкой аммиака водяным паром (Дышко, 1953). Определение прозрачности производили при помощи диска Секки.

Для характеристики вод использована классификация О. А. Алекина (1946), которая по сравнению с классификациями, предложенными другими авторами, является наиболее простой, четкой и в то же время в некоторой мере обрисовывающей генезис природных вод.

---

[1] В указанном методе вместе с карбонатными соединениями титруются и прочие слабые кислоты (фосфорная, кремневая, борная), и поэтому в действительности получали величину общей щелочности (в эквиваленте H_2CO_3). Однако для большинства природных вод, в и частности для оз. Балхаш, карбонатная щелочность настолько велика по сравнению со щелочностью и солями других кислот, что практически в большинстве случаев может быть принята равной общей щелочности.

[2] Соотношение концентраций натрия и калия в балхашской воде соответствует этому коэффициенту.

Глава VI

ГИДРОХИМИЯ ПРИБАЛХАШЬЯ

Формирование химического состава воды оз. Балхаш, как и всякого другого водоема, определяется всем комплексом физико-географических условий, господствующих в данном бассейне. В частности, гидрохимия оз. Балхаш тесно связана с гидрохимией питающих озеро вод. Основных таких источников три — речные, подземные и атмосферные воды.

1. АТМОСФЕРНЫЕ ОСАДКИ

Сведения о химическом составе атмосферных осадков, выпадающих в Прибалхашье, имеют двоякий интерес. С одной стороны, эти сведения дают общее представление о составе атмосферных осадков, который формируется в специфических условиях пустыни, покрытой солончаками и соляными озерами, с другой — позволяют количественно учесть поступление солей в оз. Балхаш из атмосферы. Последнее необходимо для составления солевого баланса этого водоема.

В просмотренной литературе сведения о химическом составе атмосферных осадков Прибалхашья отсутствовали. По нашей просьбе в период 1956—1957 гг. Гидрометеослужбой Казахской ССР производился сбор атмосферных осадков в двух пунктах — в Карашагане и в Бурлю-Тюбе. Осадки собирались в стандартные дождемеры сети Гидрометеослужбы согласно нашим инструкциям. Ввиду незначительного количества осадков в Прибалхашье, а также малых размеров дождемеров, объем воды, собранной после каждого дождя, был недостаточен для проведения химического анализа. Поэтому анализу подвергалась проба, полученная смешением проб воды, собранных во время нескольких дождей (или снегопадов).

Состав собранной указанным способом пробы отражает средний суммарный состав солей, вносимых в озеро с атмосферными осадками, который зависит от сухих эоловых солей, занесенных в атмосферу с суши ветром, и солей, увлеченных ветром с брызгами с поверхности водоемов. Именно это валовое содержание солей, поступающих из атмосферы, мы будем в дальнейшем учитывать при составлении солевого баланса озера.

Результаты химического анализа атмосферных осадков Прибалхашья, приведенные в табл. 11, указывают на значительную их минерализацию. Минерализация колеблется в пределах 64—417 *мг/л*, среднее ее значение 180,1 *мг/л*. Эта величина в четыре раза превышает среднюю минерализацию атмосферных осадков по СССР, которая, по Е. С. Буксеру, составляет 44,5 *мг/л*.

Такая значительная минерализация осадков Прибалхашья находит свое объяснение в своеобразии физико-географической обстановки. Здесь наблюдается сочетание целого ряда условий, способствующих повышенной засоленности атмосферных осадков — высокая засушливость климата, характерная для пустыни, наличие солончаковых почв, множество больших

Таблица 11

Химический состав атмосферных осадков Прибалхашья

Время отбора пробы	Содержание ионов, *мг/л*							Содержание ионов, %-экв.						Индекс по О. А. Алекину
	Cl'	SO_4''	$HCO_3' + CO_3''$	$Ca^{··}$	$Mg^{··}$	$Na^{·}+K^{·}$	$\Sigma_и$	Cl'	SO_4''	$HCO_3' + CO_3''$	$Ca^{··}$	$Mg^{··}$	$Na^{·}+K^{·}$	
Карашаган														
8.II—25.IV 1956 г. . .	16,0	47,1	111,6	22,0	10,6	32,5	239,8	6,9	15,0	28,1	16,7	13,3	20,0	$C_{II}^{Na,\ Ca}$
26.IV—20.V 1956 г. . .	8	26,9	58,8	13,0	5,8	16,1	129,4	7,1	15,8	27,1	18,4	13,6	18,0	$C_{II}^{Ca,\ Na,\ Mg}$
24.VI—26.X 1956 г. . .	29,0	89,3	111,6	16,4	10,9	70,0	327,2	9,1	20,5	20,4	9,1	9,9	31,0	SC_{I}^{Na}
6.III—11.V 1957 г. . .	41,5	133,1	125,1	26,5	21,9	71,8	419,9	9,8	23,1	17,1	11,0	15,0	24,0	S_{II}^{Na}
21.VII—31.X 1957 г. . .	25,7	69,7	56,7	19,4	11,7	29,0	212,2	11,7	23,4	14,9	15,7	15,6	18,7	$S_{II}^{Na,\ Ca,\ Mg}$
Среднее. .	24,2	73,0	93,0	19,4	12,2	43,9	265,7	9,0	19,6	21,4	14,1	13,9	22,0	CS_{II}^{Na}
Бурлю-Тюбе														
6.II—19.III 1956 г. . .	8,8	5,2	33,2	6,4	4,7	4,8	63,1	13,8	6,1	30,1	17,7	21,7	10,6	$C_{III}^{Mg,\ Ca}$
20.III—15.IV 1956 г. . .	5,7	10,5	74,4	6,8	2,4	26,4	126,2	5,0	6,9	38,1	10,6	6,2	33,2	C_{I}^{Na}
Среднее. .	7,2	7,8	53,8	6,6	3,5	15,6	94,6	9,4	6,5	34,1	14,2	13,9	21,9	C_{I}^{Na}
Среднее по двум пунктам														
Естественное состояние														
1956—1957 гг.	15,7	40,4	73,4	13,0	7,8	29,7	180,1	9,2	13,0	27,8	14,1	13,9	22,0	C_{II}^{Na}
С учетом осаждения кальцита														
То же	15,7	40,4	33,6	—	7,8	29,7	127,2	12,0	23,0	15,0	—	17,7	32,3	—
С учетом осаждения кальцита и доломита														
» »	15,7	40,4	—	—	1,2	29,7	87,0	17,2	32,8	—	—	3,9	46,1	—

и малых озер, содержащих сухие, легко развеивающиеся ветром соли и, наконец, сильные ветры, часто носящие характер бурь.

Наиболее мощным источником для засоления атмосферы является район Южного Прибалхашья с широко развитыми солончаками и соляными озерами. Поэтому атмосферные осадки, собранные в Карашагане, имели наиболее высокую минерализацию (в среднем 265,7 *мг/л*). Минерализация атмосферных осадков, выпадающих в районе Бурлю-Тебе, где общие условия более близки к обстановке, господствующей в Северном Прибалхашье, и расположенного на более значительном расстоянии от указанного источника засоления, значительно ниже (в среднем 94,6 *мг/л*). Но и здесь она довольна велика.

В составе атмосферных осадков заметную роль играют ионы HCO'_3, SO_4'' и $Na' + K'$. При пересчете ионного состава на солевой в атмосферных осадках Карашагана находим сульфаты натрия и магния, в осадках Бурлю-Тюбе — соду. Как увидим ниже, эти соли, особенно сульфат натрия, широко распространены в солончаках и озерах. К вопросу о развеивании солей ветром мы более подробно вернемся ниже. Здесь же отметим, что повышенная минерализация атмосферных осадков Прибалхашья не служит исключением, а является закономерной для аналогичных регионов. Это видно из данных табл. 12, где приведены некоторые средние величины минерализации атмосферных осадков, полученные разными авторами, в сопоставлении с нашими данными по Прибалхашью.

Таблица 12

Минерализация атмосферных осадков в некоторых районах аридной зоны

Район	Время наблюдений	Средняя минерализация, *мг/л*	Автор
Южная Украина, ст. Аскания Нова (в 25 *км* от Сиваша)	1951—1953 гг.	82,0	Е. С. Буркер и др. (1954)
Каспийское море, районы Апшеронского п-ова и Карабогазского пролива	1947—1948 гг.	117,0	Л. К. Блинов (1950)
Прикаспийская низменность:			
ст. Баскунчак	1936—1937 гг.	398,0	Н. Н. Усов (1940)
ст. Эльтон	То же	196,0	То же
ст. Александров-Гай	» »	156,0	» »
ст. Новоузенск	1936 г.	177,0	» »
Долина Западного Маныча, ст. Манычско-Грузская	1953—1955 гг.	92,3	М. И. Кривенцов (1961)
Прибалхашье:			
пос. Карашаган	1956—1957 гг.	265,7	М. Н. Тарасов
пос. Бурлю-Тюбе	1956 г.	94,6	То же

В силу значительной минерализации атмосферных осадков, даже при чрезвычайно малом их количестве (110 *мм/год*), суммарное поступление солей из атмосферы на поверхность оз. Балхаш довольно велико. Если принять, что средняя минерализация атмосферных осадков Прибалхашья составляет 180,1 *мг/л* и среднегодовое их количество, выпадающее на поверхность озера,— 1,7 $км^3$ (см. гл. IV), то суммарное годовое поступление солей из атмосферы в озеро достигает примерно 310 тыс. *т*. Как увидим ниже, эта величина составляет около 10% от речного ионного стока в озеро и, следовательно, играет заметную роль в солевом балансе последнего. На

пополнение солевого запаса озера, находящегося в растворенном состоянии, идет только некоторая часть из общего количества солей, вносимых в озеро из атмосферы, так как часть их уже в самом озере выпадает в осадок (см. ниже).

В табл. 11 приведен средний химический состав атмосферных осадков с учетом осаждения кальцита и доломита [1]. С учетом осаждения кальцита минерализация атмосферных осадков составляет 127,2 *мг/л*, а годовое количество поступающих с ними в озеро легкорастворимых солей — около 220 тыс. *т*, с учетом осаждения кальцита и доломита соответственно — 87,0 *мг/л* и 150 тыс. *т*.

2. РЕКИ

При рассмотрении гидрографии Балхашского бассейна было показано, что решающее значение в питании оз. Балхаш имеют реки, впадающие в него с юга, а именно: Или, Каратал, Ак-Су и Лепса. Реки же северной части бассейна, главные из которых Аягуз, Баканас, Токрау и Моинты, за исключением Аягуза, поверхностного притока в озеро почти не дают.

В гидрохимическом отношении перечисленные реки, особенно в части содержания в них биогенных элементов, изучены слабо. Имеющиеся и использованные нами данные по гидрохимии этих рек ограничиваются нерегулярными сведениями о химическом составе, опубликованными в Гидрологических ежегодниках за период 1936—1955 гг., краткой их характеристикой, приведенной в монографии О. А. Алекина (1949), и результатами наших более или менее регулярных наблюдений в 1956—1958 гг.

Поскольку условия формирования химического состава воды южных и северных притоков озера сильно отличаются, то и гидрохимическая характеристика этих двух групп рек резко различна.

Южные притоки

Общим для рек, впадающих в озеро с юга, является комбинированное питание за счет высокогорных снегов и ледников, атмосферных осадков и подземных вод. Все они по выходе из гор, прежде чем донести свои воды до оз. Балхаш, протекают в зоне прибалхашских пустынь. Различаются эти реки общей водностью и долей участия в их питании трех указанных составляющих. В соответствии с этим в гидрохимической характеристике указанных рек, наряду с общими чертами, есть некоторые различия.

На рис. 39—42, по результатам наших наблюдений за период 1956—1957 гг., сопоставлены внутригодовые изменения содержания главнейших ионов в воде рек и минерализации этой воды с расходами рек. Результаты химического анализа воды приведены в табл. 13—16.

Минерализация Или за указанный почти двухлетний период колебалась от 216 до 454, Каратала — от 160 до 415, Ак-Су — от 215 до 620, Лепсы — от 190 до 430 *мг/л*. По составу вода рек круглый год принадлежала к гидрокарбонатному классу группы кальция. Только в воде Ак-Су в 1957 г. некоторое время превалировали ионы натрия.

Общее представление о внутригодовом режиме минерализации реки и о его связи с режимом расходов можно иметь на основании соответствующих средних многолетних данных, сглаживающих различие гидрометеорологических условий отдельных лет. На рис. 43 сопоставлены среднемесячные многолетние величины минерализации с величинами среднемесячных

[1] При вычислении состава с учетом осаждения кальцита отбрасывались весь кальций и эквивалентное ему количество карбонатов. При вычислении состава с учетом осаждения кальцита и доломита помимо того отбрасывалась оставшаяся часть карбонатов с эквивалентным ей количеством магния.

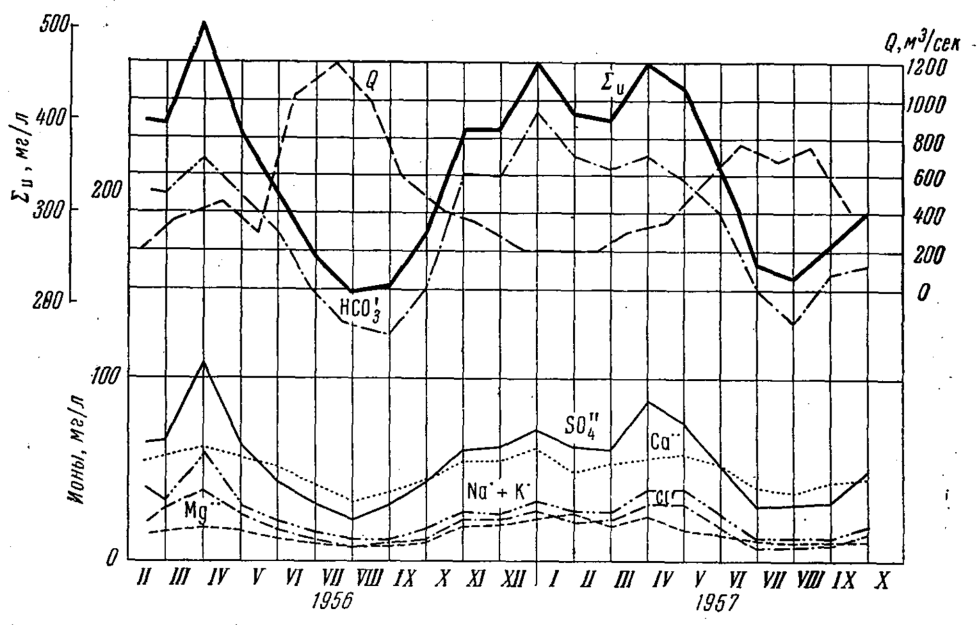


Рис. 39. Внутригодовые изменения содержания главнейших ионов в воде р. Или и расходов реки у урочища Уш-Джарма (1956—1957 гг.)

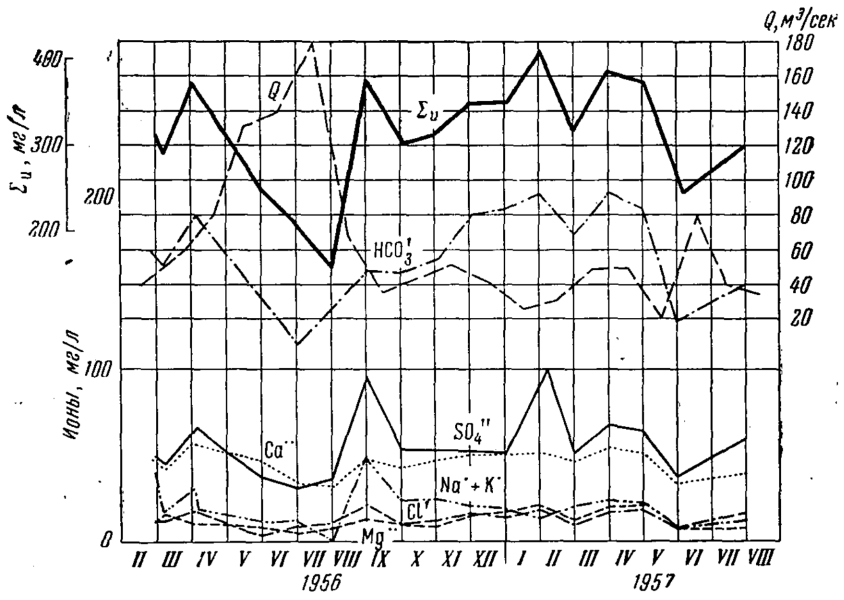


Рис. 40. Внутригодовые изменения содержания главнейших ионов в воде р. Каратал и расходов реки у пос. Найман-Суек (1956—1957 гг.)

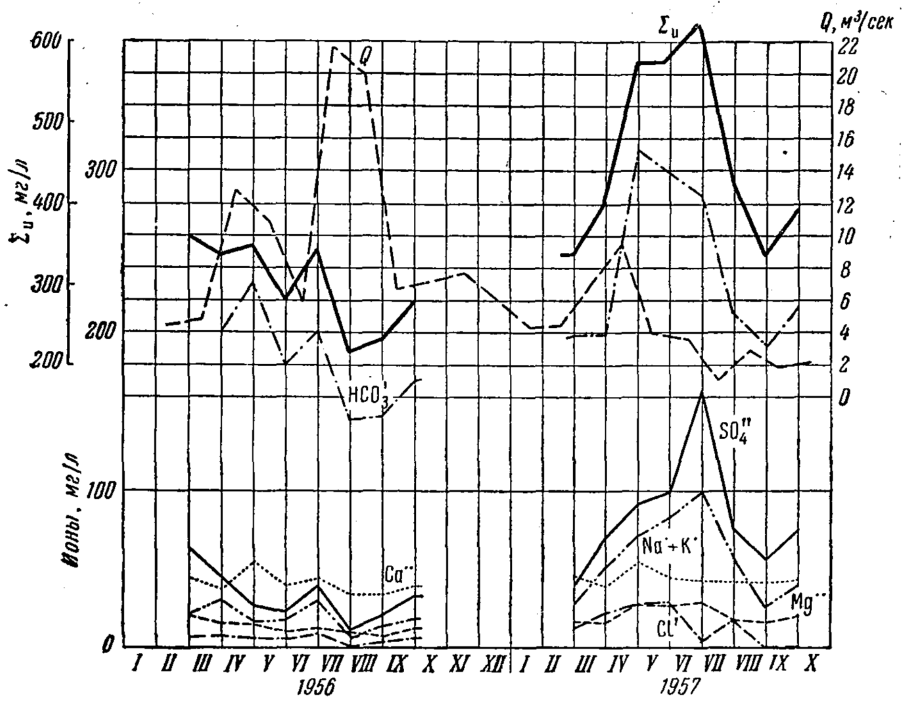


Рис. 41. Внутригодовые изменения содержания главнейших ионов в воде р. Ак-Су и расходов реки у пос. Кур-Ак-Су (1956—1957 гг.)

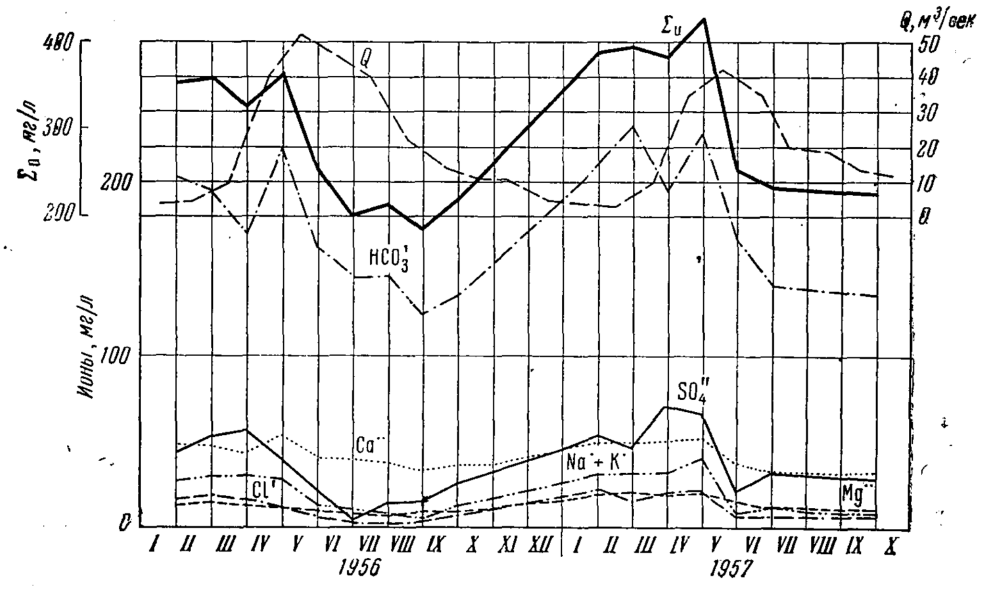


Рис. 42. Внутригодовые изменения содержания главнейших ионов в воде р. Лепса и расходов реки у совхоза Лепса (1956—1957 гг.)

Таблица 13

Химический состав воды р. Или у пос. Уш-Джарма

Дата отбора пробы	Содержание ионов, *мг/л*							Содержание ионов, %-экв.						Индекс по О. А. Алекину
	Cl'	SO_4''	$HCO_3' + CO_3''$	$Ca^{\cdot\cdot}$	$Mg^{\cdot\cdot}$	$Na^{\cdot} + K^{\cdot}$	$\Sigma_и$	Cl'	SO_4''	$HCO_3' + CO_3''$	$Ca^{\cdot\cdot}$	$Mg^{\cdot\cdot}$	$Na^{\cdot} + K^{\cdot}$	
12.II 1956 г.	20,6	63,8	201,3	55,1	15,4	39,8	396,0	5,6	12,8	31,6	26,4	12,2	11,4	C_{II}^{Ca}
1.III 1956 г.	25,9	65,0	199,5	56,5	15,6	31,5	394,0	6,8	12,7	30,5	26,3	11,9	11,8	То же
1.IV 1956 г.	38,3	108,2	219,0	61,5	18,7	58,0	503,7	7,8	16,3	25,9	22,2	11,1	16,7	»
1.V 1956 г.	24,8	62,1	201,3	55,7	16,1	30,0	390,0	6,6	12,3	31,1	26,2	12,5	11,3	»
1.VI 1956 г.	17,0	43,6	181,2	51,3	11,4	21,5	326,0	5,5	10,4	34,1	29,3	10,8	9,9	»
1.VII 1956 г.	11,7	32,0	148,8	41,9	8,9	15,3	258,6	4,8	9,6	35,6	30,5	10,6	8,9	»
1.VIII 1956 г.	8,2	23,7	129,3	34,3	8,7	10,3	214,6	4,1	8,6	37,3	30,1	12,7	7,2	»
1.IX 1956 г.	8,5	30,0	125,7	37,7	8,3	9,3	219,5	4,1	10,8	35,1	32,1	11,6	6,3	»
1.X 1956 г.	12,4	43,0	150,7	43,7	9,8	18,0	277,6	4,7	12,0	33,3	29,4	10,9	9,7	»
1.XI 1956 г.	23,1	60,4	211,1	54,9	19,1	26,5	395,1	6,1	11,7	32,2	25,5	14,6	9,9	»
1.XII 1956 г.	23,1	62,1	209,2	54,9	20,3	24,0	393,6	6,1	12,0	31,9	25,5	15,5	9,0	»
1.I 1957 г.	27,7	72,2	245,2	61,5	22,9	33,5	463,0	6,2	11,8	32,0	24,4	14,9	10,7	»
1.II 1957 г.	22,3	63,8	222,3	49,3	25,5	26,5	409,7	5,6	11,8	32,6	21,9	18,7	9,4	»
1.III 1957 г.	23,1	62,1	217,2	54,1	21,4	26,0	403,9	5,9	11,7	32,4	24,5	16,0	9,5	»
1.IV 1957 г.	32,3	90,1	222,0	55,7	25,3	39,3	464,7	7,1	14,6	28,3	21,6	16,2	12,2	»
1.V 1957 г.	31,6	76,9	210,5	58,5	17,1	40,3	434,9	7,5	13,5	29,0	24,7	11,8	13,5	»
1.VI 1957 г.	19,2	52,8	190,9	53,1	13,6	25,0	354,6	5,7	11,5	32,8	27,7	11,8	10,5	»
1.VII 1957 г.	7,8	29,2	150,5	41,9	8,9	11,8	250,1	3,4	9,3	37,3	31,8	11,0	7,2	»
1.VIII 1957 г.	8,9	30,8	134,2	38,1	8,9	11,5	232,4	4,0	10,4	35,6	30,7	11,8	7,5	»
1.IX 1957 г.	8,9	33,1	157,9	44,9	10,0	11,8	266,6	3,5	9,8	36,7	31,8	11,5	6,7	»
1.X 1957 г.	15,7	50,4	162,3	46,1	13,3	19,0	306,8	5,3	12,7	32,0	27,7	13,1	9,2	»

Таблица 14

Химический состав воды р. Караман у пос. Найман-Суе

Дата отбора пробы	Содержание ионов, *мг/л*							Содержание ионов, %-экв.						Индекс по О. А. Алекину
	Cl'	SO_4''	$HCO_3' + CO_3''$	$Ca^{\cdot\cdot}$	$Mg^{\cdot\cdot}$	$Na^{\cdot} + K^{\cdot}$	$\Sigma_и$	Cl'	SO_4'	$HCO_3' + CO_3''$	$Ca^{\cdot\cdot}$	$Mg^{\cdot\cdot}$	$Na^{\cdot} + K^{\cdot}$	
28.II 1956 г.	12,4	49,0	169,0	48,7	10,9	20,2	310,2	4,2	12,3	33,5	29,3	10,9	9,8	C_{II}^{Ca}
5.III 1956 г.	11,7	43,6	161,7	44,5	12,5	16,0	290,0	4,2	11,7	34,1	28,5	13,2	8,3	То же
4.IV 1956 г.	17,7	67,1	190,3	58,1	10,5	31,5	375,2	5,0	13,9	31,1	28,9	8,6	12,5	»
11.VI 1956 г.	5,3	37,5	143,9	46,9	6,8	9,8	250,2	2,3	11,9	35,8	35,6	8,5	5,9	»
1.VII 1956 г.	8,2	30,5	116,5	35,9	6,3	11,5	208,9	4,2	11,4	34,4	32,3	9,4	8,3	»
1.VIII 1956 г.	10,6	35,8	75,6	33,3	7,3	0,8	163,4	6,6	16,4	27,0	36,2	13,1	0,7	C_{III}^{Ca}
1.IX 1956 г.	21,6	96,3	158,6	47,5	11,6	47,5	383,1	5,8	19,3	24,9	22,7	9,1	18,2	C_{II}^{Ca}
1.X 1956 г.	11,4	54,7	157,4	44,9	10,3	23,8	302,5	4,0	14,1	31,9	27,7	10,5	11,8	То же
1. XI 1956 г.	12,1	53,5	164,1	48,3	9,6	23,8	311,4	4,1	13,5	32,4	29,0	9,5	11,5	»
2. XII 1956 г.	17,0	53,6	193,4	52,1	16,5	20,3	352,9	5,0	11,7	33,3	27,2	14,3	8,5	»
2.I 1957 г.	15,2	53,1	195,2	52,5	16,3	19,5	351,8	4,5	11,7	33,8	27,6	14,1	8,3	»
2.II 1957 г.	19,9	98,8	203,1	52,5	21,2	14,8	410,3	4,7	17,3	28,0	22,0	14,6	13,4	»
1.III 1957 г.	10,6	50,7	181,2	50,3	12,2	20,5	325,5	3,5	12,3	34,2	29,0	11,5	9,5	»
3.IV 1957 г.	19,5	69,7	200,1	55,5	18,7	24,3	387,8	5,2	13,7	31,1	26,2	14,6	9,2	»
3.V 1957 г.	19,9	66,5	193,4	51,7	20,4	21,3	373,2	5,5	13,5	31,0	25,3	16,4	8,3	»
1.VI 1957 г.	10,3	38,4	132,9	37,1	12,4	10,0	241,1	4,4	12,2	33,4	28,3	15,6	6,1	»
1.VIII 1957 г.	17,0	60,1	153,1	41,9	15,6	12,8	300,5	5,6	14,8	29,5	26,9	16,5	6,6	»

Таблица 15

Химический состав воды р. Ак-Су у пос. Кур-Ак-Су

Дата отбора пробы	Содержание ионов, *мг/л*							Содержание ионов, %-экв.						
	Cl'	SO_4''	$HCO_3'+CO_3''$	$Ca^{\cdot\cdot}$	$Mg^{\cdot\cdot}$	$Na^{\cdot}+K^{\cdot}$	$\Sigma_н$	Cl'	SO_4''	$HCO_3'+CO_3''$	$Ca^{\cdot\cdot}$	$Mg^{\cdot\cdot}$	$Na^{\cdot}+K^{\cdot}$	Индекс по О. А. Алекину
1.III 1956 г.	7,8	63,9	199,5	45,3	21,4	20,0	357,9	2,2	13,8	34,0	23,4	18,3	8,3	C_{II}^{Ca}
1.IV 1956 г.	8,2	47,4	197,6	37,7	15,6	32,5	339,0	2,6	11,1	36,3	21,0	14,3	14,7	C_{I}^{Ca}
1.V 1956 г.	7,1	27,2	231,8	53,9	15,1	16,0	351,1	2,2	6,2	41,6	29,4	13,6	7,0	C_{II}^{Ca}
1.VI 1956 г.	6,1	23,3	179,3	40,3	11,4	16,5	276,9	2,5	6,8	40,7	27,9	13,0	9,1	C_{II}^{Ca}
1.VII 1956 г.	9,9	40,5	201,3	43,7	12,9	29,5	337,8	3,2	9,5	37,3	24,7	12,0	13,3	C_{I}^{Ca}
1.VIII 1956 г.	2,6	11,4	147,0	35,1	8,9	7,0	212,0	1,3	4,4	44,3	32,2	13,4	4,4	C_{II}^{Ca}
1.IX 1956 г.	4,0	19,6	127,0	35,1	8,9	12,5	227,1	1,9	7,0	41,1	30,0	12,5	7,5	То же
1.X 1956 г.	7,2	32,0	170,8	39,3	12,5	17,0	278,8	2,7	9,1	38,2	26,7	14,0	9,3	»
1.II 1957 г.	13,8	40,8	194,6	42,5	15,2	26,5	333,4	4,4	9,6	36,0	23,9	14,1	12,0	»
1.III 1957 г.	13,1	40,0	200,1	44,0	14,7	26,8	338,7	4,1	9,3	36,6	24,6	13,5	11,9	»
1.IV 1957 г.	22,0	71,5	200,1	39,1	17,0	51,0	400,7	5,8	13,8	30,4	18,1	13,0	18,9	$C_{II}^{Na\ Ca}$
1.V 1957 г.	26,9	92,2	309,3	54,1	26,3	69,8	578,6	5,0	12,0	33,0	17,6	14,1	18,3	$C_{I}^{Na,\ Ca,\ Mg}$
1.VI 1957 г.	25,9	100,7	300,1	45,7	27,1	81,0	580,5	4,7	13,5	31,8	14,7	14,4	20,9	C_{I}^{Na}
1.VII 1957 г.	3,1	163,5	287,3	42,1	26,9	97,8	620,7	0,6	20,8	28,6	12,8	13,5	23,7	C_{I}^{Na}
1.VIII 1957 г.	17,2	74,6	214,8	41,3	15,9	54,5	418,3	4,3	14,0	31,7	18,6	11,8	19,6	$C_{I}^{Na,\ Ca}$
1.IX 1957 г.	0,43	55,9	192,2	41,1	14,6	26,8	331,0	0,1	13,4	36,5	23,8	13,9	12,3	C_{II}^{Ca}
1.X 1957 г.	0,43	74,2	217,8	41,5	18,4	38,5	390,8	0,1	15,0	34,9	20,3	14,7	15,0	C_{II}^{Ca}

Таблица 16

Химический состав воды р. Лепса у совхоза Лепса

Дата отбора пробы	Содержание ионов, *мг/л*							Содержание ионов, % экв.						
	Cl'	SO_4''	$HCO_3' + CO_3''$	$Ca^{\cdot\cdot}$	$Mg^{\cdot\cdot}$	$Na^{\cdot} + K^{\cdot}$	$\Sigma_{ин}$	Cl'	SO_4''	$HCO_3' + CO_3''$	$Ca^{\cdot\cdot}$	$Mg^{\cdot\cdot}$	$Na^{\cdot} + K^{\cdot}$	Индекс по О. А. Алекину
1.II 1956 г.	16,3	44,2	203,1	50,5	13,5	27,0	354,6	4,9	9,8	35,3	26,8	11,8	11,4	C_{II}^{Ca}
1.III 1956 г.	18,1	52,8	197,6	48,7	15,1	29,5	361,8	5,3	11,3	33,4	25,1	12,8	12,1	То же
1.IV 1956 г.	16,0	55,9	172,6	44,5	12,5	30,0	331,5	5,1	13,2	31,7	24,9	11,6	13,5	»
1.V 1956 г.	11,7	41,2	217,2	53,9	11,9	27,0	362,9	3,5	9,1	37,4	28,3	10,3	11,4	»
1.VI 1956 г.	6,7	22,0	165,3	42,9	8,3	13,5	258,7	2,8	6,8	40,4	31,8	10,1	8,1	»
1.VII 1956 г.	2,7	5,1	147,0	40,3	7,3	—	202,4	1,5	2,3	46,2	38,5	11,5	—	C_{III}^{Ca}
1.VIII 1956 г.	2,6	12,8	147,0	38,5	6,8	6,8	214,5	1,3	4,9	43,8	34,9	10,2	4,9	C_{II}^{Ca}
1.IX 1956 г.	3,5	15,2	125,1	33,5	7,8	4,0	189,1	2,0	6,5	41,5	33,8	13,0	3,2	То же
1.X 1956 г.	6,7	25,0	136,0	35,9	9,4	9,8	222,8	3,4	8,8	37,8	30,3	13,1	6,6	»
1.II 1957 г.	23,1	53,5	214,1	49,7	19,2	30,5	390,1	6,1	10,6	33,3	23,5	15,0	11,5	»
1.III 1957 г.	17,4	46,4	234,2	49,7	19,2	31,0	397,9	4,6	9,2	36,2	23,4	14,9	11,7	»
1.IV 1957 г.	20,9	72,0	195,2	50,5	18,7	30,8	388,1	5,6	14,2	30,2	23,8	14,6	11,6	»
1.V 1957 г.	22,3	68,0	228,1	51,5	19,9	40,0	429,8	5,4	12,3	32,3	22,2	14,2	13,6	»
1.VI 1957 г.	7,1	20,6	168,4	39,1	14,2	6,8	256,2	3,0	6,3	40,7	28,8	17,2	4,0	»
1.VIII 1957 г.	6,4	31,1	143,4	33,8	11,4	10,0	236,1	3,0	9,1	37,9	27,9	15,5	6,6	»
1.X 1957 г.	8,9	28,0	137,3	34,9	11,7	9,5	230,3	4,1	9,4	36,5	28,2	15,6	6,2	»

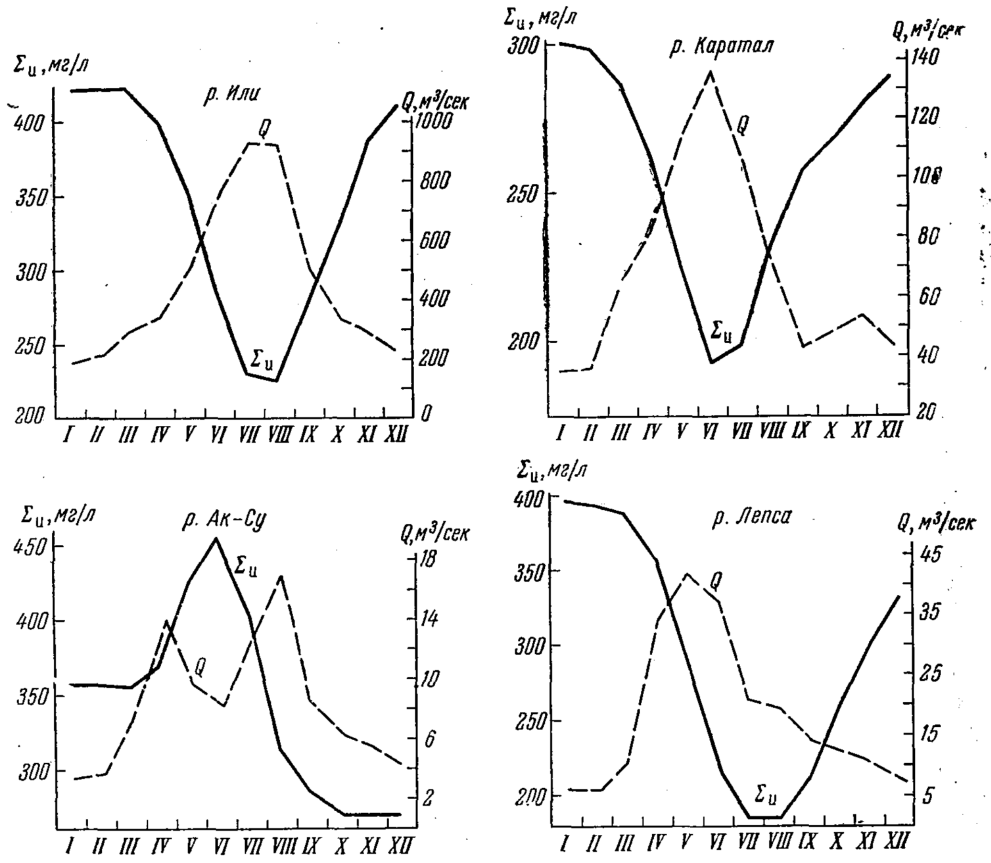


Рис. 43. Среднемесячные многолетние режимы минерализации и расходов южных притоков Балхаша. (Периоды и створы, по которым получены величины расходов, см. выше в пояснениях к рис. 12 и 18; периоды и створы, по которым использованы данные химических наблюдений, см. ниже в табл. 13—16)

многолетних расходов для четырех рассматриваемых рек. Из кривых этого рисунка видно, что у Или максимальные величины минерализации воды приходятся на зимний сезон, когда расходы минимальны. С начала весны минерализация непрерывно падает и наименьших величин достигает в июле-августе, когда в результате интенсивного таяния снегов и ледников в горах расходы реки достигают максимума. Напротив, осенью минерализация увеличивается, а расходы падают.

Несмотря на то, что Или значительную часть своего пути в нижнем течении проходит среди пустыни, господствующие здесь засушливые условия из-за большой водности реки заметно не влияют на ее гидрохимический режим, и он остается таким же, как и в лежащих выше участках бассейна Так, результаты химического анализа воды, отобранной по течению Или, летом 1957 г. показали, что минерализация и состав воды реки на значительном расстоянии остаются почти неизменными (табл. 17). Это положение нельзя, конечно, распространять на весь бассейн Или, включая многочисленные притоки. Например, минерализация ее притока — типичной высокогорной р. Иссык, более чем в два раза меньше, чем минерализация Или в нижнем течении (см. табл. 17). Мы хотим лишь отметить, что жесткие климатические условия, свойственные пустыне, не успевают оказать существенного влияния на химический состав воды реки в ее среднем и нижнем течениях. Минерализация воды сохраняется небольшой, а состав — гидрокарбонатно-кальциевый. На гидрохимическом режиме реки мало сказы-

Таблица 17

Изменение химического состава воды р. Или по течению

Место отбора пробы*	Дата отбора пробы	$\Sigma_{и}$, *мг/л*	Содержание ионов, %-экв.					
			Cl'	SO_4''	$HCO_3' + CO_3''$	Ca''	Mg''	$Na'+K'$
Село Илийское	9.VIII 1957 г.	236,5	4,8	11,5	33,7	27,4	10,2	12,4
В 40 *км* выше с. Баканас	10.VIII 1957 г.	237,8	4,7	11,8	33,5	11,0	26,2	12,8
Урочище Уш-Джарма . .	11.VIII 1957 г.	222,6	5,1	10,8	34,1	10,6	27,5	11,9
Протока Джидель . . .	13.VIII 1957 г.	247,7	4,5	10,6	34,9	11,1	26,2	12,7
Река Иссык, ~ в 80 *км* от впадения в р. Или	24.VII 1955 г.	97,6	1,6	8,7	39,7	9,8	34,6	5,6

* См. рис. 38.

вается весенний паводок. На гидрографе он слегка заметен, на ходе же минерализации его влияния не видно. Поэтому основным видом питания Или следует считать поступление высокогорных вод.

Режим минерализации и расходов Каратала (см. рис. 43) в общем мало чем отличается от соответствующих режимов Или. Это вторая по водности река бассейна. Максимум минерализации ее воды также приходится на зимний сезон. Но падение содержания солей, в отличие от Или, начинается ранней весной; минимум минерализации также наблюдается раньше (в июне). Это свидетельствует о повышенной доли в питании реки весеннего поверхностного стока и пониженной доли высокогорного питания. Режим минерализации реки здесь также хорошо связан с режимом расходов.

Река Лепса по водности занимает третье место в Балхашском бассейне. Минимум минерализации у нее приходится на июль-август (см. рис. 43). Однако этот минимум не совпадает с максимумом расходов, как у рек Или и Каратал. Причина этого, с одной стороны, по-видимому, в том, что в летние месяцы большие количества воды Лепсы отводятся на орошение и тем самым нарушается естественный гидрограф, с другой — еще большей, чем у Каратала, ролью в питании реки весеннего поверхностного стока. На рис. 43 видно, что максимальные расходы приходятся на май. Снижение минерализации, обусловленное весенним паводком, продолжается летом за счет таяния снегов и ледников в горах.

Наименьшая из южных притоков оз. Балхаш — р. Ак-Су. Режим ее минерализации, в отличие от режимов рассмотренных рек, имеет свою специфику. Наибольшая минерализация наблюдается в июне, во время снижения расходов после весеннего паводка, наименьшая — осенью после летнего паводка. Причин такого своеобразного режима может быть несколько: маловодность реки и, следовательно, подверженность реки влиянию местных климатических и других условий, забор воды на орошение и возврат ирригационных вод и т. д.

Если на р. Или, как мы видели выше, не оказывают существенного влияния засушливые климатические условия пустынь Прибалхашья, то на такие маловодные реки, как Каратал, Ак-Су и Лепса, они, безусловно, должны сказываться. У нас, правда, нет данных, подтверждающих это, но другие авторы (Алекин, 1949; Сапожников, 1951) констатируют, что минерализация перечисленных рек вниз по течению, как правило, возрастает.

Хотя круглый год вода рек остается гидрокарбонатно-кальциевой, все же в соответствии с внутригодовым изменением минерализации, некоторые изменения наблюдаются в соотношении отдельных ионов. Удобным

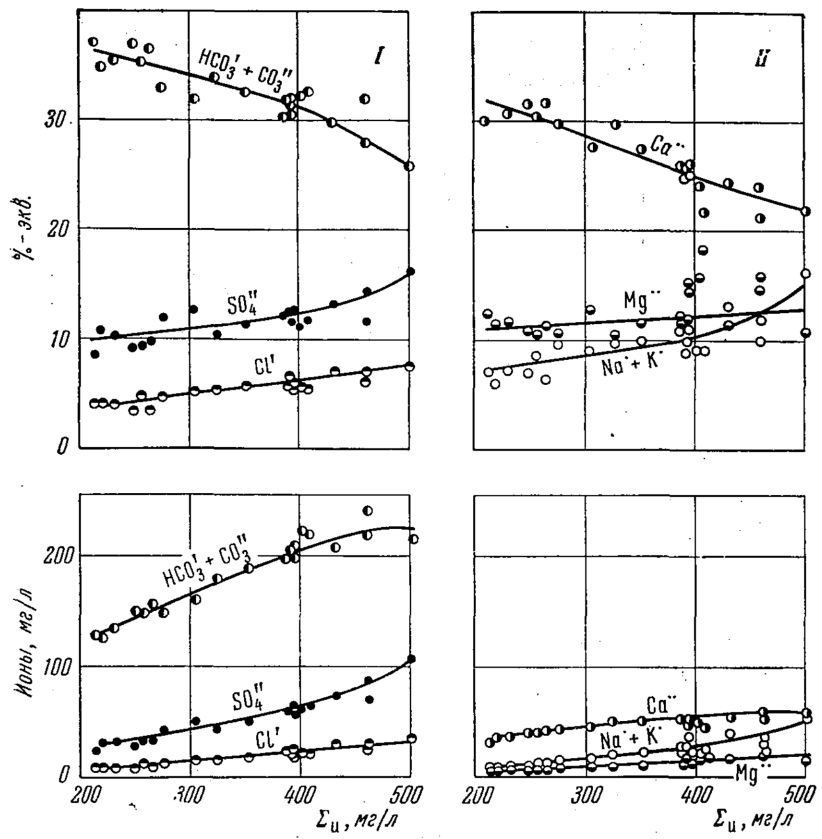


Рис. 44. Характер связи между ионным составом и минерализацией воды р. Или.

I — анионы; *II* — катионы

приемом, позволяющим наглядно представить, сравнить и обобщить результаты массового анализа сотен проб воды самых разнообразных типов, является графическое выражение связи абсолютного и относительного содержания главнейших ионов с минерализацией воды. Этим известным приемом мы уже неоднократно пользовались (Тарасов, 1954, 1956) и и применяем его в настоящей работе.

На рис. 44—47 изображен характер связей состава воды с минерализацией для четырех рассматриваемых рек (по данным наших наблюдений, в период 1956—1957 гг.).

Из рис. 44 следует, что с ростом минерализации относительный состав Или меняется. При минимальной минерализации — около 200 *мг/л* (т. е. летом при таянии снегов и ледников в горах) состав воды характеризуется максимальным относительным содержанием HCO_3' и $Ca^{..}$. С ростом минерализации до 400 *мг/л* изменение содержания всех ионов происходит по прямой линии, причем относительное содержание COH_3' и $Ca^{..}$ падает, содержание же остальных ионов растет. При дальнейшем росте минерализации (зимой и осенью) прямолинейная связь нарушается. Относительное содержание HCO_3' начинает падать быстрее, содержание же SO_4'' соответственно быстрее расти. Имеются отличия и в характере изменения содержания катионов. Содержание $Na^{.} + K^{.}$, так же как и SO_4'', увеличивается более интенсивно, уменьшение содержания $Ca^{..}$ в отличие от HCO_3' несколько замедляется. Причина такого характера

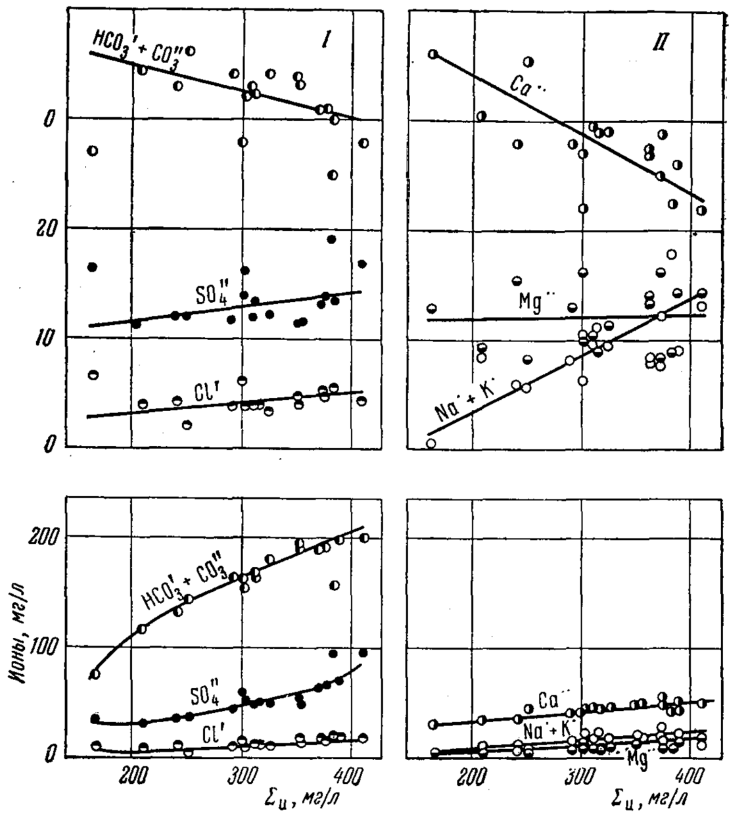


Рис. 45. Характер связи между ионным составом и минерализацией воды р. Каратал.

I — анионы; *II* — катионы

изменения состава заключается в том, что зимой и осенью в питании реки возрастает роль подземных вод, на формирование состава которых оказывают влияние распространенные в предгорьях палеогеновые гипсоносные и соленосные глины.

Аналогичный характер связей состава воды с минерализацией видим и у трех других рек (рис. 45—47). У рек Каратала и Лепсы с ростом минерализации в наблюдаемом интервале — примерно от 200 до 400 *мг/л* также падает содержание HCO_3^- и Ca^{++} и растет содержание SO_4^{--} и $Na^+ + K^+$. Прямолинейность связей во всем интервале минерализаций, а также пониженная на 15—20% минерализация рек Каратала и Лепсы по сравнению с минерализацией Или свидетельствуют о меньшей роли подземных вод в питании этих рек.

Минерализация р. Ак-Су по сравнению с другими реками достигает наибольших значений (до 620 *мг/л*). При этом при минерализации выше 500 *мг/л* среди катионов начинает явно преобладать натрий над кальцием. Вероятно, это связано с относительной маловодностью реки и, следовательно, с заметным влиянием на ее гидрохимический режим засушливых условий в нижнем течении. Очевидно, здесь больше сказывается и роль подземного питания, доля которого при условии маловодности реки естественно должна возрастать.

В целом по внутригодовому естественному режиму минерализации и по относительному составу все перечисленные реки, по классификации О. А. Алекина (1950), следует отнести к Тянь-Шанскому гидрокарбонатному гидрохимическому типу.

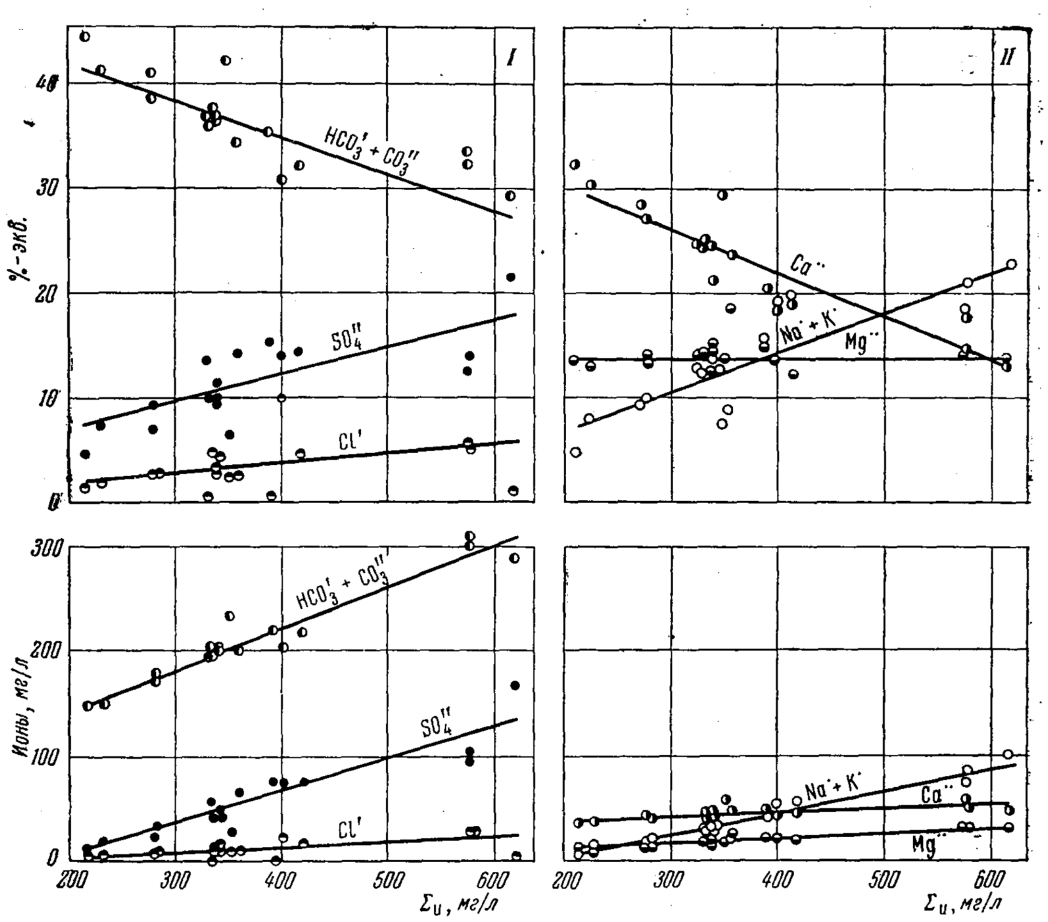


Рис. 46. Характер связи между ионным составом и минерализацией воды р. Ак-Су.
I — анионы; *II* — катионы

Реки ежегодно вносят в озеро огромное количество легкорастворимых минеральных веществ. Учитывая непостоянство химического состава и жидкого стока рек по годам и внутри года, для подсчета ионного стока рек были использованы среднегодовые многолетние величины химического состава и минерализации, взвешенные по стоку. Эти величины, приведенные в табл. 18, получены по методу, изложенному в монографии О. А. Алекина (1953).

Вначале графическим способом был подсчитан среднемесячный многолетний химический состав воды рек. По этим данным и величинам среднемесячного многолетнего жидкого стока были вычислены среднемесячный и затем среднегодовой многолетний стоки по отдельным ионам. Деление последних величин на объем среднегодового многолетнего жидкого стока дало среднегодовые многолетние величины концентраций отдельных ионов, взвешенные по стоку, а суммирование последних — минерализацию. Имея величину среднегодовой многолетней, взвешенной по стоку, минерализации реки, умножением ее на объем годового жидкого притока в озеро легко получить годовой ионный сток реки. Величины ионного стока по всем рекам приведены в упомянутой табл. 18. В ней приведены также цифры, характеризующие химический состав и ионные стоки рек с учетом осаждения кальцита и доломита. Там же приведены соответствующие цифры и по р. Аягуз. Как видим, суммарный по всем рекам ионный сток в озеро со-

ставляет 4,07 млн. m^1. На пополнение солевого запаса озера, который находится в растворенном состоянии, ежегодно из рек поступает 1,09 млн. *т*.

Реки, впадающие в оз. Балхаш, содержат огромные количества минеральных взвешенных веществ. Наиболее мутны воды Или и далее Лепсы и Каратала; на последнем месте в этом отношении стоит Ак-Су. Вода некоторых проток Или совершенно прозрачна. Содержание взвешенных веществ, как правило, возрастает вниз по течению в несколько раз. Наибольшее количество взвешенных веществ реки несут в летнее время, когда количество их превышает 1 *кг/м*³. Осенью прозрачность повышается, зимой же вода относительно прозрачна. По данным Д. Г. Сапожникова (1951), реки, впадающие в оз. Балхаш, ежегодно переносят следующие количества взвешенных веществ (в тыс. *т*):

Или	8300
Каратал	790
Лепса	650
Ак-Су	32
Аягуз	1,4
Всего	9773,4

Примерно половина этого количества оседает в дельтах рек, и поэтому в озеро поступает около 5 млн. *т* взвешенных веществ в год. По данным химического анализа, проведенного тем же автором, взвешенные вещества, собранные в нижнем течении Или, в своем составе содержали 19,86% $CaCO_3$, и 0,52% $MgCO_3$, а собранные близ устья Лепсы — 13,01% $CaCO_3$ и 0,08% $MgCO_3$.

Гидрохимическая характеристика описываемых рек была бы неполной без сведений о содержании в их водах биогенных веществ, окисляемости и количестве растворенного кислорода. К сожалению, в литературе эти сведения почти совершенно отсутствуют. Так, в работе Н. А. Коротченок и др. (1939) имеются лишь частичные данные по соответствующим наблюдениям на р. Малой Алмаатинке (приток Или) за период 1934—1935 гг. Окисляемость в течение года колебалась от 1,5 до 5 *мг* О/*л*, с максимумом весной. Значение pH изменялось от 6,8 до 7,4. Значительное содержание кислорода, составляющее в безледный период 8—12 *мг/л*, зимой падало до 4—7 *мг/л*.

В одной из работ П. Ф. Домрачева (1930) указывалось, что вода Каратала содержит 0,08 *мг/л* NO'_3, 2,3 *мг/л* Si, 0,1 *мг/л* PO_4''', следы NO_2' и NH_4. Этим и ограничиваются найденные нами в литературе сведения.

В табл. 19 приведены некоторые наши данные, характеризующие воды рек Балхашского бассейна в их нижних течениях (в 1—2 *км* от устьев). Для суждения о годовом поступлении биогенных веществ в озеро этих данных, разумеется, недостаточно, но все же, наряду с общей характеристикой рек, они в дальнейшем помогут выяснить некоторые особенности распределения в озере этих веществ. Из данных упомянутой таблицы следует, что величины pH находятся в пределах 7,70—8,35, причем наименьшая величина наблюдалась у протоки Ир.

Содержание кислорода в реках невысоко (4,6—7,9 *мг/л*). Меньше всего кислорода содержит вода протоки Ир (55% насыщения). Реки Каратал и Лепса имеют малую окисляемость; остальные — среднюю, причем окисляемость воды Или наиболее высока (10,06 *мг* О/*л*) по сравнению с другими реками. Содержание кремния составляет 2—5 *мг/л* — обычное для воды рек этого типа. Фосфор, в наиболее усвояемой его форме — $P^{мин}_{раст}$ (PO_4'''), содержится в незначительном количестве. Валовое содержание фосфора более

[1] В. А. Шнитников (1936) оценивал его в 4,32 млн. *т*, Д. Г. Сапожников (1951) — в 6,71 млн. *т*.

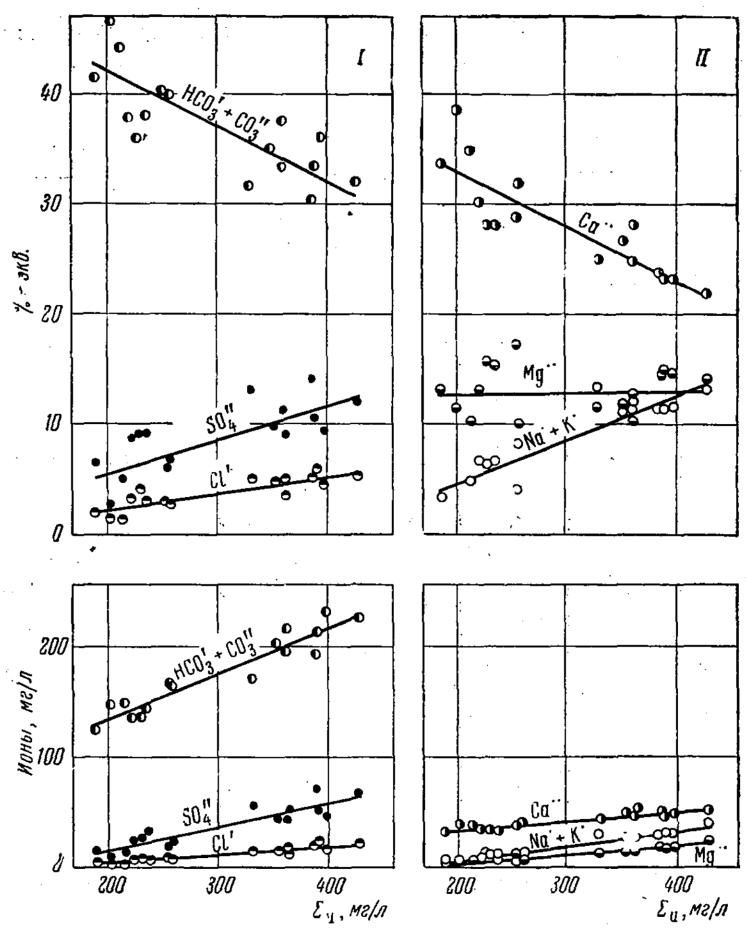


Рис. 47. Характер связи между ионным составом и минерализацией воды р. Лепса

I — анионы; *II* — катионы

ощутимо. Содержание соединений азота в реках намного выше, чем фосфора, причем в наибольшем количестве азот находится в органической форме как в растворенном, так и в нерастворенном состояниях [1]. Растворенного азота в минеральной форме сравнительно мало. Присутствие в воде рек Или и Лепса нитритных ионов и повышенное у Или, по сравнению с другими реками, содержание нитратных ионов следует объяснить загрязнением указанных рек со стороны селений, расположенных недалеко (3—4 *км*) от устья (селения Куйган и Узяк на Или и совхоз Лепса на Лепсе).

По величинам рассматриваемых гидрохимических характеристик протока Ир (дельта Или) несколько отличается от других рек. Она имеет наименьшую величину pH и мало содержит кислорода. Меньше, чем в других реках, содержится в ее воде фосфора и азота. Это объясняется тем, что илийская вода, прежде чем попасть в протоку Ир, проходит через сложную

[1] Учитывая малую вероятность нахождения в воде в заметных количествах аммонийного азота в нерастворенном состоянии, а также то, что при сожжении органического азота нитратный и нитритный азот удаляются в виде газообразного азота, примерное содержание органического азота в растворенном состоянии вычислено по разности $N^{общ}_{раст} - N_{NH_4}$, а в нерастворенном—по разности $N_{вал} - N^{общ}_{раств}$.

Содержание растворенного кислорода, биогенных веществ

Место отбора пробы (река)	Дата отбора пробы (1958 г.)	pH	O_2		Окисляемость, *мг* O/*л*	Si, *мг/л*
			мг/л	% насыщения		
Или	15^{00} 25.VII	7,95	6,84	79,3	10,06	4,1
Ир — протока Или . . .	16^{30} 28.VII	7,70	4,65	54,8	7,12	5,0
Каратал	12^{00} 9.VIII	8,35	Н. о.	Н. о.	2,00	2,0
Ак-Су	7^{00} 17.VIII	8,10	6,50	73,6	5,50	2,2
Лепса	7^{30} 14.VIII	8,05	7,90	87,2	3,12	4,5

систему многочисленных озер с широко развитой в них водной растительностью. В этих озерах происходит интенсивное потребление биогенных веществ и одновременно окисление отмерших организмов. Последний про-

Таблица 20

Содержание фосфора, азота и кремния в воде нижних течений рек Дона, Волги, Аму-Дарьи и Или (в *мг/м*³)

Место отбора пробы	Период наблюдений	$P_{PO_4''}$	$N_{NO_3''}$	Si	Автор
Дон*	VII 1940—1941 гг.	97,0	263	3000	В. Я. Еременко (1948)
Волга**	VII 1936—1938 гг.	31,0	31	2130	С. В. Бруевич (1941)
Аму-Дарья	VII 1950 г.	6,5—30,0	48	5000	Л. К. Блинов (1956)
	VII—VIII 1952 г.***	1,1	320	—	К. Г. Лазарев (1957)
Или	25.VII 1958 г.	5,0	460	4100	М. Н. Тарасов

* Среднее из трех определений.
** Среднее из восемнадцати определений.
*** Проба отобрана на середине реки, ниже Чарджоу.

цесс, по-видимому, превалирует, поэтому здесь понижается величина pH и падает содержание кислорода. Аналогичную картину в тростниковых зарослях дельты Волги наблюдал В. С. Ивлев (1950). На деятельность дельт, как биохимических фильтров, указывает Л. К. Блинов (1956). Им приведены данные Н. Ф. Соловьевой, из которых следует, что протока дельты Сыр-Дарьи по ряду гидрохимических показателей существенно отличается от главного русла реки.

Для оценки количества биогенных веществ, содержащихся в главной водной артерии, питающей озеро,— реке Или, сравним содержание некоторых ингредиентов воды этой реки с содержанием их в водах рек других бассейнов. Очевидно, что сопоставимыми могут быть только результаты летних наблюдений. Из данных табл. 20 следует, что Или наиболее сходна с Аму-Дарьей. Это, безусловно, связано с общностью условий формирования состава вод этих рек. Обе они берут начало в горах и имеют ледниково-

Таблица 19

и окисляемость в реках Южного Прибалхашья

P, *мг/м³*		N, *мг/м³*						
$P^{мин}_{раст}$	$P_{вал}$	$N_{NH_4'}$	$N_{NO_2'}$	$N_{NO_3'}$	$N^{общ}_{раст}$	$N_{вал}$	$N^{орг}_{раст}$	$N^{орг}_{нераств}$
5	52,4	3,3	3,0	460	1179	1474	1176	295
2	37,6	5,5	<0,5	<10	413	678	408	265
3	77,4	7,1	<0,5	17	1326	1739	1319	413
5	65,0	8,2	<0,5	23	Н. о.	295	Н. о.	Н. о.
41	80,0	78,0	3,0	180	648	1385	570	738

вое питание. Этим обусловлено повышенное содержание в них кремния. Низкие содержания фосфора в водах этих рек, по сравнению с Доном и Волгой, следует объяснить тем, что значительная часть их бассейнов расположена в условиях пустынь, при которых возможность поступления фосфатов в реки весьма ограничена. По содержанию в воде нитратного азота Или превосходит все упомянутые реки. Однако делать из этого какой-либо вывод пока преждевременно, так как содержание нитратов в Или характеризуется единичным, возможно, случайным анализом.

Северные притоки

Поскольку реки Северного Прибалхашья почти не принимают участия в поверхностном питании озера и данные о них очень скудны, то на их гидрохимической характеристике остановимся очень кратко, ограничась только сведениями по минерализации и ионному составу. Оставить их совершенно вне нашего рассмотрения было бы неправильно, так как известное влияние на оз. Балхаш они все же оказывают в виде аллювиального подземного потока.

В отличие от южных, северные притоки оз. Балхаш (Аягуз, Баканас, Токрау, Моинты) питаются главным образом за счет весеннего таяния зимних осадков. Поэтому наибольшие величины минерализации они имеют летом и зимой, минимальные — весной, во время половодья. Среди северных притоков более высокая минерализация наблюдается у рек, расположенных в западной части бассейна (Моинты и Токрау); у рек восточной части (Баканас и Аягуз) она ниже. Так, в летнюю межень минерализация западных рек достигает 2000 *мг/л*, минерализация же восточных — обычно не превышает 1000 *мг/л*. Причиной этого является бо́льшая континентальность западной части бассейна озера относительно восточной (на западе осадки 102 *мм*, испарение 952 *мм*, на востоке соответственно 122 и 902 *мм*). Во время кратковременного весеннего половодья минерализация воды всех рек обычно составляет 300—500 *мг/л*. В табл. 21 представлен химический состав воды Аягуз — единственного из северных притоков, дающих поверхностный приток в озеро. Большую часть года расходы р. Аягуз незначительны (1—2 *м³/сек*) и своих вод до оз. Балхаш река почти не доносит. Некоторое влияние на озеро она оказывает только во время весенних паводков, обычно в апреле, когда ее средние расходы составляют 45—50 *м³/сек*. Выше, в табл. 18, приведен средний за период весеннего паводка химический состав воды реки. В этот период в составе воды преобладают ионы HCO'_3 и

Таблица 21

Химический состав воды р. Аягуз (у г. Аягуз)

Дата отбора пробы	Содержание ионов, *мг/л*							Содержание ионов, %-экв.						Индекс по О. А. Алекину
	Cl'	SO_4''	$HCO_3'+CO_3''$	$Ca^{\cdot\cdot}$	$Mg^{\cdot\cdot}$	$Na^{\cdot}+K^{\cdot}$	$\Sigma_и$	Cl'	SO_4''	$HCO_3'+CO_3''$	$Ca^{\cdot\cdot}$	$Mg^{\cdot\cdot}$	$Na^{\cdot}+K$	
10.IV 1952 г.	14,2	45,2	187,9	43,1	5,6	45,2	341,2	4,5	10,6	34,9	24,3	5,2	20,5	$C_I^{Ca,\ Na}$
29.IV 1952 г.	39,0	87,2	225,8	63,1	9,5	67,2	491,8	8,3	13,7	28,0	23,8	5,9	20,3	$C_{II}^{Ca,\ Na}$
19.IV 1955 г.	47,2	86,4	200,1	58,1	8,5	70,2	470,5	10,4	14,0	25,6	22,6	5,5	21,9	То же
24.IV 1955 г.	37,3	66,6	200,8	55,1	12,3	49,2	421,3	9,2	12,1	28,7	24,0	8,8	17,2	C_{II}^{Ca}
30.IV 1955 г.	45,4	68,3	170,8	42,1	10,4	63,5	400,5	11,6	12,9	25,5	19,1	7,8	23,1	$C_{II}^{Na,\ Ca}$

$Ca^{\cdot\cdot}$. Гидрокарбонатную воду группы кальция весной имеют и другие реки.

По мере следования вниз по течению минерализация воды всех рек заметно возрастает. Летом и осенью в нижних течениях рек, особенно в реках западной части бассейна, преобладают сульфатные ионы и ионы натрия. Здесь реки дробятся на отдельные плёсы и постепенно, теряясь в своих аллювиальных отложениях, достигают озера лишь подземным путем.

По гидрохимическому режиму все северные притоки оз. Балхаш, согласно классификации О. А. Алекина, следует отнести к Казахстанскому гидрокарбонатно-сульфатному типу.

Приток с береговой полосы

Выше (см. гл. II) было указано, что ежегодный приток воды с береговой полосы в оз. Балхаш составляет около 0,09 *км*³, последнее преимущественно наблюдается весной за счет таяния зимних осадков. В основном — это сток с северных каменистых берегов озера, так как вода, образовавшаяся при таянии снега на южной береговой полосе, почти целиком уходит в толщу песка, слагающую южный берег. Данными о химическом составе этой воды мы, к сожалению, не располагаем. На первый взгляд, казалось бы, что, формируясь в засушливых условиях на засоленных почвах, невдалеке от солоноватоводного оз. Балхаш, вода, стекающая в озеро с береговой полосы, должна иметь значительную минерализацию, во всяком случае не меньшую, чем атмосферные осадки. Однако, как показал в ряде своих работ П. П. Воронков (1955, 1958, 1959), это не совсем так. Большое значение в формировании химического состава этой категории вод имеет процесс «вмывания». Легкорастворимые соли — сульфаты и хлориды,— содержащиеся в поверхностных горизонтах почв, растворяются первыми порциями воды, образовавшейся при таянии снежного покрова и увлекаются инфильтрующейся водой в нижние горизонты, где участвуют в формировании подземных вод. После достаточного увлажнения верхнего слоя почвы вода начинает стекать по склону и растворению подвергаются только малорастворимые соединения, в частности карбонат кальция, который при взаимодействии с CO_2, содержащейся в воде, переходит в $Ca(HCO_3)_2$. Поэтому рассматриваемая категория вод, даже в условиях сильнозасоленных почв, имеет гидрокарбонатно-кальциевый состав и небольшую минерализацию. В некоторых случаях, когда в адсорбционном комплексе почв содержатся поглощенные $Na^{\cdot}$ и $Mg^{\cdot\cdot}$, находящийся в воде

$Ca^{\cdot\cdot}$ может их вытеснить и сам перейти в комплекс. В этом случае вода, оставаясь маломинерализованной гидрокарбонатной, имеет в своем составе повышенные содержания $Na^{\cdot}$ и $Mg^{\cdot\cdot}$. По материалам упомянутого автора, проводившего в 1955—1956 гг. свои исследования в Казахстане, средняя минерализация воды, формирующейся в период весеннего половодья на склонах водосборов в Акмолинской и Кустанайской областях (на почвах, по засоленности примерно аналогичных почвам Северного Прибалхашья), составляла для Акмолинской области 68 *мг/л* (среднее по 26 пунктам) (Воронков, 1958), для Кустанайской — 75 *мг/л* (среднее по 27 пунктам) (Воронков, 1959).

Принимая без большой погрешности минерализацию воды, стекающей с береговой полосы Северного Прибалхашья в 70 *мг/л*, получим, что за счет этого источника в оз. Балхаш ежегодно поступает около 6000 *т* солей. Если учесть, что состав этих солей примерно на 70% слагается из карбонатов кальция и магния, которые осаждаются в озере, то на пополнение солевого запаса озера, находящегося в растворенном состоянии, поступает около 2000 *т/год* — количество, ничтожно малое по сравнению с другими источниками солей.

3. ПОДЗЕМНЫЕ ВОДЫ

В характеристике гидрогеологических условий Балхашского бассейна было отмечено, что в Прибалхашье распространены три основных типа подземных вод, оказывающих влияние на озеро. Во-первых, в Северо-Западном и Северном Прибалхашье распространены трещинные воды верхней зоны коры выветривания. Во-вторых, здесь же имеются аллювиальные воды речных долин. При этом, наряду с водами широких древних речных долин, какими являются долины рек Токрау, Моинты и некоторых других, имеют значение также и воды коротких долин. Наконец, в Южном Прибалхашье имеется постоянный поток подземных вод, направленный от гор к озеру.

Собственные наблюдения за составом подземных вод нами не проводились и этот вопрос мы попытаемся осветить только на основании литературных данных, которые по гидрохимии подземных вод Прибалхашья весьма ограничены.

Трещинные воды. Минерализация и химический состав трещинных вод находится в тесной связи с характером вмещающих пород и условиями их залегания. Наиболее пресные воды содержат граниты, порфиры и другие изверженные породы. Вода известняков более минерализована. Наконец, кварциты и особенно различные сланцы отличаются водой с наиболее высокой минерализацией. Водоносность пород в той же последовательности падает. С ростом минерализации изменяется состав воды. Слабоминерализованные воды — обычно гидрокарбонатно-кальциевые; воды высокой минерализации — сульфатно-натриевые и иногда хлоридно-натриевые. Слабоминерализованные воды формируются ближе к водоразделам. Напротив, в межсопочных понижениях содержатся соленые воды. Таковы общие закономерности (Терлецкий, 1932, 1932а; Песков, 1941; Посохов, 1955а; Объяснительная записка к гидрохимической карте СССР, 1958).

В табл. 22 приведен химический состав некоторых трещинных вод.

Нередко в Северном Прибалхашье встречаются кислые подземные воды с повышенным содержанием в их составе сульфатов. Эти воды впервые были обнаружены М. П. Русаковым (1931) в районе строительства многочисленных рудников и Балхашского медеплавильного завода. Впоследствии кислые воды были встречены Е. В. Посоховым и в других пунктах Северного Прибалхашья, подробно им исследованы и описаны (1947а, 1955а). Их формирование связано с окислением сульфидных минералов (пирит, медный колчедан, цинковая обманка и др.), распространенных в Северном

Таблица 22

Химический состав некоторых подземных вод Северного Прибалхашья

Место отбора пробы	Вмещающая порода	Дата отбора пробы	Содержание ионов, *мг/л*							Содержание ионов, %-экв.						Автор	Индекс по О. А. Алекину
			Cl'	SO_4''	$HCO_3' + CO_3''$	$Ca^{\cdot\cdot}$	$Mg^{\cdot\cdot}$	$Na^{\cdot} + K^{\cdot}$	$\Sigma_и$	Cl'	SO_4''	$HCO_3' + CO_3''$	$Ca^{\cdot\cdot}$	$Mg^{\cdot\cdot}$	$Na^{\cdot} + K^{\cdot}$		
Трещинные воды																	
Сопка Джусалы	Эффузивные породы	15 VIII 1951 г.	19	126	110	26	4	77	362	5,4	26,4	18,2	13,1	3,3	33,6	Е. В. Посохов (1955а)	S_I^{Na}
В 50 *км* к сев.-зап. от ст. Бертыс	Изверженная порода	VIII 1949 г.	660	1560	150	300	100	700	3470	17,4	30,3	2,3	14,0	7,7	28,3	То же	S_{II}^{Na}
В 50 км к сев.-зап. от ст. Бертыс	То же	Тогда же	210	1290	160	150	40	560	2310	8,4	38,0	3,6	10,5	4,6	34,9	»	S_{II}^{Na}
В районе залива Бертыс	Неизвестна	Неизвестна	2084	3348	889	520	574	1470	8885	21,4	25,5	3,1	9,5	17,2	23,3	В. П. Козлов (1941а)	SCl_{II}^{Na}
Аллювиальные воды																	
Долина р. Токрау, пос. Кособай (среднее течение)	Гравийно-галечниковые отложения	16.VIII 1951 г.	91	213	353	75	24	163	919	10,1	17,3	22,6	14,7	7,6	27,7	Е. В. Посохов (1955а)	C_I^{Na}
Долина р. Токрау (среднее течение)	Неизвестна	Неизвестна	98	106	273	—	—	—	—	14,7	11,3	24,0	—	—	—	В. П. Козлов (1941а)	—
То же	»	»	340	396	610	—	—	—	—	17,2	14,8	18,0	—	—	—		
Долина р. Токрау (нижнее течение)	Гравийно-галечниковые отложения	VIII 1951 г.	417	780	354	163	46	504	2264	17,4	24,0	8,6	12,0	5,6	32,4	То же	—
То же	То же	Тогда же	414	982	354	157	46	605	2558	15,5	27,0	7,5	10,0	5,0	35,0	Е. В. Посохов (1955а)	S_{II}^{Na}
»	»	»	584	660	293	147	37	558	2279	23,6	19,6	6,8	10,0	4,3	35,7	То же	S_{II}^{Na}
Долина р. Моинты, нижний плес	Неизвестна	IX 1951 г.	672	1164	281	153	81	725	3076	21,0	26,4	2,6	8,4	7,3	34,3	»	ClS_{II}^{Na}
Долина р. Моинты, колодец в нижнем течении	Мелкозернистый песок	Тогда же	1519	1790	280	487	129	1230	5435	24,4	21,1	4,5	13,8	6,0	30,2	»	S_{II}^{Na}

Прибалхашье. Такие воды, имеющие в своем составе свободную серную кислоту, энергично взаимодействуя с горными породами, особенно с карбонатными, нередко содержат повышенные количества кальция и тяжелых металлов. Е. В. Посохов наблюдал, как в некоторых пунктах земной поверхности, выше залегания таких вод, образовывались гипсовые солончаки

Несколько отклоняясь от рассматриваемого вопроса, считаем уместным отметить, что С. А. Дуров в ряде своих работ (1950, 1955, 1955а, 1959 и др.) решающее значение в формировании поверхностных и подземных вод сульфатного класса придает процессу окисления рассеянных в земной коре сульфидов. Этим процессом, проходящим, по его мнению, повсеместно в настоящее время, он объясняет генезис сульфатов в водах прудов Сальской степи, малых рек Украины, водоемах Донбасса и т. д. Процессы же растворения гипса и катионного обмена в формировании сульфатных вод, по его мнению, имеют меньшее значение и даже пренебрежимо малы. Для доказательства этих положений С. А. Дуров широко пользуется предложенными им сдвоенной треугольной и сдвоенной тетраэдрической диаграммами.

В определенных условиях, а именно в условиях нахождения в зоне окисления значительных количеств сульфидов, их роль в формировании природных вод вполне очевидна и сомнений не вызывает. Эти условия наблюдаются в отдельных регионах Прибалхашья, и в данном случае автор настоящей монографии полностью разделяет мнение С. А. Дурова о генезисе сульфатов за счет сульфидов. Вместе с тем нельзя не выразить удивление по поводу того, что упомянутый исследователь объясняет этим процессом генезис сульфатов даже там, где сульфиды не обнаружены (северо-восточное Приазовье), и, считая этот процесс «единственно возможным» в генезисе сульфатных вод, игнорирует роль гипса, так широко распространенного в природе.

Анализ физико-географических условий Северо-Западного и Северного Прибалхашья и общие закономерности формирования трещинных вод позволяют заключить, что эти воды характеризуются пестротой минерализации и химического состава. Наряду с гидрокарбонатно-кальциевыми пресными водами с минерализацией менее 500 *мг/л*, здесь можно встретить сульфатно-натриевые и хлоридно-натриевые солевые воды. При этом по направлению к побережью озера чаще встречаются соленые воды, чем пресные. В целом трещинные воды Северного Прибалхашья У. М. Ахмедсафиным (1955) оцениваются как воды с повышенной и даже высокой минерализацией.

А л л ю в и а л ь н ы е в о д ы. Реки Северного Прибалхашья в среднем и особенно в нижнем течениях постепенно теряются в своих отложениях и дальше продолжаются в виде подземного аллювиального потока. Ограниченность водных ресурсов Прибалхашья заставила строителей Балхашского промышленного узла заняться исследованием этих вод как возможного источника для водоснабжения строящегося предприятия. В частности, аллювиальные воды р. Токрау примерно в 30—40 *км* от побережья озера оказались вполне пригодными для водоснабжения. Их минерализация составляла 1—1,5 *г/л* (Русаков, 1931; Терлецкий, 1932; Иванов, 1932; Гринев, 1932; Кунин, 1935; Козлов, 1941а). Вода аллювиальных потоков в средних течениях рек, расположенных в северо-восточной части бассейна, имеет минерализацию также сравнительно невысокую (Распопов, 1932). По данным Б. К. Терлецкого (1931), минерализация воды из многих колодцев и шурфов в указанном районе чаще всего составляет 0,8—1,8 *г/кг*. Величины минерализации примерно того же порядка, а именно 1—1,5 *г/кг*, имеют и подземные воды коротких долин (Макаренко, 1951). В составе воды обычно преобладают гидрокарбонаты. В нижних течениях долин, по мере приближения к озеру, минерализация аллювиальных вод быстро возрастает и в их составе прочное место занимают сульфаты и хлориды.

Сведения о химии аллювиальных вод заметно пополнились в последние годы в результате работ Е. В. Посохова (1955а, 1959). Химический состав некоторых аллювиальных вод приведен в табл. 22.

Огромный интерес для решения вопросов по гидрохимии оз. Балхаш представляют подземные воды прибрежной полосы, так как именно они составляют ионный сток в озеро. Как уже следует из изложенного, общим для трещинных и аллювиальных вод Северного Прибалхашья является быстрый рост их минерализации по мере приближения к побережью. На повышенную минерализацию подземных вод у побережья оз. Балхаш еще в 80-е годы прошлого столетия указывали В. Фишер (1883) и в начале нашего века Б. Ф. Мефферт (1912). А. М. Никольский (1885) подчеркивал, что за все его путешествие по берегам озера был встречен единственный ключ пресной воды (близ Кентюбека). А. А. Лилейко (1932) отмечал, что минерализация подземных вод на побережье озера в районе Гульшада, Сарыкумея и Карабаса в несколько раз больше, чем минерализация воды в озере (4—6 и больше *г/л*). На это же обстоятельство указывали М. П. Русаков (1931), В. Н. Кунин (1935), С. А. Никитин (1941), В. П. Козлов (1941а) и Е. В. Посохов (1955а, 1959). Цифры, приведенные в табл. 21, хорошо иллюстрируют это положение. Объясняется оно, с одной стороны, тем, что минерализация подземных вод при прочих равных условиях находится в прямой зависимости от длины пути, который они совершают во вмещающих породах и, следовательно, от времени контакта с ними, с другой—тем, что подпираемые водами оз. Балхаш подземные воды приближаются к дневной поверхности и в результате сильного испарения быстро засолоняются. имеет значение также засоленность самого оз. Балхаш и его побережья.

Имея в виду сказанное, и, учитывая цифры, приведенные в табл. 21, примем минерализацию подземных вод, стекающих в оз. Балхаш с севера, равной около 5 *г/кг*, что при общем объеме этих вод — 0,03 *км³/год* — позволяет оценить ежегодное поступление солей в озеро таким путем примерно в 0,15 млн. *т*.

Подземные воды Южного Прибалхашья, так же как и Северного, изучены еще не достаточно. Тем не менее имеющийся в настоящее время материал и анализ гидрогеологических условий Южного Прибалхашья позволяют сделать некоторые выводы. Наиболее важный из них, не вызывающий у гидрогеологов сомнений, заключается в том, что в пределах всего Южного Прибалхашья имеется постоянный поток подземных вод, направленный от гор к озеру. Основным источником питания этого потока являются реки, нижние части бассейнов которых сложены легко фильтрующими песками. Это подтверждается, например, опытными данными, полученными в 1945 г. У. М. Ахмедсафиным на буровых скважинах, заложенных поперек долины Или, в створе пос. Баканас. По его данным, подземный поток распространяется на север-северо-запад к оз. Балхаш под углом 40—45° к Или. Другим источником служат воды, стекающие на юге с гор и частично распространяющиеся под Прибалхашской равниной. Определенное значение имеют также атмосферные осадки. В соответствии с перечисленными источниками питания, химический состав подземных вод формируется частично за счет состава речных вод, частично же за счет солей, содержащихся в третичных отложениях предгорий, а также сухих солей из прибалхашских озер, приносимых сюда господствующими северными и северо-восточными ветрами и «вмываемыми» в пески атмосферными осадками. Различные сочетания основных перечисленных факторов определяют пестроту химического состава и минерализации подземных вод. Согласно гидрохимической карте СССР (1956), подземные воды Балхаш-Алакульской впадины имеют минерализацию 1—10 *г/кг*.

Песчаные пространства Южного Прибалхашья нередко имеют пресные подземные воды (Лундинг, 1912; Брызгалов, 1927; Лебедев, 1928; Русаков, 1931; Терлецкий, 1932; Никитин, 1941, 1941а; Посохов, 1955, Оборин, 1959

Таблица 23

Химический состав некоторых подземных вод Южного Прибалхашья

Место отбора пробы	Глубина залегания воды, *м*	Содержание ионов, *мг/л*							Содержание ионов, %-экв						Автор	Индекс по О. А. Алекину
		Cl'	SO_4''	$HCO_3' + CO_3''$	$Ca^{··}$	$Mg^{··}$	$Na' + K'$	$\Sigma_и$	Cl'	SO_4''	$HCO_3' + CO_3''$	$Ca^{··}$	$Mg^{··}$	$Na' + K'$		
Колодцы в песках																
Колодец 1 . . .	4,5	83	482	410	162	116	34	1287	6,1	27,2	17,5	21,1	25,2	3,7	С. А. Никитин (1941а)	$S^{Mg,\ Ca}_{III}$
» 3 . . .	9,5	191	355	149	—	—	—	1405*	17,7	24,2	8,1	—	—	—	То же	—
» 4 . . .	4,2	97	294	314	—	—	—	1250*	9,8	21,8	18,4	—	—	—	»	—
» 5 . . .	4,0	56	122	321	—	—	—	600*	8,4	13,5	28,1	—	—	—	»	—
» 6 . . .	3,8	22	66	401	—	—	—	—	3,6	8,0	38,4	—	—	—	»	—
» 7 . . .	5,5	514	568	841	138	234	400	2695	18,1	14,7	17,2	8,6	24,0	17,4	»	$ClCS^{Mg}_{III}$
» 8 . . .	1,3	80	241	200	—	—	—	800*	10,7	23,8	15,5	—	—	—	»	—
Буровые скважины и шурфы в дельте р. Или																
Скважина 670 . . .	4,6	544	54	580	111	105	278	1682	29,7	2,1	18,2	10,5	16,5	23,0	В. П. Козлов (1941)	Cl^{Na}_{III}
» 671 . .	5,6	5744	7420	2239	843	823	1557	18626	23,0	21,8	5,2	6,0	9,5	34,5	То же	ClS^{Na}_{II}
Шурф 44	—	1360	952	133	273	138	884	3740	31,8	16,4	1,8	11,3	9,3	29,4	М. М. Крылов (1933)	Cl^{Na}_{III}
» 10	—	8	88	140	46	16	19	317	2,6	21,2	26,2	26,6	14,8	8,6	То же	CS^{Ca}_{II}
» 13	—	26	118	255	82	15	51	547	5,0	16,8	28,2	27,8	8,4	13,8	»	C^{Ca}_{II}
Шурф без номера	—	320	748	255	253	32	337	1945	15,7	27,2	7,1	22,0	4,6	23,4	»	$S^{Na,\ Ca}$
Скважина 16 .	—	760	1332	352	278	91	837	3650	19,4	25,4	5,2	12,7	6,8	30,5	»	S^{Na}_{II}
Родник.	—	340	752	246	248	38	127	1752	2,3	38,2	9,5	30,0	7,6	12,4	»	S^{Ca}_{II}

* Сухой остаток.

Таблица 24

Изменение содержания некоторых ингредиентов в химическом составе подземных вод по мере удаления от р. Или

Место отбора пробы	Расстояние от р. Или, *км*	Содержание ионов, *мг/л*		
		Cl'	SO_4''	Ca''
Река Или	—	14,7	43,8	48,0
Колодец 1	7,5	47,0	128,5	28,0
» 2	12,5	67,6	120,0	45,0
» 4	20,0	276,2	725,0	157,0
Скважина 35	9,5	31,3	80,0	41,0
» 34	16,0	36,6	95,0	38,0
» 34а	22,0	67,9	300,0	180,0

и др.). Залегают они преимущественно в старых руслах рек (баканасах) или в долинах современных рек. Химический состав воды некоторых колодцев, расположенных в песках, представлен в табл. 23.

По мере удаления от рек в глубь пустыни минерализация подземных вод быстро возрастает. Это хорошо видно, например, из данных, полученных С. А. Никитиным (1941а) и приведенных в табл. 24. Большой материал, наглядно иллюстрирующий это положение, получен также А. А. Обориным (1959). Из его данных, например, следует, что минерализация подземных вод в направлениях от долин рек Или и Каратал к их междуречью (пески пустыни Сары-Ишик-Отрау) растет от 0,5—0,6 до 7—8 *г/л*.

Прежде чем попасть в конечный пункт своего следования — в оз. Балхаш, подземные воды совершают длительный путь, во время которого увеличивается их минерализация и одновременно изменяется состав. Гидрокарбонатные и гидрокарбонатно-сульфатные воды сменяются сульфатными и затем у побережья хлоридно-сульфатными водами (табл. 23). Минерализация воды близ озера достигает максимальных величин. По данным В. В. Слесаревича (1941), в дельте Лепсы встречаются отдельные пятна подземных вод с минерализацией 50—60 *г/кг*. В большей же части дельты их минерализация составляет 2—3 *г/кг*. По сведениям того же автора подземные воды прибрежной полосы озера достигают минерализации 10—20 *г/кг*. У. М. Ахмедсафин (1955) приводит цифры, которые, по нашему мнению, наиболее полно соответствуют действительности. Он указывает, что подземные воды, стекающие в оз. Балхаш с юга, имеют минерализацию 2—3, а местами — 5—10 *г/кг*.

Учитывая все приведенные сведения, минерализацию подземных вод, питающих оз. Балхаш с юга, примем равной примерно 5 *г/кг*. Тогда ионный сток в озеро за счет подземных вод Южного Прибалхашья (0,24 *км*^{3}) составит около 1,20 млн. *т/год*. Суммарное же годовое поступление солей в озеро за счет подземных вод (как с севера, так и с юга) можно оценить примерно в 1,35 млн. *т*.

Если вспомнить, что в западную часть озера по объему поступает $^2/_3$ подземных вод (0,18 *км*^{3}) и в восточную — $^1/_3$ (0,09 *км*^{3}), то соответственно этому распределится и ионный сток. В Западный Балхаш подземные воды вносят около 0,90, а в Восточный — около 0,45 млн. *т* солей/год [1].

[1] Учитывая малый удельный вес гидрокарбонатных соединений кальция и магния в химическом составе подземных вод, примем, что полученные количества солей идут целиком на пополнение солевого запаса озера, находящегося в растворенном состоянии.

Глава VII

ГИДРОХИМИЯ ОЗЕРА БАЛХАШ

1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА

Если Черное, Каспийское, Аральское моря представляют водоемы, в геологической истории которых, по-видимому, большее или меньшее значение сыграл Мировой океан, то оз. Балхаш является типичным водоемом континентального происхождения. Согласно существующему в геологии предположению, еще в хвалынскую эпоху существовал единый Арало-Каспийский морской бассейн, который через современную Манычскую долину был связан с Азовским и Черным морями [1]. Что же касается оз. Балхаш, то в настоящее время общепринято мнение о том, что оно со времени образования самостоятельной котловины (по Сваричевской — конец, по Костенко — середина четвертичного периода) никакой связи с морем не имело.

В связи с этим интересно провести сопоставление, с одной стороны, химического состава воды перечисленных водоемов между собой и с составом океанической воды, с другой — сопоставление химического состава воды

Таблица 25

Сравнительный ионный состав вод океана, Черного, Каспийского, Аральского морей, оз. Балхаш и р. Или

Водоем	$\Sigma_и$, г/кг	Содержание ионов, %-экв.						Автор
		Cl'	SO_4''	$HCO_3' + CO_3''$	Ca''	Mg''	$Na^+ + K^+$	
Океан	35,0	45,2	4,6	0,2	1,7	8,9	39,4	О. А. Алекин
Черное море	17,5	45,1	4,5	0,4	2,0	8,6	39,4	То же
Каспийское море	12,7	34,7	14,5	0,8	3,9	13,8	32,3	Л. К. Блинов (1956)
Аральское море	10,2	29,1	19,6	1,3	7,6	12,8	29,6	То же
Озеро Балхаш в восточной части *	5,25	19,5	21,8	8,7	0,4	14,6	35,0	М. Н. Тарасов
Озеро Балхаш в западной части **	0,74	14,4	17,8	17,8	8,7	14,6	26,7	То же
Река Или ***	0,31	4,9	11,0	34,1	28,9	9,8	11,3	»

* Среднее по восьмому району в 1956 г.
** Среднее по первому району в том же году.
*** Среднегодовой многолетний состав, взвешенный по стоку.

[1] По подсчетам С. В. Бруевича (1939) возраст современного озерного Каспия насчитывает около 13 тыс. лет. Как полагает И. П. Герасимов, 5—10 тыс. лет назад произошло отделение Арала от Каспия (Алекин и Моричева, 1955).

з. Балхаш с составом воды главной водной артерии, питающей озеро — реки Или (табл. 25).

Вода полуизолированного от океана Черного моря по составу очень мало отличается от состава воды океана. Влияние материкового стока сказывается главным образом на величине минерализации, которая здесь в два раза меньше, чем у океана. Совсем иное положение у изолированных Каспийского и Аральского морей. Здесь содержание характерных для океана ионов Cl' и $Na' + K'$ заметно понижено, вместе с тем повышено содержание карбонатов и суммы $Ca'' + Mg''$, характерных для материкового стока. Следовательно, Каспийское и Аральское моря по своему составу занимают промежуточное положение между водоемами морского и континентального типов. Причем у Арала доля материкового стока в формировании состава воды несколько выше, чем у Каспия. Крайнее положение в этом ряду крупнейших солоноватых водоемов занимает оз. Балхаш. Относительное содержание хлоридов здесь меньше, чем во всех рассмотренных водоемах. Напротив, содержание сульфатов и карбонатов — больше. Сильно пониженное содержание в оз. Балхаш ионов кальция (и за счет этого высокое содержание ионов щелочных металлов) связано с метаморфизацией материкового стока, который аккумулируется в оз. Балхаш.

К этому заключению можно придти, рассматривая ионный состав озера (восточной и западной его частей) в сопоставлении с составом воды Или. С ростом минерализации увеличивается относительное содержание Cl', SO_4'', Mg'', $Na' + K'$ и уменьшается относительное содержание $HCO_3' + CO_3''$ и Ca'', т. е. наблюдается процесс, характерный для постепенно осолоняющихся континентальных водоемов.

Резкая континентальность климата и бессточность Балхашской котловины служат основными причинами того, что минерализация воды оз. Балхаш намного выше минерализации озер, находящихся в более благоприятных условиях. Например, Ладожское озеро, расположенное в зоне избыточного увлажнения, имеет минерализацию 68 *мг/л*; оз. Мичиган, находящееся примерно на одной широте с оз. Балхаш, но будучи проточным, характеризуется соответствующим показателем — 107,3 *мг/л*; минерализация воды оз. Байкал составляет 91,4 *мг/л* и т. д., (Алекин, 1953). В противоположность им, в силу упомянутых выше условий, средняя минерализация воды оз. Балхаш равна около 3 *г/кг*, бессточного оз. Иссык-Куль — 5,8 *г/кг*.

Одной из отличительных гидрохимических особенностей оз. Балхаш, выделяющих его среди водоемов озерного типа не только в нашей стране, но и всего земного шара, является неоднородность минерализации и химического состава воды по акватории. Она проявляется в виде закономерного последовательного повышения минерализации воды и изменения ее состава в направлении от устья Или к восточной оконечности озера. Наряду с этой закономерностью, характерной для всего озера в целом, в отдельных, довольно больших районах водоема, например, в его юго-западной части, а также в многочисленных заливах и в узкой прибрежной полосе наблюдаются особенности в распределении состава и минерализации воды.

Как указывалось выше, с 1928 по 1953 г. был накоплен довольно большой материал, характеризующий гидрохимию озера. К сожалению, он имел целый ряд существенных недостатков, так как был получен исследователями, преследовавшими различные конкретные цели и потому изучавшими лишь интересовавшие их районы или отдельные пункты озера в соответствии с целевой установкой работы. Естественно, что при этом отсутствовали синхронность в отборе проб воды и единая методика химического анализа. Полнота анализа была по той же причине различной. Чаще всего в воде определяли только содержание ионов хлора, реже — содержание анионов и

еще реже вода подвергалась полному анализу. Между тем большой интерес представляло сопоставление характера распределения в озере в различные годы минерализации воды как наиболее важной ее характеристики. Для этого необходимо было изо всех имеющихся результатов анализа воды (всего исследовано около тысячи проб) выбрать такие, которые, во-первых, характеризовали бы химический состав воды, отобранный примерно в одно и то же время в различных пунктах, расположенных по возможности по всей акватории, и, во-вторых, характеризовали бы воду полным химическим анализом и, следовательно, позволяли бы судить об ее общей минерализации. Если первое требование решалось сравнительно просто, то второе значительно осложнялось тем, что полный химический анализ производился далеко не всегда. Поэтому пришлось прибегнуть к существующему приему расчета минерализации по известному содержанию отдельных ионов или группы ионов. Из всех материалов, которыми мы располагали, только 105 проб воды были охарактеризованы результатами полного анализа. По этим данным был построен график связи содержания отдельных ионов с общей минерализацией воды [1]. Это дало возможность использовать результаты неполного анализа проб воды, отобранных из озера в тот же 25-летний период. По известному содержанию ионов хлора, сульфатных ионов или суммы анионов при помощи графика были подсчитаны величины минерализации 440 проб воды, анализ которых был выполнен не полностью. В результате было получено 545 значений минерализации проб воды, отобранных в различных пунктах озера в период с 1928 по 1953 г. На основании этих данных были составлены гидрохимические карты минерализации озера для следующих шести периодов:

	Использованное число анализов
Июль — ноябрь 1929 г.	29
Август — сентябрь 1930 г.	35
Июнь — сентябрь 1931 г.	151
Август — сентябрь 1938 г.	21
Июнь — сентябрь 1941 г.	11[2]
Июнь — сентябрь 1953 г.	19

Пять из этих карт приведены на рис. 48, шестая, наиболее подробная, составленная по материалам экспедиции П. Ф. Домрачева и относящаяся к 1931 г., приводится нами несколько позже (см. рис. 55).

Более детальное представление о распределении по акватории минерализации и ингредиентов химического состава можно иметь на основании результатов гидрохимических съемок, выполненных нами в 1955—1958 гг. Съемки производились в летние периоды, по возможности в максимально сжатые сроки. Они охватывали все озеро; две из них были выполнены по десятикилометровой сетке. Сроки и методика работ были описаны в главе V, местоположение станций указано на рис. 38.

В табл. 26—29 помещены результаты химического анализа (на главнейшие ионы) всех проб воды, отобранных из озера во время четырех съемок в 1955 г.[3] Полученные результаты позволили составить гидрохимические карты распределения отдельных ионов и общей минерализации по акватории озера (рис. 48—56).

---

[1] Этот график здесь не приводим, так как он аналогичен изображенному далее на рис. 56, построенному по данным автора настоящей монографии.

[2] Без данных Г. Р. Юнусова (1951).

[3] Пробы отбирались с глубины 0,5 *м*, а в некоторых случаях и у дна.

Химический состав воды оз. Балхаш по
(местоположение станций

Номер станции	Дата отбора пробы	Содержание ио-					
		Cl'	SO_4''	$HCO_3' + CO_3''$	$Ca^{\cdot\cdot}$	$Mg^{\cdot\cdot}$	$Na^{\cdot} + K^{\cdot}$
1′	29.VII	20,6	48,1	155,6	35,1	14,2	30,3
2′	Тогда же	89,4	164,6	216,6	36,5	34,7	120,8
3′	»	155,3	265,8	264,2	32,7	54,2	203,8
4′	»	14,2	35,8	177,6	40,5	11,5	27,0
5′	»	17,4	39,9	171,5	40,1	12,4	27,8
6′	»	95,0	166,2	225,8	37,3	35,4	126,8
7′	»	256,0	431,2	337,4	28,1	83,8	336,0
8′	30.VII	250,7	425,1	321,6	29,7	80,3	327,8
9′	Тогда же	201,0	348,9	288,6	30,3	68,2	263,5
10′	»	190,1	321,0	285,6	30,1	65,7	245,5
11′	»	203,2	347,3	285,6	30,7	68,8	261,3
12′	»	239,7	409,9	319,7	31,9	77,5	314,3
13′	»	230,5	398,3	314,9	32,7	76,6	300,5
14′	»	283,7	481,5	349,0	32,7	90,6	366,5
15′	»	289,4	481,5	351,5	33,5	90,6	370,5
16′	»	309,7	523,8	368,6	33,8	98,3	397,7
17′	1.VIII	283,8	473,8	349,3	32,2	90,0	364,2
18′	Тогда же	275,7	455,8	337,8	32,2	87,3	350,2
19′	2.VIII	314,1	519,8	364,8	33,0	97,3	400,0
20′	Тогда же	486,1	782,7	468,9	21,6	143,6	620,0
21′	»	530,4	834,7	495,9	21,9	154,7	666,2
22′	»	549,9	882,9	522,9	19,6	159,0	710,0
23′	»	537,0	858,6	511,3	20,2	156,7	687,5
24′	»	603,0	962,5	549,9	18,2	172,1	775,0
25′	»	615,9	958,5	534,4	19,5	168,5	781,5
26′	»	631,2	982,4	573,0	20,2	174,5	807,0
27′	»	666,6	1047	586,4	21,0	183,1	850,0
28′	»	774,8	1201	643,8	17,0	208,8	984,8
29′	3.VIII	885,4	1361	716,4	14,0	235,4	1125
30′	Тогда же	918,4	1426	750,5	14,0	248,9	1168
31′	»	943,9	1456	756,0	11,6	252,3	1198
32′	»	947,5	1461	748,7	12,8	251,6	1202
33′	»	958,5	1471	756,0	12,4	253,7	1214
34′	»	958,5	1454	762,8	14,0	253,7	1206
35′	»	1042,0	1592	828,0	12,8	276,4	1319

Таблица 26

результатам летней поездки в 1955 г.
показано на рис. 38, *I*)

нов, *мг/л*	Содержание ионов, %-экв.						Индекс по О. А. Алекину
$\Sigma_{и}$	Cl'	SO_4''	$HCO_3' + CO_3''$	$Ca^{\cdot\cdot}$	$Mg^{\cdot\cdot}$	$Na^{\cdot} + K^{\cdot}$	
303,9	7,0	12,1	30,9	21,2	14,2	14,6	C_{II}^{Ca}
662,6	13,2	18,1	18,7	9,6	15,0	25,4	CS_{II}^{Na}
976,0	15,4	19,4	15,2	5,7	15,7	28,6	$SCIC_{II}^{Na}$
306,6	4,9	9,2	35,9	24,9	11,7	13,4	C_{II}^{Ca}
309,1	5,9	10,0	34,1	24,2	12,3	13,5	C_{II}^{Ca}
686,5	13,6	17,6	18,8	9,5	14,8	25,7	CS_{II}^{Na}
1472	16,6	20,7	12,7	3,2	15,9	30,9	SCI_{II}^{Na}
1435	16,7	20,9	12,4	3,5	15,6	30,9	То же
1200	16,0	20,0	13,4	4,3	15,9	29,8	»
1138	16,0	20,0	14,0	4,5	15,1	29,4	»
1197	16,2	20,8	13,3	4,3	16,0	29,7	»
1393	16,5	20,8	12,7	3,9	15,5	30,6	»
1353	16,3	20,8	12,9	4,1	15,8	30,1	»
1604	16,8	21,1	12,1	3,4	15,7	30,9	»
1617	17,0	21,0	12,0	3,5	15,6	30,9	»
1732	17,0	21,2	11,8	3,3	15,7	31,0	»
1593	17,0	21,0	12,0	3,4	15,7	30,9	»
1539	17,0	20,9	12,1	3,5	15,8	30,7	»
1729	17,3	21,1	11,6	3,2	15,6	31,2	»
2523	18,2	21,6	10,2	1,4	15,7	32,9	»
2704	18,5	21,5	10,0	1,4	15,7	32,9	»
2844	18,2	21,7	10,1	1,2	15,4	33,4	»
2771	18,3	21,6	10,1	1,2	15,6	33,2	»
3081	18,5	21,7	9,8	1,0	15,4	33,6	»
3078	18,8	21,7	9,5	1,0	15,1	33,9	»
3188	18,7	21,5	9,8	1,0	15,1	33,9	»
3354	18,8	21,7	9,5	1,0	15,0	33,9	»
3830	19,0	21,8	9,2	0,8	14,9	34,3	»
4337	19,2	21,8	9,0	0,6	14,9	34,5	»
4526	19,1	21,9	9,0	0,5	15,1	34,4	»
4618	19,2	21,9	8,9	0,4	15,0	34,6	»
4623	19,2	21,9	8,9	0,5	14,9	34,6	»
4665	19,3	21,9	8,8	0,4	14,9	34,7	»
4649	19,3	21,7	9,0	0,5	14,9	34,6	»
5070	19,3	21,8	8,9	0,4	14,9	34,7	»

Химический состав, глубина, прозрачность и температура воды оз. Балхаш по резуль-
(местоположение станций

Номер станции	Дата отбора пробы	Глубина, *м*	Прозрачность, *см*	Температура воды, °С	pH (с поправками)	Содержание			
						Cl'	SO_4''	$HCO_3' + CO_3''$	$Ca^{\cdot\cdot}$
1	26.VI	1,9	30	22,0	8,66	109,2	162,9	233,7	36,5
2	Тогда же	2,7	30	23,0	8,67	98,4	167,1	224,6	36,5
3	»	2,8	30	23,8	8,72	95,7	159,3	215,5	33,9
4	»	2,5	30	24,0	8,72	87,7	142,0	204,5	37,5
5	»	3,8	30	23,8	8,72	94,8	162,5	208,2	37,5
6	»	4,9	40	23,0	8,71	122,6	203,7	233,7	37,5
7	27.VI	5,4	40	23,0	8,71	124,4	210,3	235,6	37,5
8	Тогда же	5,8	40	23,0	8,71	103,8	173,7	222,8	38,3
9	»	4,2	30	23,2	8,67	85,0	147,7	211,8	39,1
10	»	1,8	20	24,0	8,56	52,8	93,4	189,9	38,3
11	28.VI	3,2	35	22,0	8,66	73,4	139,9	211,8	38,3
12	Тогда же	5,5	35	22,0	8,71	111,9	187,6	253,8	38,3
13	»	6,2	25	22,0	8,70	130,6	218,5	261,1	37,5
14	30.VI	6,8	30	22,0	8,75	146,8	250,2	261,1	37,5
15	Тогда же	6,3	30	23,0	8,75	159,3	271,6	262,9	38,3
16	»	7,0	40	23,7	8,70	136,9	222,2	244,7	36,5
17	»	6,8	40	23,2	8,69	132,4	221,4	239,2	37,5
18	»	6,5	40	23,2	8,69	123,5	212,3	241,0	37,5
19	»	3,8	45	24,0	8,54	24,2	29,6	193,5	43,5
20	»	3,5	120	24,0	8,74	42,1	70,8	171,6	34,7
21	1.VII	1,9	160	25,2	8,69	44,7	70,8	210,0	40,9
22	Тогда же	2,2	60	24,3	8,10	21,5	38,7	193,5	45,9
23	2.VII	3,2	30	23,0	8,76	226,4	375,7	321,4	33,1
24	Тогда же	4,8	50	24,0	8,76	218,3	366,2	315,9	32,0
25	»	6,8	50	23,2	8,71	121,7	205,4	237,4	36,5
26	»	7,0	40	23,2	8,71	143,2	240,3	241,0	34,9
27	»	7,0	40	24,0	8,70	144,1	244,4	244,7	35,7
28	»	7,0	90	25,0	8,75	186,1	283,9	273,9	36,5
29	3.VII	7,5	40	23,0	8,75	153,0	284,0	252,0	35,7
30	Тогда же	7,0	40	23,0	8,70	135,2	227,6	241,0	35,7
30*	»	—	—	23,0	8,65	137,8	232,1	250,2	36,5
31	»	6,8	40	23,0	8,66	119,0	203,3	233,7	35,7
32	»	4,0	50	23,5	8,72	187,9	315,6	284,9	33,9
33	»	2,8	120	24,0	8,79	243,4	395,0	303,1	33,1
34	»	2,5	90	25,0	7,94	21,5	48,6	186,3	46,9

* У дна.

Таблица 27

татам гидрохимической съемки летом 1956 г.
показано на рис. 38, *I*)

ионов, *мг/л*			Содержание ионов, %-экв.						Индекс по О. А. Алекину
$Mg^{··}$	$Na^{·}+K^{·}$	$\Sigma_{и}$	Cl'	SO_4''	$HCO_3'+CO_3''$	$Ca^{··}$	$Mg^{··}$	$Na^{·}+K^{·}$	
38,6	132,8	713,7	14,9	16,5	18,6	8,8	15,4	25,8	$CSCl_{II}^{Na}$
34,8	131,5	692,9	14,0	17,5	18,5	9,2	14,4	26,4	То же
36,4	121,8	662,6	14,1	17,4	18,5	8,9	15,7	25,4	»
31,6	107,8	611,1	14,1	16,9	19,0	10,6	14,8	24,6	»
34,2	119,8	657,0	14,0	18,0	18,0	9,9	14,8	25,3	$SCCl_{II}^{Na}$
41,6	156,9	795,0	15,0	18,4	16,6	8,1	14,8	27,1	То же
42,7	159,5	810,0	14,9	18,7	16,4	8,0	15,0	27,0	»
36,4	132,5	707,5	14,4	17,7	17,9	9,4	14,7	25,9	$CSCl_{II}^{Na}$
30,6	112,0	626,2	13,4	17,2	19,4	10,9	14,0	25,1	CS_{II}^{Na}
22,1	70,5	467,0	11,4	14,9	23,7	14,6	13,9	21,5	C_{II}^{Na}
28,9	104,0	596,3	12,2	17,2	20,6	11,3	14,1	24,6	CS_{II}^{Na}
37,9	155,0	784,5	14,1	17,4	18,5	8,5	13,9	27,6	$CSCl_{II}^{Na}$
44,3	175,0	867,0	14,7	18,2	17,1	7,5	14,5	28,0	$SCCl_{II}^{Na}$
47,9	195,5	939,0	15,2	19,1	15,7	6,9	14,4	28,7	»
51,2	208,5	991,8	15,5	19,6	14,9	6,6	14,6	28,8	$SClC_{II}^{Na}$
46,5	171,5	858,3	15,4	18,5	16,1	7,3	15,3	27,4	$SCCl_{II}^{Na}$
43,8	169,8	844,1	15,2	18,8	16,0	7,6	14,7	27,7	То же
41,6	164,0	819,9	14,7	18,6	16,7	7,9	14,4	27,7	»
15,3	26,0	332,1	7,6	6,9	35,5	24,2	14,1	11,7	C_{II}^{Ca}
18,0	56,5	393,7	10,9	13,5	25,6	15,8	13,6	20,6	$C_{II}^{Na,\ Ca}$
21,0	60,0	447,4	10,2	11,9	27,9	16,5	14,0	19,5	»
14,8	27,0	341,4	6,6	8,8	34,6	25,0	13,3	11,7	C_{II}^{Ca}
72,2	297,5	1326	16,4	20,1	13,5	4,2	15,2	30,6	SCl_{II}^{Na}
72,4	285,5	1290	16,2	20,0	13,8	4,2	15,7	30,1	»
42,2	165,8	809,0	14,7	18,4	16,9	7,9	14,9	27,2	$SCCl_{II}^{Na}$
49,5	179,8	888,7	15,6	19,2	15,2	6,7	15,6	27,7	$SClC_{II}^{Na}$
48,5	184,8	902,2	15,4	19,4	15,2	6,7	15,2	28,1	То же
60,7	221,0	1062	16,7	18,8	14,5	5,8	15,8	28,4	»
53,3	204,0	982,0	15,0	20,5	14,5	6,3	15,3	28,4	S_{II}^{Na}
46,5	172,5	858,5	15,2	19,0	15,8	7,2	15,2	27,6	$SCCl_{II}^{Na}$
47,5	177,5	881,6	15,1	18,8	16,1	7,2	15,2	27,6	То же
42,8	153,0	787,5	14,7	18,6	16,7	7,8	15,4	26,8	»
63,8	240,0	1126	16,0	19,9	14,1	5,2	15,8	29,0	SCl_{II}^{Na}
76,5	303,0	1354	17,1	20,6	12,3	4,1	15,7	30,2	»
12,6	32,3	348,2	6,5	10,8	32,7	25,1	11,1	13,8	C_{II}^{Ca}

Номер станции	Дата отбора пробы	Глубина, *м*	Прозрачность, *см*	Температура воды, °С	pH (с поправками)	Содержание			
						Cl'	SO_4''	$HCO_3' + CO_3''$	$Ca^{\cdot\cdot}$
35	4.VII	3,3	170	25,0	8,76	218,3	341,1	295,8	34,9
36	Тогда же	2,6	70	24,0	8,74	214,8	360,0	294,0	33,1
37	»	6,0	50	24,0	8,71	128,9	214,8	244,7	37,5
38	»	7,0	50	24,0	8,75	162,0	276,5	253,8	35,7
39	»	7,7	70	24,4	8,72	160,2	265,4	253,8	35,7
40	»	5,8	80	25,0	8,75	176,3	293,0	266,6	34,9
41	»	5,9	50	24,5	8,72	162,9	273,2	255,6	34,9
42	»	6,8	50	25,0	8,70	167,3	246,9	250,2	35,7
43	»	7,0	50	25,0	8,70	137,8	230,0	246,5	36,5
44	»	5,3	50	26,0	8,70	150,3	248,1	253,8	35,7
45	»	3,0	50	27,0	8,78	253,2	416,8	321,4	30,5
46	5.VII	6,5	50	24,0	8,70	141,4	241,9	252,0	36,5
47	Тогда же	6,9	60	24,0	8,70	154,8	261,3	257,5	35,7
48	»	6,5	60	24,0	8,72	179,0	305,7	268,4	34,9
49	»	6,5	70	24,0	8,70	168,2	197,5	266,6	34,9
50	»	1,8	140	25,0	8,86	215,7	363,3	290,3	35,7
51	»	6,9	50	24,2	8,70	179,0	302,0	268,4	34,9
52 *	»	—	—	24,2	8,70	179,9	296,3	270,2	33,9
52	»	6,7	60	25,0	8,70	154,8	265,4	250,2	35,7
53	»	3,0	60	26,0	8,70	207,6	346,9	292,2	33,1
54	6.VII	6,9	50	23,0	8,72	187,0	320,1	277,6	33,1
55	Тогда же	5,0	50	23,3	8,72	180,8	305,7	277,6	34,9
56	»	6,5	40	24,0	8,72	188,8	326,3	288,5	34,9
57	»	6,0	40	24,0	8,75	214,8	447,3	292,2	33,1
58	»	2,4	70	24,0	8,79	256,8	419,7	317,7	32,3
59	11.VII	6,0	40	24,0	8,71	187,9	319,3	284,9	33,9
60	Тогда же	5,0	40	24,3	8,71	188,8	318,5	277,6	34,9
61	»	6,0	40	25,0	8,71	193,3	322,6	281,2	33,9
62	»	6,7	70	25,0	8,71	198,7	332,5	284,9	33,9
63	»	5,8	70	25,3	8,80	272,0	424,7	334,2	31,3
64	»	2,5	80	26,0	8,85	268,5	443,6	332,3	31,3
65	»	3,5	150	26,0	8,85	289,9	481,9	350,6	32,3
66	12.VII	5,5	110	25,0	8,82	266,6	438,2	334,2	33,1
67	Тогда же	6,2	60	25,0	8,74	209,4	346,1	288,5	33,9
68	»	5,9	60	25,0	8,71	191,5	319,7	281,2	33,9
69	»	4,5	50	25,0	8,71	187,9	315,6	279,3	33,9
70	»	1,8	60	26,0	8,74	196,9	328,0	281,2	33,1
71	»	2,0	70	26,0	8,74	178,9	319,7	277,6	34,3
72	»	5,5	70	26,5	8,74	193,3	324,3	279,4	33,9
73	»	7,0	70	26,5	8,78	236,2	389,7	304,9	33,5

* У дна.

Таблица 27 (продолжение)

ионов, *мг/л*			Содержание ионов, %-экв.						Индекс по О. А. Алекину
$Mg^{··}$	$Na^{·}+K^{·}$	$\Sigma_{и}$	Cl'	SO_4''	$HCO_3' + CO_3''$	$Ca^{··}$	$Mg^{··}$	$Na^{·}+K^{·}$	
70,6	264,3	1225	17,0	19,6	13,4	4,8	16,0	29,2	SCl^{Na}_{II}
70,2	274,0	1246	16,5	20,4	13,1	4,5	15,6	29,9	То же
44,7	164,3	834,9	15,0	18,4	16,6	7,7	15,2	27,1	$SCCl^{Na}_{II}$
56,9	200,8	985,7	15,8	20,0	14,2	6,2	16,2	27,6	SCl^{Na}_{II}
56,4	194,8	966,3	15,9	19,5	14,6	6,3	16,3	27,4	$SClC^{Na}_{II}$
57,4	224,5	1053	16,1	19,7	14,2	5,6	15,3	29,1	SCl^{Na}_{II}
54,5	206,7	987,8	15,9	19,6	14,5	6,0	15,4	28,6	То же
50,1	201,5	951,7	16,9	18,4	14,7	6,4	14,8	28,8	$SClC^{Na}_{II}$
44,8	180,5	876,1	15,3	18,8	15,9	7,1	14,5	28,4	$SCCl^{Na}_{II}$
51,7	188,5	928,1	15,6	19,1	15,3	6,6	15,7	27,7	$SClC^{Na}_{II}$
81,7	321,3	1425	16,9	20,6	12,5	3,6	15,9	30,5	SCl^{Na}_{II}
48,5	183,8	904,1	15,2	19,1	15,7	6,9	15,2	27,9	$SCCl^{Na}_{II}$
53,8	195,8	958,9	15,6	19,4	15,0	6,3	15,8	27,9	$SClC^{Na}_{II}$
59,0	230,8	1078	16,0	21,1	13,9	5,5	15,3	29,2	S^{Na}_{II}
54,8	174,3	896,3	17,8	15,6	16,6	6,6	17,1	26,3	$ClCS^{Na}_{II}$
49,1	273,8	1228	16,5	20,6	12,9	4,8	15,4	29,8	SCl^{Na}_{II}
59,0	228,8	1072	16,0	20,0	14,0	5,5	15,4	29,1	То же
59,6	227,0	1067	16,2	19,7	14,1	5,4	15,6	29,0	SCl^{Na}_{II}
52,2	198,3	956,6	15,6	19,8	14,6	6,4	15,3	28,3	То же
68,0	265,8	1212	16,4	20,2	13,4	4,6	15,7	29,7	»
62,7	242,0	1123	16,0	20,2	13,8	5,0	15,6	29,4	»
60,1	233,5	1093	15,9	19,9	14,2	5,4	15,4	29,2	»
62,7	248,8	1150	15,8	20,2	14,0	5,2	15,3	29,5	»
70,7	317,8	1376	15,0	23,1	11,9	4,1	14,4	31,5	S^{Na}_{II}
79,5	326,0	1432	17,1	20,6	12,3	3,8	15,4	30,8	SCl^{Na}_{II}
65,4	238,8	1130	15,9	20,0	14,1	5,1	16,2	28,7	То же
61,2	243,3	1124	16,1	20,1	13,8	5,3	15,2	29,5	»
63,8	246,0	1141	16,2	20,0	13,8	5,1	15,6	29,3	»
65,4	253,3	1169	16,3	20,1	13,6	4,9	15,7	29,4	»
88,0	330,0	1480	17,4	20,1	12,5	3,5	16,5	30,0	»
86,5	339,8	1502	17,0	20,8	12,2	3,5	16,0	30,5	»
92,8	368,3	1616	17,0	21,0	12,0	3,4	15,9	30,7	»
84,9	337,5	1495	17,0	20,6	12,4	3,7	15,8	30,5	»
68,1	264,0	1210	16,6	20,2	13,2	4,7	15,7	29,6	»
62,8	245,5	1135	16,2	20,0	13,8	5,1	15,5	29,4	»
62,9	241,5	1121	16,1	20,0	13,9	5,1	15,7	29,2	»
65,4	250,0	1155	16,3	20,2	13,5	4,8	15,8	29,4	»
62,5	241,5	1114	16,0	20,2	13,8	5,2	15,6	29,2	»
63,8	246,3	1141	16,2	20,1	13,7	5,0	15,6	29,4	»
75,6	297,3	1337	16,8	20,6	12,6	4,2	15,7	30,1	»

Номер станции	Дата отбора пробы	Глубина, м	Прозрачность, м	Температура воды, °С	pH (с поправками)	Содержание			
						Cl'	SO_4''	$HCO_3' + CO_3''$	Ca''
73 *	12.VII	—	—	24,5	8,73	230,9	385,2	306,8	32,3
74	Тогда же	6,1	90	27,0	8,78	261,3	432,5	330,5	33,5
75	»	4,5	130	27,2	8,85	311,4	512,3	367,0	32,3
76	»	3,9	180	28,0	8,86	332,9	547,3	376,2	30,9
77	»	6,6	80	27,5	8,82	268,5	442,4	334,2	33,1
78	»	7,5	70	27,0	8,76	239,8	394,2	310,4	33,5
79	»	6,6	60	26,0	8,77	193,3	322,6	275,7	33,5
80	13.VII	3,2	50	25,0	8,74	195,1	321,8	281,2	33,5
81	Тогд ε же	6,1	70	25,5	8,71	204,0	340,3	279,4	33,9
82	»	7,1	60	26,0	8,76	234,5	384,3	310,4	33,5
83	»	7,7	80	26,5	8,76	257,7	428,8	326,9	33,1
84	»	3,8	120	28,0	8,86	318,6	522,6	367,0	31,7
85	»	7,0	90	28,0	8,76	247,0	403,3	321,4	33,9
86	»	8,0	70	26,0	8,73	229,1	378,6	310,4	33,9
87	»	7,5	80	25,0	8,77	211,2	348,5	290,3	33,9
88	»	14,0	250	25,0	8,76	247,0	404,5	315,9	36,5
88*	14.VII	—	—	23,2	8,83	247,0	414,4	314,1	36,1
89	Тогда же	4,5	130	25,0	8,78	214,8	402,5	292,2	34,3
90	»	7,0	90	26,0	8,74	207,6	344,8	292,2	33,9
91	»	5,0	100	26,0	8,81	221,9	321,4	297,6	34,3
92	»	7,8	90	26,0	8,77	218,3	311,9	297,6	34,9
93	»	7,8	80	26,5	8,76	230,9	384,8	310,4	33,5
94	»	3,0	150	27,5	8,82	300,7	487,6	354,2	32,7
95	15.VII	2,2	140	27,0	8,84	289,9	467,9	343,3	33,5
96	Тогда же	6,9	100	26,0	8,78	230,9	389,3	306,8	33,5
97	»	5,7	80	25,0	8,79	221,9	363,8	295,8	34,9
98	»	2,5	105	26,0	8,82	225,5	382,3	297,6	34,9
99	»	4,8	100	26,0	8,80	227,3	373,6	301,3	35,3
100	»	2,0	120	27,0	8,80	239,8	393,8	310,4	34,3
101	»	2,0	110	29,0	8,91	397,3	655,1	416,3	30,5
102	18.VII	4,9	100	27,0	8,83	243,4	388,5	314,1	33,9
102 *	Тогда же	—	—	26,0	8,79	245,2	397,1	314,1	34,3
103	»	7,8	70	26,2	8,82	270,2	441,1	336,0	32,3
104	»	4,5	80	26,2	8,85	304,3	506,2	350,6	31,7
104 *	»	—	—	26,2	8,85	304,3	504,9	352,4	32,3
105	»	2,4	110	27,0	8,88	418,8	670,7	421,8	30,1
106	19.VII	5,7	90	24,5	8,89	451,0	721,8	452,8	29,5
107	Тогда же	4,0	120	25,5	8,91	451,0	724,2	449,2	29,5
108	»	1,5	120	26,0	8,99	486,8	780,2	452,8	20,0
109	»	5,3	120	26,0	8,90	515,4	809,8	482,1	27,9
110	»	10,5	170	27,0	8,88	515,4	825,5	489,4	26,1
111	»	4,0	90	28,0	8,90	533,3	818,1	493,0	22,6
112	20.VII	7,8	190	26,0	8,90	526,2	837,0	493,0	24,3

* У дна.

Таблица 27 (продолжение)

ионов, *мг/л*			Содержание ионов, %-экв.						Индекс по О. А. Алекину
$Mg^{··}$	$Na^{·} + K^{·}$	$\Sigma_и$	Cl'	SO_4''	$HCO_3' + CO_3''$	$Ca^{··}$	$Mg^{··}$	$Na^{·} + K^{·}$	
75,9	290,3	1321	16,6	20,5	12,9	4,1	15,9	30,0	SCl_{II}^{Na}
83,5	331,5	1473	16,9	20,7	12,4	3,8	15,7	30,5	То же
98,0	395,0	1716	17,3	20,9	11,8	3,2	15,8	31,0	»
103,6	422,5	1813	17,4	21,1	11,5	2,9	15,8	31,3	»
85,4	340,0	1504	17,0	20,7	12,3	3,7	15,7	30,6	»
76,7	302,0	1357	16,8	20,5	12,7	4,2	15,7	30,1	»
63,0	246,0	1134	16,3	20,1	13,6	5,0	15,5	29,5	»
64,6	245,7	1142	16,4	20,0	13,6	5,0	15,8	29,2	»
65,9	257,7	1181	16,5	20,3	13,2	4,9	15,6	29,5	»
76,2	294,0	1333	16,8	20,3	12,9	4,3	15,9	29,8	»
82,2	328,7	1457	16,8	20,7	12,5	3,8	15,7	30,5	»
98,4	405,5	1744	17,3	21,1	11,6	3,1	15,6	31,3	»
78,1	313,3	1397	16,9	20,4	12,7	4,1	15,7	30,2	»
74,3	291,0	1317	16,6	20,3	13,1	4,3	15,7	30,0	»
66,9	269,8	1221	16,6	20,2	13,2	4,7	15,3	30,0	»
77,0	310,7	1392	17,0	20,4	12,6	4,4	15,4	30,2	»
77,8	313,7	1403	16,8	20,8	12,4	4,3	15,4	30,3	»
69,4	295,3	1309	15,7	21,8	12,5	4,4	14,8	30,8	S_{II}^{Na}
67,0	265,7	1211	16,4	20,2	13,4	4,7	15,5	29,8	SCl_{II}^{Na}
72,6	254,0	1202	17,5	18,8	13,7	4,8	16,7	28,5	То же
69,6	252,0	1184	17,6	18,5	13,9	5,0	16,2	28,8	$SClC_{II}^{Na}$
74,7	295,3	1330	16,6	20,4	13,0	4,3	15,6	30,1	SCl_{II}^{Na}
93,0	379,3	1648	17,3	20,8	11,9	3,3	15,7	31,0	
88,9	364,5	1588	17,4	20,7	11,9	3,5	15,5	31,0	То же
77,2	290,8	1328	16,6	20,6	12,8	4,3	16,1	29,6	»
69,6	270,7	1257	16,7	20,3	13,0	4,7	15,3	30,0	»
72,7	287,0	1300	16,6	20,7	12,7	4,5	15,6	29,9	»
71,4	287,5	1296	16,7	20,4	12,9	4,6	15,4	30,0	»
75,8	302,7	1357	16,8	20,4	12,8	4,3	15,5	30,2	»
119,7	507,7	2127	17,7	21,6	10,7	2,4	15,6	32,0	»
79,2	297,5	1357	17,1	20,1	12,8	4,2	16,2	29,6	»
81,5	298,3	1371	17,0	20,3	12,7	4,2	16,5	29,3	»
85,9	341,3	1507	17,1	20,6	12,3	3,6	15,8	30,6	»
93,6	390,0	1676	17,2	21,2	11,6	3,2	15,5	31,3	»
93,3	390,0	1677	17,2	21,2	11,6	3,3	15,4	31,3	»
125,3	522,5	2189	18,0	21,4	10,6	2,3	15,7	32,0	»
131,9	571,5	2359	18,1	21,4	10,5	2,1	15,4	32,5	»
135,1	564,7	2354	18,1	21,4	10,5	2,1	15,8	32,1	»
141,8	618,3	2500	18,3	21,7	10,0	1,3	15,6	33,1	»
148,7	642,0	2626	18,4	21,4	10,2	1,8	15,6	32,6	»
150,8	651,2	2658	18,2	21,7	10,1	1,6	15,6	32,8	»
156,1	654,7	2678	18,7	21,2	10,1	1,4	16,0	32,6	»
155,2	659,7	2695	18,4	21,6	10,0	1,5	15,8	32,7	»

Номер станции	Дата отбора пробы	Глубина, *м*	Прозрачность, *см*	Температура воды, °С	pH (с поправками)	Содержание			
						Cl'	SO_4''	$HCO_3' + CO_3''$	$Ca^{\cdot\cdot}$
113	20.VII	15,5	250	25,0	8,89	536,9	930,0	504,0	25,3
114	Тогда же	10,0	190	24,5	8,89	522,6	834,5	496,7	25,6
115	»	14,0	250	24,3	8,90	529,8	830,4	496,7	27,9
116	»	15,5	200	22,0	8,90	533,3	849,3	496,7	25,6
116 *	»	—	—	25,0	8,79	536,9	834,5	504,0	25,3
117	»	3,0	240	27,0	8,92	554,8	911,1	511,3	25,3
118	»	6,9	240	27,0	8,89	558,4	870,7	504,0	24,9
119	»	13,7	230	26,0	8,82	544,1	852,6	496,7	25,6
120	»	10,5	250	26,0	8,90	529,8	838,6	496,7	25,6
121	»	7,4	180	27,0	8,89	558,4	878,1	511,3	24,9
122	»	6,0	150	26,0	8,91	579,9	925,1	518,6	23,5
123	»	6,7	100	26,0	8,93	612,1	990,9	540,5	22,7
124	»	11,0	140	26,0	8,96	626,4	994,2	551,5	22,7
124 *	»	—	—	24,5	8,93	630,0	974,0	551,1	23,1
125	21.VII	9,5	140	25,0	9,00	640,7	1019	555,1	23,5
126	Тогда же	7,5	320	25,0	9,01	680,1	1065	569,7	22,7
127	»	11,0	290	25,0	8,97	665,8	1053	566,1	22,7
128	»	9,7	220	26,0	9,05	615,7	979,4	533,2	23,5
129	»	12,5	120	26,0	9,03	579,9	895,4	511,3	23,5
130	22.VII	5,0	140	26,0	9,06	776,7	1218	631,8	19,0
131	Тогда же	6,5	170	25,5	9,06	834,0	1338	675,6	18,6
132	»	6,8	210	25,5	9,07	891,3	1399	715,8	17,4
133	»	11,3	230	26,0	9,01	927,0	1429	737,7	17,4
134	»	9,7	310	26,0	9,04	952,0	1468	752,3	17,4
135	»	2,4	240	26,0	9,04	980,8	1490	770,6	17,4
136	»	14,5	530	26,2	9,04	957,5	1500	759,6	17,4
137	»	10,5	250	25,0	9,02	930,6	1401	719,4	17,8
138	24.VII	12,9	Н.о.	24,0	9,05	921,7	1421	734,0	17,8
139	Тогда же	15,0	285	24,2	9,04	966,4	1490	756,0	17,4
139 *	»	—	—	24,2	9,04	984,3	1495	752,3	17,4
140	»	4,7	120	24,6	9,06	991,3	1389	756,0	17,4
141	»	5,5	130	24,5	9,06	993,3	1425	756,0	17,4
142	»	15,0	260	25,0	9,04	966,4	1495	756,0	17,4
143	»	12,0	260	24,5	9,04	984,3	1455	745,0	17,8
144	25.VII	13,0	400	24,0	9,04	993,3	1478	752,3	17,4
145	Тогда же	16,0	250	24,0	9,06	957,5	1490	752,3	17,4
145 *	»	—	—	24,0	9,04	1002	1508	756,0	17,4
146	»	6,5	210	24,0	9,04	993,3	1478	752,3	17,4
147	»	7,0	100	24,0	9,04	975,4	1452	741,4	18,2
148	»	14,5	460	24,5	9,04	993,3	1475	745,0	18,2
149	27.VII	2,0	210	23,0	9,12	993,3	1493	766,9	17,8
150	Тогда же	10,7	230	23,0	9,05	993,3	1515	766,9	17,8
151	»	16,5	390	23,0	9,08	1065	1564	803,4	16,4
152	»	16,0	550	22,4	9,11	1001	1659	829,0	16,4
153	»	20,5	580	22,5	9,05	1110	1695	836,3	16,4
153 *	»	—	—	14,0	9,05	1119	1702	836,3	16,0

* У дна.

Таблица 27 (продолжение)

ионов, *мг/л*			Содержание ионов, %-экв.						Индекс по О. А. Алекину
$Mg^{··}$	$Na^{·}+K^{·}$	$\Sigma_{и}$	Cl'	SO_4''	$HCO_3'+CO_3''$	$Ca^{··}$	$Mg^{··}$	$Na^{·}+K^{·}$	
157,7	713,0	2867	17,7	22,7	9,6	1,5	15,2	33,3	SCl_{II}^{Na}
154,3	657,3	2691	18,3	21,6	10,1	1,6	15,8	32,6	То же
153,9	658,3	2697	18,5	21,4	10,1	1,7	15,7	32,6	»
156,4	668,3	2730	18,4	21,6	10,0	1,6	15,7	32,7	»
158,7	661,5	2721	18,5	21,4	10,1	1,5	16,0	32,5	»
158,7	717,5	2879	18,2	22,1	9,7	1,5	15,2	33,3	»
158,9	696,0	2813	18,7	21,5	9,8	1,5	15,5	33,0	»
157,5	675,3	2752	18,6	21,5	9,9	1,5	15,7	32,8	»
155,3	662,5	2709	18,5	21,5	10,0	1,6	15,8	32,6	»
158,9	702,8	2834	18,6	21,6	9,8	1,5	15,4	33,1	»
165,1	734,3	2947	18,5	21,9	9,6	1,3	15,4	33,3	»
172,1	785,3	3124	18,5	22,0	9,5	1,2	15,2	33,6	»
176,1	795,3	3166	18,6	21,9	9,5	1,2	15,3	33,5	»
173,8	789,0	3145	18,8	21,5	9,7	1,2	15,2	33,6	»
178,8	813,3	3230	18,7	21,9	9,4	1,2	15,2	33,6	»
184,6	860,0	3382	18,9	21,9	9,2	1,1	15,0	33,9	»
182,4	847,0	3337	18,8	21,9	9,3	1,1	15,0	33,9	»
166,1	791,0	3109	18,7	22,0	9,3	1,2	14,7	34,1	»
166,1	713,8	2890	18,8	21,5	9,7	1,3	15,7	33,0	»
211,0	983,3	3840	19,0	22,0	9,0	0,8	15,0	34,2	»
227,0	1072	4165	18,8	22,3	8,9	0,8	15,0	34,2	»
249,9	1114	4387	19,0	22,1	8,9	0,7	15,6	33,7	»
247,8	1169	4528	19,2	21,9	8,9	0,6	15,3	34,1	»
252,1	1204	4646	19,2	21,9	8,9	0,6	14,8	34,6	»
256,3	1234	4750	19,4	21,7	8,9	0,6	14,8	34,6	»
256,3	1219	4710	19,0	22,2	8,8	0,6	14,9	34,5	»
242,3	1160	4471	19,5	21,7	8,8	0,7	14,8	34,5	»
249,6	1155	4499	19,3	21,8	8,9	0,7	15,2	34,1	»
256,3	1218	4704	19,3	21,9	8,8	0,6	14,9	34,5	»
254,1	1237	4740	19,5	21,8	8,7	0,6	14,7	34,7	»
255,2	1187	4596	20,2	20,8	9,0	0,6	15,1	34,3	»
255,2	1206	4653	20,0	21,0	9,0	0,6	15,0	34,4	»
255,2	1226	4716	19,3	22,0	8,7	0,6	14,8	34,6	»
250,7	1219	4672	19,8	21,5	8,7	0,6	14,7	34,7	»
255,2	1232	4728	19,7	21,6	8,7	0,6	14,8	34,6	»
256,3	1211	4685	19,2	22,1	8,7	0,6	15,0	34,4	»
257,3	1251	4792	19,6	21,8	8,6	0,6	14,6	34,8	»
255,2	1232	4728	19,7	21,7	8,6	0,6	14,8	34,6	»
254,8	1202	4644	19,6	21,7	8,7	0,7	15,0	34,3	»
254,8	1228	4714	19,7	21,7	8,6	0,6	14,8	34,6	»
255,0	1245	4771	19,5	21,7	8,8	0,6	14,6	34,8	»
257,1	1253	4803	19,4	21,9	8,7	0,6	14,6	34,8	»
274,8	1309	5033	19,8	21,5	8,7	0,5	14,9	34,6	»
281,1	1382	5169	19,6	21,8	8,6	0,5	14,6	34,9	»
290,6	1390	5338	19,4	22,0	8,6	0,5	14,6	34,9	»
288,8	1404	5366	19,5	22,0	8,5	0,5	14,7	34,8	»

Номер станции	Дата отбора пробы	Глубина, *м*	Прозрачность, *см*	Температура воды, °С	pH (с поправками)	Содержание			
						Cl'	SO_4''	$HCO_3' + CO_3''$	$Ca^{\cdot\cdot}$
154	27. VII	22,0	1100	24,2	9,03	1001	1526	825,4	17,4
155	Тогда же	14,5	450	24,3	9,03	1074	1639	799,8	17,4
156	»	17,0	500	24,5	9,05	1001	1699	832,7	17,8
157	»	20,0	950	24,2	9,03	1110	1665	836,0	15,6
157*	»	—	—	23,0	9,03	1119	1672	832,7	15,6
158	»	21,0	1000	24,0	9,03	1119	1681	843,6	15,6
158*	»	—	—	22,2	9,03	1119	1702	836,3	16,0
159	»	19,0	650	23,3	9,03	1119	1661	843,6	16,4
160	»	8,0	460	24,0	9,03	1119	1705	840,0	17,0
161	28.VII	8,5	580	23,2	9,05	1119	1532	832,7	16,4
162	Тогда же	18,0	500	23,7	9,05	1128	1682	847,3	16,4
163	»	16,0	400	23,3	9,05	1128	1686	840,0	16,4
164	»	15,0	400	24,2	9,05	1128	1682	836,3	16,0
165	»	13,0	340	25,2	9,03	1137	1697	840,0	15,6
166	»	8,0	220	24,5	9,05	1119	1681	836,3	16,0
167	»	10,0	260	24,2	9,04	1145	1718	847,3	15,2
168	29.VII	3,0	210	23,0	9,09	1145	1709	861,9	15,6
169	Тогда же	2,2	дно	24,2	9,10	1154	1620	872,8	15,2
170	»	10,0	400	24,0	9,02	1137	1707	850,9	16,0
171	»	9,7	470	24,5	9,04	1137	1733	858,2	16,0
172	»	11,0	900	24,5	9,03	1128	1697	854,6	16,0

* У дна.

Таблица 27 (окончание)

ионов, *мг/л*			Содержание ионов, %-экв.						Индекс по О. А. Алекину
$Mg^{··}$	$Na^{·} + K^{·}$	$\Sigma_{и}$	Cl'	SO_4''	$HCO_3' + CO_3''$	$Ca^{··}$	$Mg^{··}$	$Na^{·} + K^{·}$	
280,5	1311	4961	20,4	20,8	8,8	0,6	15,1	34,3	SCl_{II}^{Na}
274,2	1353	5157	19,5	22,0	8,5	0,6	14,7	34,7	То же
281,4	1401	5233	19,4	22,1	8,5	0,6	14,4	35,0	»
285,0	1391	5303	19,6	21,8	8,6	0,5	14,6	34,9	»
285,0	1400	5324	19,7	21,8	8,5	0,5	14,5	35,0	»
285,9	1403	5348	19,7	21,8	8,5	0,5	14,6	34,9	»
285,6	1411	5370	19,5	22,0	8,5	0,5	14,6	34,9	»
287,5	1388	5316	19,7	21,6	8,6	0,5	14,8	34,7	»
285,0	1414	5380	19,5	21,9	8,6	0,5	14,5	35,0	»
283,2	1321	5104	20,4	20,8	8,8	0,5	15,1	34,4	»
287,5	1407	5368	19,7	21,7	8,6	0,5	14,6	34,9	»
287,5	1406	5364	19,7	21,7	8,6	0,5	14,6	34,9	»
284,5	1409	5356	19,7	21,7	8,6	0,5	14,5	35,0	»
285,9	1422	5398	19,7	21,8	8,5	0,5	14,5	35,0	»
285,6	1399	5337	19,6	21,8	8,6	0,5	14,6	34,9	»
292,3	1429	5447	19,7	21,8	8,5	0,5	14,6	34,9	»
292,1	1431	5455	19,7	21,7	8,6	0,5	14,6	34,9	»
286,6	1407	5356	20,1	21,0	8,9	0,5	14,5	35,0	»
287,7	1428	5427	19,6	21,8	8,6	0,5	14,5	35,0	»
289,8	1440	5474	19,5	21,9	8,6	0,5	14,5	35,0	»
288,8	1415	5399	19,6	21,8	8,6	0,5	14,6	34,9	»

Химический состав, глубина, прозрачность и температура воды оз.
(местоположение станций

Номер станции	Дата отбора пробы	Глубина, *м*	Прозрачность, *см*	Температура воды °, С	pH (с поправками)	Содержание			
						Cl'	SO_4''	$HCO_3' + CO_3''$	$Ca^{\cdot\cdot}$
1	30.VI	2,4	25	25,0	8,64	101,0	190,0	248,0	35,6
2	Тогда же	3,0	25	25,0	8,54	85,2	160,2	208,0	38,4
3	» »	3,5	25,0	25,0	8,54	83,4	155,0	204,5	39,4
4	1.VII	3,5	40	23,2	8,58	77,3	136,0	210,5	43,5
5	Тогда же	4,0	40	23,6	8,59	89,6	170,0	224,5	41,5
6	»	4,6	45	23,8	8,61	115,9	210,0	227,0	40,9
7	»	5,5	50	24,0	8,63	118,6	215,0	232,0	36,6
8	»	5,5	60	25,0	8,66	164,2	289,3	266,0	36,6
9	»	5,2	50	25,0	8,67	160,7	278,5	266,0	37,0
10	»	2,2	50	26,0	8,67	126,5	217,8	250,0	37,4
11	2.VII	1,8	80	24,4	8,64	73,8	134,6	258,0	37,4
12	Тогда же	5,5	60	24,0	8,74	196,7	332,1	281,0	34,0
13	»	6,7	60	24,0	8,69	139,6	251,1	250,0	39,4
14	»	7,0	45	23,3	8,66	124,7	221,9	238,0	39,0
15	»	5,1	50	23,3	8,66	114,2	203,7	230,0	37,0
16	»	7,1	55	93,7	8,66	112,4	202,8	228,5	36,4
17	»	6,5	60	24,0	8,69	158,0	272,7	259,5	39,4
18	»	6,0	50	24,5	8,75	191,5	326,3	279,0	35,4
19	»	5,5	50	25,0	8,75	178,3	314,2	270,0	33,6
20	»	2,9	110	26,0	8,61	36,9	69,8	180,0	39,0
21	»	2,0	20	26,5	9,15	49,2	85,0	129,0	22,2
22	»	2,5	170	27,0	8,05	19,3	40,0	188,0	45,5
23	»	2,5	80	26,5	8,75	200,0	360,0	299,5	34,4
24	»	6,0	60	26,0	8,70	162,5	277,7	260,0	26,6
25	»	6,6	60	26,0	8,66	149,3	260,0	264,0	36,4
26	»	7,7	60	25,5	8,66	147,5	261,0	251,5	37,0
27	»	7,2	50	25,0	8,66	140,5	248,5	248,5	36,0
28	»	7,0	50	24,5	8,67	143,2	191,8	256,0	37,4
29	3.VII	7,0	80	24,0	8,65	137,0	238,2	247,0	36,4
30	Тогда же	6,8	60	23,8	8,66	129,9	226,5	239,0	35,6
31	»	6,6	60	24,0	8,65	149,3	259,4	258,5	35,0
32	»	2,5	50	25,0	8,75	166,9	293,0	263,0	33,0
33	»	3,0	50	25,0	8,67	91,3	165,8	222,0	21,8
34	»	2,1	100	25,0	7,77	19,3	38,6	183,0	16,8
35	»	3,8	80	25,5	8,75	219,6	371,6	300,0	14,8
36	»	3,0	40	24,5	8,75	178,3	310,1	268,0	13,8

Таблица 28

Балхаш по результатам гидрохимической съемки летом 1957 г.
показано на рис. 38, *I*)

ионов, *мг/л*				Содержание ионов, %-экв.						Индекс по О. А. Алекину
	$Mg^{··}$	$Na^{·}+K^{·}$	$\Sigma_и$	Cl'	SO_4''	HCO'_3+CO_3''	$Ca^{··}$	$Mg^{··}$	$Na^{·}+K^{·}$	
	40,2	144,0	758,8	13,2	18,3	18,5	8,2	15,3	26,5	CS^{Na}_{II}
	34,3	110,3	636,4	13,1	18,3	18,6	10,5	15,4	24,1	То же
	31,2	110,0	623,5	13,1	18,1	18,8	11,0	14,4	24,6	»
	27,6	100,3	595,5	12,9	16,8	20,3	12,9	13,5	23,6	»
	34,8	120,0	680,4	13,0	18,0	19,0	10,6	14,7	24,7	»
	41,2	148,0	783,0	14,3	19,2	16,5	9,0	15,0	26,0	$SCCl^{Na}_{II}$
	43,8	155,0	801,0	14,4	19,3	16,3	7,8	15,5	26,7	То же
	60,5	205,0	1022	15,4	20,1	14,5	6,1	16,6	27,3	SCl^{Na}_{II}
	54,2	209,3	1006	15,4	19,8	14,8	6,3	15,2	28,5	$SClC^{Na}_{II}$
	44,5	166,8	843,0	14,6	18,6	16,8	7,7	15,0	27,3	$SCCl^{Na}_{II}$
	28,8	121,5	654,1	11,4	15,4	23,2	10,3	13,0	26,7	C^{Na}_{II}
	65,0	250,5	1159	16,2	20,3	13,5	5,0	15,7	29,3	SCl^{Na}_{II}
	48,0	183,5	911,6	14,9	19,7	15,4	7,4	14,9	27,7	$SCCl^{Na}_{II}$
	43,7	162,3	829,6	14,6	19,2	16,2	8,1	15,0	26,9	То же
	41,7	148,8	775,4	14,3	18,9	16,8	8,2	15,3	26,5	»
	41,4	149,3	770,2	14,2	19,1	16,7	8,1	15,2	26,7	»
	51,6	209,5	990,7	15,3	19,4	15,3	6,8	14,5	28,7	$SClC^{Na}_{II}$
	64,8	241,0	1138	16,1	20,3	13,6	5,3	15,9	28,8	SCl^{Na}_{II}
	59,7	235,0	1091	15,7	20,5	13,8	5,3	15,5	29,2	То же
	18,4	49,5	393,6	9,6	13,3	27,1	17,9	13,9	18,2	$C^{Na,Ca,Mg}$
	21,3	60,2	366,9	13,2	16,8	20,0	10,6	16,7	22,7	CS^{Na}_{II}
	7,4	39,2	339,4	6,1	9,4	34,5	26,5	6,9	16,6	C^{Ca}_{I}
	65,4	262,0	1221	15,6	20,8	13,6	4,7	16,2	29,1	S^{Na}_{II}
	60,0	208,5	995,3	15,6	19,8	14,6	4,5	16,8	28,7	SCl^{Na}_{II}
	51,5	198,0	959,2	15,1	19,5	15,4	6,4	15,2	28,4	$SCCl^{Na}_{II}$
	50,7	192,5	940,2	15,2	19,8	15,0	6,8	15,2	28,0	$SClC^{Na}_{II}$
	49,5	183,0	906,0	15,0	19,6	15,4	7,0	15,4	27,6	$SCCl^{Na}_{II}$
	50,5	154,8	832,7	16,5	16,3	17,2	7,6	17,0	25,4	$CClS^{Na}_{II}$
	48,0	177,3	883,9	15,0	19,3	15,7	7,1	15,4	27,5	$SCCl^{Na}_{II}$
	46,7	166,8	844,5	14,9	19,2	15,9	7,3	15,6	27,1	То же
	51,8	195,5	949,5	15,2	19,5	15,3	6,3	15,4	28,3	»
	59,2	215,0	1030	15,6	20,2	14,2	5,4	16,1	28,5	SCl^{Na}_{II}
	46,2	119,3	666,4	13,4	17,9	18,7	5,6	19,7	24,7	$CS^{Na,Mg}_{II}$
	30,0	25,8	313,5	6,2	9,2	34,6	9,7	28,4	11,9	C^{Mg}_{II}
	82,2	283,8	1272	16,4	20,5	13,1	2,0	17,9	30,1	SCl^{Na}_{II}
	76,6	222,0	1193	15,8	20,4	13,8	2,2	19,8	28,0	То же

Номер станции	Дата отбора пробы	Глубина, *м*	Прозрачность, *см*	Температура воды, °С	pH (с поправками)	Содержание			
						Cl'	SO_4''	$HCO'_3+CO''_3$	$Ca^{\cdot\cdot}$
37	3.VII	6,8	40	24,0	8,67	117,7	214,1	233,0	34,4
38	Тогда же	6,8	40	24,0	8,67	122,9	216,6	236,0	26,6
39	»	8,0	40	24,0	8,67	123,8	217,4	239,0	36,4
40	»	5,5	50	24,5	8,67	122,1	216,9	232,0	24,2
41	»	7,0	40	24,0	8,67	131,7	231,5	241,5	34,0
42	»	7,0	40	24,0	8,66	115,1	215,3	230,0	25,2
43	»	6,0	45	24,0	8,69	123,8	222,0	233,0	26,6
44	»	3,5	40	25,0	8,78	241,5	416,1	318,0	31,3
45	»	1,7	80	26,2	8,82	263,5	452,7	335,0	24,2
46	4.VII	5,2	80	24,5	8,76	240,6	405,7	310,0	32,0
47	Тогда же	6,5	40	24,0	8,66	119,4	217,8	225,0	33,6
48	»	6,5	40	24,5	8,66	122,9	231,5	239,0	34,6
49	»	6,5	40	24,5	8,67	121,2	219,9	239,0	26,6
50	»	1,9	150	26,0	8,77	191,5	335,0	287,0	34,6
51	»	6,8	60	26,2	8,66	133,5	238,2	245,0	35,0
51 *	»	—	—	23,2	8,66	140,5	265,0	253,0	31,7
52	»	6,8	40	26,5	8,67	119,4	222,0	236,0	31,2
53	»	3,6	70	26,5	8,77	277,5	462,6	332,0	19,2
54	5.VII	5,0	50	24,0	8,75	161,6	281,8	270,0	36,1
55	4.VII	4,9	60	26,0	8,70	142,3	246,5	250,0	35,0
56	Тогда же	6,5	60	27,2	8,69	152,8	268,1	259,0	34,6
57	»	5,5	80	26,0	8,75	235,4	415,0	310,0	33,6
58	»	2,8	80	26,5	8,80	295,0	449,6	354,0	32,6
59	5.VII	2,0	50	24,5	8,75	168,6	339,6	273,0	36,1
60	Тогда же	6,3	50	25,0	8,70	151,0	269,3	258,6	34,6
61	»	6,0	50	25,0	8,75	173,9	300,1	273,0	34,6
62	»	6,0	50	26,0	8,75	177,4	307,2	276,0	24,2
63	»	5,0	140	26,0	8,77	260,0	449,7	338,0	17,8
64	»	2,0	150	26,2	8,80	302,1	511,2	371,0	21,2
65	»	3,0	120	26,2	8,82	305,6	519,6	366,0	31,2
66	»	5,0	140	26,2	8,76	242,4	366,2	318,0	34,0
67	»	6,5	140	26,5	8,74	189,7	319,7	276,0	32,7
68	»	3,2	70	26,5	8,75	175,7	306,8	276,0	27,2
69	»	4,2	70	26,0	8,75	163,3	285,5	270,0	33,6
70	»	2,2	70	26,0	8,98	182,7	320,9	278,0	32,6
71	6.VII	2,8	40	24,0	8,74	189,7	331,3	278,0	33,0
72	Тогда же	5,0	30	24,0	8,75	173,9	299,3	264,0	34,0
73	»	6,0	30	24,0	8,75	177,4	308,0	273,0	35,6
74	»	4,8	30	24,0	8,76	219,6	377,8	298,0	31,2
75	»	3,0	30	24,0	8,79	307,4	525,5	371,0	23,2
76	»	3,5	30	24,0	8,79	302,1	505,9	371,0	30,6
77	»	6,5	30	24,0	8,75	235,4	407,8	315,0	33,0

* У дна.

Таблица 28 (продолжение)

ионов, *мг/л*			Содержание ионов, %-экв.						Индекс по О. А. Алекину
$Mg^{··}$	$Na^{·}+K^{·}$	$\Sigma_и$	Cl'	SO''_4	$HCO_3'+CO''_3$	$Ca^{··}$	$Mg^{··}$	$Na^{·}+K^{·}$	
49,8	144,3	793,3	14,3	19,3	16,4	7,4	17,7	24,9	$SCCl^{Na}_{II}$
50,7	158,5	811,3	14,6	19,0	16,4	5,6	17,6	26,8	То же
44,5	161,0	822,1	14,7	19,0	16,3	7,6	15,4	27,0	»
53,0	154,8	803,0	14,6	19,3	16,1	5,1	18,6	26,3	»
48,4	170,3	857,4	14,9	19,3	15,8	6,8	15,9	27,3	»
49,5	154,5	789,6	14,1	19,5	16,4	5,5	17,7	26,8	SC^{Na}_{II}
49,2	163,8	818,4	14,6	19,4	16,0	5,6	16,9	27,5	$SCCl^{Na}_{II}$
79,5	314,8	1401	16,5	20,9	12,6	3,8	15,8	30,4	SCl^{Na}_{II}
95,6	331,5	1503	16,6	21,1	12,3	2,7	17,6	29,6	То же
77,8	308,0	1374	16,7	20,8	12,5	3,9	15,7	30,4	»
45,0	155,3	796,1	14,5	19,6	15,9	7,3	15,9	26,8	SC^{Na}_{II}
46,8	165,5	840,3	14,2	19,8	16,0	7,1	15,8	27,1	То же
40,0	182,3	829,0	14,4	19,2	16,4	5,6	13,8	30,6	$SCCl^{Na}_{II}$
63,5	253,3	1165	15,8	20,4	13,8	5,1	15,3	29,6	SCl^{Na}_{II}
48,9	174,3	874,9	14,8	19,5	15,7	6,9	15,8	27,3	$SCCl^{Na}_{II}$
51,9	194,0	936,1	14,5	20,2	15,3	5,8	15,7	28,5	SC^{Na}_{II}
48,2	158,0	814,8	14,2	19,5	16,3	6,6	16,7	26,7	То же
95,3	352,5	1539	17,0	21,1	11,9	2,0	17,2	30,8	SCl^{Na}_{II}
55,4	212,3	1017	15,3	19,7	15,0	6,1	15,3	28,6	$SClC^{Na}_{II}$
49,5	185,3	908,6	15,1	19,5	15,4	6,6	15,3	28,1	$SCCl^{Na}_{II}$
53,4	200,3	968,2	15,2	19,8	15,0	6,1	15,5	28,4	$SClC^{Na}_{II}$
76,2	310,0	1380	16,3	21,3	12,4	4,1	15,5	30,4	SCl^{Na}_{II}
92,3	382,0	1655	17,0	21,2	11,8	3,3	15,5	31,2	То же
58,3	242,5	1118	14,6	21,7	13,7	5,5	14,7	29,8	S^{Na}_{II}
53,4	199,5	966	15,0	20,0	15,0	6,1	15,6	28,3	$SClC^{Na}_{II}$
58,7	206,5	1067	15,7	20,0	14,3	5,5	15,4	29,1	SCl^{Na}_{II}
68,0	228,0	1081	15,7	20,1	14,2	3,8	17,6	28,6	То же
94,0	340,0	1500	16,5	21,1	12,4	2,0	17,4	30,6	»
113,0	371,8	1690	16,9	21,1	12,0	2,1	18,4	20,5	»
98,0	395,3	1716	17,0	21,3	11,7	3,1	15,9	31,0	»
79,0	286,8	1326	17,4	19,4	13,2	4,3	16,5	29,2	»
64,0	240,8	1123	16,2	20,1	13,7	4,9	15,9	29,2	»
64,8	229,3	1080	15,7	20,1	14,2	4,3	16,8	28,9	»
56,4	216,5	1025	15,4	19,9	14,7	5,6	15,6	28,8	»
63,0	239,5	1117	15,7	20,4	13,9	5,0	15,8	29,2	»
63,8	247,5	1143	15,9	20,6	13,5	4,9	15,6	29,5	»
58,6	224,0	1054	15,9	20,1	14,0	5,5	15,5	29,0	»
64,6	219,8	1078	15,7	20,2	14,1	5,6	16,7	27,7	»
73,4	283,5	1284	16,3	20,8	12,9	4,1	16,0	29,9	»
89,5	429,3	1746	16,9	21,3	11,8	2,3	14,2	33,5	»
95,2	394,0	1699	16,9	21,0	12,1	3,0	15,6	31,4	»
77,7	306,3	1375	16,3	21,0	12,7	4,1	15,8	30,1	»

Номер станции	Дата отбора пробы	Глубина, *м*	Прозрачность, *см*	Температура воды, °С	pH (с поправками)	Содержание			
						Cl'	SO''_4	$HCO'_3+CO''_3$	$Ca^{\cdot\cdot}$
78	6.VII	6,5	30	24,0	8,73	184,4	354,6	276,0	33,1
79	Тогда же	6,5	30	24,0	8,76	182,7	314,4	287,0	32,0
80	9.VII	2,3	60	23,0	8,76	189,7	322,9	284,0	32,6
81	Тогда же	6,5	60	24,0	8,75	203,8	334,6	287,0	34,7
82	»	7,0	60	24,0	8,75	221,3	372,8	310,0	35,0
83	»	7,0	70	24,0	8,77	233,6	399,6	310,0	33,6
84	»	3,5	120	24,4	8,79	267,0	456,4	332,0	30,6
85	»	7,0	80	24,3	8,76	258,2	431,8	332,0	33,0
86	»	7,2	60	24,0	8,74	228,3	382,5	312,0	31,7
86*	»	—	—	23,0	8,74	226,6	390,0	310,0	35,6
87	»	7,2	60	24,2	8,75	203,8	349,3	304,0	34,6
88	»	13,5	310	24,0	8,79	270,5	471,5	338,0	36,7
88*	»	—	—	22,0	8,63	275,8	460,0	343,0	36,7
89	»	4,5	60	24,2	8,76	207,3	306,5	292,0	23,6
90	6.VII	Н.о.	30	24,0	8,74	189,7	364,2	276,0	33,7
91	9.VII	3,5	80	28,0	8,76	281,0	483,2	352,0	35,7
92	Тогда же	7,5	70	24,5	8,76	221,3	374,9	310,0	34,6
93	»	7,2	70	25,0	8,71	252,9	413,2	323,5	34,0
94	»	4,5	140	26,0	8,80	302,1	506,1	363,0	32,2
95	»	2,2	160	26,0	8,82	323,2	530,0	388,0	32,6
96	»	6,9	80	25,0	8,76	249,4	418,9	332,0	33,0
97	»	4,8	70	25,0	8,77	270,5	447,7	338,0	35,1
98	»	2,1	80	25,0	8,77	281,0	462,5	338,0	19,2
99	»	2,5	70	25,0	8,78	270,5	457,6	344,0	34,6
100	»	4,5	80	25,5	8,80	302,1	506,9	360,0	32,1
101	»	2,2	130	26,0	8,82	323,2	560,5	394,0	34,9
102	10.VII	3,2	30	24,0	8,79	316,2	531,7	386,0	34,0
103	Тогда же	5,2	30	24,0	8,80	337,2	576,9	397,0	32,6
104	»	5,0	30	24,0	8,79	449,7	740,0	450,0	28,6
105	»	4,5	30	24,0	8,79	428,6	712,7	450,0	30,2
106	11.VII	4,0	50	23,2	8,80	404,0	664,2	436,0	32,0
107	Тогда же	2,7	50	23,2	8,80	491,8	792,5	479,0	27,6
108	»	Н.о.	80	22,2	8,90	484,8	785,1	479,0	33,6
109	»	3,9	120	22,0	8,79	450,0	729,2	456,0	31,3
110	»	9,5	80	23,0	8,84	491,8	818,0	490,0	28,2
111	»	3,4	120	23,2	8,96	477,6	778,6	473,0	28,6
112	»	8,5	140	23,0	8,95	509,4	829,6	495,0	26,6
113	»	15,0	160	22,0	8,90	509,4	814,8	492,0	20,8
113*	»	—	—	22,5	8,90	498,8	800,0	490,0	28,7
114	»	10,0	120	22,0	8,78	495,3	792,5	485,0	27,3
115	»	13,5	130	22,5	8,90	491,8	807,4	490,0	29,2
116	»	14,0	80	23,0	8,90	509,4	823,8	490,0	25,6
117	»	4,0	90	23,0	8,95	541,0	861,7	507,0	24,6
118	12.VII	3,5	110	22,5	8,95	555,1	902,8	518,0	25,2
119	Тогда же	Н.о.	120	22,5	8,90	505,9	813,9	495,0	23,8
120	»	6,8	90	22,5	8,90	519,9	831,2	495,0	28,7
121	»	11,0	110	23,0	8,92	527,0	856,7	510,0	27,2

* У дна.

Таблица 28 (продолжение)

ионов, *мг/л*			Содержание ионов, %-экв.						Индекс по О. А. Алекину
$Mg^{··}$	$Na^{·}+K^{·}$	$\Sigma_{и}$	Cl'	SO''_4	$HCO'_3+CO''_3$	$Ca^{··}$	$Mg^{··}$	$Na^{·}+K^{·}$	
101,8	250,5	1200	15,2	21,6	13,2	4,8	24,5	20,7	$S_{II}^{Mg,\ Na}$
62,5	241,3	1120	15,7	20,0	14,3	4,9	15,7	29,4	SCl_{II}^{Na}
64,2	245,5	1139	16,0	20,1	13,9	4,9	15,8	29,9	То же
64,8	259,0	1184	16,5	20,0	13,5	4,9	15,2	29,9	»
71,0	287,3	1297	16,4	20,3	13,3	4,6	15,3	30,1	»
64,0	326,0	1367	16,5	20,8	12,7	4,2	13,2	32,6	»
86,3	345,8	1518	16,8	21,1	12,1	3,4	15,8	30,8	»
83,7	329,0	1468	16,8	20,7	12,5	3,8	15,9	30,3	»
76,7	290,5	1322	16,5	20,5	13,0	4,1	16,2	29,7	»
73,7	293,0	1329	16,3	20,7	13,0	4,5	15,5	30,0	»
68,2	266,5	1226	16,0	20,2	13,8	4,8	15,6	20,6	»
85,7	352,3	1555	16,6	21,4	12,0	4,0	15,4	30,6	»
86,9	350,0	1552	17,0	20,8	12,2	4,0	15,6	30,4	»
76,8	238,0	1144	17,2	18,8	14,0	3,5	18,5	28,0	$SClC_{II}^{Na}$
63,6	263,8	1191	15,3	21,7	13,0	4,8	15,0	30,2	S_{II}^{Na}
90,5	363,3	1606	16,7	21,2	12,1	3,8	15,7	30,5	SCl_{II}^{Na}
75,9	280,5	1296	16,2	20,2	13,6	4,5	16,2	29,3	То же
80,2	318,5	1422	17,0	20,4	12,6	4,0	15,7	30,3	»
96,7	385,5	1686	17,1	21,1	11,8	3,2	16,0	30,8	»
102,5	410,8	1787	17,2	20,8	12,0	3,1	15,9	31,0	»
84,5	315,0	1433	16,6	20,6	12,8	3,9	16,4	29,7	»
84,5	344,8	1521	17,0	20,7	12,3	3,9	15,5	30,6	»
100,0	347,5	1548	17,2	20,8	12,0	2,1	17,8	30,1	»
89,5	343,3	1539	16,8	20,9	12,3	3,8	16,2	30,0	»
98,2	382,3	1682	17,0	21,2	11,8	3,2	16,2	30,6	»
106,0	420,0	1839	16,7	21,4	11,9	3,2	16,0	30,8	»
99,3	411,3	1779	16,9	21,1	12,0	3,2	15,5	31,3	»
109,5	434,5	1888	17,0	21,4	11,6	2,9	16,1	31,0	»
136,0	522,0	2326	19,0	20,0	11,0	2,1	16,7	31,2	»
135,0	542,8	2299	17,6	21,6	10,8	2,2	16,1	31,7	»
123,5	515,8	2176	17,6	21,4	11,0	2,4	15,7	31,9	»
142,5	627,5	2561	18,1	21,6	10,3	1,8	15,3	32,9	»
144,0	609,5	2536	18,1	21,6	10,3	2,2	15,6	32,2	»
132,5	572,3	2371	18,0	21,4	10,6	2,2	15,4	32,4	»
150,5	630,8	2609	17,0	21,8	10,3	1,8	15,8	32,4	»
142,0	608,5	2509	18,0	21,7	10,3	1,9	15,6	32,5	»
166,0	618,8	2645	18,1	21,7	10,2	1,7	17,2	31,1	»
152,5	644,8	2634	18,3	21,5	10,2	1,3	15,9	32,8	»
150,5	622,0	2590	18,3	21,5	10,2	1,8	16,0	32,2	»
[illegible],0	620,5	2570	18,2	21,5	10,3	1,8	15,9	32,3	»
14 0	635,3	2598	17,9	21,7	10,4	1,9	15,3	32,8	»
150 0	648,8	2648	18,2	21,7	10,1	1,6	15,6	32,8	»
171,[illegible]	655,3	2761	18,4	21,6	10,0	1,5	17,0	31,5	»
160,0	713,8	2875	18,2	21,9	9,9	1,5	15,3	33,2	»
149,5	645,8	2634	18,1	21,6	10,3	1,5	15,7	32,8	»
157,5	642,3	2675	18,3	21,6	10,1	1,8	16,2	32,0	»
152,5	679,3	2753	18,1	21,8	10,1	1,6	15,3	33,1	»

Номер станций	Дата отбора пробы	Глубина, *м*	Прозрачность, *см*	Температура воды, °С	pH (с поправками)	Содержание			
						Cl'	$S\Theta''_4$	$HCO'_3+CO''_3$	$Ca^{\cdot\cdot}$
122	12.VII	10,0	70	23,0	8,94	555,1	900,4	524,0	23,8
123	Тогда же	6,5	70	22,5	8,98	600,7	942,3	543,0	25,2
124	»	10,5	70	23,0	9,00	639,4	999,9	555,0	24,2
124*	»	—	—	23,0	9,00	625,3	970,0	562,3	23,2
125	»	10,0	90	23,0	9,03	639,4	1081	565,0	24,2
126	»	9,0	200	23,0	9,05	678,0	1022	580,0	23,6
127	»	13,0	100	23,2	9,08	663,9	1037	580,0	23,6
128	»	8,5	70	23,5	9,08	639,4	1021	562,3	22,2
129	»	12,0	100	24,0	9,09	755,3	1202	635,0	22,8
129*	»	—	—	23,0	9,09	764,1	1228	659,0	21,2
130	»	35	100	23,5	9,13	702,1	1096	602,0	21,2
131	»	5,5	120	23,5	9,09	790,4	1215	659,0	20,8
132	»	8,0	150	23,0	9,08	878,3	1337	704,0	20,2
133	»	10,0	160	23,2	9,08	878,3	1365	731,0	20,2
134	»	4,7	170	24,0	9,08	930,9	1605	755,0	20,8
135	13.VII	4,2	180	23,0	9,19	983,6	1514	810,0	18,8
136	Тогда же	13,8	120	22,2	9,13	983,6	1490	716,0	21,8
137	»	9,2	120	22,5	9,08	939,7	1453	755,0	20,2
138	»	12,0	240	22,5	9,08	939,7	1450	750,0	19,2
139	»	14,0	230	23,0	9,08	966,1	1488	776,0	20,2
139*	»	—	—	22,0	9,08	939,7	1488	766,0	19,8
140	»	2,5	230	23,5	9,13	983,6	1551	783,0	19,2
141	»	5,8	290	23,0	9,13	974,9	1528	770,0	19,2
142	»	15,0	220	23,0	9,08	974,9	1497	776,0	17,2
143	»	8,5	220	23,0	9,08	966,1	1467	765,0	15,8
144	»	10,1	180	23,0	9,08	966,1	1492	765,0	15,2
145	»	14,5	200	23,0	9,08	966,1	1472	765,0	17,2
145*	»	—	—	22,0	9,08	957,3	1490	765,0	17,8
146	»	5,0	270	24,0	9,13	983,6	1495	782,0	20,2
147	»	8,0	270	23,2	9,13	983,6	1491	776,0	17,8
148	»	15,0	220	23,5	9,11	966,1	1481	776,0	16,8
149	»	2,3	220	24,0	9,23	1019	1579	826,0	18,2
150	14.VII	10,0	250	22,0	9,13	983,6	1524	776,0	15,8
151	Тогда же	Н.о.	350	22,0	9,12	1089	1654	845,0	16,8
152	»	16,0	500	22,0	9,12	1082	1628	832,0	28,3
153	»	15,5	1170	22,0	9,13	1045	1646	832,0	15,8
153*	»	—	—	21,0	9,13	1054	1656	839,0	17,8
154	»	20,0	1000	22,0	9,13	1089	1659	653,0	16,8
155	»	21,0	850	22,5	9,12	1072	1663	850,0	18,8
156	15.VII	16,0	850	23,5	9,12	1080	1671	850,0	18,2
157	Тогда же	9,0	700	24,0	9,12	1072	1700	866,0	18,2
158	»	21,0	920	22,5	9,12	1080	1678	855,0	16,4
158*	»	—	—	21,0	9,12	1089	1671	845,0	16,8
159	»	18,0	900	23,0	9,12	1080	1666	866,0	18,8
160	»	8,0	800	23,0	9,12	1080	1684	845,0	16,8
161	»	12,0	700	21,0	9,18	1080	1687	855,0	17,8
162	»	17,0	700	22,0		1089	1688	850,0	19,2
163	»	12,0	700	22.0	9,12	1089	1653	850,0	17,4

* У дна.

Таблица 28 (продолжение)

ионов, *мг/л*			Содержание ионов, %-экв.						Индекс по О. А. Алекину
$Mg^{··}$	$Na^{·}+K^{·}$	$\Sigma_и$	Cl'	SO''_4	$HCO'_3+CO''_3$	$Ca^{··}$	$Mg^{··}$	$Na^{·}+K^{·}$	
163,0	710,0	2876	18,2	21,8	10,0	1,4	15,6	33,0	SCl^{Na}_{II}
171,0	754,3	3037	18,7	21,6	9,7	1,4	15,5	33,1	То же
175,0	808,3	3202	18,8	21,7	9,5	1,3	15,0	33,7	»
177,0	782,0	3140	18,7	21,4	9,9	1,2	15,4	33,4	»
177,5	850,0	3337	18,1	22,6	9,3	1,2	14,6	34,2	»
187,0	833,0	3324	19,2	21,3	9,5	1,2	15,4	33,4	»
182,5	840,0	3327	18,8	21,7	9,5	1,2	15,1	33,7	»
183,5	809,3	3237	18,6	21,9	9,5	1,1	15,5	33,4	»
204,0	970,0	3729	18,8	22,0	9,2	1,0	14,8	34,2	»
215,0	979,3	3867	18,6	22,0	9,4	0,9	15,3	33,8	»
194,0	887,5	3503	18,8	21,8	9,4	1,0	15,2	33,8	»
224,0	987,5	3897	19,4	21,5	9,1	0,9	15,7	33,4	»
237,0	1091	4267	19,3	21,7	9,0	0,8	15,2	34,0	»
237,0	1171	4403	19,0	21,8	9,2	0,8	15,2	34,0	»
245,0	1271	4828	18,2	23,2	8,6	0,7	14,0	35,3	»
265,0	1246	4837	19,1	21,7	9,2	0,7	15,0	34,3	»
314,0	1114	4699	19,4	21,7	8,9	0,8	18,0	31,2	»
245,5	1199	4612	19,2	21,8	9,0	0,7	14,6	34,7	»
256,0	1175	4590	19,2	21,8	9,0	0,7	15,2	34,1	»
255,0	1224	4729	19,2	21,8	9,0	0,7	14,8	34,5	»
252,0	1208	4673	18,9	22,2	8,9	0,7	14,8	34,5	»
270,0	1242	4849	19,0	22,2	8,8	0,7	15,2	34,1	»
261,5	1237	4790	19,2	22,0	8,8	0,7	15,0	34,3	»
257,5	1235	4758	19,2	21,9	8,9	0,6	14,8	34,6	»
254,0	1215	4683	19,3	21,7	9,0	0,6	14,9	34,5	»
260,0	1217	4716	19,2	22,0	8,8	0,5	15,1	34,4	»
257,0	1211	4688	19,3	21,8	8,9	0,6	15,0	34,4	»
263,0	1202	4695	19,1	22,0	8,9	0,6	15,3	34,1	»
260,0	1231	4772	19,3	21,8	8,9	0,7	15,0	34,3	»
262,0	1227	4757	19,3	21,8	8,9	0,6	15,1	34,3	»
254,0	1227	4721	19,2	21,9	8,9	0,6	14,7	34,7	»
284,0	1273	4999	19,1	21,9	9,0	0,5	15,6	33,9	»
271,0	1225	4795	19,2	21,9	8,9	0,6	15,4	34,0	»
284,0	1370	5259	19,4	21,8	8,8	0,5	14,8	34,7	»
287,0	1340	5197	19,5	21,8	8,7	0,5	15,1	34,4	»
427,0	1022	4988	19,0	22,2	8,8	0,9	22,7	26,4	»
438,0	1029	5034	19,0	22,1	8,9	0,5	23,1	26,4	»
283,0	1294	4995	20,3	22,7	7,0	0,6	15,3	34,1	»
296,0	1339	5239	19,2	22,0	8,8	0,5	15,5	34,0	»
282,0	1375	5277	19,2	22,0	8,8	0,6	14,7	34,7	»
286,0	1361	5303	18,9	22,1	9,0	0,6	15,3	34,1	»
299,0	1376	5304	19,2	22,0	8,8	0,5	14,8	34,0	»
287,0	1374	5283	19,4	21,9	8,7	0,5	14,8	34,7	»
286,0	1349	5266	19,2	21,9	8,9	0,6	15,4	34,0	»
293,0	1387	5306	19,3	22,0	8,7	0,5	14,5	35,0	»
289,0	1374	5303	18,3	22,7	9,0	0,6	14,9	34,5	»
288,0	1379	5314	19,2	22,0	8,8	0,6	14,8	34,6	»
289,0	1360	5258	19,4	21,8	8,8	0,6	15,0	34,4	»

Номер станции	Дата отбора пробы	Глубина, *м*	Прозрачность, *см*	Температура воды, °С	pH (с поправками)	Содержание			
						Cl′	SO''_4	$HCO'_3+CO''_3$	$Ca^{\cdot\cdot}$
164	15.VII	18,0	800	22,0	9,12	1098	1686	861,0	16,4
165	Тогда же	13,0	350	22,0	9,12	1089	1702	855,0	18,8
166	»	12,2	270	22,0	9,12	1080	1702	855,0	18,2
167	»	10,0	200	23,0	9,12	1115	1709	861,0	19,8
168	»	4,0	200	23,0	9,13	1115	1717	563,0	18,8
169	»	3,5	350	23,5	9,12	1124	1730	890,0	15,4
170	»	9,5	350	23,0	9,12	1124	1695	855,0	20,8
171	»	6,0	500	24,0	9,12	1124	1700	866,0	18,8
172	»	15,5	350	23,5	9,12	1089	1679	855,0	16,8
173	12. IX 1956 г.	—	—	—	—	1269	1921	954,7	15,2

Содержание хлора, глубина, прозрачность и температура воды оз. Балхаш
(местоположение станций показано

Номер станции	Дата отбора пробы	Глубина, *м*	Прозрачность, *см*	pH (с поправками)	Cl′, *мг/л*	Номер станции	Дата отбора пробы	Глубина, *м*
1	25.VII	2,5	45,0	8,61	128,0	22	2.VIII	3,3
2	Тогда же	3,10	40,0	8,59	110,0	23	Тогда же	4,7
3	»	4,00	30,0	8,61	83,0	24	»	7,0
4	»	3,20	40,0	8,50	70,9	24*	»	7,0
5	»	5,20	40,0	8,63	96,8	25	»	5,0
6	26.VII	6,50	50,0	8,58	95,5	26	3.VIII	6,0
6*	Тогда же		—	8,55	104,0	27	Тогда же	7,5
7	27.VII	6,0	Н. о.	8,65	148,0	28	»	3,5
8	28.VII	6,5	50,0	8,68	192,0	29	»	14,0
9	Тогда же	3,5	90,0	8,53	19,0	29*	»	14,0
10	»	2,0	60,0	8,73	203,0	30	6. VIII	7,80
11	29.VII	3,0	50,0	8,48	60,9	31	Тогда же	7,80
12	30.VII	6,2	70,0	8,69	179,0	31*	»	7,80
13	Тогда же	7,0	50,0	8,64	190,0	32	»	3,0
14	»	7,8	70,0	8,69	149,0	34	»	6,0
15	»	5,0	50,0	8,65	135,0	35	7.VIII	4,70
16	29.VII	7,0	45,0	8,71	168,5	36	Тогда же	2,0
16*	Тогда же	7,0	45,0	8,71	168,5	37	8.VIII	7,1
17	»	3,0	40,0	8,97	356,0	38	Тогда же	15,0
18	30.VII	6,1	50,0	8,66	132,0	38*	»	15,0
19	31.VII	6,8	45,0	8,70	142,0	39	»	13,8
20	2.VIII	5,75	60,0	8,68	147,0	40	»	5,0
21	Тогда же	6,2	60,0	8,72	187,0	41	»	14,0

* У дна.

Таблица 28 (окончание)

ионов, *мг/л*			Содержание ионов, %-экв.						Индекс по О. А. Алекину
$Mg^{··}$	$Na^{·}+K^{·}$	$\Sigma_и$	Cl'	SO''_4	$HCO'_3+CO''_3$	$Ca^{··}$	$Mg^{··}$	$Na^{·}+K^{·}$	
289,0	1388	5338	19,3	21,9	8,8	0,5	14,8	34,7	SCl^{Na}_{II}
288,0	1388	5341	19,1	22,2	8,7	0,6	14,8	34,6	То же
288,0	1382	5325	19,0	22,2	8,8	0,6	14,8	34,6	»
324,0	1338	5367	19,4	21,8	8,8	0,6	16,4	33,0	»
288,0	1295	4997	20,6	23,4	6,0	0,6	15,5	33,9	»
300,0	1423	5483	19,2	22,0	8,8	0,5	14,0	34,5	»
290,0	1403	5388	19,5	21,9	8,6	0,6	14,8	34,6	»
288,0	1416	5413	19,5	21,8	8,7	0,6	14,6	34,8	»
350,0	1224	5217	19,2	21,9	8,9	0,5	18,6	30,9	»
341,0	1566	6067	19,7	21,8	8,6	0,4	14,8	34,7	»

Таблица 29

по результатам гидрохимической съемки летом 1958 г.
на рис. 38, *II)*

Прозрачность, *см*	pH (с поправками)	Cl', *мг/л*	Номер станции	Дата отбора пробы	Глубина, *м*	Прозрачность, *см*	pH (с поправками)	Cl', *мг/л*
80,0	8,87	298,0	42	8.VIII	9,5	120,0	8,97	643,0
70,0	8,83	257,0	42*	Тогда же	9,5	120,0	—	643,0
90,0	8,73	191,0	43	9.VIII	8,5	320,0	9,05	695,0
90,0	8,73	191,0	44	Тогда же	11,90	50,0	8,98	365,0
60,0	8,71	174,0	45	»	9,0	180,0	9,00	625,0
60,0	8,72	187,0	46	5.VIII	12,0	190,0	9,04	910,0
80,0	8,72	191,0	47	12.VIII	12,5	110,0	9,01	945,0
70,0	8,85	282,0	47*	Тогда же	—	—	9,00	955,0
260,0	8,88	260,0	48	»	Н. о.	Н. о.	9,01	962,0
260,0	8,70	257,0	49	»	Н. о.	Н. о.	9,00	955,0
90,0	8,80	205,0	50	»	15,0	110,0	9,00	955,0
100,0	8,82	243,0	51	13.VIII	Н. о.	Н. о.	9,00	955,0
100,0	8,82	243,0	52	Тогда же	2,0	Дно	9,00	955,0
90,0	8,91	312,0	53	15.VIII	20,0	270,0	9,06	1040
60,0	8,90	495,0	53*	Тогда же	20,0	270,0	9,00	1040
60,0	8,90	445,0	54	»	21,0	320,0	9,06	1060
140,0	8,92	515,0	55	16.VIII	19,2	360,0	9,05	1060
170,0	8,92	555,0	56	Тогда же	16,2	330,0	9,06	1060
180,0	8,90	547,0	57	15.VIII	17,5	340,0	9,07	1060
180,0	8,90	555,0	57*	Тогда же	17,5	340,0	9,07	1060
170,0	8,93	547,0	58	»	13,0	300,0	9,07	1090
200,0	8,94	590,0	59	»	5,5	240,0	9,07	1060
110,0	8,97	590,0						

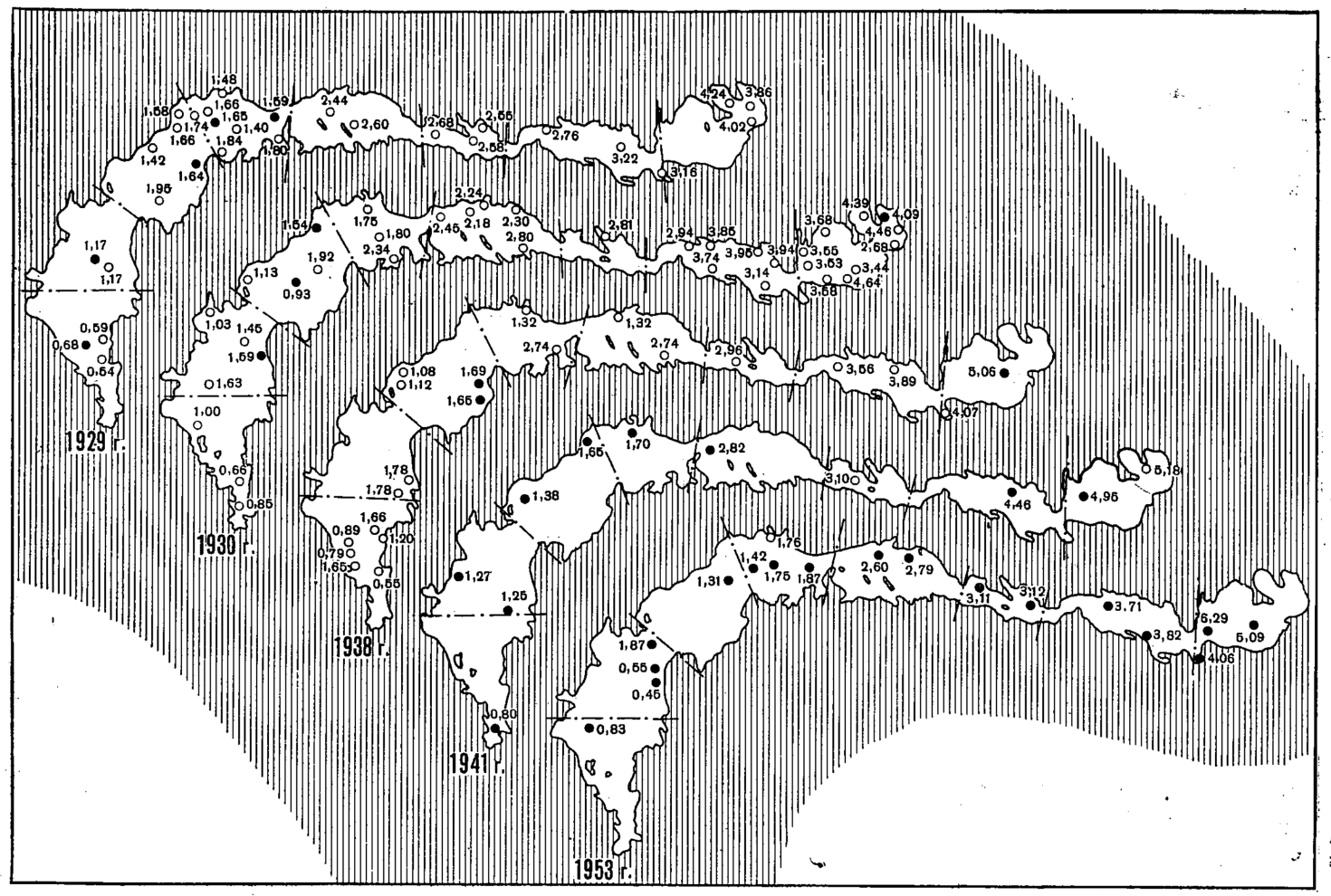


Рис. 48. Характер распределения минерализации воды в оз. Балхаш в различные годы (в *г/кг*).

Черные кружки — минерализация получена а хлоризом; светлые кружки — минерализация рассчитана по сумме анионов, а также только по Cl' или SO''_4

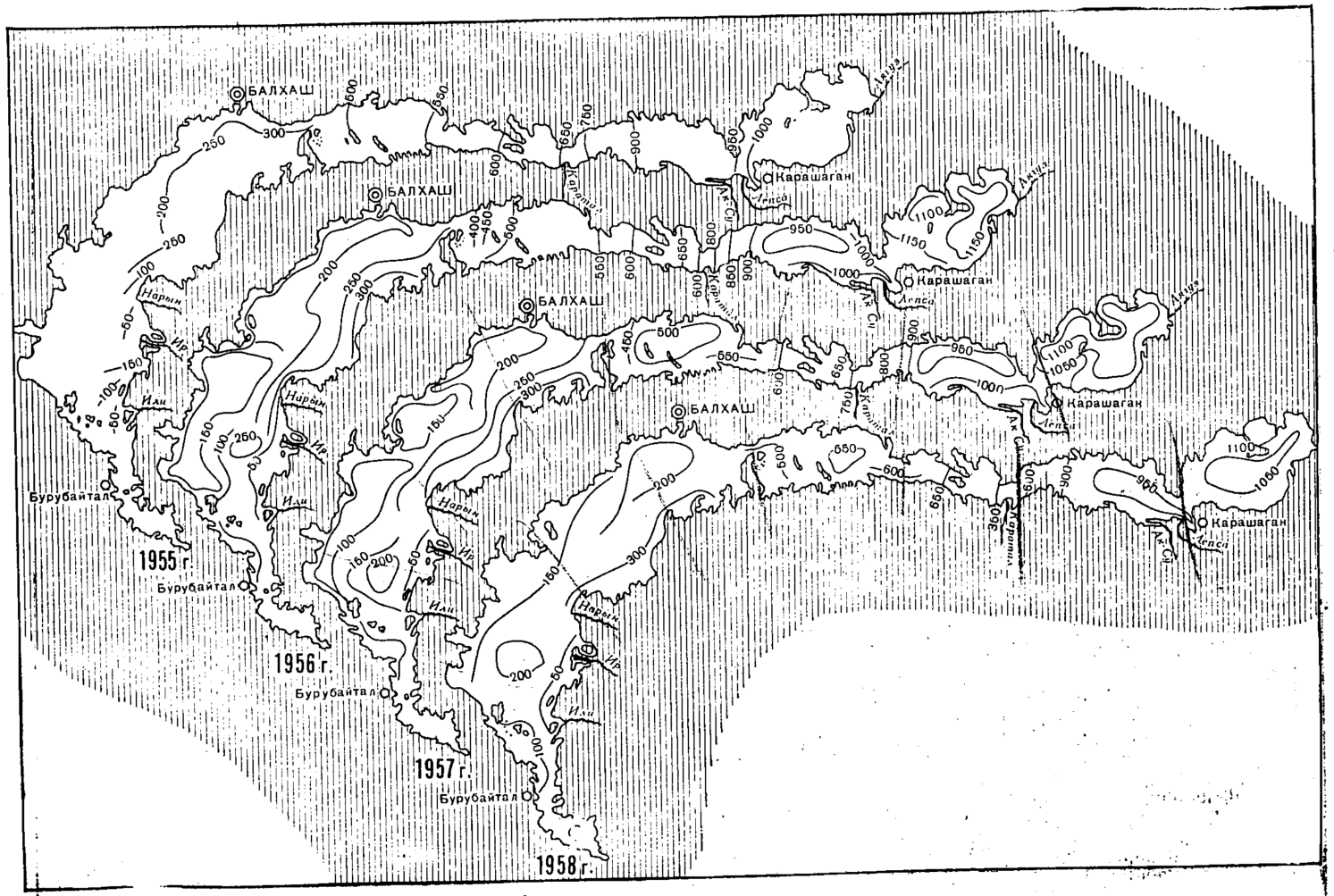


Рис. 49. Распределение содержаний Cl' в оз. Балхаш (в *мг/л*)

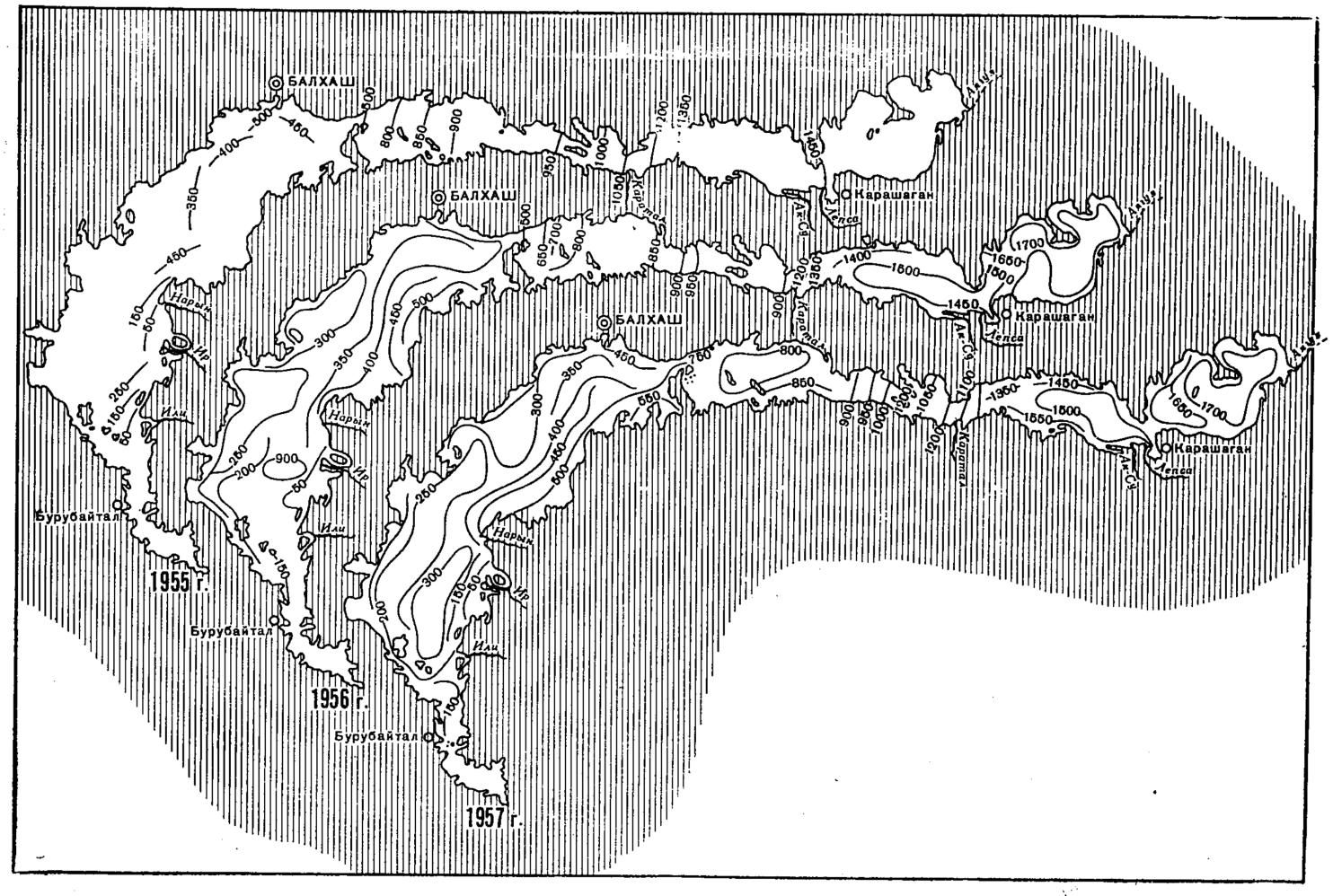


Рис. 50. Распределение содержаний SO_4'' в оз. Балхаш (в *мг/л*)

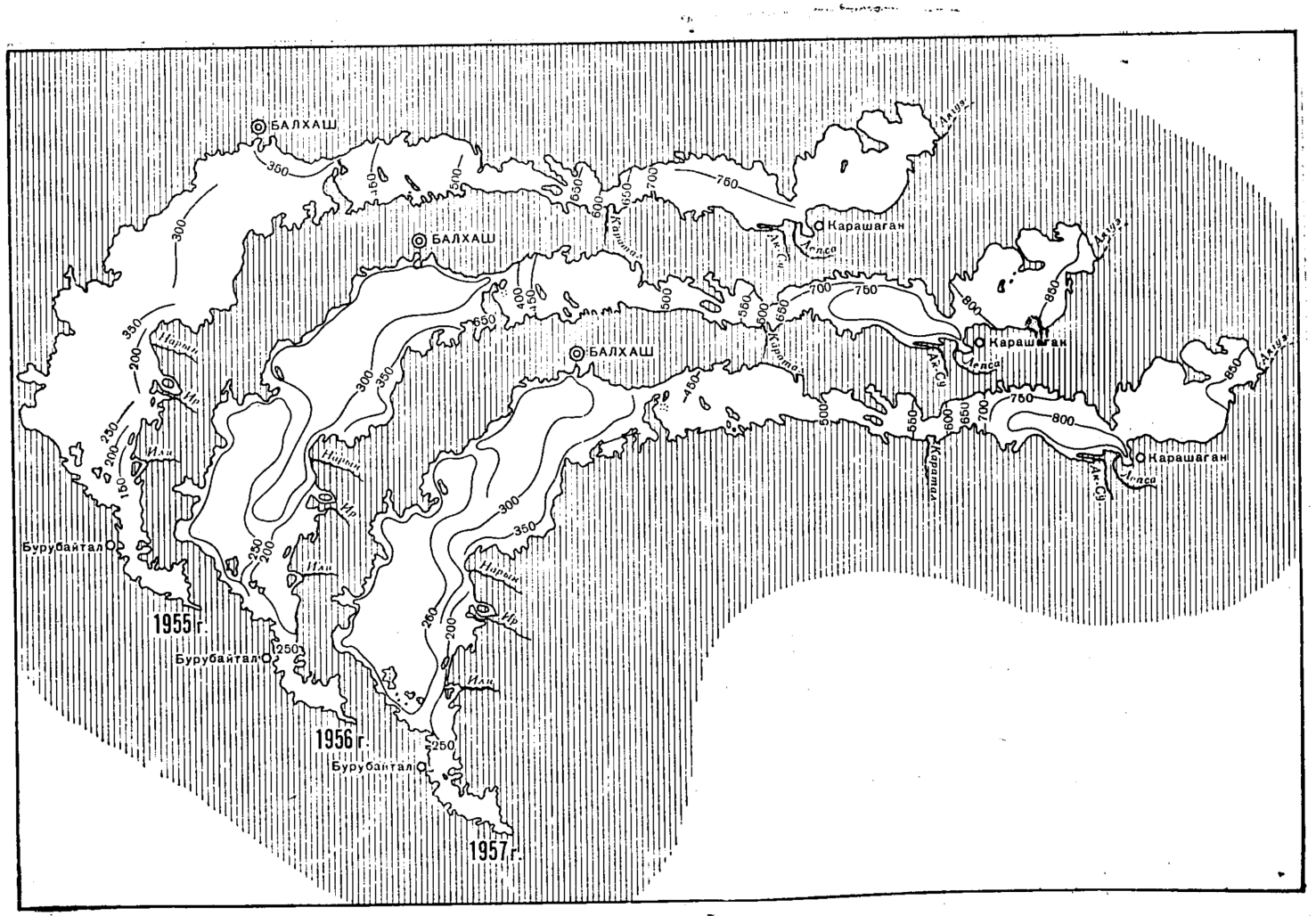


Рис. 51. Распределение содержаний $HCO_3' + CO_3''$ в оз. Балхаш (в *мг/л*)

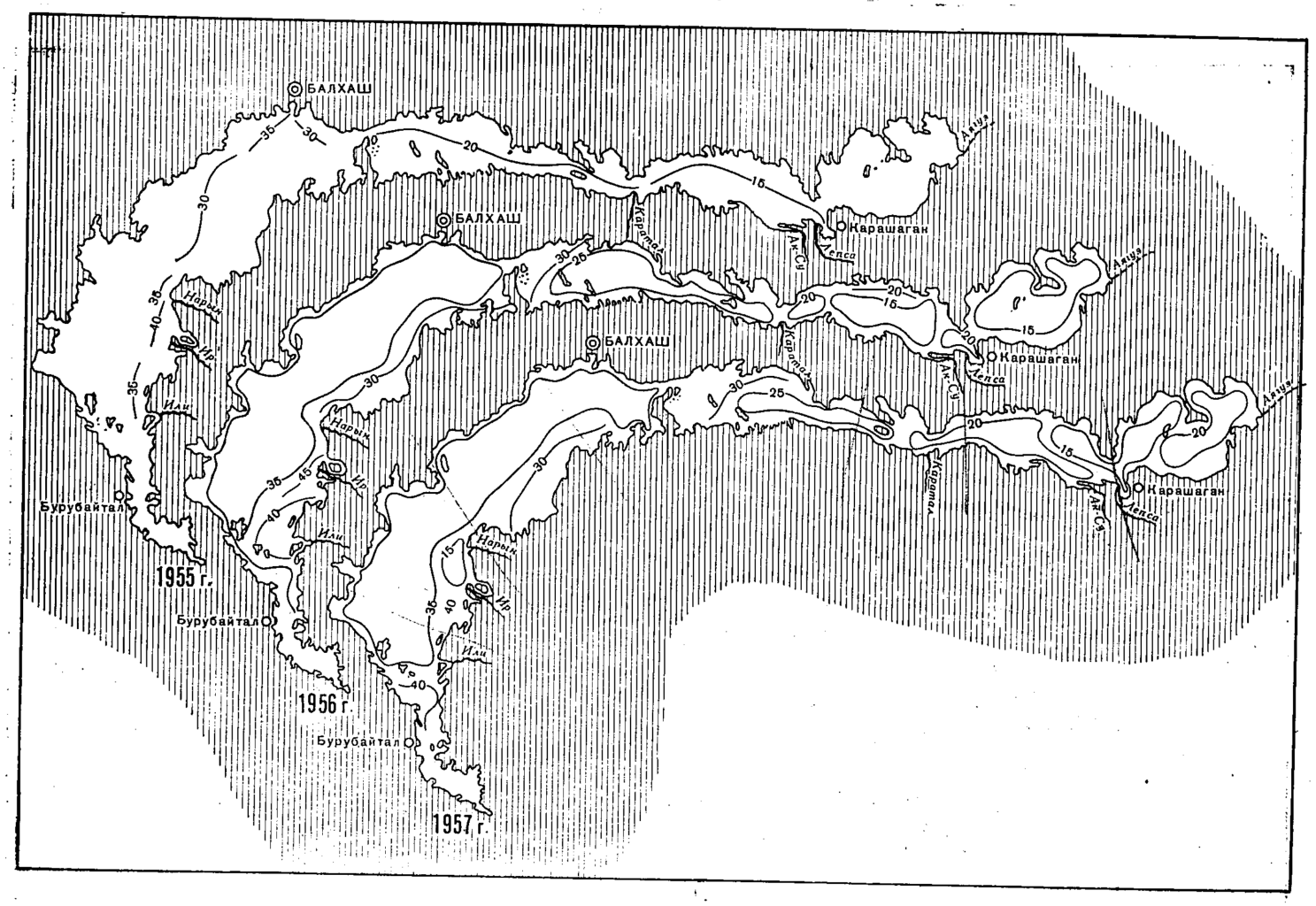


Рис. 52. Распределение содержаний $Ca^{"}$ в оз. Балхаш (в *мг/л*)

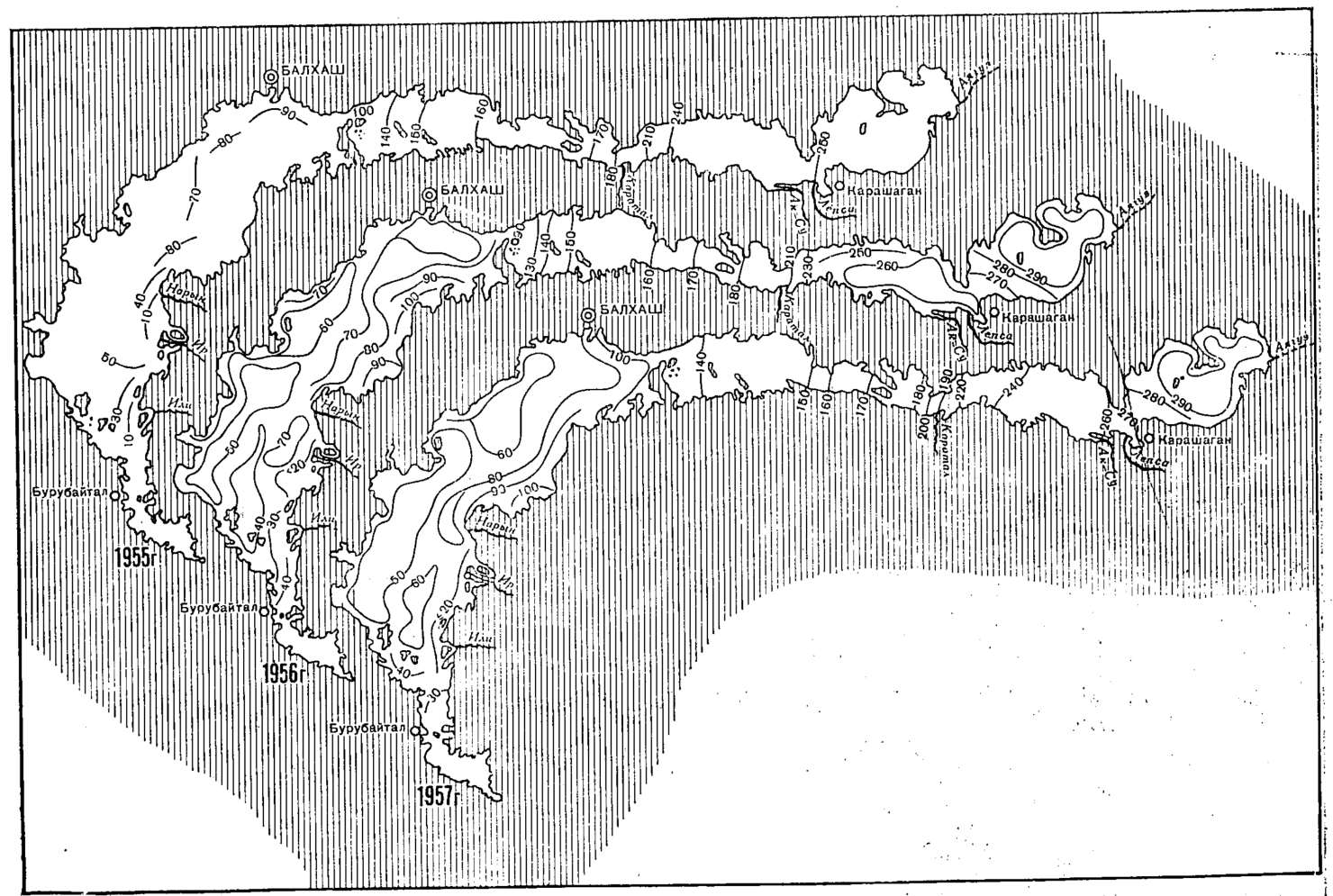


Рис. 53. Распределение содержаний $Mg^{\cdot\cdot}$ в оз. Балхаш (в *мг/л*)

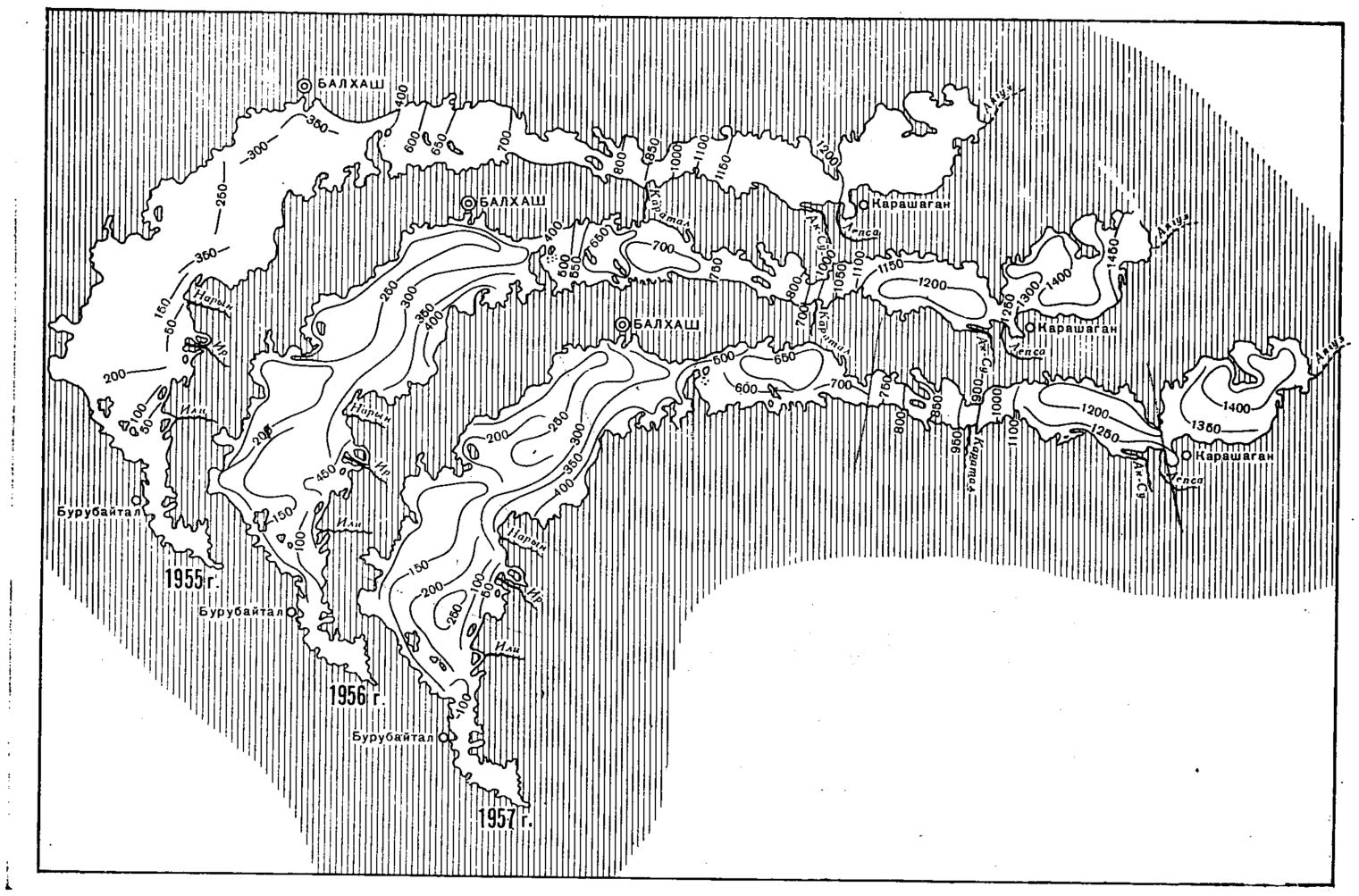


Рис. 51. Распределение содержаний Na + K в оз. Балхаш (в *мг/л*)

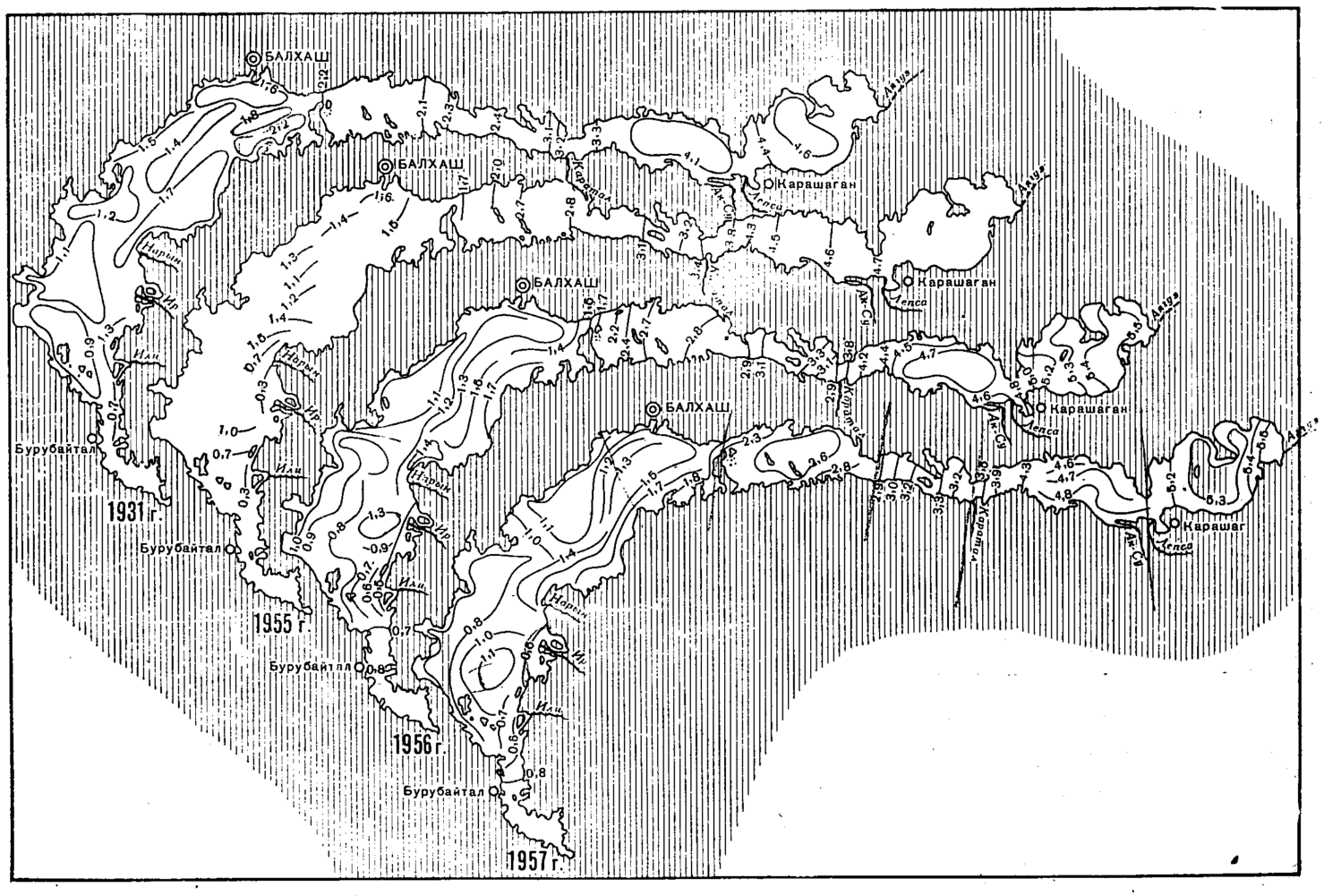


Рис. 55. Распределение минерализации в оз. Балхаш (в *г/кг*)

2. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕЛИЧИН МИНЕРАЛИЗАЦИИ ВОДЫ

Как следует из прилагаемых карт (рис. 48 и 55), общий характер распределения минерализации во все рассмотренные периоды оставался одним и тем же — в направлении от устья Или к восточной оконечности озера минерализация непрерывно возрастала. Одновременно с этим минерализация воды у восточного и юго-восточного побережий западной части озера всегда была выше, чем у западного и северо-западного побережий.

Наименее минерализованной частью озера (0,5 *г/л* и меньше) является узкая полоса, прилегающая к устью Или (рис. 55, 1956—1957 гг.). С удалением от устья к западному берегу озера минерализация воды постепенно возрастает до 0,8—1,0 *г/л* и остается такой в широкой полосе, расположенной вдоль западного побережья, вплоть до сужения озера у мыса Караагаш. Здесь минерализация повышается до 1,0—1,1 *г/кг* и в этих пределах сохраняется в полосе, идущей вдоль северо-западного побережья и постепенно суживающейся в северо-восточном направлении. Далее, у п-ова Шубар-Тюбе и заливов Тарангалык и Бертыс минерализация составляет уже 1,2—1,3 *г/кг*; перед проливом Узунарал — 1,4—1,5 *г/кг*; у острова Алгазы — 3,1—3,2 *г/кг* и у крайнего восточного берега она достигает 5,5 *г/кг*. Наряду с увеличением минерализации воды вдоль всего озера, в Западном Балхаше она растет также и в поперечном направлении—от 1,0—1,1 *г/кг* у северо-западного побережья до 1,7—1,8 *г/кг* у юго-восточного.

Такое распределение минерализации объясняется прежде всего распресняющим действием Или и проточностью Западного Балхаша. Выше было показано, что в результате превышения притока Или в западную часть озера над притоком джунгарских рек в восточную его часть ежегодно из западной части озера в восточную поступает 2,26 *км*³ воды. Это создает в западной части проточность, которая наряду с пресноводным характером илийской воды обусловливает сравнительно низкую минерализацию западной части озера по сравнению с восточной.

Таким образом, если Балхашская впадина является бессточной по отношению ко всему бассейну, то о Восточном Балхаше следует сказать, что он бессточен по отношению к озеру.

Характер распределения минерализации в Западном Балхаше объясняется направлением течения в этой части озера за счет притока той же илийской воды. Выше отмечалось, что это течение, зарождаясь в устье Или, направляется к противоположному берегу озера, затем вдоль него следует до пролива Узунарал, там поворачивает на юг и постепенно затухает у юго-восточных берегов. Направление изменения минерализации в Западном Балхаше полностью отвечает указанному направлению течения, тем самым подтверждая его.

При рассмотрении карт минерализации мы видели, что относительное постоянство минерализации воды в широкой полосе, расположенной вдоль западного и северо-западного побережий озера, нарушается у мыса Караагаш. Здесь минерализация хотя и не намного, но резко увеличивается. Это находится в связи с тем, что на своем пути течение встречает препятствие в виде мыса. Огибая его, оно поворачивает на восток, частично дробится на струи и вихри и при этом увлекает за собой некоторое количество более соленой воды, находящейся у юго-восточного берега, который в данном месте близко подходит к северо-западному. Расположение изогалин в указанном пункте наглядно это иллюстрирует (карта 1956 г.).

Второй причиной, объясняющей наблюдаемую неравномерность степени минерализации различных участков оз. Балхаш, является испарение. Конечным пунктом транзита илийской воды служит Бурлю-Тюбинский плёс в Восточном Балхаше. Поскольку повышение минерализации воды за счет испарения при прочих равных условиях находится в прямой зависимости от времени, в течение которого вода подвергается испарению, а в данном

случае, следовательно, и от длины пути, совершаемого водой, то роль испарения в увеличении минерализации воды озера в указанном направлении вполне очевидна. Степень увеличения минерализации воды за счет испарения находится также в связи с глубиной водоема. Известно, что при одной и той же величине испарения эффект от него на мелководьях будет более значительный, чем на глубоких местах.

При сравнении батиметрической карты западной части озера с картой минерализации той же части прежде всего обращает на себя внимание то, что возрастание минерализации воды от северо-западного побережья к юго-восточному совпадает с уменьшением глубин в том же направлении. Широкая полоса озера, прилегающая к юго-восточному побережью, наиболее мелководна во всем Западном Балхаше, она же наиболее минерализована.

Таким образом, основными факторами, определяющими общий характер распределения минерализации по акватории оз. Балхаш и его относительное постоянство во времени, являются распресняющее стоковое течение Или и испарение [1].

На распределение минерализации воды в озере оказывают также влияние сгонные и нагонные течения, возникающие под влиянием ветров. Напомним, что направления господствующих ветров, особенно в западной части озера, совпадают с продольной осью озера (см. рис. 23). Наиболее часты северо-восточные ветры. Их повторяемость, по данным метеорологической станции, в г. Балхаше достигает 42%. Наиболее сильные ветры, со скоростью 15 *м/сек*, дуют с юго-запада. При северо-восточных ветрах происходит нагон воды из восточной части озера в западную, при юго-западных, наоборот,— из западной в восточную. В результате нагона из Восточного Балхаша в Западный должно быть засоление последней в районе, прилегающем к проливу Узунарал, что мы в действительности и наблюдаем. Смещение максимальных значений минерализации к юго-восточному берегу озера отчасти объясняется оттеснением поступающей с востока воды рассмотренным выше стоковым течением. Это подтверждается расположением изогалин в данном районе, в частности, расположением изогалины в 1,1 *г/кг*. Водные массы, заключенные между этой изогалиной и изогалиной максимальной минерализации — 1,7÷1,8 *г/кг*, имеют промежуточную минерализацию, возрастающую в направлении к юго-восточному берегу. Их, очевидно, следует рассматривать как смеси водных масс с востока и запада, в которых доля воды, поступающей с востока, постепенно увеличивается. Частая повторяемость северо-восточных ветров определяет относительное постоянство характера распределения минерализации в этом районе.

При юго-западных ветрах зона распространения маломинерализованных вод продвигается в направлении от устья Или к северо-востоку и происходит нагон воды из Западного в Восточный Балхаш. Поскольку юго-западные ветры хотя и сильные, но непродолжительные, то нагоны, обусловленные ими, носят временный характер и на общий характер распределения минерализации в озере они оказывают влияние значительно меньшее, чем нагоны противоположного направления.

В юго-западной части оз. Балхаш происходит наиболее интенсивное смешение озерных вод с пресной илийской водой. Поэтому здесь наблюдается наибольшая неоднородность минерализации воды. Более детальное представление о ней можно составить на основании данных, полученных Г. Р. Юнусовым. Летом 1941 г. и зимой 1942 г. им было выполнено несколько десятков гидрологических разрезов в юго-западной части озера

---

[1] А. Н. Соколовский (1941) неравномерную засоленность оз. Балхаш ошибочно объясняет тем, что в силу меньшей глубины Западного Балхаша ложе его не имеет контакта с солеными подземными водами, связанными с древним соленакоплением, восточная же часть, занимающая более глубокую впадину, этими водами засоляется.

(рис. 57) и на основании полученных результатов составлены карты распределения некоторых ионов в этой части озера. Одна из них, характеризующая распределение ионов хлора в безледный период, изображена на рис. 58. На большинстве разрезов пробы отбирались с интервалами не более двух километров, и поэтому характер распределения ионов хлора здесь представлен более подробно, чем у нас. Как следует из упомянутого рисунка, неоднородность состава воды хорошо выражена даже на расстоянии 1—2 *км*, причем не только вблизи устьев рек, но и в открытом озере, на значительном расстоянии от них.

На фоне общих закономерностей в распределении минерализации воды в отдельных случаях наблюдаются свои особенности. Например, выделяется небольшой район, расположенный в Западном Балхаше между устьями рек Или и Ир. Здесь, по сравнению с прилегающими частями озера, минерализация заметно повышена. Объясняется это, во-первых, тем, что в данном районе замедлен водообмен, так как распресняющее течение, создавае-

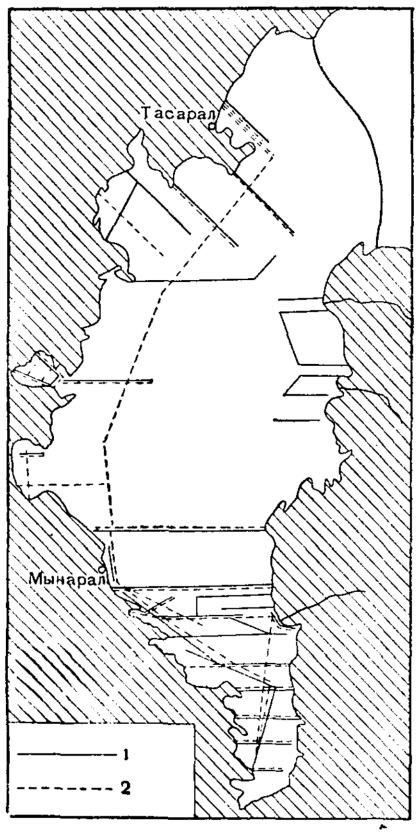


Рис. 57. Схема расположения гидрологических разрезов, выполненных в юго-западной части оз. Балхаш за период 1941—1942 гг. (по Г. Р. Юнусову).

1 — летние гидрологические разрезы (1941 г.); *2* — зимние и весенние разрезы (1942 г.)

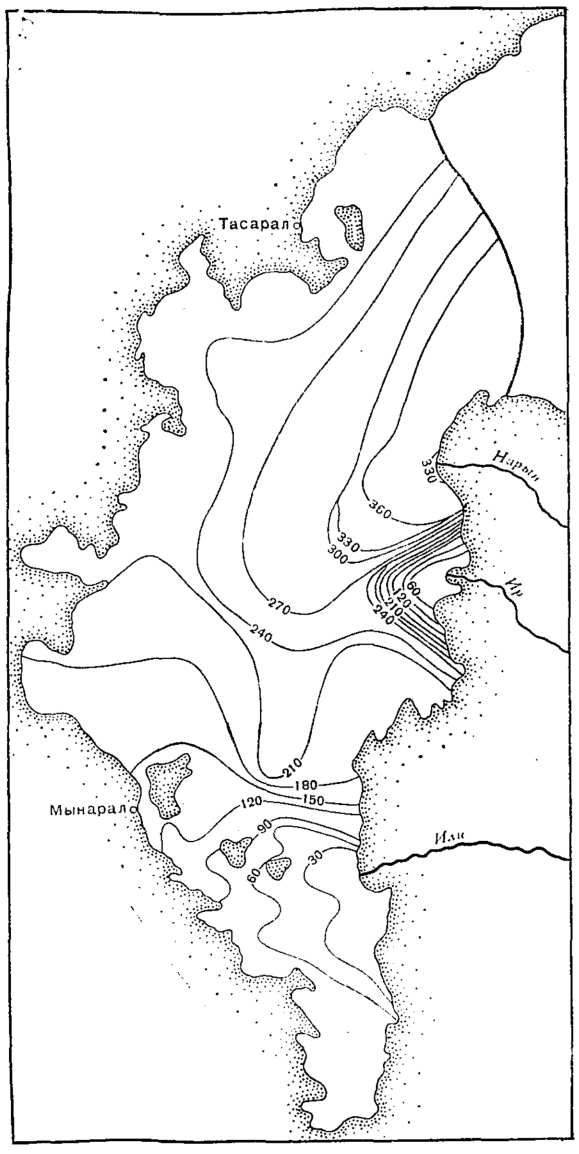


Рис. 58. Распределение содержаний Cl′ (в *мг/л*) в юго-западной части оз. Балхаш при отсутствии ледового покрова (по Г. Р. Юнусову).

Таблица 30

Сравнительная характеристика минерализации воды некоторых заливов оз. Балхаш и прилегающих к ним участков озера

Залив	Дата отбора проб	$\Sigma_и$, *г/кг* $\left(\frac{\text{залив}}{\text{озеро}}\right)$
Кашкантенгиз	2.VII 1956 г.	$\frac{1,06}{0,98}$
Сарышаган (северное ответвление)	5.VII 1956 г.	$\frac{1,23}{0,90}$
То же	4.VII 1957 г.	$\frac{1,16}{0,83}$
Бертыс	VII — IX 1931 г.	$\frac{1,76*}{1,60}$
То же	29.VII 1955 г.	$\frac{1,73}{1,62}$
»	13.VII 1956 г.	$\frac{1,39}{1,22}$
»	9.VII 1957 г.	$\frac{1,55}{1,23}$
Малый Сарышаган	VII — IX 1931 г.	$\frac{1,72**}{1,60}$
То же	14.VII 1956 г.	$\frac{1,20}{1,18}$
»	9.VII 1957 г.	$\frac{1,61}{1,30}$

* Среднее по 40 равномерно расположенным станциям (бóльшая часть значений минерализации рассчитана по хлору).

** Среднее по 35 равномерно расположенным станциям (бóльшая часть значений минерализации рассчитана по хлору).

мое Или, проходит левее его, а распреснение за счет Ира ограничивается небольшим предустьевым участком, расположенным правее; во-вторых, этот район мелководен, и, следовательно, здесь более ощутимо испарение. Некоторые отклонения от общих закономерностей наблюдаются также вблизи устьев рек, впадающих в Восточный Балхаш. Здесь, на участках озера, прилегающих к устьям рек Каратал, Ак-Су и Лепса, минерализация несколько снижается. Однако, ввиду незначительного поступления воды из перечисленных рек, районы опреснения ограничиваются у Ак-Су и Лепсы 1—2 *км* и только у Каратала — на 5—6 *км* в глубь озера.

Минерализация воды в многочисленных заливах озера часто бывает повышена по сравнению с открытым озером. В табл. 30 приведены некоторые характерные примеры.

Объясняется это повышенной ролью испарения при затрудненном водообмене в заливах. Значимость этих факторов у различных заливов различна. Залив Бертыс, например, в центральной части имеет глубину до 14 *м*. С озером он соединяется нешироким проходом, имеющим глубину всего лишь 2—3 *м*. Повышенной минерализации здесь способствует затрудненный водообмен. Напротив, в мелководном заливе Малый Сарышаган, изолированном от озера значительно меньше, чем залив Бертыс, повышенную минерализацию не устраняет даже хороший водообмен. Вода в глубоководных и хорошо сообщающихся с озером заливах, какими являются заливы Каракамыс, М. Сарышаган (в центральной части), Балыктыколь и некоторые другие, почти не отличаются от воды открытого озера.

Химический состав проб воды

Место отбора пробы	Дата отбора пробы	pH	Содержание ионов, *г/кг*		
			Cl'	SO_4''	$HCO_3' + CO_3''$
Северное колено западной части	12.IX 1932 г.	8,3	1,20	0,89	0,20
Средняя часть	13.IX 1932 г.	9,4	5,87	3,24	0,45
Восточная часть	15.IX 1932 г.	9,6	6,95	5,08	0,74

Особое место занимает залив Ала-Куль, являющийся продолжением южной оконечности озера. От других заливов он отличается наибольшими размерами (площадь — 372 *км*^{2}, объем — 1,1 *км*^{3}), мелководностью (средняя глубина 3 *м*) и, что самое главное, почти полной изолированностью от оз. Балхаш. Последнее дает даже некоторым исследователям основание считать его самостоятельным озером. Двумя последними особенностями Ала-куля объясняется то, что вода в нем имеет максимально наблюдаемую в озере минерализацию — 14,8 *г/кг*. Залив находится в начальной стадии перехода в соляное озеро. Из цифр, приведенных в табл. 31, следует, что с удалением от устья в глубь залива минерализация быстро возрастает, т. е. здесь в миниатюре повторяется то же самое, что наблюдается и в озере в целом.

В несколько особых условиях находится узкая мелководная полоса, непосредственно прилегающая к побережью. Эта полоса находится под влиянием трех факторов, обусловливающих повышенную минерализацию воды в ней по сравнению с водой, более удаленной от побережья. Во-первых, здесь, несомненно, играет роль испарение, минерализующее действие которого на воду особенно велико на мелководье. Во-вторых, именно здесь должно больше всего сказываться влияние притока в озеро минерализованных подземных вод. В-третьих, как уже отмечалось выше, в результате колебания уровня оз. Балхаш на его берегах, а также в многочисленных озерах и понижениях откладываются соли. При повышении уровня озера часть этих солей растворяется, и, таким образом, возвращаясь в озеро, прежде всего повышает минерализацию воды в прибрежной полосе. При сокращении уровня прибрежная полоса также находится в наиболее неблагоприятных условиях ввиду близости быстро минерализующихся отшнуровавшихся понижений. Иначе говоря, прибрежная полоса озера постоянно находится под влиянием засоленного берега, и поэтому вода здесь всегда более минерализована, чем вдалеке от него.

Прибрежная полоса, омывающая низменный и изрезанный южный берег озера, подвержена влиянию перечисленных факторов, повышающих минерализацию, значительно больше, чем полоса, омывающая северный берег.

Как показали наши наблюдения летом 1957 г., минерализация воды в южной прибрежной полосе (на глубинах 0,3—0,5 *м*) на участке от устья протоки Нарын до залива Карашаган, по сравнению с минерализацией воды в 2—3 *км* от берега, была повышена на 6—45%, а в среднем— на 22% [1].

Многообразие рассмотренных факторов, влияющих на распределение минерализации по акватории, нередко обусловливает ее неоднородность, даже в пределах нескольких десятков метров. На рис. 59 для примера показаны величины минерализации воды озера у мыса Ак-Тумсук (район станции № 80, рис. 38) в пунктах, отстоящих друг от друга на расстоянии 40 *м* (по данным Гипроцветмета). Нетрудно видеть, что даже в этом интервале различия в минерализации воды составляют 3—5% (а в одном случае да-

[1] Среднее по семи створам.

Таблица 31

залива Ала-Куль (по Л. Д. Штурм)

	Содержание ионов, %-экв.									
	$Ca^{\cdot\cdot}$	$Mg^{\cdot\cdot}$	$Na^{\cdot}+K^{\cdot}$	$\Sigma_и$	Cl'	SO_4''	$HCO_3'+CO_3''$	$Ca^{\cdot\cdot}$	$Mg^{\cdot\cdot}$	$Na^{\cdot}+K^{\cdot}$
	—	—	—	—	30,4	16,6	3,0	—	—	—
	0,06	0,73	4,46	14,81	34,5	14,0	1,5	0,6	12,3	37,1
	—	—	—	—	31,1	16,9	2,0	—	—	—

же 11%). Неоднократно, в открытом озере, не говоря уже о предустьевых и прибрежных участках, нам приходилось наблюдать разнородные даже по внешнему виду (по цвету и прозрачности) массы воды, соприкасающиеся между собой. Например, 6.VIII 1957 г. при выходе из залива Бертыс наблюдалась отчетливая граница, разделяющая разнородные по прозрачности и цвету массы воды. В 50 *м* севернее этой границы прозрачность воды ока-

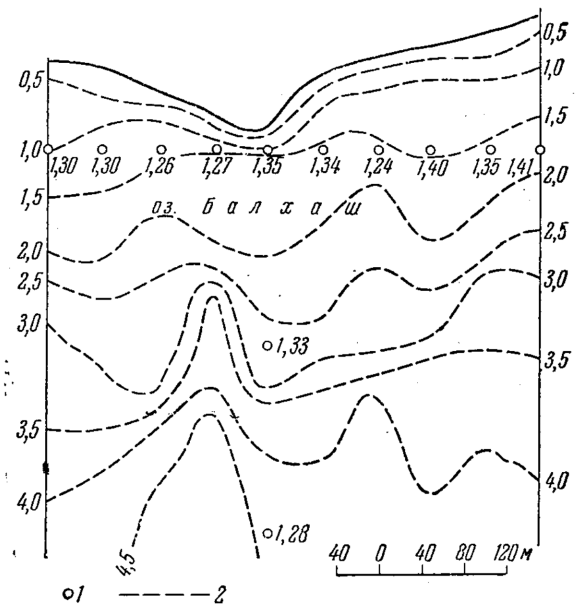


Рис. 59. Минерализация воды оз. Балхаш (в *г/кг*) у мыса Ак-Тумсук, 29. VII 1951 г. (по данным Гипроцветмета).

1 — пункты отбора проб; *2* — изобаты (через 0,5 *м*)

залась равной 120 *см*, в 50 *м* южнее ее она равнялась 60 *см*. Концентрация аонов хлора соответственно составляла 254 и 207 *мг/л*. Однако эта микрозональность не нарушает общих закономерностей распределения минерализации в озере.

В отличие от ярко выраженной горизонтальной стратификации минерализации воды вертикальная стратификация на озере почти отсутствует. Как показали наши летние наблюдения в 1956 и 1957 гг. (см. табл. 27 и 28), в подавляющем большинстве случаев различия величин минерализации воды в поверхностных и придонных слоях, даже в наиболее глубоководной восточной части водоема, колебались в интервале 0,5—2,0%, т. е. почти не выходили за пределы погрешности анализа. Явные различия были зафиксированы только в двух случаях. В 1956 г. на станции № 30 минерализация воды у дна была на 2,8%, а в 1957 г. на станции № 51 — на 7,0% выше, чем

у поверхности. Обе станции располагаются в Западном Балхаше в области распресняющего течения Или, сравнительно недалеко от устья (см. рис. 38). Возможно, что наблюдаемая здесь вертикальная стратификация объясняется распространением пресной илийской воды по поверхности.

Таким образом, случаи вертикальной стратификации на озере довольно редки. Они, по-видимому, носят временный характер и могут быть следствием либо гидродинамических и термических процессов, либо результатом химических процессов осадкообразования. Как правило, в силу мелководности водоема и постоянного волнения на озере, достигающего дна даже в наиболее глубоких восточных плесах, вертикальная стратификация на озере в безледный период отсутствует. Поэтому можно считать, что цифры, приведенные на рис. 48 и 55, характеризуют минерализацию воды во всей ее толще. Сказать что-либо относительно вертикальной стратификации в зимний период затруднительно, так как для этого не располагаем почти никакими сведениями.

3. ИОННЫЙ СОСТАВ ВОДЫ, ЕГО МЕТАМОРФИЗАЦИЯ И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ В ОЗЕРЕ

Между минерализацией и ионным составом воды озера существует тесная взаимосвязь, изображенная на рис. 56. Для его построения использованы данные химического анализа всех проб воды, отобранных из озера при гидрохимических съемках в 1956 и 1957 гг. Легко видеть, что с ростом общей минерализации гидрокарбонатная вода группы кальция сменяется сульфатно-хлоридной водой группы натрия.

Характерной особенностью оз. Балхаш, на которую впервые обратил внимание В. Д. Коншин (1945), является ярко выраженная метаморфизация ионного состава воды. Она проявляется в том, что при общем увеличении минерализации воды озера в восточном направлении концентрация отдельных ионов меняется по-разному. Это положение иллюстрируется табл. 32, в которой для каждого из восьми районов озера подсчитаны соответствующие средние величины. Таким образом, характер изменения содержаний отдельных ионов различен. Содержание сульфатных ионов и ионов щелочных металлов увеличивается почти параллельно содержанию наиболее индифферентных в отношении условий осаждения ионов хлора (увеличение в 8,3—9,0 раз), рост магния замедляется (увеличение в 6,6 раза), еще больше замедляется рост суммы карбонатов (увеличение лишь в 3,5 раза) и, наконец, содержание кальция непрерывно падает. Более наглядно это видно на рис. 60, где на основании наших данных (за 1956 г.) и результатов наблюдений В. Д. Коншина показано изменение отношений содержания главнейших ионов к содержанию ионов хлора в направлении от западных районов озера к восточным. Характер изменения отношений остался тем же, что и в 1941 г. Коэффициенты $\frac{Na^{\cdot}+K^{\cdot}}{Cl'}$ и $\frac{SO_4''}{Cl'}$ более или менее постоянны, коэффициенты $\frac{HCO_3'+CO_3''}{Cl'}$, $\frac{Ca^{\cdot\cdot}}{Cl'}$ и $\frac{Mg^{\cdot\cdot}}{Cl'}$ падают. Это свидетельствует о том, что кальций и магний в виде углекислых солей выделяются из воды в осадок. В связи с этим очень показательной является аналогия в изменении концентраций суммы карбонатов, с одной стороны, и суммы кальция и магния — с другой (табл. 33). Если бы карбонаты не участвовали в процессе осаждения, то их содержание, как и содержание ионов хлора, должно было бы в Бурлю-Тюбинском плёсе возрасти примерно в десять раз и составить около 38,0 *мг-экв/кг*. Наблюдаемое же содержание карбонатов в этом плёсе составляет 13,72 *мг-экв/кг* или на 24,3 *мг-экв/кг* меньше, чем наблюдалось бы в указанном случае. Аналогичный расчет для суммы кальция и магния дает 25,9 *мг-экв/кг*, т. е. цифру очень близкую.

Таблица 32

Средний химический состав воды оз. Балхаш в 1956—1957 гг.
(по районам)

Номер района	Содержание ионов, *мг/кг*						
	Cl'	SO''_3	$HCO'_3 + CO''_3$	$Ca^{\cdot\cdot}$	$Mg^{\cdot\cdot}$	$Na^{\cdot} + K^{\cdot}$	$\Sigma_и$
			1956 г.				
1	109	183	232	37	38	143	**742**
2	168	276	263	35	55	217	**1014**
3	226	378	304	34	73	290	**1305**
4	249	407	319	34	80	313	**1402**
5	500	804	476	26	148	635	**2589**
6	628	990	544	23	176	790	**3151**
7	950	1440	738	18	250	1180	**4576**
8	1090	1650	837	14	281	1380	**5252**
Увеличение (в число раз)	10	9	3,6	0,4	7,4	9,7	**7,1**
			1957 г.				
1	120	220	239	37	43	160	**819**
2	150	250	253	29	55	180	**917**
3	230	360	298	32	71	270	**1261**
4	270	450	339	33	87	340	**1519**
5	490	790	483	28	148	620	**2559**
6	640	1020	568	24	180	820	**3252**
7	930	1440	751	18	253	1170	**4562**
8	1080	1670	825	18	256	1401	**5250**
Увеличение (в число раз)	9	7,6	3,4	0,5	5,9	8,3	**6,3**
Среднее увеличение за 1956—1957 гг. (в число раз)	9,5	8,3	3,5	0,4	6,6	9	**6,7**

Если сопоставить ионный состав воды озера с тем же составом, но за вычетом содержащихся в нем карбонатов, с эквивалентным количеством кальция и магния (см. ниже табл. 33), то можно видеть, что абсолютное суммарное количество карбонатов кальция и магния растет от 7,60 на западе и до 27,4 *мг-экв/л*—на востоке (увеличение в 3,6 раза). Однако их относительное содержание в общей концентрации солей в том же направлении падает больше чем вдвое. Иными словами, в направлении с запада на восток балхашская вода обедняется по содержанию карбонатных соединений кальция и магния в результате их осаждения [1].

Метаморфизация состава воды в озере находит свое отражение и в распределении концентраций отдельных ионов по акватории (см. рис. 49—54). Общий характер их распределения, кроме кальция, остается таким же, как и у минерализации. Концентрации ионов растут в тех же двух

[1] Д. Г. Сапожников (1951) в результате наблюдений в районе бухты Бурлю-Тюбе в период с августа 1945 по май 1946 г. отмечает, что в зимний период в воде озера содержание бикарбонатов возрастало, а содержание монокарбонатов падало. Это явление, связанное со сдвигом карбонатного равновесия в результате накопления углекислоты, вполне обычно.

направлениях — вдоль озера с запада на восток и в Западном Балхаше — поперек озера с северо-запада на юго-восток. Однако градиенты концентраций различны. У суммы карбонатов и ионов магния они меньше, чем у хлоридов, сульфатов и ионов щелочных металлов.

Распределение в озере ионов кальция, в отличие от распределения минерализации и других ионов, носит диаметрально противоположный характер. Сопоставление рис. 55 и 52 показывает, что в направлениях роста минерализации воды содержание в ней кальция падает. Это наблюдается как по продольной оси озера, так и в поперечном направлении Западного Балхаша.

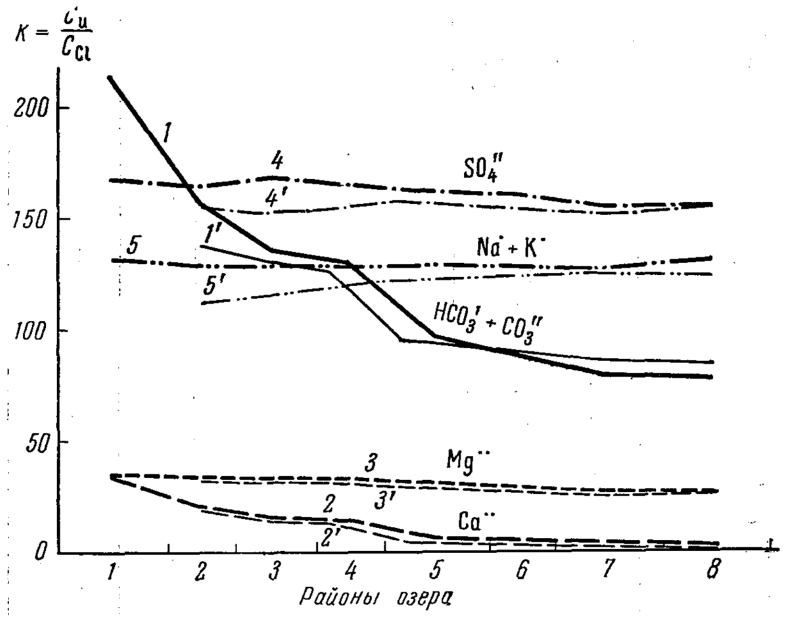


Рис. 60. Отношения содержаний главнейших ионов к содержанию ионов хлора по длине озера (*1*, *2*, *3*, *4*, *5* — данные М. Н. Тарасова; *1'*, *2'*, *3'*, *4'*, *5'* — данные В. Л. Коншина)

Метаморфизация воды озера не ограничивается только осаждением карбонатных соединений.

Если проследить, как меняется в озере отношение $\frac{Cl'}{SO_4''}$ (см. табл. 33), то можно видеть, что с запада на восток оно растет (от 0,80 до 0,90), т. е. наблюдается некоторая потеря сульфатов и рост хлоридов.

Причин, объясняющих это явление, может быть несколько. Во-первых, вполне возможно биохимическое восстановление сульфатов в условиях южного берега, кое-где сплошь заросшего тростником. Во-вторых, грунтовые воды, питающие оз. Балхаш, содержат несколько большие количества хлоридов и меньшие сульфатов (см. табл. 22, 23). В-третьих, очевидно, происходит потеря сульфатов эоловым путем в виде сухих солей. Поскольку вода озера имеет в целом поступательное движение с запада на восток, то естественно, что и результаты перечисленных процессов на востоке должны быть выражены более ярко, чем на западе. Показательным в этом отношении может быть также сравнение коэффициента $\frac{Cl'}{SO_4''}$, наблюдаемого у Или с таковым в западной части озера. У реки Или этот коэффициент составляет 0,45, в западной части озера— 0,80. Меньшая сульфатность и большая хлоридность озера по сравнению с главным источником питания — р. Или подтверждает наличие названных процессов. Однако из-за больших размеров

Таблица 33

Средний ионный состав воды оз. Балхаш в его естественном состоянии и с вычетом карбонатов кальция и магния
(лето 1956 г.)

Номер района	Содержание ионов, *мг-экв/л**							Карбонаты и связанные с ними кальций и магний		Содержание ионов, %-экв*						Cl'/SO''_4
	Cl'	SO''_4	$HCO'_3+CO''_3$	$Ca^{\cdot\cdot}$	$Mg^{\cdot\cdot}$	$Na^{\cdot}+K^{\cdot}$	$\Sigma_н$	*мг-экв/л*	% от $\Sigma_н$	Cl'	SO''_4	$HCO'_3+CO''_3$	$Ca^{\cdot\cdot}$	$Mg^{\cdot\cdot}$	$Na^{\cdot}+K^{\cdot}$	
1	3,08	3,81	3,80	1,85	3,12	5,72	21,38	7,60	35,6	14,4	17,8	17,8	8,7	14,6	26,7	
	3,08	3,81	—	—	1,17	5,72	13,78			22,3	27,7	—	—	8,6	41,4	0,80
2	4,74	5,75	4,31	1,74	4,52	8,54	29,60	8,62	29,2	16,0	19,5	14,5	5,9	15,3	28,8	
	4,74	5,75	—	—	1,95	8,54	20,98			22,6	27,4	—	—	9,5	40,5	0,83
3	6,38	7,87	4,98	1,70	6,00	11,53	38,46	9,96	25,6	16,6	20,4	13,0	4,4	15,5	30,1	
	6,38	7,87	—	—	2,22	11,53	28,50			22,4	27,6	—	—	9,6	40,4	0,81
4	7,03	8,48	5,23	1,70	6,58	12,46	41,48	10,46	25,3	16,9	20,5	12,6	4,1	15,8	30,1	
	7,03	8,48	—	—	3,05	12,46	31,02			22,7	27,3	—	—	9,6	40,4	0,84
5	14,11	16,75	7,80	1,25	12,17	25,24	77,32	15,60	20,2	18,2	21,6	10,2	1,6	15,8	32,6	
	14,11	16,75	—	—	5,62	25,24	61,72			22,8	27,2	—	—	9,1	40,9	0,84
6	17,72	20,62	8,92	1,15	14,47	31,64	94,52	17,84	18,8	18,7	21,8	9,4	1,2	15,3	33,5	
	17,72	20,62	—	—	6,70	31,64	76,68			23,2	26,8	—	—	8,8	41,2	0,87
7	26,81	30,00	12,10	0,90	20,56	47,45	137,82	24,20	17,5	19,4	21,8	8,8	0,6	14,8	34,6	
	26,81	30,00	—	—	9,36	47,45	113,62			23,5	26,5	—	—	8,2	41,8	0,88
8	30,80	34,40	13,72	0,70	23,11	55,11	157,84	27,44	17,2	19,5	21,8	8,7	0,4	14,6	35,0	
	30,80	34,40	—	—	10,09	55,11	130,40			23,6	26,4	—	—	7,8	42,2	0,90

* Верхние цифры — наблюдаемые содержания, нижние — содержания с вычетом карбонатов и связанных с ними кальция и магния.

озера на химический состав воды эти процессы влияют гораздо меньше, чем, например, факт осаждения карбонатов. Значительные изменения в составе воды они могут вызвать лишь в продолжение длительного (в геологическом смысле) времени.

В оз. Балхаш происходит непрерывное последовательное смещение водных масс.

Известно, что если две основные воды, смешиваясь в различных пропорциях, дают ряд промежуточных вод, то для последних зависимость между отдельными составными частями выражается уравнением прямой:

$$y = ax + b,$$

где a и b — постоянные величины, а x и y — весовые количества двух каких-нибудь составных частей. Поскольку в оз. Балхаш смешиваются главным образом две составляющие — воды Или и озера,— то связи абсолютных величин состава воды с минерализацией, изображенные на рис. 56, выражаются прямыми; связи же между относительным составом и минерализацией — кривыми гиперболического типа.

Установленные связи позволяют с достаточной для практических целей точностью рассчитывать состав воды и минерализацию в любом пункте озера по известному содержанию отдельных ионов. Этот прием широко используется в океанографической практике для расчета солености по известному содержанию хлор-иона. В последнее время он начал применяться и при изучении различных водных объектов суши. Например, О. А. Алекин (1950а) применил его для рек, В. А. Ковда (1947) и И. Я. Давыдов (1953) — для грунтовых вод, нами он использован для прудов и водохранилищ (1954), П. П. Воронковым (1955, 1958, 1959) — для различных типов поверхностных вод.

Аналитически наиболее легко определяется ион хлора. По найденному его содержанию при помощи связей, изображенных на графике, можно определять абсолютное и относительное содержание остальных пяти ионов и величину общей минерализации воды озера в любом пункте [1].

Графический метод расчета можно заменить аналитическим, если прямолинейные связи абсолютных содержаний отдельных ионов с минерализацией выразить соответствующими уравнениями прямых. Уравнения эти для оз. Балхаш следующие:

$$\Sigma_и = 4{,}76\ C_{Cl'} + 0{,}19 \quad (1)^2$$
$$C_{SO_4''} = 0{,}32\ \Sigma_и - 0{,}04 \quad (2)$$
$$C_{HCO_3' + CO_3''} = 0{,}13\ \Sigma_и + 0{,}14 \quad (3)$$
$$C_{Ca^{\cdot\cdot}} = -0{,}002\ \Sigma_и + 0{,}03 \quad (4)$$
$$C_{Mg^{\cdot\cdot}} = 0{,}05\ \Sigma_и + 0{,}01 \quad (5)$$
$$C_{Na^{\cdot} + K^{\cdot}} = 0{,}27\ \Sigma_и - 0{,}07 \quad (6)$$

Здесь C — концентрация ионов, а $\Sigma_и$ — сумма ионов (*г/кг*).

Если в уравнения (2—6) подставить из уравнения (1) значение суммы ионов, выраженное через концентрацию ионов хлора, то получим ряд урав-

---

[1] Аналогичным путем можно рассчитать примерный химический состав воды рек Прибалхашья, пользуясь для того рис. 44—47. Однако в этом случае расчет лучше вести по известному содержанию ионов $HCO'_3 + CO''_3$, которые в реках превалируют.

[2] Это уравнение почти не отличается от уравнения связи содержания хлора и плотного остатка, полученного Г. Р. Юнусовым: $m = 4{,}35\ Cl' + 0{,}17$.

нений, при помощи которых можно рассчитывать примерное содержание всех ионов по известному содержанию ионов хлора:

$$C_{SO_4''} = 1{,}52\ C_{Cl'} + 0{,}01 \quad (7)$$

$$C_{HCO_3' + CO_3''} = 0{,}59\ C_{Cl'} + 0{,}17 \quad (8)$$

$$C_{Ca^{\cdot\cdot}} = -0{,}01\ C_{Cl'} + 0{,}03 \quad (9)$$

$$C_{Mg^{\cdot\cdot}} = 0{,}24\ C_{Cl'} + 0{,}02 \quad (10)$$

$$C_{Na^{\cdot} + K^{\cdot}} = 1{,}29\ C_{Cl'} - 0{,}02 \quad (11)$$

4. РЕЖИМ МИНЕРАЛИЗАЦИИ ВОДЫ

Колебание концентраций главнейших ионов в воде озера происходит в соответствии с установленными выше связями состава с минерализацией (см. рис. 56). Имея это в виду, достаточно рассмотреть только режим минерализации воды.

Сведений о внутригодовом режиме минерализации озера сравнительно мало. Они ограничиваются более или менее систематическими наблюдениями в трех равномерно расположенных на озере пунктах — восьмилетними наблюдениями в заливе Бертыс, двухлетними наблюдениями в Чиганаке и Каршагане и некоторыми ранее опубликованными отрывочными сведениями.

Наблюдения в заливе Бертыс проводились (и проводятся) санэпидстанцией г. Балхаш. Пробы воды отбирались примерно раз в месяц (иногда реже) в двух пунктах залива — в северной и восточной его частях. В пробах определялись: содержание хлоридных и сульфатных ионов, щелочность, общая жесткость и сухой остаток. На основании этих данных, любезно нам предоставленных лабораторией Балхашского медеплавильного завода и частично Балхашской санэпидстанцией, нами, после соответствующей их обработки [1], построен график, характеризующий режим минерализации (и главнейших ионов) воды залива Бертыс за восьмилетний период (рис. 61). По своему гидрохимическому режиму два указанных пункта залива отличались мало, и поэтому при построении графика нами использованы средние величины. На том же рисунке показан ход уровней воды в заливе в рассматриваемый период [2]. Анализ графика позволяет сделать следующие выводы. Минерализация воды залива Бертыс испытывает колебания как по сезонам года, так и от года к году. В годовом цикле намечается двукратное повышение минерализации и двукратное ее понижение. Первое повышение относится к осенне-зимнему периоду. Вслед за ним обычно происходит некоторое снижение минерализации, после которого начинается второй подъем, приходящийся на летние месяцы. Этот подъем сменяется вторым снижением, при котором достигаются значения минерализации, минимальные в годовом цикле.

Таким образом, в годовом цикле минерализации наблюдаются четыре последовательных характерных периода: осенне-зимний подъем, весенний спад, летний подъем и осенний спад. В отдельных случаях эти периоды бывают немного смещены относительно сезонов, название которых они носят, и поэтому их названия несколько условны. Осенне-зимний подъем и осенний спад обычно выражены более ярко, чем летний подъем и весенний спад (например, в 1951 г. летнего подъема не было совсем, а в 1954 г. не было весеннего спада). В табл. 34 приведены данные об изменении минерализации в период осенне-зимнего подъема и в предшествующий ему период спада.

[1] Содержание $Na^{\cdot} + K^{\cdot}$ вычислялось по разности между суммой анионов и жесткостью. Магний рассчитывался на основании данных о содержании Cl' по уравнению (10), кальций — по разности между жесткостью и магнием.

[2] Использованы среднемесячные величины.

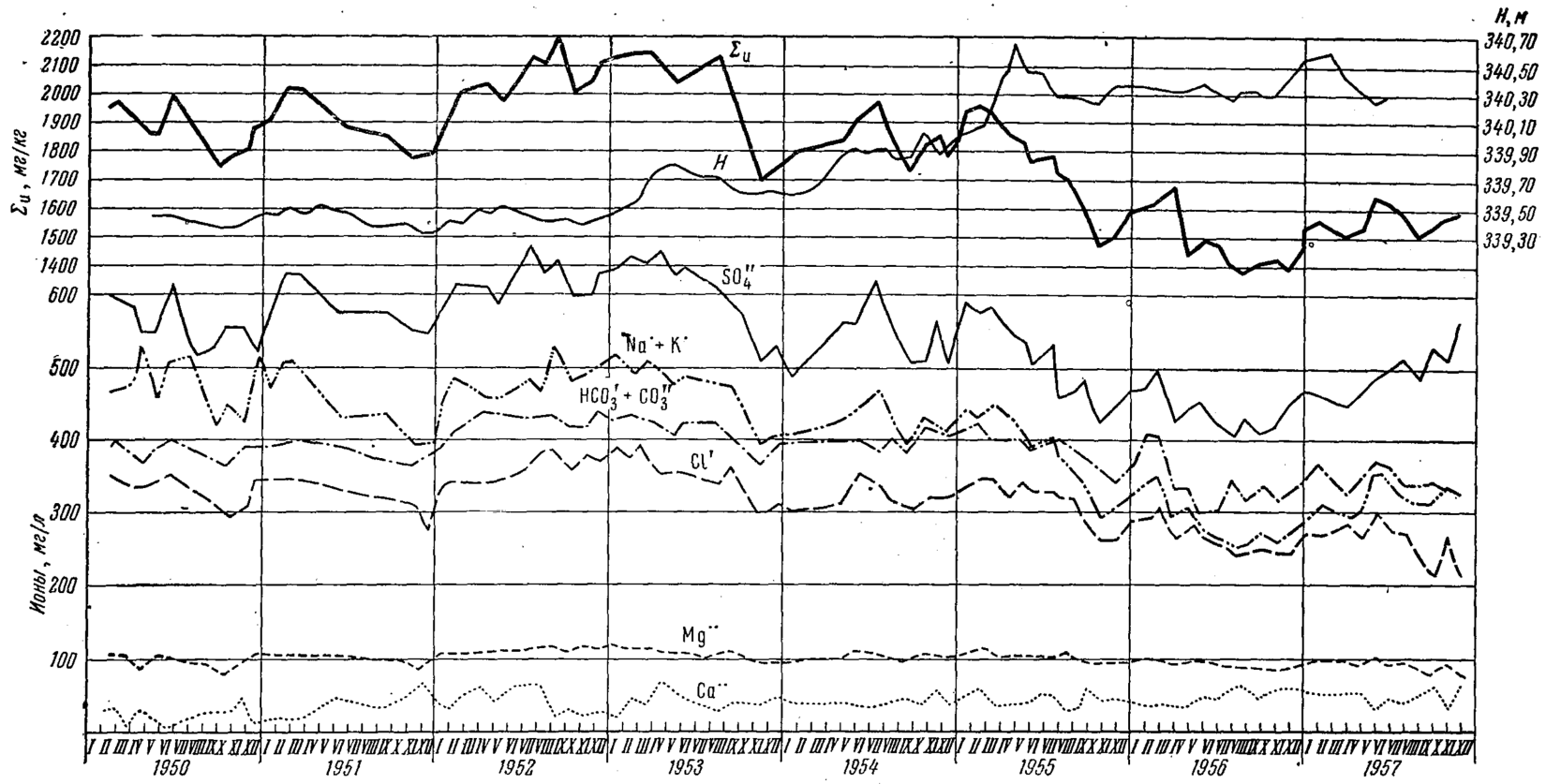


Рис. 61. Режим главнейших ионов, минерализации и уровней воды залива Бертыс (1950—1957 гг.)

Таблица 34

Изменение минерализации воды залива Бертыс в некоторые характерные периоды за 1950—1957 гг.

(в % по сравнению с началом периода)

Период наблюдений	Годы								Среднее
	1950	1951	1952	1953	1954	1955	1956	1957	
Осенне-зимний подъем . .	15	14	6	8	14	14	12		12
Осенний спад	12	5	8	21	13	18	7	8	11

Осенне-зимнее возрастание минерализации в среднем за восьмилетний период составляет 12%, уменьшение минерализации в осенний период — 11%. Увеличение минерализации воды в зимний период можно также иллюстрировать на примере зимы 1931/32 г. Так, средняя минерализация воды заливов Тарангалык, Бертыс и Малый Сарышаган была следующей (в *г/кг*):

Август 1931 г.	1,76	(среднее из 56 проб)
Октябрь 1931 г.	1,74	(то же из 28 »)
Январь 1932 г.	2,05	(» из 26 »)
Февраль 1932 г.	2,12	(» из 26 »)
Март 1932 г.	2,05	(» из 25 »)

Эти цифры показывают, что зимой 1932 г. минерализация воды повысилась на 18% по сравнению с ее минерализацией в летне-осенний период 1931 г. Как указывает Г. Р. Юнусов, минерализация воды под ледовым покровом в юго-западной части озера повышается в среднем на 19,5%.

Особенности внутригодового режима минерализации объясняются процессами ледообразования и испарения, а также влиянием пресноводного речного притока. В течение пяти месяцев, с середины ноября по середину апреля, озеро покрывается льдом. Толщина льда обычно составляет 0,6—0,7 и даже 1,0 *м*. Естественно, что это не может не оказать влияния на минерализацию воды. При средней глубине залива примерно 7 *м* и толщине льда 1 *м* минерализация за счет ледообразования должна возрасти не менее чем на 14—15% [1]. Однако нельзя забывать, что в этот период уровень озера несколько повышается за счет речного притока (см. рис. 12 и 61). Это обстоятельство приводит к тому, что в действительности минерализация увеличивается немного меньше (на 6—15, а в среднем — на 12%). Более высокое увеличение минерализации зимой 1931/32 г., по сравнению с зимами пятидесятых годов, объясняется исключительно суровыми условиями зимы 1931/32 г. (толщина льда достигала 1,5 *м*).

Минерализация воды в период, наступающий после очищения озера от льда, снижается по нескольким причинам. Главная из них заключается в продолжающемся в это время, за счет речного притока, быстром повышении уровня озера, максимум которого в годовом цикле приходится как раз на этот период (май). Определенную роль здесь оказывает также опреснение за счет растаявшего льда и весеннего притока с береговой полосы. Значение последнего для озера в целом невелико, но для залива его роль должна быть более заметной.

В летние месяцы решающее значение приобретает испарение, в результате которого, несмотря на максимальный речной приток, приходящийся

[1] Минерализация воды из льда обычно не превышает 3—15% от минерализации воды, из которой он образовался.

на этот период, уровень озера начинает падать. Уменьшение минерализации в результате разбавления речным притоком в данном случае перекрывается ростом минерализации за счет испарения, так же как и зимой, оно перекрывалось в результате ледообразованием. Начавшийся вслед за этим постепенный осенний спад минерализации, очевидно, происходит в силу того, что влияние притока как фактора, понижающего минерализацию, начинает превалировать над влиянием испарения как фактора, повышающего ее.

Сгонно-нагонные явления, наблюдаемые в безледный период, безусловно, нарушают рассматриваемые особенности в режиме минерализации, в связи с чем последние в ряде случаев выражены недостаточно ярко.

На рис. 61 можно видеть, что, помимо внутригодового колебания, минерализация воды залива Бертыс менялась и от года к году. Среднегодовые величины минерализации в отдельные годы были следующими (в *г/кг*):

1950 г.	1951 г.	1952 г.	1953 г.	1954 г.	1955 г.	1956 г.	1957 г.
1,87	1,88	2,03	1,97	1,81	1,69	1,46	1,55

Как следует из приведенных данных, некоторый рост минерализации (1950—1952 гг.) с 1953 г. сменился ее уменьшением. Последнее находится в прямой связи с общим опреснением западной части озера, начавшимся с 1953 г. и обусловленным увеличением речного притока. Связь между степенью минерализации и ходом уровней озера хорошо видна из того же рисунка. Легко видеть, что в 1956—1957 гг., по сравнению с 1952 г., уровень повысился почти на один метр.

Режим озера, по данным наших наблюдений, у п-ова Чиганак и в заливе Карашаган имеет много общего с режимом в заливе Бертыс (табл. 35, 36 и рис. 62, 63)[1]. Здесь в годовом цикле намечаются те же характерные черты изменения минерализации, как и в заливе Бертыс; но у п-ова Чиганак снижение минерализации после зимнего максимума наступает значительно раньше. Причина этого, по-видимому, в близости устья Или. С установлением ледового покрова нагоны соленой воды в районы, прилегающие к устью, прекращаются, речной приток постепенно оттесняет более минерализованную воду дальше от устья и, таким образом, распресняющее влияние Или здесь становится более устойчивым, чем в период открытого водоема. Поэтому уже с середины зимы, несмотря на продолжающийся рост толщины ледового покрова [2], минерализация воды озера подо льдом начинает падать.

Абсолютные значения увеличения минерализации в зимний период в этих двух пунктах выше, чем в заливе Бертыс (у Чиганака — 40%, в Карашагане — 20%). Объясняется это небольшими глубинами в указанных пунктах, не превышающими 2—2,5 *м*.

Следует отметить, что во всех трех пунктах пробы воды отбирались недалеко от берега. Режимные же наблюдения в открытом озере никем не проводились. Поскольку очень важными в режиме минерализации являются процессы ледообразования и испарения, то понятно, что их значение должно сказываться тем меньше, чем больше глубина. Поэтому можно предположить, что в открытом озере внутригодовые колебания минерализации должны быть более сглажены, чем в трех рассмотренных пунктах. Причем в восточной части озера они, очевидно, сглажены сильнее, чем в западной, так как средние глубины в ней почти в два раза больше (9,8 *м* против 4,8 *м*).

Рассмотрим режим минерализации воды для всего озера в целом за период 1929—1958 гг. Исходными данными для этого послужили приведенные выше сведения о минерализации воды, относящиеся к десяти различным

[1] Начавшиеся с января 1956 г. постоянные наблюдения в заливе Бурлю-Тюбе вскоре были приостановлены из-за ликвидации поста.

[2] 1.I 1957 г. толщина ледового покрова составляла 40 *см*, 1.II 1957 г. — 45 *см*.

Таблица 35

Химический состав воды оз. Балхаш у п-ова Чиганак в 1956—1957 гг.

Дата отбора проб	Содержание ионов, *мг/л*							Содержание ионов, %-экв.						Индекс по О. А. Алекину
	Cl'	SO_4''	$HCO_3' + CO_3''$	$Ca^{\cdot\cdot}$	$Mg^{\cdot\cdot}$	$Na^{\cdot} + K^{\cdot}$	$\Sigma_{ц}$	Cl'	SO_4''	$HCO_3' + CO_3''$	$Ca^{\cdot\cdot}$	$Mg^{\cdot\cdot}$	$Na^{\cdot} + K^{\cdot}$	
I.II 1956 г.	98,2	172,8	247,7	46,3	38,4	124,0	727,4	13,3	17,3	19,4	11,1	15,2	23,7	CS_{II}^{Na}
I.III 1956 г.	101,1	180,2	258,6	48,7	40,6	127,0	756,2	13,1	17,3	19,6	11,2	15,4	23,4	То же
I.V 1956 г.	88,7	154,5	204,9	38,5	33,8	109,5	629,9	13,8	17,7	18,5	10,6	15,3	24,1	$CSCl_{II}^{Na}$
I.VI 1956 г.	87,9	156,2	203,1	38,5	32,7	111,3	629,7	13,7	17,9	18,4	10,6	14,9	24,5	То же
I.VII 1956 г.	99,3	173,7	208,6	37,7	34,9	125,3	679,5	14,2	18,4	17,4	9,6	15,0	25,4	$SCCl_{II}^{Na}$
I.VIII 1956 г.	154,9	190,9	154,9	39,3	39,5	124,3	703,8	15,2	19,6	15,2	9,6	16,0	24,4	$SClC_{II}^{Na}$
I.IX 1956 г.	144,9	180,6	144,9	35,1	37,2	118,8	661,5	15,2	19,7	15,1	9,2	16,0	24,8	То же
I.X 1956 г.	140,0	183,5	139,9	34,3	39,3	111,8	648,8	14,0	20,1	14,9	9,1	17,2	23,7	S_{II}^{Na}
I.I 1957 г.	129,1	218,1	286,4	50,5	49,6	156,8	890,5	14,1	17,6	18,3	9,8	15,9	24,3	$CSCl_{II}^{Na}$
I.II 1957 г.	120,2	205,1	262,9	47,1	44,4	149,3	829,0	14,2	17,8	18,0	9,8	15,2	25,0	То же
I.III 1957 г.	84,7	138,1	183,0	32,3	30,2	104,5	572,8	14,4	17,4	18,2	9,7	15,0	25,3	»
I.V 1957 г.	81,2	146,6	250,1	50,7	42,1	86,3	657,0	12,1	16,2	21,7	13,4	18,3	18,3	$C_{II}^{Mg,Na,Ca}$
I.VI 1957 г.	95,4	168,8	228,1	41,1	49,2	96,3	678,9	13,5	17,7	18,8	10,3	20,4	19,3	$CS_{II}^{Mg,\ Na}$
I.VII 1957 г.	86,2	160,1	220,2	41,9	34,9	110,3	653,6	13,0	17,8	19,2	11,2	15,3	23,5	CS_{II}^{Na}
I.VIII 1957 г.	92,6	172,1	219,0	39,1	40,4	113,5	676,7	13,4	18,3	18,3	9,9	17,0	23,1	$SCCl_{II}^{Na}$
I.IX 1957 г.	101,8	187,1	264,1	52,3	41,8	126,3	773,4	12,9	17,6	19,5	11,8	15,5	22,7	CS_{II}^{Na}

Таблица 36

Химический состав воды оз. Балхаш в заливе Карашаган в 1956—1957 гг.

Дата отбора проб	Содержание ионов, *мг/кг*							Содержание ионов, %-экв.						Индекс по О. А. Алекину
	Cl'	SO_4''	$HCO_3' + CO_3''$	$Ca^{··}$	$Mg^{··}$	$Na^{·} + K^{·}$	$\Sigma_и$	Cl'	SO_4''	$HCO_3' + CO_3''$	$Ca^{··}$	$Mg^{··}$	$Na^{·} + K^{·}$	
1.II 1956 г.	1125	1706	865,5	18,8	291,2	1415	5421	19,5	21,8	8,7	0,7	14,6	34,7	SCl_{II}^{Na}
1.III 1956 г.	1107	1700	861,9	20,6	289,2	1400	5379	19,3	21,9	8,8	0,6	14,7	34,7	То же
1.V 1956 г.	935,3	1431	732,6	39,3	229,6	1184	4552	19,3	21,9	8,8	1,4	13,8	34,8	»
1.VI 1956 г.	1006	1541	768,6	37,7	251,4	1269	4874	19,4	22,0	8,6	1,3	14,1	34,6	»
1.VII 1956 г.	997,3	1537	779,6	41,1	251,4	1261	4868	19,2	22,0	8,8	1,4	14,1	34,5	»
8.IX 1956 г.	990,8	1524	760,0	19,4	261,2	1242	4797	19,4	22,0	8,6	0,7	14,9	34,4	»
1.X 1956 г.	981,5	1516	754,6	17,8	262,2	1230	4672	19,3	22,0	8,7	0,6	15,0	34,4	»
10.II 1957 г.	1105	1679	924,8	15,8	298,1	1400	5422	19,2	21,5	9,3	0,5	15,1	34,4	»
1.III 1957 г.	1105	1662	930,8	16,6	297,6	1394	5406	19,2	21,4	9,4	0,5	15,1	34,4	»
1.IV 1957 г.	752,1	708,8	643,6	17,8	201,3	727,0	3051	22,8	15,9	11,3	1,0	17,8	31,2	Cl_{II}^{Na}
1.V 1957 г.	1041	1376	780,8	15,8	244,7	1248	4706	20,7	20,3	9,0	0,6	14,2	35,2	ClS_{II}^{Na}
1.VI 1957 г.	1041	985,5	852,8	15,8	272,4	1017	4184	23,0	16,1	10,9	0,6	17,6	31,8	Cl_{II}^{Na}
1.VII 1957 г.	1044	1603	789,0	17,8	271,8	1315	5041	19,5	22,0	8,5	0,6	14,7	34,7	SCl_{II}^{Na}
1.VIII 1957 г.	1029	1814	786,5	16,8	267,9	1421	5335	18,2	23,7	8,1	0,5	13,8	35,7	S_{II}^{Na}
1.IX 1957 г.	1085	1620	820,0	16,2	281,9	1345	5168	19,7	21,7	8,6	0,5	14,9	34,6	SCl_{II}^{Na}
1.X 1957 г.	1096	1686	820,0	14,0	287,3	1378	5281	19,4	22,1	8,5	0,4	14,9	34,7	То же
1.XI 1957 г.	1062	1439	791,2	17,0	274,3	1238	4822	20,6	20,6	8,8	0,6	15,5	33,9	ClS_{II}^{Na}

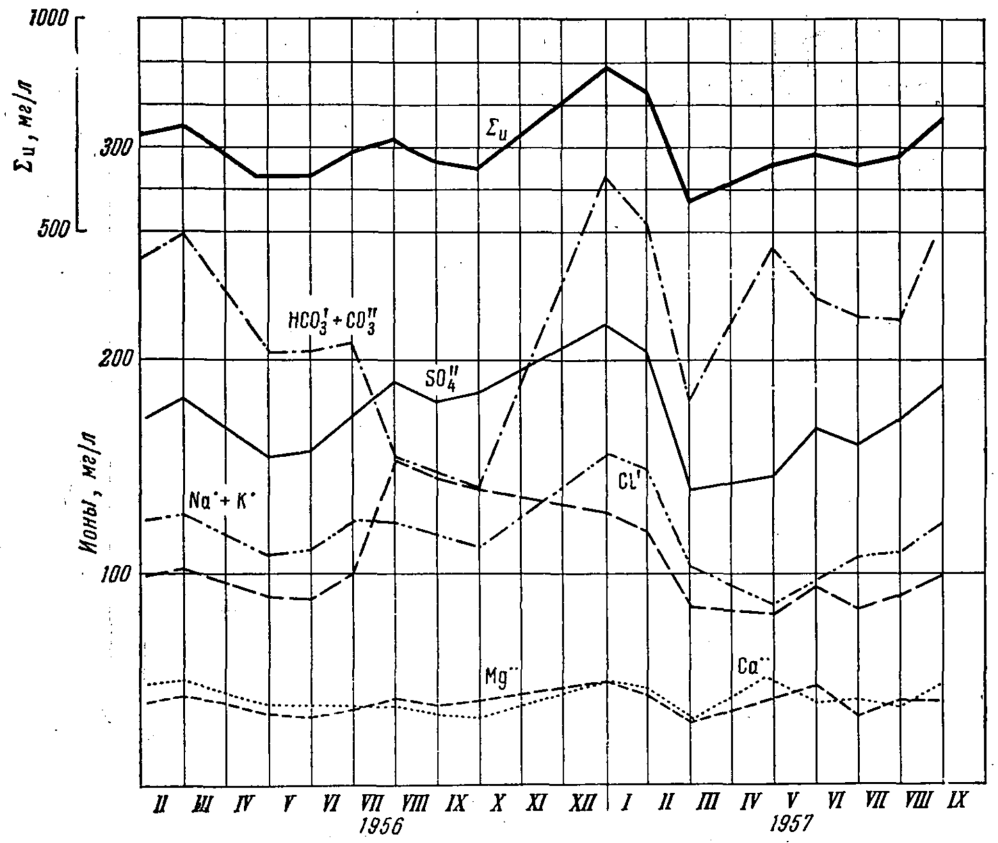


Рис. 62. Режим главнейших ионов и минерализации воды оз. Балхаш у полуострова Чиганак (1956—1957 гг.)

годам (см. табл. 26—29 и рис. 48, 49 и 55), а также сведения о режиме уровней озера (см. рис. 37).

Учитывая большую неоднородность воды по акватории, были подсчитаны величины средней минерализации воды в каждом из восьми выделенных нами на озере районов (табл. 37). В случае ограниченного в отдельных районах числа станций, по которым рассчитаны величины средней минерализации, или неудачного их расположения, величины минерализации в указанных районах даны ориентировочно. В этой таблице помещены также значения объемов воды каждого из восьми районов, объемы западной и восточной частей озера и всего озера в целом по всем десяти периодам. Для получения этих величин были использованы полученные ранее кривые связей объемов с уровнями (см. рис. 35). Произведение объемов воды на среднюю ее минерализацию для соответствующих районов дало количество растворенных в воде каждого района солей. Суммированием было получено количество солей, содержащихся во всем озере. Величины средней минерализации для западной и восточной частей озера, а также для всего озера в целом получены как отношения количеств растворенных в них солей к объемам воды в них в соответствующие периоды. Ход изменения перечисленных величин, характеризующих режим озера в целом за тридцатилетний период, для наглядности изображен графически на рис. 64.

Гидрохимический режим оз. Балхаш находится в своеобразной зависимости от его гидрологического режима. Промежуток времени с 1929 по 1958 г. можно разделить на три характерных периода, различающихся в отношении хода уровней и объемов озера. Первый период, с 1929 по 1931 г., характеризуется резким кратковременным подъемом уровня, наступившим

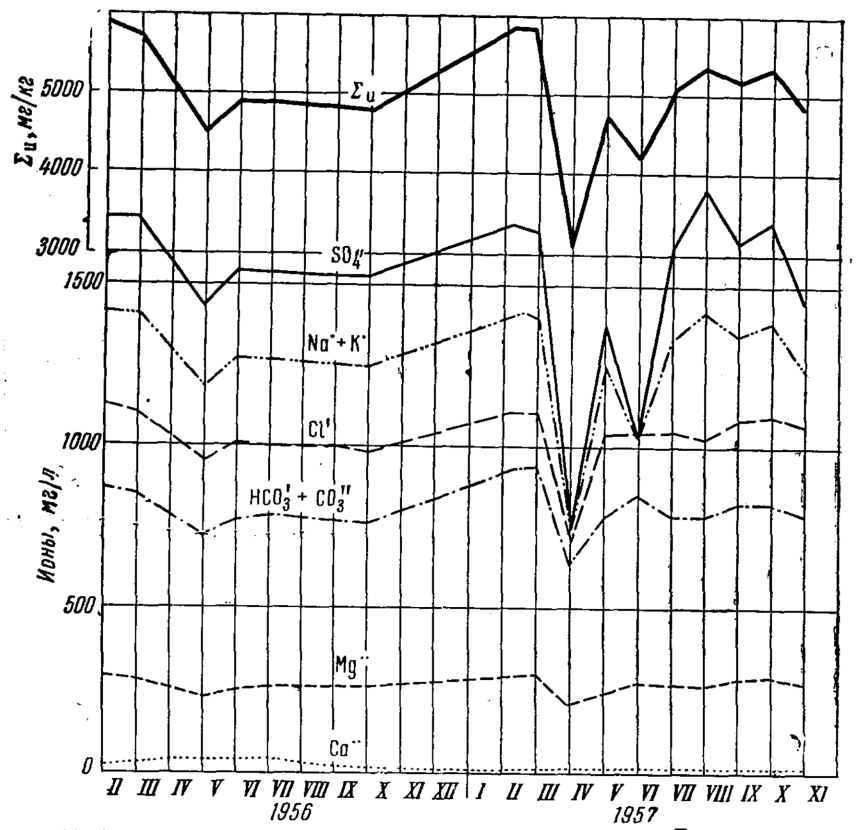


Рис. 63. Режим главнейших ионов и минерализации воды оз. Балхаш в заливе Карашаган (1956—1957 гг.)

после длительного (двадцатилетнего) падения (см. рис. 37). Во второй период, с 1932 по 1951 г., наблюдалось чередование подъемов и спадов уровней, причем падение превалировало. Третий период, с 1952 по 1957 г., характеризуется быстрым и непрерывным подъемом уровня.

Как следует из рис. 64, минерализация озера в течение 30 лет не оставалась постоянной. Она испытывала колебания в пределах 2,50—3,07 *г/кг*. Во второй период изменение минерализации отвечало изменению объемов, с уменьшением последних минерализация возрастала и наоборот. Однако в первый и третий периоды, характеризующиеся быстрым увеличением объемов, вместо обратной зависимости между упомянутыми величинами наблюдалась прямая зависимость между ними, т. е. с ростом объемов возрастала и минерализация. Это явление, кажущееся на первый взгляд странным, объясняется, по-видимому, тем, что при подъеме уровня в озеро с затопленных низких берегов (преимущественно южных в Восточном Балхаше) возвращаются легкорастворимые соли, отложенные в отшнуровавшихся понижениях ранее при отступании озера. Значение этого фактора, очевидно, превосходит влияние разбавления, при котором минерализация обычно падает [1]. Более наглядно это явление подтверждается характером изменения солевого запаса озера (Q), рассчитанного как произведение минерализаций на объемы. Легко видеть, что минимальное количество растворенных солей (250 млн. m) озеро имело в 1929—1930 гг. в конце длительного периода

[1] Несколько выше, при рассмотрении режима минерализации воды в Бертысе, мы отмечали, что там наблюдалось обратное явление — минерализация воды залива при подъеме уровня падала. Однако противоречия в этом нет, поскольку возвышенное побережье залива сильно ограничивает возможность отложения солей на берегах.

Таблица 37

Уровни, минерализация, объемы оз. Балхаш и общее количество растворенных в озере солей *

Дата отбора проб	Отметка уровня озера H, *м*	Минерализация ($\Sigma_н$), *г/кг*										
		Западный Балхаш					Восточный Балхаш					
		районы				Средняя по западной части озера	районы				Средняя по восточной части озера	Средняя по всему озеру
		1	2	3	4		5	6	7	8		
VII—XI 1929 г.	339,85	0,60	(1,17)	1,67	1,67	1,31	2,52	2,60	3,06	4,04	3,88	2,50
VII—IX 1930 г.	339,85	0,84	1,42	1,39	1,96	1,38	2,40	2,81	3,60	3,80	3,43	2,56
VI—IX 1931 г.	340,50	0,90	1,28	1,49	1,87	1,37	2,16	2,80	3,96	4,55	3,82	2,69
VIII—IX 1938 г.	339,63	1,13	(1,78)	1,38	2,03	1,56	2,03	2,96	3,72	5,06	4,04	3,07
VI—IX 1941 г.	339,57	(0,80)	(1,26)	(1,51)	(1,70)	(1,32)	2,82	3,10	4,46	5,06	4,36	(3,06)
VI—IX 1953 г.	339,76	(0,83)	(0,96)	(1,31)	(1,52)	(1,14)	2,69	3,11	3,76	5,15	4,18	(2,88)
VII—VIII 1955 г.	340,25	(0,65)	0,70	1,28	(1,62)	(1,04)	2,60	3,20	4,44	(5,25)	(4,35)	(2,85)
VI—VII 1956 г.	340,28	0,74	1,01	1,30	1,40	1,12	2,59	3,15	4,58	5,25	4,40	2,94
VI—VII 1957 г.	340,28	0,82	0,92	1,26	1,52	1,11	2,56	3,25	4,56	5,25	4,40	2,93
VII—VIII 1958 г.**	(340,28)	0,67	1,00	1,14	1,33	(1,04)	2,75	3,24	4,46	5,24	(4,42)	(2,90)

Таблица 37 (продолжение)

Дата отбора проб	Отметка уровня озера *H*, *м*	Объемы (*V*), *км*³										
		Западной Балхаш					Восточный Балхаш					Озеро в целом
		районы				Западная часть озера в целом	районы				Восточная часть озера в целом	
		1	2	3	4		5	6	7	8		
VII—XI 1929 г.	339,85	8,5	12,6	14,0	7,2	42,3	9,6	4,8	14,4	26,6	55,4	97,7
VII—IX 1930 г.	339,85	8,5	12,6	14,0	7,2	42,3	9,6	4,8	14,4	26,6	55,4	97,7
VI—IX 1931 г.	340,50	9,8	14,5	16,1	8,2	48,6	11,1	5,0	15,3	28,0	59,4	108,0
VIII—IX 1938 г.	339,63	8,2	12,0	13,5	6,9	40,6	9,4	4,6	14,0	26,2	54,2	94,8
VI—IX 1941 г.	339,57	8,0	11,8	13,2	6,8	39,8	9,3	4,5	13,9	26,1	53,8	93,6
VI—IX 1953 г.	339,76	8,4	12,4	13,8	7,1	41,7	9,5	4,7	14,3	26,4	54,9	96,6
VII—VIII 1955 г.	340,25	9,5	13,9	15,3	7,9	46,6	10,6	4,9	15,1	26,5	57,1	103,7
VI—VII 1956 г.	340,28	9,6	14,0	15,4	8,0	47,0	10,7	5,0	15,2	26,6	57,5	104,5
VI—VII 1957 г.	340,28	9,6	14,0	15,4	8,0	47,0	10,7	5,0	15,2	26,6	57,5	104,5
VII—VIII 1958 г.	(340,28)	(9,6)	(14,0)	(15,4)	(8,0)	(47,0)	(10,7)	(5,0)	(15,2)	(26,6)	(57,5)	(104,5)

Таблица 37 (окончание)

Дата отбора проб	Отметка уровня озера *H*, *м*	Количество растворенных солей (Q), млн. *т*										
		Западный Балхаш					Восточный Балхаш					
		районы				Западная часть озера в целом	районы				Восточ. часть озера в целом	Озеро в целом
		1	2	3	4		5	6	7	8		
VII—XI 1929 г.	339,85	5,1	14,7	23,5	12,0	55,3	24,1	12,4	44,0	108,0	188,5	243,8
VII—IX 1930 г.	339,85	7,1	17,9	19,5	14,0	58,5	23,0	13,5	52,0	102,0	190,5	249,0
VI—IX 1931 г.	340,50	8,9	18,5	24,0	15,3	66,7	24,0	14,0	61,0	127,0	226,0	292,7
VIII—IX 1938 г.	339,63	9,3	(21,4)	18,6	14,0	63,3	19,0	13,6	52,0	133,0	217,6	290,9
VI—IX 1941 г.	339,57	(6,4)	(14,8)	(20,0)	(11,6)	(52,8)	(26,2)	13,9	62,2	132,0	234,3	(287,1)
VI—IX 1953 г.	339,76	(6,9)	(11,9)	(18,2)	10,8	(47,8)	25,6	14,6	54,0	136,0	230,3	(278,0)
VII—VIII 1955 г.	340,25	(6,2)	(9,8)	19,6	(12,8)	(48,4)	27,6	15,7	67,2	(138,0)	(248,5)	(296,9)
VI—VII 1956 г.	340,28	7,1	14,2	20,0	11,2	52,5	27,8	15,8	69,8	140,0	253,4	305,9
VI—VII 1957 г.	340,28	7,9	12,9	19,4	12,1	52,3	27,4	16,2	69,3	140,0	252,9	305,2
VII—VIII 1958 г.	(340,28)	(6,4)	(14,0)	(17,6)	(10,4)	(48,7)	(29,4)	(16,2)	(68,0)	(140,0)	(253,6)	(302,3)

* Цифры, заключенные в скобки, — ориентировочные.
** Величины минерализации рассчитаны по Cl'.

сокращения объема. В 1931 г., при резком подъеме уровня, солевой запас заметно возрос и составил уже около 290 млн. *т*. В последующий довольно большой двадцатилетний период в соответствии с сокращением объема солевой запас озера также немного упал. С 1953 г. параллельно с повышением уровня озера он опять увеличился и в 1956—1957 гг. достиг своего максимального значения в изучавшийся период — 305 млн. *т*. Не останавливаясь пока на вопросе отложения солей на берегах озера и их дальнейшей

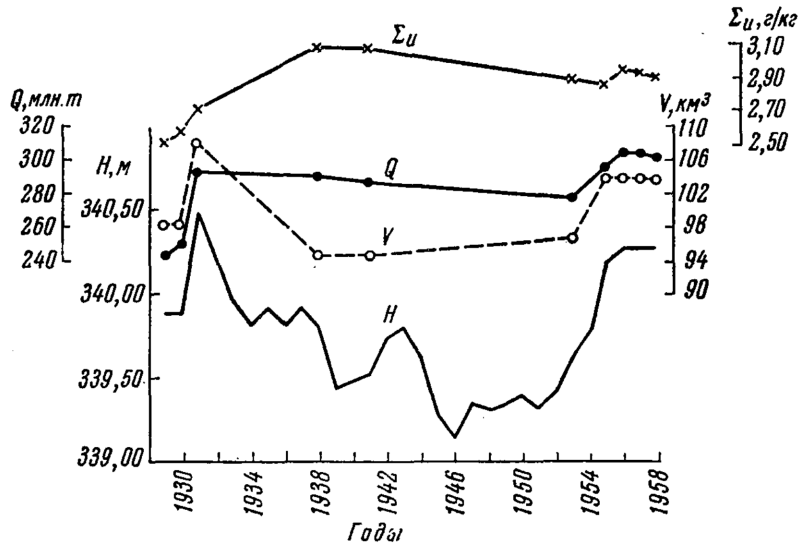


Рис. 64. Режим уровней (H), объемов (V), минерализации ($\Sigma_и$)и солевого запаса (Q) оз. Балхаш (1929—1958 гг.)

судьбе, констатируем, что гидрохимический режим озера и, в частности, режим минерализации нередко находится в более сложной зависимости от объемов, чем обратная пропорциональность.

Как уже не раз отмечалось, одной из отличительных особенностей оз. Балхаш является непрерывное возрастание минерализации вдоль продольной оси озера от устья Или к восточной оконечности озера. Эта общая закономерность наблюдалась и ранее, что хорошо видно из рис. 48 и 55, а также из данных табл. 37. Однако градиенты изменений абсолютных величин минерализации в восточном направлении в различные годы неодинаковы. Очевидно это объясняется изменением гидрологических условий в различные периоды жизни озера. Рассмотрим два таких характерных периода — 1929—1931 гг. и 1953—1958 гг. (рис. 65). Из приведенных на рисунке кривых следует, что в 1929—1931 гг. (конец длительного спада уровней) минерализация в западной части озера, по сравнению с периодом 1953—1958 гг. (интенсивный подъем уровней), была выше, а в восточной части, наоборот, ниже, т. е. степень неоднородности минерализации по длине озера зависела от режима уровней. Поскольку изменения последних находятся в зависимости от колебания притока воды рек (главным образом Или, см. рис. 37), впадающих в озеро, то наблюдаемое различие в характере изменения минерализации по длине озера в различные периоды становится вполне объяснимым. Действительно, при малом притоке, с одной стороны, в Западном Балхаше сокращается зона опреснения, с другой, в силу уменьшения подпора со стороны Или, условия для поступления соленой воды в западную часть озера из восточной становятся более благоприятными. В результате этих причин градиент минерализации в направлении продольной оси озера по всей его длине остается почти постоянным, и минерализация распределяется более равномерно, согласно кривой *I* на рис. 65. Подъем уровня в

1931 г. не успел оказать заметного влияния на перераспределение минерализации из-за своего кратковременного характера и определенной инертности водных масс озера.

При большом притоке опреснению подвергается значительно бо́льшая часть акватории. Увеличившийся подпор со стороны Или, оттесняя более минерализованную воду на восток, затрудняет ее поступление в обратном направлении. К тому же, возврат солей в озеро с берегов при их затоплении происходит преимущественно в Восточном Балхаше. В результате градиент минерализации в западной части озера падает, а в восточной — возрастает. Распределение минерализации в этом случае носит характер, изображенный при помощи кривой *II* того же рисунка.

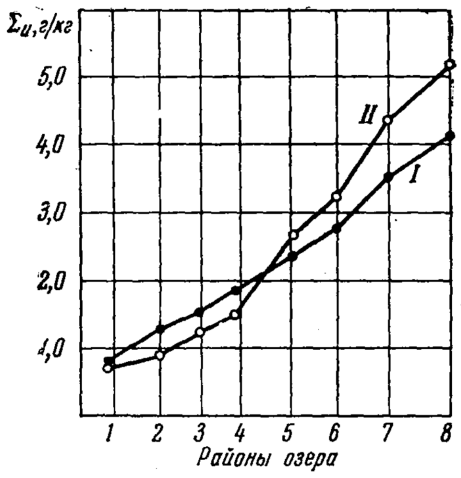


Рис. 65. Изменение минерализации воды оз. Балхаш по его длине.

I — в конце длительного спада уровней (1929—1931 гг.); *II* — во время интенсивного подъема уровней (1953—1958 гг.). На оси ординат отложены величины минерализации воды (средние за период для каждого из районов по данным табл. 37), на оси абсцисс — расстояния центров каждого выделенного района от пос. Бурубайтал в направлении продольной оси озера. Величины средней минерализации условно отнесены к центрам соответствующих районов

Сопоставление величин расходов Или в рассмотренные периоды подтверждает сделанный вывод. Так, среднегодовой расход Или за многолетний период 1912—1930 гг., в течение которого наблюдался спад уровней, составлял 457 *м³/сек*, за период же подъема уровней 1952—1957 гг.— 502 *м³/сек*. Этот важный в практическом отношении вывод необходимо иметь в виду при проектировании мероприятий, связанных с изъятием стока Или. Значительное изъятие стока может нарушить существующий характер распределения минерализации и привести к тому, что западная часть озера, являющаяся важным источником водоснабжения, будет иметь воду даже более минерализованную, чем она ее имела в 1929—1931 гг.

Влияние речного притока на распределение абсолютных величин минерализации воды можно также видеть на примере юго-западной части озера.

Для этого сравним карту распределения Cl′ в этой части озера в 1941 г., составленную Г. Р. Юнусовым (см. рис. 58), с картой, составленной, по нашим данным, за 1956 г. (см. рис. 49). Прежде всего обращает внимание некоторое различие в направлении изолиний. В 1941 г. их продольное направление (по отношению к медиане озера) было выражено менее ярко, чем в 1956 г. Изолинии 90—210 *мг/л* в 1941 г. располагались даже поперек озера. Объясняется это опять-таки режимом притока Или. Значения расходов реки в эти годы были одинаковы (среднегодовой расход у урочища Уш-Джарма в 1941 г.— 559 *м³/сек*, в 1956 г.— 560 *м³/сек*). Но 1941 г. предшествовал период спада, а 1956 г.— период подъема уровней (в соответствии с режимом стока). Поэтому в первом случае условия для распреснения юго-западной части озера были менее благоприятны, чем во втором. В результате этого и абсолютные значения концентраций Cl′ в большей части рассматриваемого района в 1941 г. были на 40—60% выше, чем в 1956 г. Это хорошо видно также из табл. 38, в которой приведены средние, наблюдавшиеся в 1941, 1956 и 1957 гг., величины минерализации воды для каждого из девяти районов, выделенных в этой части озера Г. Р. Юнусовым (рис. 66). Минерализация воды в VI—IX районах в 1941 г. была в среднем на 40% выше, чем в 1956 г. Минерализация же в I—V районах, наоборот, была на 25% мень-

ше. Последнее обстоятельство, по-видимому, объясняется тем, что в 1941 г. основная часть работ, как указывает Г.Р. Юнусов, была выполнена при ветрах южных румбов, способствующих распреснению приустьевой части озера. Наши же работы в 1956 г., наоборот, производились при преобладающих северо-восточных ветрах (рис. 67, *I*). Указанное объяснение находится в соответствии с выводами Г. Р. Юнусова о роли сгонно-нагонных явлений на минерализацию воды. На основании проведенных исследований им установлено, что в результате нагона воды, обусловленного северными ветрами, ее минерализация в том или ином районе повышается в средних условиях нагона не менее чем на 15%, а в условиях сильных нагонов не меньше чем на 30—40%.

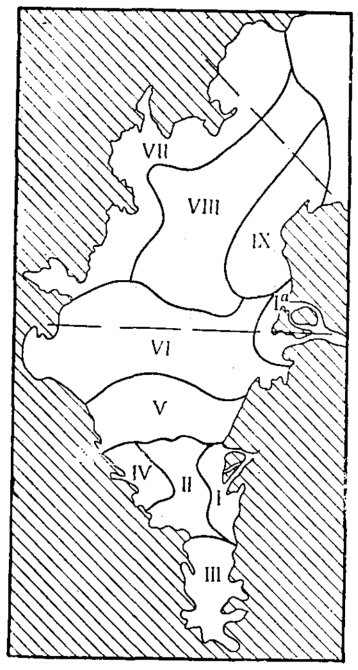


Рис. 66. Районирование юго-западной части озера (по Г. Р. Юнусову)

Следовательно, неустойчивость величин минерализации во времени в отдельных районах озера, иллюстрируемая, в частности, табл. 38, объясняется изменчивостью расходов Или и частично сгонно-нагонными явлениями. Изменения, обусловленные первой причиной, совершаются медленно, но зато они носят более устойчивый характер. Напротив, изменения минерализации, обусловленные сгонно-нагонными явлениями, происходят значительно быстрее, но, находясь в прямой зависимости от ветрового режима, они, как и последний, менее устойчивы.

Рассмотрим, какие различия в распределении величин минерализации в озере могут наблюдаться в более короткие периоды. В частности, сравним распределение минерализации в 1956 и 1957 гг., т. е. в периоды, охарактеризованные наиболее полными данными (рис. 68). Как видно, некоторые изменения произошли главным образом в западной части озера, в восточной же — минерализация практически осталась такой же, какой была в 1956 г. Минерализация большей части Западного Балхаша снизилась в среднем на 10%, т. е. в 1957 г. происходило дальнейшее опреснение, обусловленное пресноводным илийским притоком. Наряду с этим, минерализация части озера, прилегающей к юго-восточному побережью и непосредственно к проливу Узунарал, возросла на 17%. Причину этого, возможно, следует искать в нагоне соленой воды с востока. Сопоставление ветровых явлений, наблюдаемых во время проведения нами работ в Западном Балхаше в 1956 и 1957 гг., показывает (см. рис. 67), что ветровой режим в оба эти периода

Таблица 38

Минерализация воды в юго-западной части оз. Балхаш (в *г/л*)

Годы	Районы юго-западной части озера									
	I	Ia	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX
1941	0,30	0,54	0,43	0,58	0,60	0,76	1,09	1,33	1,58	1,90
1956	0,54	0,47	0,62	0,68	0,80	0,80	0,94	1,07	0,96	1,28
1957	0,70	0,50	0,90	0,70	0,80	0,90	0,90	0,90	0,90	1,40

был весьма сходным [1]. В обоих случаях преобладали северо-восточные и южные ветры значительной скорости [2]. Возможно, что в 1957 г. в какой-то период, предшествовавший нашим работам на озере, наблюдались сильные ветры восточных румбов, нагнавшие соленую воду в изучавшийся нами район. К сожалению, из-за отсутствия данных, нами при построении розы ветров был учтен всего лишь пятидневный период, предшествовавший началу работ.

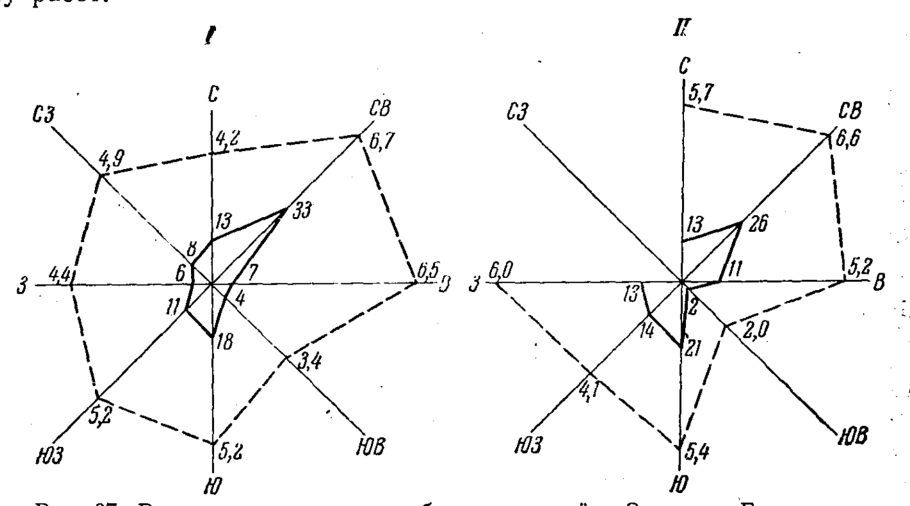


Рис. 67. Розы ветров во время работ экспедиций в Западном Балхаше.
I — за период с 20.VI по 18.VII 1956 г., *II* — за период с 25.VI по 10.VII 1957 г.

Выше отмечалось, что между устьями рек Или и Ир находится небольшой мелководный район, минерализация воды в котором всегда была выше, чем в прилегающих частях озера. Из рис. 68 следует, что здесь в 1957 г. минерализация воды оказалась в среднем на 23% выше, чем в 1956 г. Причина увеличения минерализации в этом районе при наблюдающемся обшем распреснении не совсем ясна. В дополнение к указанным выше соображениям по поводу повышения здесь минерализации воды, по сравнению с прилегающими частями озера, можно еще высказать предположение о возможном выклинивании в этом районе подземных вод с высокой минерализацией. Таким образом, различная минерализация в разных зонах озера, как следствие стоковых и ветровых явлений, наблюдалась не только в длительные периоды, но хорошо заметна и от года к году; причем наиболее подвержена изменениям в этом отношении западная часть озера. Восточная же его часть, ввиду значительной удаленности от устья Или и более однородного состава воды, характеризуется более устойчивыми показателями минерализации. Для того чтобы здесь произошли заметные изменения, требуется значительное время.

Вопрос о характере распределения минерализации в озере в зимний период пока остается открытым. По этому вопросу имеются лишь данные Г. Р. Юнусова (1959), относящиеся к юго-западной части озера. Однако сделанные им выводы, на наш взгляд, недостаточно обоснованы.

По мнению Г. Р. Юнусова, при наличии на озере ледового покрова и, следовательно, при отсутствии сгонно-нагонных течений, пресные илийские воды в первую очередь направляются вдоль восточного и юго-восточного побережий озера (а не к западному, как летом). Эти районы озера подвергаются распреснению, находящиеся же здесь минерализованные воды

[1] Розы ветров построены по данным метеостанции, расположенной в г. Балхаш (ежедневные замеры в 1, 7, 13 и 19 часов).

[2] Во время работ в Восточном Балхаше (летом 1956 и 1957 гг.) преобладали северо-восточные ветры.

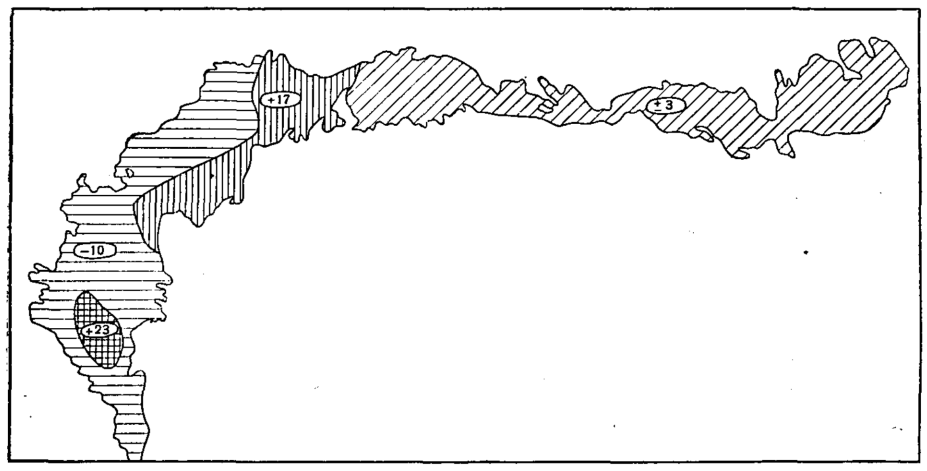


Рис. 68. Различия в минерализации воды оз. Балхаш в 1957 г. по сравнению с 1956 г. (в %)

оттесняются к западному и северо-западному побережьям, т. е. распределение минерализации воды в юго-западной части озера в зимний период противоположно распределению в период, когда озеро свободно ото льда. Этот вывод Г. Р. Юнусов сделал на основании анализа направлений изолиний Cl', SO_4'' и HCO_3' у северо-западного побережья в зимний период и возросшей минерализации воды в этом районе зимой по сравнению с летом. Зимние работы вдоль восточного побережья юго-западной части озера указанным автором не проводились (см. рис. 57), и поэтому вывод о минерализации в этой части озера, сделанный только на основании направления изолиний у противоположного берега, нам представляется недостаточно обоснованным. Зимнее же увеличение минерализации воды вдоль северо-западного побережья (на 19,5%), по нашему мнению, следует рассматривать только как результат ледообразования.

Хотя мы и не имеем собственных наблюдений по рассматриваемому вопросу, но все же полагаем, что общий характер распределения величин минерализации воды в юго-западной части озера и во всем озере в целом зимой должен быть примерно таким же, как и летом. Никаких особых причин, нарушающих его в зимний период, нет. Поступление в оз. Балхаш вод Или, являющееся главным фактором, определяющим характер распределения водных масс, наблюдается как летом, так и зимой. Имея в виду расположение устья Или по отношению к озеру и морфометрию озерной котловины, навряд ли можно ожидать какого-либо сезонного изменения в направлении течения. В результате ледообразования увеличивается абсолютная величина минерализации, но не характер ее распределения. К тому же рост минерализации в результате ледообразования у юго-восточного побережья озера должен быть более значительный, чем у северо-западного, так как глубины у первого в 2—3 раза меньше, чем у второго. Конечно оказывает влияние отсутствие в течение пяти месяцев сгонно-нагонных течений, роль которых, как было показано выше, довольно велика. Однако, учитывая определенную инертность водных масс, это обстоятельство должно, по-видимому, привести только к более плавным переходам величин минерализации, к меньшим их градиентам по акватории.

Разумеется, эти положения носят лишь предположительный характер. Для более основательного решения данного вопроса требуются специальные наблюдения, хотя бы в виде более или менее подробной гидрохимической съемки озера, проведенной в конце зимы, и их дальнейшее сопоставление с результатами летних наблюдений.

5. ОСАДКООБРАЗОВАНИЕ В ОЗЕРЕ

В главе VI было установлено, что реками, подземными водами и атмосферными осадками вносится в оз. Балхаш огромное количество легкорастворимых солей. Так, с речными водами ежегодно поступает в озеро около 4,07 млн. *т* солей, подземные воды приносят 1,35 млн. *т* и атмосферные осадки — 0,31 млн. *т*, а всего — 5,73 млн. *т* солей/год. При указанном поступлении существующее в настоящее время (1956—1957 гг.) количество растворенных в озере солей — 305 млн. *т* — могло быть накоплено всего лишь за 53 года. Если на основании подобного расчета будем судить о возрасте озера, то придем к явно абсурдному выводу. Несоответствие между существующим солевым запасом озера и незначительным сроком, в течение которого он мог быть создан ионным стоком за счет перечисленных источников, можно объяснить только постоянной убылью солей из озера. Одним из видов такой убыли, несомненно, является выпадение в осадок вносимых в озеро карбонатов в виде нерастворимых соединений, в частности, в виде карбоната кальция (кальцита).

$$Ca^{\cdot\cdot} + 2HCO_3^{\prime} \rightleftarrows CaCO_3 + CO_2 + H_2O.$$

Этот процесс, наблюдаемый во многих современных водоемах, расположенных главным образом в аридной зоне, объясняется рядом причин. Одна из них заключается в изменении соотношений ионов, участвующих в карбонатном равновесии, при смешении пресных гидрокарбонатных вод с соленой водой озер и морей, в которые эти воды попадают. «При сильно возросшей ионной концентрации коэффициент активности двухзарядного иона $CO_3^{\prime\prime}$ уменьшается несравненно быстрее, чем у $HCO_3^{\prime}$, и, следовательно, концентрация $CO_3^{\prime\prime}$ относительно $HCO_3^{\prime}$ увеличивается соответственно уменьшению коэффициентов активности, т. е. часть $HCO_3^{\prime}$ переходит в $CO_3^{\prime\prime}$» (Алекин, 1953, стр. 251). Однако при постоянном наличии в воде $Ca^{\cdot\cdot}$ увеличение $CO_3^{\prime\prime}$ ограничивается произведением растворимости труднорастворимой соли $CaCO_3$ ($L_{CaCO_3} = 3{,}6 \cdot 10^{-9}$), и поэтому излишнее количество $CO_3^{\prime\prime}$ переходит в осадок в виде $CaCO_3$. Этому способствует также то, что вода большинства озер и морей аридной зоны постоянно находится в состоянии пересыщения карбонатом кальция. Большую роль в процессе осаждения карбонатов играет также жизнедеятельность растительных и животных организмов, населяющих водоемы. Первые, участвуя в процессе фотосинтеза, поглощают из воды CO_2, вторые для построения организмов извлекают из воды непосредственно $CaCO_3$. В обоих случаях равновесие сдвигается вправо, т. е. в сторону осаждения карбонатов.

Н. М. Страхов (1951, 1954) под карбонатообразованием в широком смысле понимает процесс накопления на дне бассейна карбонатов, образующихся в результате: а) химического осаждения (хемогенный карбонат); б) жизнедеятельности организмов, населяющих водоем (биогенный карбонат); в) приноса извне (терригенный карбонат). Им выделены следующие четыре основные фактора, влияющие на формирование карбонатных осадков: климат, в котором располагается бассейн, рельеф водосборной площади и интенсивность ее денудации, литологический состав пород, слагающих водосборную площадь, и, наконец, физико-географический тип водоема и его гидрохимические особенности.

Рассматривая карбонатообразовательный процесс в крупных водоемах аридной зоны — в Черном, Каспийском и Аральском морях, Н. М. Страхов отмечает, что вода всех указанных водоемов в течение круглого года в несколько раз пересыщена карбонатом кальция, т. е. имеются условия для постоянной его садки химическим путем. Наряду с этим, в водоемы поступают большие количества терригенного карбоната. Однако здесь резко сокращается возможность биогенного выделения карбонатов, так как органиче-

ский мир внутриконтинентальных морей и озер засушливой зоны отличается от органического мира нормальных морей бедностью своего группового и видового состава. Поэтому ведущая роль в карбонатообразовании в водоемах аридной зоны принадлежит хемогенному карбонату, второе место занимает терригенный и последнее — биогенный [1].

Распределение в донных осадках содержаний карбоната кальция (в %) здесь полностью связано с «разбавлением» осадков обломочным силикатным материалом, поступающим в водоемы. В Черное море обломочный материал поступает относительно равномерно по всей периферии, максимально разбавляя карбонатный материал в прибрежье. Поэтому карбонатность осадков там также равномерно растет от берегов к центральной части моря. В осадках Каспийского моря, в результате одностороннего питания обломочным силикатным материалом с запада, со стороны Кавказа, область максимальных концентраций карбонатов смещена на восток. В Аральском море карбонатность осадков возрастает от дельтовых зон Аму-Дарьи и Сыр-Дарьи к центральным глубоководным частям. Количественно карбонатность донных осадков (по Страхову, 1951) характеризуется следующими интервалами значений (в %):

Черное море	$<10 \div >60$	
Каспийское море	$< 5 \div >50$	(максимум 95,8)
Аральское море	$<10 \div >50$	(» 68)

Преимущественно это пелитоморфный карбонат кальция, образовавшийся химическим путем в виде кальцита, а также внесенный реками в виде тончайшей обломочной мути.

Карбонат магния в осадках встречается лишь спорадически и содержание его при этом невелико — от десятых долей процента до 5—6%.

Абсолютная интенсивность карбонатонакопления в рассмотренных водоемах составляет в порядке возрастания непрерывный ряд:

Черное море < Каспийское море < Аральское море.

Наиболее интенсивно и ярко процесс осаждения карбонатов выражен в оз. Балхаш. В западной части этого водоема в больших масштабах идет химическое осаждение кальцита, в восточной — кальцита и доломита.

Впервые на связь характера карбонатных отложений в оз. Балхаш с его гидрохимией обратили внимание В. Д. Коншин (1945) и Н. М. Страхов (1945). В. Д. Коншин метаморфизацию ионного состава воды озера связывает с образованием известковых и известково-доломитовых отложений в озере. Н. М. Страхов предложил генетическую схему доломитообразования. Согласно этой схеме, доломит представляет осадок хемогенного происхождения, который выпадает из воды озера при $pH = 8{,}8 \div 8{,}9$.

Однако в своей более поздней работе Н. М. Страхов (1951) после неудавшихся лабораторных опытов по осаждению доломита из искусственно приготовленной балхашской воды (в осадок выпадали карбонат кальция и основные соли магния) дает несколько иную схему доломитообразования. Доломит образуется в две стадии: в первую — из воды выпадает основная углекислая соль магния, во вторую — под влиянием двуокиси углерода, выделяющейся у дна, происходит усреднение основной соли магния и объединение ее с углекислым кальцием в молекулу доломита, т. е. доломитообразование представлено процессом диагенетическим [2].

[1] Исключение составляет Аральское море, где терригенный карбонат стоит на первом месте, а хемогенный на втором.

[2] А. В. Казаковым с сотрудниками (1957) также было установлено, что в условиях температуры 15—24° и при парциальном давлении углекислоты, отвечающем нормальному атмосферному, доломит в системе $CaO—MgO—CO_2—H_2O$ не образуется. При температуре 20—24° в полях высоких и средних концентраций CO_2 в донную фазу выпадали карбонат кальция и основные карбонаты магния. Доломит осаждался только при высоких температурах (60 и 150°) и повышенном парциальном давлении CO_2.

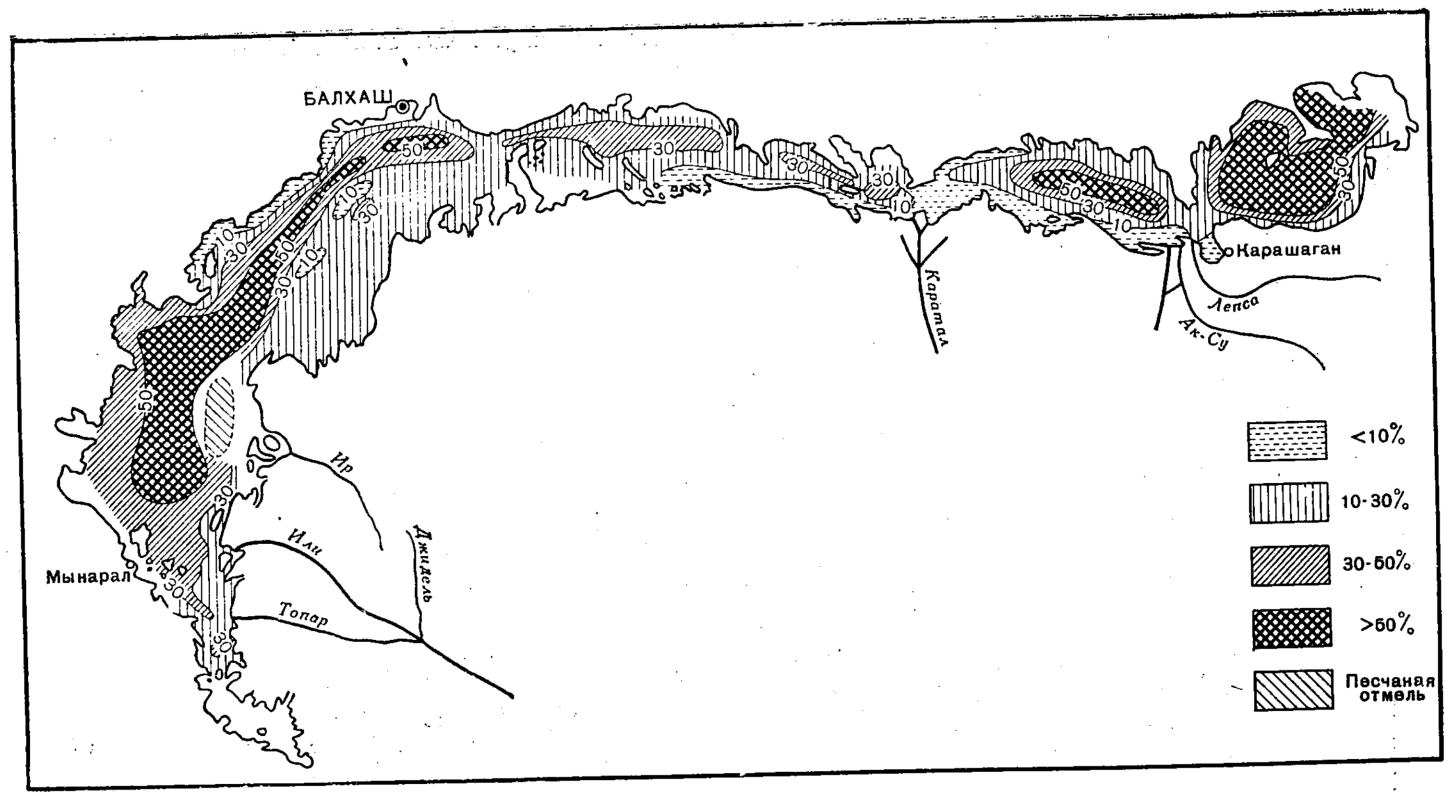


Рис. 69. Карбонатность осадков оз. Балхаш в % (по Д. Г. Сапожникову)

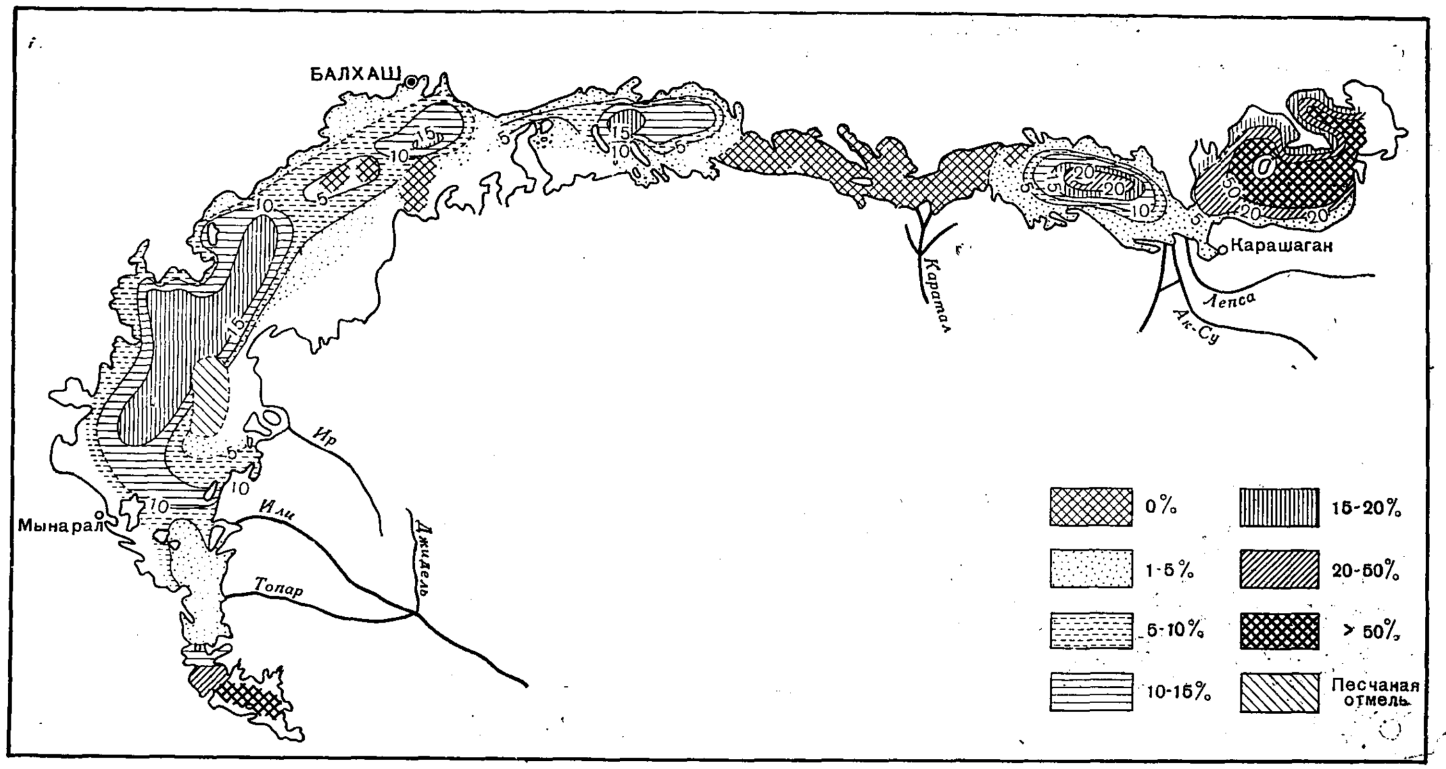


Рис. 70. Доломитность карбонатных осадков оз. Балхаш в % (по Д. Г. Сапожникову)

Вопрос об осадках оз. Балхаш подробно рассматривается в монографии Д. Г. Сапожникова (1951). В результате многолетней работы им составлен ряд карт распределения осадков на дне озера, в частности, карты распределения суммы карбонатов (рис. 69) и доломитности карбонатов (рис. 70). Приводимые карты дают ясное представление о количествах карбонатов, входящих в состав донных отложений, и о характере их распределения. Мощность современных отложений колеблется от 2—3 *см* в проливах до 7 *м* — в отдельных частях озера и в целом по оз. Балхаш составляет не менее 2—4 *м*. Насколько можно судить по данным Д. Г. Сапожникова, закономерных изменений в суммарном содержании карбонатов в вертикальных колонках донных осадков не обнаружено (по крайней мере, до глубины 1,0—1,2 м). Как увидим ниже, стратификация наблюдается только в отношении содержания в осадках доломитов.

Рассматривая генезис карбонатов, Д. Г. Сапожников, используя данные В. Д. Коншина, рассчитал произведения активностей ионов, входящих в молекулу кальцита и доломита. Д. Г. Сапожников пришел к выводу, что произведение активностей $Ca^{\cdot\cdot}$ и CO''_3 постоянно по всей длине озера ($6{,}80 \cdot 10^{-8}$ —$9{,}97 \cdot 10^{-8}$), произведение же активностей $Ca^{\cdot\cdot}$, $Mg^{\cdot\cdot}$ и CO''_3, непрерывно возрастая с запада на восток, достигает своего максимального и постоянного значения ($1{,}67 \cdot 10^{-13}$) только в двух восточных плёсах. По мнению упомянутого исследователя, это указывает на то, что углекислый кальций насыщает или несколько пересыщает воду озера повсюду, доломит же — только в двух восточных плёсах. Поэтому кальцит может выпадать в осадок во всех частях озера, доломит же — только в восточных плёсах. Такое толкование хорошо соответствует характеру распределения этих осадков на дне озера.

Однако следует заметить, что говорить о произведении активностей ионов, слагающих молекулу доломита, пожалуй, можно было бы лишь в том случае, если бы он выпадал в осадок непосредственно из воды. Поскольку же из воды выпадает смесь кальцита с основными карбонатами магния, то расчет произведения активностей $Ca^{\cdot\cdot}$, $Mg^{\cdot\cdot}$ и CO''_3 является известным упрощением более сложной картины и не имеет теоретического обоснования.

В табл. 39 для каждого из восьми районов приведены средние величины произведения активностей $Ca^{\cdot\cdot}$ и CO''_3, а также величины соотношения различных форм угольной кислоты и определяемые ими значения pH, полученные по нашим данным. Содержание монокарбонатных ионов рассчитывалось на основании данных о величинах щелочности и pH по формулам, приведенным в работах О. А. Алекина (1954) и П. П. Воронкова (1951). Распределение в озере величин pH показано ниже (рис. 85,). Значение первой константы диссоциации угольной кислоты взято по Харнеду и Девису (Harned a. Davis, 1943), значение второй константы — по Буху и Харвею (Buch, Harvei a. oth., 1932). При расчетах учитывались температурные изменения констант [1].

На рис. 71 построены кривые, показывающие изменение в воде озера в восточном направлении произведения активностей $Ca^{\cdot\cdot}$ и CO''_3. Здесь же приведены соответствующие кривые, полученные Д. Г. Сапожниковым в 1941 г. Характер кривых один и тот же. Средние величины произведения активностей почти не меняются в направлении с запада на восток. Более высокие, по сравнению с найденными нами, значения произведений, полученные в 1941 г., объясняются тем, что Д. Г. Сапожниковым для расчета были использованы данные В. Д. Коншина, в которых содержание CO''_3, определявшееся титрованием, явно завышено.

Степень насыщенности воды карбонатом кальция выражаем через отношение наблюдаемого произведения активностей $Ca^{\cdot\cdot}$ и CO''_3 к теоретической

[1] Значения констант (при $t = 20°$) следующие: $K_1 = 4{,}15 \cdot 10^{-7}$, $K_2 = 3{,}34 \cdot 10^{-11}$.

Таблица 39

Некоторые элементы карбонатного равновесия в воде оз. Балхаш

Номер района	$\Sigma_{\text{н}}$, *г/кг*	f_{11}	pH	Щелочность (А) *г-экв/л* × $\times 10^{-3}$	HCO_3', *г-молн/л* × $\times 10^{-3}$ / % молей от суммы карбонатов	CO_3'', *г-моли/л* × $\times 10^{-5}$ / % молей от суммы карбонатов	$Ca^{\cdot\cdot}$ *г-молн/л* × $\times 10^{-3}$	$f_{11}^2 \cdot [Ca^{\cdot\cdot}] \times [CO_3''] \times 10^{-9}$
					1956 год			
1	0,74	0,59	8,70	3,80	3,64 / 98,0	8,19 / 2,0	0,92	26,1
2	1,01	0,55	8,69	4,32	4,12 / 97,8	10,4 / 2,2	0,88	27,5
3	1,30	0,51	8,70	5,00	4,72 / 97,0	13,8 / 3,0	0,85	29,4
4	1,40	0,50	8,80	5,24	4,99 / 96,8	15,7 / 3,2	0,85	33,4
5	2,59	0,41	8,95	7,80	7,14 / 95,5	33,3 / 4,5	0,65	36,5
6	3,15	0,39	8,98	8,90	7,96 / 94,1	47,6 / 5,9	0,57	41,3
7	4,58	0,33	9,04	12,1	10,5 / 93,2	81,5 / 6,8	0,45	40,2
8	5,25	0,31	9,06	13,7	11,7 / 92,0	100,0 / 8,0	0,35	33,5
					1957 год			
1	0,82	0,58	8,65	3,94	3,74 / 97,5	10,5 / 2,5	0,92	32,4
2	0,92	0,57	8,66	4,17	3,97 / 98,0	9,5 / 2,0	0,72	22,3
3	1,26	0,51	8,76	4,90	4,62 / 97,0	13,6 / 3,0	0,80	28,2
4	1,52	0,50	8,77	5,58	5,25 / 96,8	16,6 / 3,2	0,83	34,4
5	2,56	0,41	8,90	7,95	7,26 / 95,7	34,4 / 4,3	0,70	40,4
6	3,25	0,39	9,02	9,35	8,03 / 92,4	65,8 / 7,6	0,60	60,0
7	4,56	0,33	9,10	12,3	10,2 / 91,2	104,0 / 8,8	0,45	51,2
8	5,25	0,31	9,13	13,6	11,1 / 90,4	121,0 / 9,6	0,45	52,4

величине произведения растворимости. Значение последней величины при расчетах принято по Ваттенбергу (Wattenberg, 1933) (при 20° $L_{CaCO_3} = 3{,}60 \cdot 10^{-9}$). Результаты расчетов, сделанных для каждой станции, приведены в виде карт на рис. 72. Как следует из этих карт, вода озера везде сильно пересыщена $CaCO_3$. Пересыщение неодинаковое и растет в восточном направлении от двукратного до двенадцатикратного (в отдельных случаях до семнадцатикратного). Значительное пресыщение природных вод карбонатом кальция — явление нередкое. Так, например, летом в поверхностных слоях Рыбинского водохранилища насыщение воды карбонатом кальция превышало норму в 58 раз (Воронков, 1951), насыщенность воды нижней Волги в летнюю межень — в 6,6 раза (Алекин и Моричева, 1956), а насыщенность воды отдельных прудов засушливой зоны — в 19 раз (Тарасов, 1956) и т. д.

Как показали О. А. Алекин и Н. П. Моричева (1957), одна из причин этого явления заключается в стабилизирующем действии на карбонатную систему органического вещества. Ниже увидим, что перманганатная окисляемость воды оз. Балхаш увеличивается от 3,74 *мг* О/*л* в западной части озера [1] до 4,78 *мг* О/*л* — в восточной [2]. Это, по-видимому, способствует увеличению пересыщенности воды карбонатом кальция в том же направлении. Согласно дальнейшим исследованиям тех же авторов (1958), гумусовые вещества удерживают выпадение $CaCO_3$ из раствора лишь до определенного

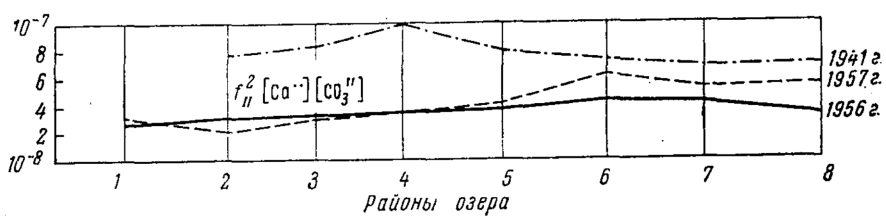


Рис. 71. Характер изменения произведений активностей $Ca^{..}$ и CO_3^{II} по длине озера

предела и в зависимости от условий, определяющих карбонатное равновесие, $CaCO_3$ после достижения его раствором значительного пересыщения начинает переходить в осадок, увлекая за собой и органические вещества, сорбирующиеся на поверхности кристаллов. В связи с этим интересно отметить, что с ростом карбонатности осадков в озере одновременно увеличивается и содержание в них органического углерода. Так, в районе устья Или количество органического углерода не превышает 0,5%, в отложениях же восточных плёсов оно возрастает до 2,5% (Сапожников, 1951).

Углекислый кальций в осадках находится преимущественно в виде пелитоморфного кальцита; распространен он по всему озеру. Однако в восточном направлении общая карбонатность осадков возрастает и на востоке, по Сапожникову, достигает 70%. Очевидно, это находится в связи с увеличением в том же направлении пересыщенности воды карбонатом кальция, что способствует выделению последнего в осадок.

Исключительное своеобразие оз. Балхаш заключается в образовании в нем доломита. Последний образуется преимущественно в восточных районах озера (и в заливе Ала-Куль). В современных водоемах этот процесс наблюдается очень редко. Он имеет место в Большом Соленом озере в США (Eardley, 1938), в одном из озер, расположенных в Юго-Западной Африке (Gavers, 1930), а также в некоторых озерах Кулундинской степи — во всех случаях в условиях аридного климата. Однако одних только засушливых условий для образования доломита, очевидно, недостаточно. По Н. М. Страхову, необходимыми гидрохимическими предпосылками для этого, помимо повышенного содержания магния, служат высокие значения pH (8,8—8,9 и больше) и высокая щелочность воды. Из крупных водоемов, расположенных в аридной зоне, эти предпосылки выражены наиболее ярко у оз. Балхаш в восточной его части:

	Щелочность, *мг-экв/л*	pH
Черное море	3,14	8,36
Каспийское море	3,62	8,47
Аральское море	2,59	8,32
Озеро Балхаш (в восточной части)	13,7	9,10

Поэтому из перечисленных выше водоемов доломит образуется только в оз. Балхаш и главным образом в восточных плёсах, где его содержание

[1] Среднее из определений на 33 станциях.
[2] Среднее из определений на 26 станциях.

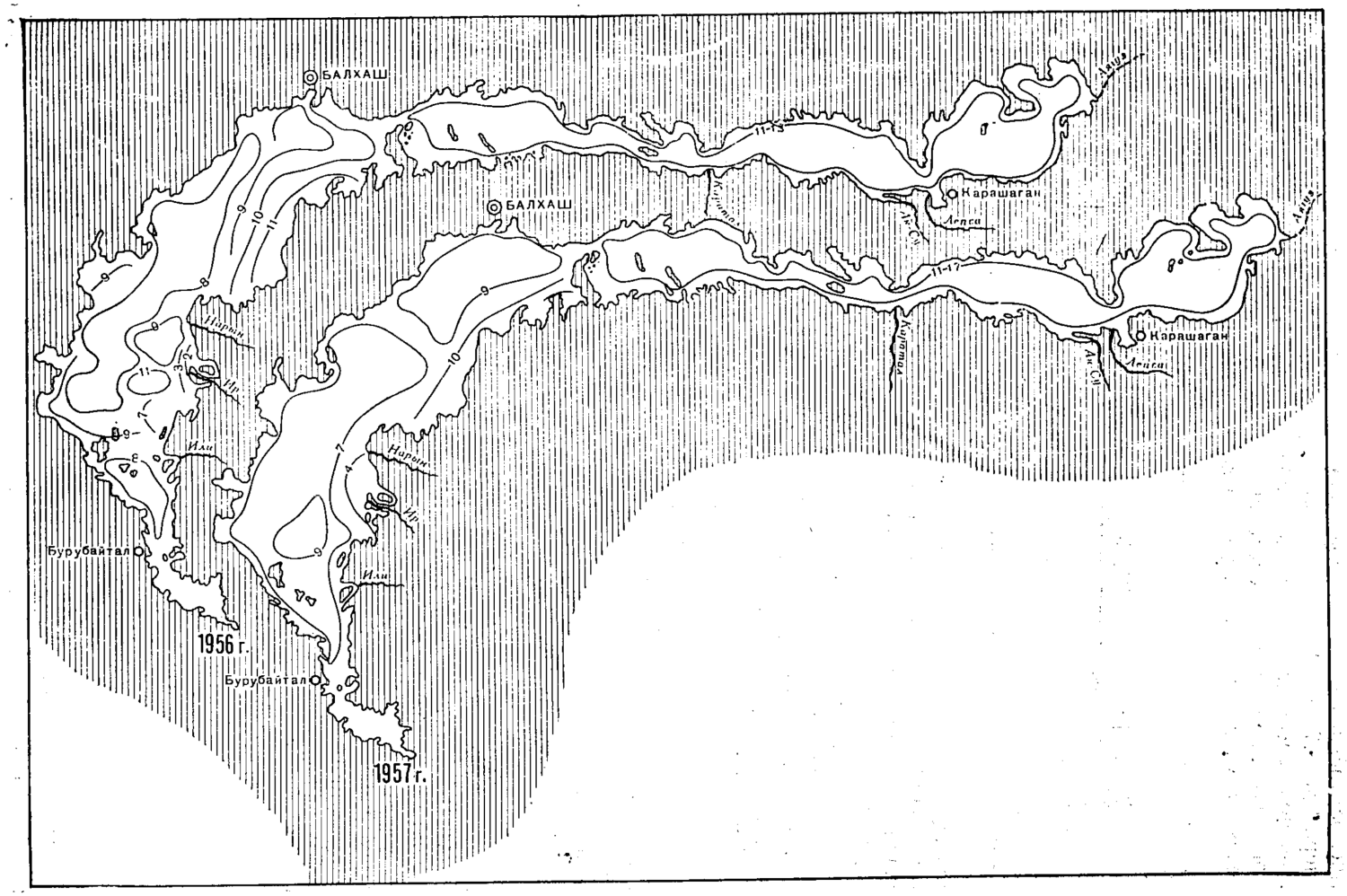


Рис. 72. Пересыщенность воды $CaCO_3$ (в n раз)

превосходит 50% от суммы карбонатов. Доля же кальцита здесь соответственно падает. В других частях озера доломитность осадков значительно ниже и составляет лишь 10—15% от суммы карбонатов.

Весьма характерным является распределение содержаний доломитов в осадках по вертикали (рис. 73). В тех районах озера, где в настоящее

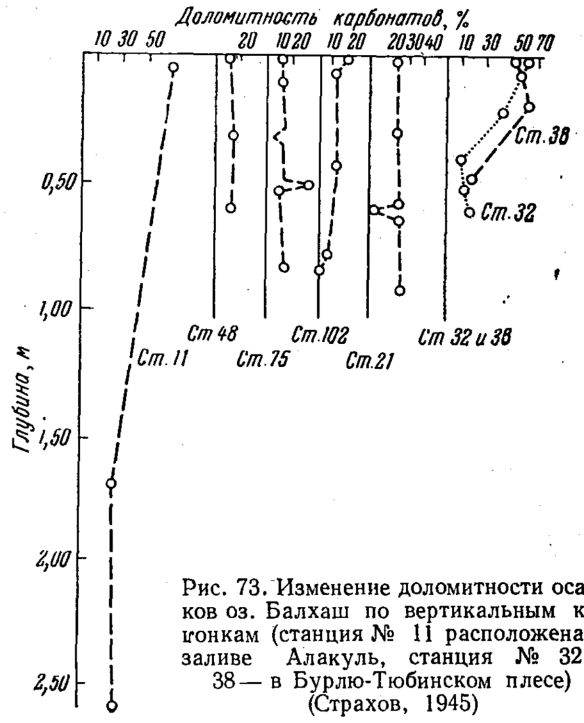


Рис. 73. Изменение доломитности осадков оз. Балхаш по вертикальным колонкам (станция № 11 расположена в заливе Алакуль, станция № 32 и 38 — в Бурлю-Тюбинском плесе) (Страхов, 1945)

время происходит доломитообразование, с углублением в толщу осадков доломитность последних падает. В наименее доломитизированных районах доломитность в вертикальных колонках не меняется. Н. М. Страхов эту особенность объясняет тем, что Балхашский водоем в ледниковый период и в эпоху таяния ледника по своему типу приближался к обычным озерам таежно-подзолистой области. Условий для образования доломита в таком водоеме не было (содержание магния, щелочность и pH малы). Впоследствии климат становился более засушливым и затем перешел в современный, при котором создались условия, наблюдаемые теперь, т. е. «возникновение доломитных осадков в Балхаше есть неизбежное следствие всей его послеледниковой истории» (1945, стр. 64).

Распределение в донных осадках карбонатов, определяемое чисто химическими процессами, происходящими в озере, в значительной мере зависит также и от гидродинамических факторов. Необходимо отметить, что относительная бедность органического мира оз. Балхаш обусловливает ничтожное содержание в осадках озера карбонатов органогенного происхождения. Их содержание не превышает 1—2% от общей массы карбонатов (Страхов, 1951). Как увидим несколько ниже, решающее место (около 66%) здесь занимает хемогенный карбонат, остальные 34% приходятся на долю карбонатов терригенного происхождения. В районе, прилегающем непосредственно к дельте р. Или, из-за разбавления крупным обломочным силикатным материалом, карбонатность осадков понижена (см. рис. 69). Однако дальше наблюдается большая зона, вытянутая по ходу течения с высокой карбонатностью осадков. В направлении от дельты на восток эта зона постепенно суживается и исчезает. По-видимому, в данном районе озера происходит седиментация основной массы терригенного кальцита. Дальше на восток влия-

ние терригенного материала уменьшается, и в восточных районах на первое место выступают карбонаты хемогенного происхождения. Это вполне согласуется с изменением прозрачности воды озера в восточном направлении (см. рис. 36). Разбавляющее действие обломочного силикатного материала сказывается и в небольших придельтовых районах других рек (Каратал, Ак-Су, Лепса), где карбонатность осадков и прозрачность воды озера также несколько понижены.

Большое значение в размещении карбонатов на дне бассейна имеет процесс переноса течениями тонких осадков, взмучиваемых частыми и сильными ветрами, в глубоководные части озера. Этим процессом можно объяснить низкую карбонатность осадков в мелководной юго-восточной части озера. Условия для химической садки здесь вполне благоприятные (высокое значение pH, значительное пересыщение $CaCO_3$), но образующиеся здесь карбонаты в конечном итоге отлагаются в более глубоких частях озера.

Таким образом, специфичность карбонатообразовательного процесса в оз. Балхаш в первую очередь определяется его гидрохимическими особенностями. Большое значение имеет также перераспределение карбонатов на дне бассейна под действием течений.

Выше был рассчитан ионный сток рек, впадающих в оз. Балхаш, с учетом осаждения кальцита и доломита (см. табл. 18), а также поступление солей с атмосферными осадками (см. табл. 11). Было получено, что из 4,07 млн. *т* солей, вносимых ежегодно в озеро реками, только 1,09 млн. *т* идет на пополнение его солевого запаса, а из 310 тыс. *т* солей, вносимых атмосферными осадками, на пополнение солевого запаса идет 150 тыс. *т*. Очевидно, что общая разница в 3,14 млн. *т* (2,98 млн. *т*—для рек и 0,16 млн. *т*—для атмосферных осадков) слагается из следующих величин (в млн. *т*):

Оседающий на дно кальцит и доломит . .	1,94
Выделяющаяся свободная CO_2	0,86
H_2O	0,34
Всего	3,14

Если вспомним, что в озеро ежегодно поступает около 5 млн. *т* взвешенных веществ, в составе которых содержится около 20% карбонатов кальция и магния, то получим, что суммарное осаждение карбонатов на дно озера составляет 2,94 млн. *т*/год. Причем из них примерно 66% выпадает из раствора в результате химических процессов в водоеме (хемогенный карбонат) и около 34% приносится в виде взвесей в поступающих в озеро водах (терригенный карбонат). Эти цифры почти совпадают с данными (70 и 30%), приводимыми Н. М. Страховым (1951). Образовавшаяся при разложении бикарбонатов свободная CO_2 (0,86 млн. *т*) частично расходуется на фотосинтетические процессы в водоеме, частично выделяется в атмосферу.

Своеобразием гидрохимии оз. Балхаш в значительной степени обусловлено и то, что из крупных водоемов, расположенных в аридной зоне, наибольшая абсолютная интенсивность карбонатонакопления (вследствие протекающих в озере химических процессов) наблюдается именно у оз. Балхаш. По данным, приведенным в работе Н. М. Страхова (1951), можно приблизительно судить о скорости накопления на дне некоторых бассейнов, различных по генезису карбонатов. Ниже приведены соответствующие цифры (в *г* на 1 *см*^{2} за 1000 лет).

	Терригенный карбонат	Биогенный карбонат	Хемогенный карбонат	Всего
Черное море	2,2	0,9	4,3	7,4
Каспийское море	3,5	1,4	6,8	11,7
Аральское море	12,6	1,2	5,6	19,4
Озеро Балхаш:				
по Н. М. Страхову	9,2	Следы	21,7	30,9
по М. Н. Тарасову	7,0	»	12,5	19,5

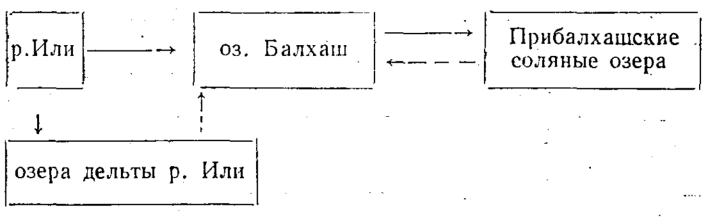
Из этих цифр следует, что по скорости накопления карбонатов, образовавшихся химическим путем, оз. Балхаш стоит далеко впереди других водоемов. За счет химических процессов здесь, по нашим данным, на 1 $см^2$ поверхности дна за 1000 лет выпадает около 12,5 *г* карбонатов. Суммарное карбонатонакопление здесь достигает 19,5 *г* (исходим из площади оз. Балхаш в 15,5 тыс. $км^2$).

Таким образом, в результате осаждения химически образующихся в озерной воде карбонатов, на пополнение находящегося в растворенном состоянии солевого запаса озера идет не более 45% от общего количества солей, вносимых в водоем[1]. Это обстоятельство является одной из причин несоответствия имеющегося в настоящее время в оз. Балхаш запаса солей со сроком, в течение которого этот запас мог образоваться.

Выпадение в осадок каких-либо других солей, кроме кальцита и доломита, в частности, сернокислого кальция, при существующих в озере условиях, мало вероятно (малое содержание в воде кальция, который выпадает в виде карбоната в силу меньшей растворимости последнего, сравнительно невысокое содержание SO_4'' и небольшая минерализация озера)[2].

6. ГИДРОХИМИЯ ОЗЕР ПРИБАЛХАШЬЯ

Ниже рассмотрим две группы озер, различающихся генезисом ионного состава: озера дельты Или и Прибалхашские соляные (и солоноватые). Первые из них основным источником питания имеют илийскую воду, вторые — своим питанием связаны с оз. Балхаш. Таким образом, все они входят в общую взаимосвязанную систему:



Рассмотрение системы в целом позволяет выяснить основные этапы метаморфизации воды от пресной гидрокарбонатной воды Или до сульфатных и хлоридных вод самосадочных озер Прибалхашья.

О з е р а д е л ь т ы р. И л и. Выше уже отмечалось, что дельта представляет сложную систему многочисленных проток, озер и болот, покрытых непроходимыми зарослями тростника (см. рис. 14 и 15) и обладающими различной степенью водообмена и минерализацией воды.

Представление о химическом составе некоторых водоемов дельты можно составить на основании данных, помещенных в табл. 40[3]. Несмотря на различие условий окружения озер, разбросанных на большой территории (около 6000 $км^2$), в химическом составе их воды имеется много сходного, зависящего от общего для них источника питания — р. Или.

Это видно на графиках связи состава воды озер и проток дельты с минерализацией (рис. 74). Разброс точек здесь довольно значительный, но все же по ним возможно провести усредняющие кривые. Минерализация обследованных в дельте водоемов обычно составляет 0,2—8,2 *г/кг*. При этом минерализация проток и проточных озер, как правило, не превышает

[1] На самом деле эта цифра даже несколько ниже, так как из-за отсутствия достоверных данных при расчетах не учитывалось осаждение карбонатов, содержащихся в подземных водах.

[2] Как установлено Л. К. Блиновым (1956), выпадение гипса из воды Аральского моря происходит лишь при солености, превышающей 27‰.

[3] Местоположение пунктов указано на рис. 13.

Таблица 40

Химический состав воды некоторых водоемов, расположенных в современной дельте р. Или*

№ водоема на карте (рис.13)	Водоем	Дата отбора пробы	Содержание ионов, *мг/л*							Содержание ионов, %-экв.						Индекс по О. А. Алекину
			Cl'	SO_4''	$HCO_3'+CO_3''$	$Ca^{..}$	$Mg^{..}$	$Na'+K'$	$\Sigma_и$	Cl'	SO_4''	$HCO_3'+CO_3''$	$Ca^{..}$	$Mg^{..}$	$Na'+K'$	
1	Приток Ир	29.VIII 1955 г.	18,7	28,0	204,4	47,5	12,8	26,0	337,4	6,0	6,5	37,5	26,6	11,8	11,6	C_{II}^{Ca}
2	Оз. Терскен-Тюбе	30.VII 1955 г.	16,9	33,7	200,8	41,1	13,9	32,0	338,4	5,4	7,8	36,8	22,9	12,8	14,3	C_{I}^{Ca}
3	Оз. Ауз-Шохо (западная часть)	11.VII 1955 г.	66,8	85,2	281,3	57,9	28,7	75,3	595,2	11,4	10,7	27,9	17,5	14,3	18,2	$C_{II}^{Na,Ca,Mg}$
	Оз. Ауз-Шохо (средняя часть)	11.VII 1955 г.	65,1	92,6	269,8	58,3	26,1	78,3	590,2	11,2	11,8	27,0	17,8	13,1	19,1	$C_{II}^{Na,Ca}$
4	Оз. Чаканистое	29.VII 1955 г.	23,5	42,8	277,6	54,9	15,0	53,3	467,1	5,4	7,3	37,3	22,5	10,1	17,4	C_{I}^{Ca}
5	Оз. Коржин-Коль	26.VII 1955 г.	104,9	164,6	239,2	66,9	33,2	106,0	714,8	14,3	16,6	19,1	16,2	13,2	20,6	$CSCl_{II}^{Na,Ca}$
6	Оз. Бырказан-Коль . . .	24.VII 1955 г.	26,0	42,8	131,2	45,1	13,7	9,8	268,6	9,7	11,8	28,5	29,8	15,0	5,2	C_{III}^{Ca}
7	Оз. Чебыр-Кунан	25.VII 1955 г.	31,9	51,8	269,7	43,9	11,2	82,2	490,7	7,0	8,4	34,6	17,1	7,2	25,7	C_{I}^{Na}
8	Джидельская россыпь .	28.VII 1955 г.	19,1	55,6	219,7	50,7	11,8	45,0	401,8	5,1	10,9	34,0	23,9	9,1	17,0	C_{I}^{Ca}
9	Оз. Бол. Бабушиное . .	25.VII 1955 г.	19,4	34,1	101,3	40,3	11,1	Нет	206,2	9,4	12,2	28,4	34,4	15,6	Нет	C_{III}^{Ca}
10	Оз. Белое	19.VIII 1955 г.	212,0	288,3	308,6	39,3	66,0	215,0	1129	18,7	15,5	15,8	6,1	17,0	26,9	$ClCS_{II}^{Na}$
11	Оз. Чинар-Куль	18.IX 1955 г.	14,1	37,4	177,6	43,3	13,5	20,5	306,4	4,9	9,5	35,6	26,4	13,6	10,0	C_{II}^{Ca}
	То же	26.VII 1957 г.	62,9	125,6	224,5	52,7	26,8	80,8	573,4	11,0	16,2	22,8	16,3	13,7	20,0	$C_{II}^{Na,Ca}$
12	Проток Арыстан	18.IX 1955 г.	14,4	37,0	161,7	43,9	13,1	14,0	284,1	5,3	10,1	34,6	28,6	14,1	7,3	C_{II}^{Ca}

* Пробы отобраны Лабораторией озероведения АН СССР, анализ выполнен нами.

13	Оз. Манасый-Коль	27.VII 1955 г.	257,0	299,6	377,7	69,1	71,1	259,5	1334	18,4	15,9	15,7	8,8	14,9	26,3	$ClSC_{II}^{Na}$
14	Оз. Мын-Карман	29.VIII 1955 г.	24,2	39,1	227,6	44,9	12,5	48,8	397,1	6,5	7,8	35,7	21,4	9,9	18,7	$C_{I}^{Ca,Na}$
15	Оз. у пос. Сартумсык .	31.VII 1955 г.	2010	3139	339,3	52,9	55,5	2187	8184	22,2	25,6	2,2	1,0	14,7	34,3	SCl_{II}^{Na}
16	Оз. Аяске-Жеришок . . .	12.VII 1955 г.	58,4	88,5	258,1	56,1	24,6	72,5	558,2	10,7	11,9	27,4	18,1	13,1	18,8	$C_{II}^{Na,Ca}$
17	Оз. Улькун-Коль (Ирбейской группы) . . .	26.VII 1955 г.	87,6	125,1	266,0	58,9	29,5	101,5	668,6	13,0	13,8	23,2	15,6	12,9	21,5	C_{II}^{Na}
18	Россыпь Чинаркуль 6, оз. Круглое	16.IX 1955 г.	14,3	36,3	202,6	42,5	17,3	23,5	336,5	4,5	8,5	37,0	23,7	15,8	10,5	C_{II}^{Ca}
19	Система Мын-Карабас .	17.IX 1955 г.	10,3	32,9	169,6	43,7	10,2	18,3	285,0	3,8	9,1	37,1	29,1	11,2	9,7	То же
20	Оз. Улькун-Коль . . .	22.VII 1955 г.	41,4	70,8	186,1	54,7	20,3	32,3	405,6	10,3	12,9	26,8	24,0	14,7	11,3	»
21	Оз. Копалы-Коль	12.VII 1955 г.	71,1	107,8	261,8	55,9	27,1	87,8	611,5	11,7	13,1	25,2	16,4	13,1	20,5	$C_{II}^{Na,Ca}$
22	Сартальские озера	14.VII 1955 г.	63,0	91,4	254,5	56,1	26,5	71,8	563,3	11,3	12,1	26,6	17,8	13,9	18,3	$C_{II}^{Na,Ca,Mg}$
23	Оз. Ауз-Куль	11.VII 1955 г.	70,0	110,7	281,3	61,5	29,8	84,0	637,3	11,1	13,0	25,9	17,3	13,8	18,9	$C_{II}^{Na,Ca}$
24	Оз. Аку-Куль	24.VII 1955 г.	27,5	54,3	127,5	49,9	16,5	3,8	279,5	9,8	14,1	26,1	31,1	17,0	1,9	C_{III}^{Ca}
25	Проток Кур-Курюк . . .	17.IX 1955 г.	14,7	36,6	179,4	43,7	10,8	26,0	311,2	5,0	9,2	35,8	26,5	10,8	12,7	C_{II}^{Ca}
26	Оз. Дуз-Тюбе	16.VII 1955 г.	126,8	154,7	289,2	66,3	38,3	127,0	802,3	15,5	14,0	20,5	14,3	13,6	22,1	CCl_{II}^{Na}
27	Наурузбаевские озера (вблизи бархана) . . .	15 VII 1955 г.	89,8	130,9	254,4	55,1	32,8	99,2	662,2	13,4	14,4	22,2	14,6	14,3	21,1	C_{II}^{Na}
	То же	24.VII 1957 г.	158,5	186,0	224,5	54,1	44,7	141,0	808,8	18,6	16,1	15,3	11,2	15,3	23,5	$ClSC_{II}^{Na}$
28	Озеро Бол. Наурузбай .	13.VII 1955 г.	49,1	80,7	254,4	54,7	21,6	68,2	528,7	9,6	11,6	28,8	18,9	12,3	18,8	$C_{II}^{Ca,Na}$
29	Оз. Тунгушпаевское . .	15.VIII 1955 г.	101,8	138,3	285,6	57,7	35,0	116,8	735,2	13,8	13,8	22,4	13,8	13,8	22,4	C_{II}^{Na}
30	Оз. Бакланское	15.VIII 1955 г.	71,1	104,1	274,0	55,3	28,9	88,2	621,6	11,6	12,5	25,9	15,9	13,7	20,4	$C_{II}^{Na,Ca}$
31	Оз. Трехгранное	20.VIII 1955 г.	74,2	95,1	266,0	56,1	27,7	83,8	602,9	12,4	11,7	25,9	16,6	13,5	19,9	То же
32	Оз. Длинное	17.VIII 1955 г.	62,5	87,6	260,6	54,3	26,3	74,5	565,8	11,2	11,6	27,2	17,3	13,8	18,9	»
33	Оз. Асаубайтан	2.VII 1957 г.	13,2	35,4	147,1	32,5	15,6	15,5	259,3	5,3	10,5	34,2	23,0	18,2	8,8	$C_{II}^{Ca,Mg}$

Таблица 40 (окончание)

№ водоема на карте (рис. 13)	Водоем	Дата отбора пробы	Содержание ионов, *мг/л*							Содержание ионов, %-экв.						Индекс по О. А. Алекину
			Cl'	SO_4''	$HCO_3' + CO_3''$	$Ca^{..}$	$Mg^{..}$	$Na^{.} + K^{.}$	Σ	Cl'	SO_4''	$HCO_3' + CO_3''$	$Ca^{..}$	$Mg^{..}$	$Na^{.} + K^{.}$	
34	Средне-Кугалинские озера	3.VII 1957 г.	15,7	33,7	186,7	38,7	18,1	19,5	312,4	5,2	8,3	36,5	23,0	17,7	9,3	C_{II}^{Ca}
35	Оз. Байкал	6.VII 1957 г.	12,5	35,0	150,1	41,1	12,8	11,0	262,5	5,0	10,2	34,8	29,0	14,8	6,2	То же
36	Озера Комсомольской бригады	6.VII 1957 г.	9,3	28,8	129,9	32,5	10,7	12,3	223,5	4,4	10,0	35,6	27,1	14,7	8,2	»
37	Оз. Утиное	7.VII 1957 г.	37,9	68,9	237,3	43,8	25,5	53,5	466,9	8,4	11,3	30,3	16,9	16,4	16,7	$C_{II}^{Ca,Na,Mg}$
38	Оз. среди барханов у проток Черной и Межозерной	9.VII 1957 г.	6034	5967	367,2	629,9	1294	4083	1837,5	28,3	20,7	1,0	5,2	17,7	27,1	Cl_{III}^{Na}
39	Оз. Перекатное	11.VII 1957 г.	10,7	34,7	161,0	30,3	17,9	17,0	271,6	4,1	9,8	36,1	20,6	20,1	9,3	$C_{II}^{Ca,Mg}$
40	Оз. Айна-Куль	12.VII 1957 г.	12,2	32,5	161,0	38,5	13,6	15,5	273,3	4,6	9,3	36,1	26,3	15,3	8,4	C_{II}^{Ca}
41	Оз. участка Архар	14.VII 1957 г.	10,7	35,8	165,3	36,5	15,7	16,3	280,3	4,0	10,0	36,0	24,2	17,2	8,6	То же
42	Оз. Шаланды-Куль	15.VII 1957 г.	8,9	33,4	158,0	36,9	15,1	11,5	263,8	3,5	9,9	36,0	26,9	17,5	6,5	»
43	Оз. Даурбай-Куль	19.VII 1957 г.	9,7	32,6	150,1	38,5	11,7	13,3	255,9	4,0	10,0	36,0	28,2	14,0	7,8	»
44	Оз. Ат-Саксаул	20.VII 1957 г.	24,7	49,4	169,6	41,9	14,1	31,5	331,2	7,8	11,4	30,8	23,1	12,9	14,0	»
45	Оз. Базырбай (участок Бес-Агач)	12.VIII 1957 г.	16,1	38,5	195,2	38,1	19,7	23,3	330,9	5,1	9,0	35,9	21,4	18,2	10,4	$C_{II}^{Ca,}$ g
46	Проток Тупичная (участок Бес-Агач)	14.VIII 1957 г.	25,1	45,8	209,2	48,3	17,5	31,0	376,8	7,0	9,3	33,7	23,6	14,2	12,2	C_{II}^{Ca}

47	Оз. Каракуль (участок Сарыкумей)	17.VIII 1957 г.	137,6	225,7	211,7	42,0	50,3	167,8	817,1	16,1	19,5	14,4	5,0	17,2	27,8	SCl_{II}^{Na}
48	Оз. Аккуль (участок Сарыкумей)	18.VIII 1957 г.	112,4	174,1	314,8	62,3	41,2	136,5	841,3	13,3	15,2	21,5	13,0	14,2	22,6	C_{II}^{Na}
49	Озера участка Изенды	18.VIII 1957 г.	123,4	159,5	239,0	48,3	38,9	125,0	734,1	16,4	13,6	18,0	11,4	15,1	23,5	$CClS_{II}^{Na}$
50	Оз. Джамен-Калы (Богодуховка)	19.VIII 1957 г.	198,6	290,2	337,9	44,5	70,6	233,5	1184	16,1	17,9	16,0	6,4	16,8	26,8	$SClC_{II}^{Na}$
51	Проток Бала-Топар (участок Космола в нижнем течении)	2.IX 1957 г.	7,5	30,9	129,9	36,9	9,6	8,7	223,5	3,5	10,7	35,8	30,9	13,2	5,9	C_{II}^{Ca}
52	Проток Қисык-Бугут (система Космолинских озер)	3.IX 1957 г.	10,4	37,5	139,7	39,1	11,3	12,0	250,0	4,3	11,6	34,1	29,0	13,8	7,2	То же
53	Оз. Барабохино (участок Ак-Дала)	6.IX 1957 г.	45,7	101,4	135,4	36,9	22,0	49,0	390,5	11,5	18,7	19,8	16,4	16,2	17,4	$CS_{II}^{Na,Ca,Mg}$
54	Оз. Соленое (около оз. Барабохина)	6.IX 1957 г.	1933	154,3	381,3	106,6	334,1	778,5	3688	42,6	2,5	4,9	4,2	21,5	24,3	$Cl_{III}^{Na,Mg}$
55	Протока Черная (участок Джанкабай)	7.IX 1957 г.	14,3	38,1	148,2	39,5	12,3	16,0	268,4	5,5	10,9	33,6	27,2	14,0	8,8	C_{II}^{Ca}
56	Оз. Джанкабай (участок Джанкабай)	7.IX 1957 г.	14,9	40,7	150,1	39,1	12,8	18,3	275,9	5,6	11,4	33,0	26,1	14,1	9,8	То же
57	Оз. Бабкино (участок Джанкабай)	7.IX 1957 г.	14,6	39,9	147,0	39,5	12,0	17,3	270,3	5,6	11,4	33,0	27,0	13,5	9,5	»
58	Проток Топар (около пос. Ак-Дала)	7.IX 1957 г.	9,6	35,4	142,7	41,9	9,4	12,3	251,3	4,0	11,0	35,0	31,2	11,5	7,3	»

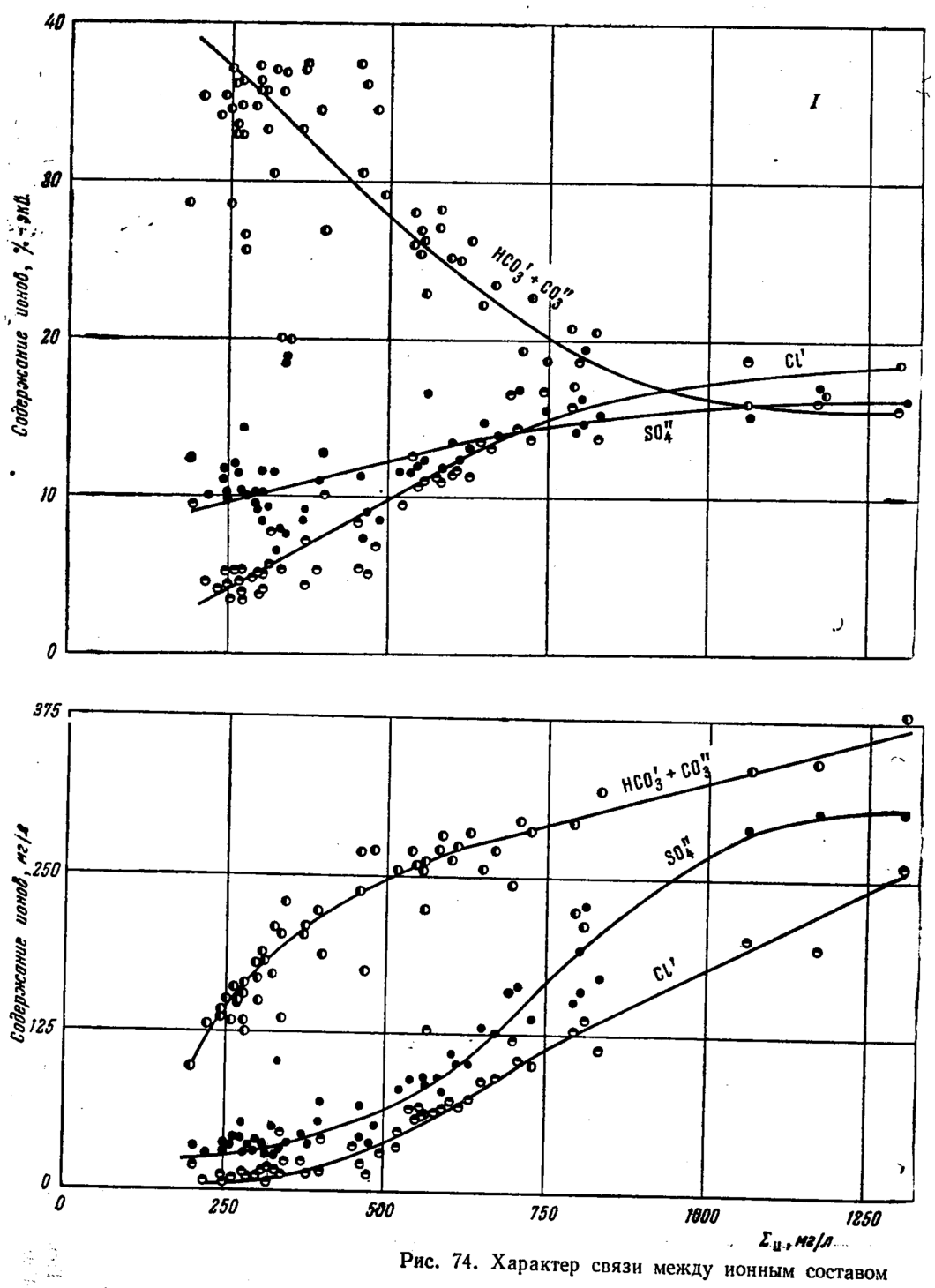
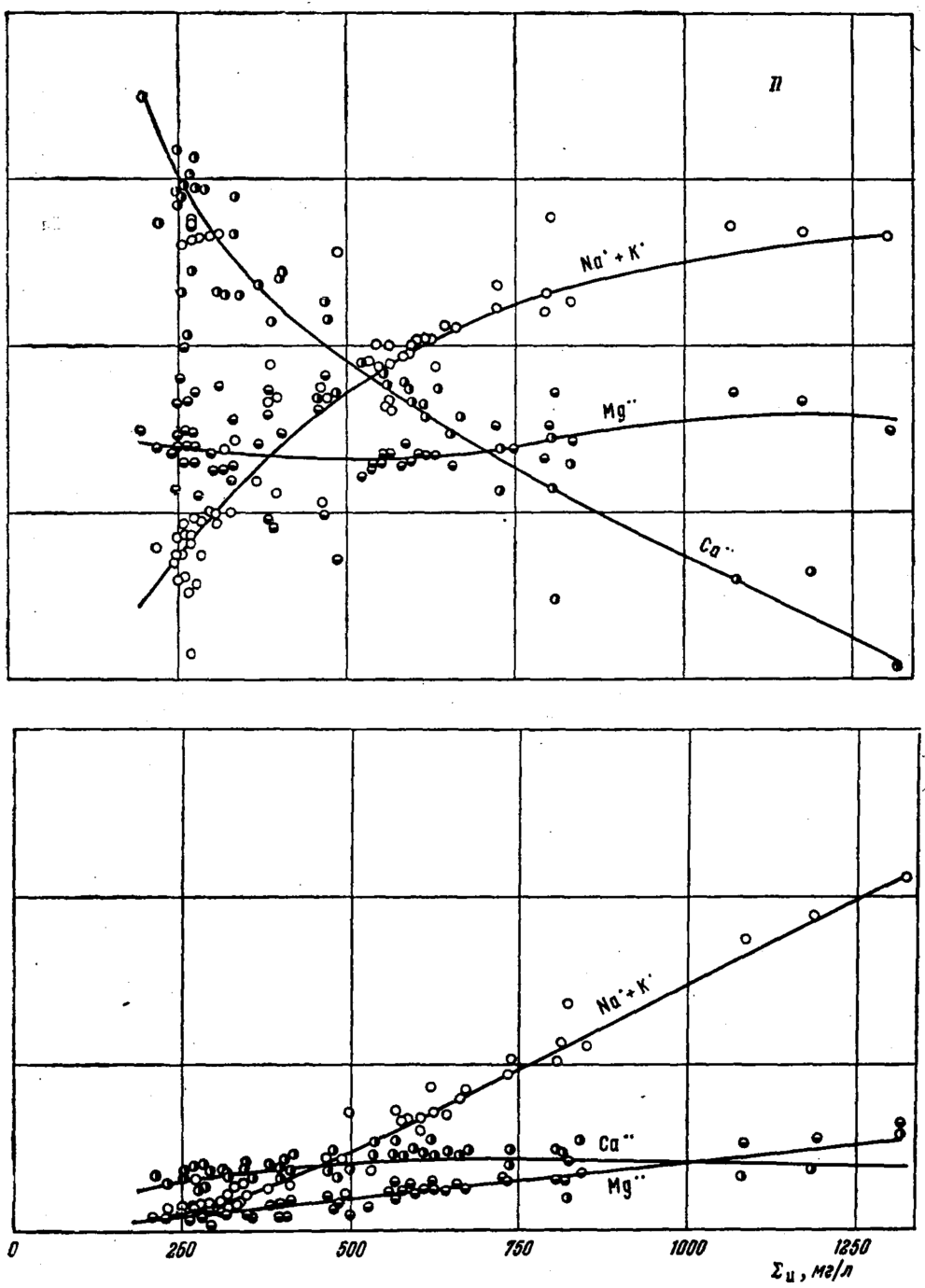


Рис. 74. Характер связи между ионным составом



и минерализацией в водоемах дельты р. Или

минерализации Или в летний период (0,25—0,35 *г/л*); в озерах же с затрудненным водообменом и полностью изолированных минерализация заметно возрастает и в отдельных случаях достигает 20 и более граммов на 1 *кг* (см. табл. 41, оз. № VII). Как видно, из-за питания озер илийской водой химический состав озерной воды в интервале небольших значений минерализации (0,2—0,5 *г/л*) в общем таков же, как и у Или (рис. 74 и см. рис. 44). Вместе с тем с ростом минерализации замечается уменьшение относительного содержания сульфатов в озерах по сравнению с Или и повышение карбонатов и хлоридов. Более наглядно это видно на рис. 75, на котором в одном и том же масштабе сопоставлены графики связи состава с минерализацией для Или, водоемов дельты и западной части оз. Балхаш.

Если вода Или, по классификации О. А. Алекина, имеет индекс C_{II}^{Ca}, то озера по составу их воды располагаются в ряд, характеризуемый индексами C_{II}^{Ca}, $C_{II}^{Ca,\,Na}$, $C_{II}^{Na,\,Ca}$, C_{II}^{Na}, C_{I}^{Na}. Такие различия, очевидно, связаны с тем, что в условиях, господствующих в дельте, неизбежны биохимические процессы десульфатации и как результат их — содообразование. Как показали экспериментальные исследования, проведенные А. Р. Вернером и Н. В. Орловским (1948), в почвах и верховодках центральной Барабы в условиях засоленных почв болотного пояса, при участии сульфатредуцирующих бактерий происходит интенсивное восстановление сульфатов и образование соды[1]. Бактерии восстанавливают SO_4'' до S'' (CaS, MgS, Na_2S), а затем:

$$Na_2S + CO_2 + H_2O = Na_2CO_3 + H_2S$$

или

$$Na_2S + 2CO_2 + 2H_2O = 2NaHCO_3 + H_2S.$$

Образование соды биохимическим путем в водах Казахстана, в том числе и в водах Илийской впадины, ранее отмечал Е. В. Посохов (1946, 1955, 1958). То же явление наблюдали И. Н. Антипов-Каратаев и Г. М. Кадер в придонных слоях прудов, расположенных в Каменной степи (1954).

Условия, господствующие в дельте, вполне благоприятствуют рассматриваемому процессу. Здесь имеются лугово-болотные почвы в комплексе с солончаками, озера покрыты непроходимыми зарослями тростника, вода многих озер застойная и содержит много органических веществ. Л. Д. Штурмом (1934) в аналогичных условиях (в заливе Ала-Куль) были найдены сульфатредуцирующие бактерии.

Следует отметить, что в большинстве случаев рассматриваемый процесс находится в своей начальной стадии. В многочисленных протоках, где анаэробные условия отсутствуют, он не идет совсем, и вода полностью идентична илийской воде (C_{II}^{Ca}). В водоемах же, где создаются перечисленные выше условия, этот процесс уже становится заметным и главным образом именно им обусловлены отмеченные различия химического состава воды в озерах дельты и в Или. Некоторую роль в увеличении в озерах дельты относительного содержания ионов Cl' и $Na' + K'$ по сравнению с Или играют грунтовые воды, в составе которых содержание этих ионов повышено.

Из сопоставления составов воды в Или и в Западном Балхаше (рис. 75) видно, что в озере содержание ионов кальция и карбонатов меньше, чем в реке. Это еще раз свидетельствует об осаждении там карбоната кальция.

Прибалхашские соляные озера, большинство из которых представляют реликты сократившегося оз. Балхаш, являются хорошим примером дальнейшей метаморфизации балхашской воды. Наряду с озерами, минерализация воды которых не намного превышает минерализацию вод оз. Балхаш, здесь можно встретить целый ряд озер, находящихся

[1] Опыты показали, что за 39 дней восстанавливалось от 25 до 50% сульфатов, содержащихся в грунтовых водах, и одновременно резко возрастало количество карбонатов.

в различных стадиях постепенного осолонения, вплоть до самосадочных соляных озер. Во время полевых работ нам удалось осмотреть некоторые из них, находящиеся главным образом в пределах прибрежной полосы оз. Балхаш шириной до 3 *км* и из 15 таких водоемов отобрать пробы воды. Местоположение этих озер показано на рис. 38, результаты химического анализа приведены в табл. 41. Наряду с озерами длиной до 1 *км* (№ IX и X), встречались и совсем небольшие — до 40—50 *м* (№ II и VI).

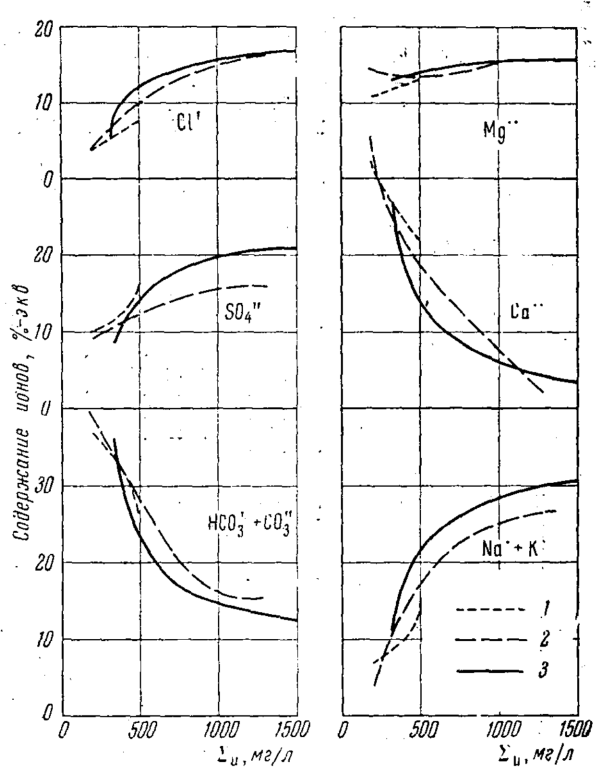


Рис. 75. Сопоставление связей состава с минерализацией воды некоторых водоемов

1 — р. Или; *2* — протоки и озера дельты р. Или; *3* — западная часть оз. Балхаш

Состав воды озер не всегда определяется ее генезисом. Нередко, например, в составе воды озера, образовавшегося, без сомнения, за счет оз. Балхаш, явно превалирует содержание Cl', содержание же SO_4'' занимает подчиненное положение, хотя в Балхашской воде соотношение этих ионов обратное. Определенное значение здесь имеет удаленность того или иного озера от оз. Балхаш и длительность его самостоятельного существования. Общая закономерность, установленная для прибалхашских озер, заключается в том, что «чисто сульфатные озера являются наиболее молодыми по возрасту и расположены наиболее близко к берегу оз. Балхаш, в то время как озера смешанного и хлоридного типа занимают большей частью наиболее отдаленные котловины от оз. Балхаш и являются, безусловно, наиболее старыми по возрасту, вследствие чего успели накопить значительное количество соли» (Корф и Еловская, 1936, стр. 139).

На рис. 76, на диаграмму взаимного равновесия пары солей $2NaCl$ — $MgSO_4$ в проекции Енеке (при 25 и 0°) нанесены точки состава воды оз. Балхаш, воды всех известных нам соляных озер Прибалхашья и рек, впадающих в оз. Балхаш [1].

Точки состава воды оз. Балхаш при температурах как 25, так и 0° на диаграмме попадают в поле мирабилита. Следовательно, при концентрировании балхашской воды из нее в первую очередь будет кристаллизоваться мирабилит (в летних условиях возможна перекристаллизация последнего в тенардит). Из диаграммы видно, что воды многих озер близки по составу к балхашской и точки их состава располагаются вблизи точки воды оз. Балхаш — в их составе преобладают сульфаты. Главным образом это озера, обследованные нами и лежащие недалеко от побережья (на диаграмме они

[1] При вычислении отбрасывались все карбонаты кальция и магния, как соединения, выпадающие в осадок в первые же стадии концентрирования.

Таблица 41

Химический состав воды некоторых прибалхашских озер

Номер озера на карте (рис. 37)	Местоположение озера	Дата отбора пробы	Плотность	Содержание ионов, *мг/кг* или *г/кг*							Содержание ионов, %-экв.						Индекс по О. А. Алекину
				Cl'	SO_4''	$HCO_3'+CO_3''$	$Ca^{..}$	$Mg^{..}$	$Na^{.}+K^{.}$	$\Sigma_и$	Cl'	SO_4''	$HCO_3'+CO_3''$	$Ca^{..}$	$Mg^{..}$	$Na^{.}+K^{.}$	
I_1	~ 400 *м* от оз. Балхаш*	13.VII 1957 г.	1,272	114,0	85,2	2,62	0,07	14,2	97,2	313,3	32,0	17,6	0,4	Нет	11,6	38,4	Cl_{II}^{Na}
I_2	~ 800 *м* » » » *	Тогда же	1,261	109,0	85,0	0,89	0,03	8,4	107,0	310,3	31,7	18,2	0,1	»	7,1	42,9	То же
II	~ 200 *м* » » » *	16.VII 1957 г.	1,273	74,9	125,0	2,77	0,15	10,5	97,4	310,7	22,3	27,3	0,4	»	9,0	41,0	ClS_{II}^{Na}
III	~ 500 *м* » » »	Тогда же	Н.о.	1340	1761	643,6	24,4	298,6	1480	5548	22,3	21,6	6,1	0,7	14,5	34,8	То же
IV_1	~ 1 *км* от оз. Балхаш	17.VII 1957 г.	» »	1235	968,3	585,0	25,2	195,0	1210	4218	27,0	15,5	7,5	1,0	11,5	37,5	Cl_{II}^{Na}
IV_2	~ 800 *м* восточнее предыдущего*	Тогда же	1,138	31,8	25,0	3,77	0,08	7,00	24,0	91,6	29,4	18,6	2,0	Нет	18,6	31,4	То же
VI_1	~ 800 *м* от оз. Балхаш	20.V 1957 г,	Н.о.	414,0	716,0	608,0	69,2	135,5	557,0	2500	16,1	20,3	13,6	4,7	14,9	30,4	SCl_{II}^{Na}
V_2	~ 5 *км* » » »	10.V 1957 г.	» »	3,5	594,2	669,0	67,5	119,5	254,0	1708	0,2	26,6	23,2	7,2	21,0	21,8	$SC_{II}^{Na,Mg}$
VI_1	~ 200 *м* » » »	23.VII 1957 г.	» »	449,0	691,7	678,0	72,0	141,0	576,0	2608	16,6	18,8	14,6	4,7	15,2	30,1	$SClC_{II}^{Na}$
VI_2	~ 500 *м* » » » *	Тогда же	1,009	5,20	5,50	0,57	0,14	0,70	5,18	17,3	27,1	21,2	1,7	1,3	10,5	38,2	Cl_{II}^{Na}
VII	~ 1,5 *км* от протока Нарын*	24.VII 1957 г.	1,036	9,12	22,2	0,91	0,09	3,28	11,6	42,2	17,6	31,4	1,0	0,3	18,3	31,4	S_{II}^{Na}
$VIII_1$	~ 100 *м* от протока Нарын	Тогда же	Н.о.	281,0	347,7	407,0	5,8	80,8	373,0	1495	18,2	16,6	15,2	0,7	15,2	34,1	$ClSC_{II}^{Na}$
$VIII_2$	~ 100 *м* восточнее предыдущего*	»	1,012	3,38	5,62	2,20	0,01	0,73	4,73	16,7	19,1	23,6	7,3	0,2	12,0	37,8	SCl_{II}^{Na}
IX	~ 3 *км* восточнее залива Карашаган*	5.VIII 1955 г.	Н.о.	20,8	154,8	2,72	0,05	5,13	85,8	296,3	7,6	41,8	0,6	Нет	5,5	44,5	S_{II}^{Na}
X	~ 4 *км* северо-восточнее бухты Майкамыс	6.VIII 1955 г.	» »	49,9	104,0	1,82	0,05	11,3	66,7	233,8	19,5	30,1	0,4	»	12,9	37,1	То же

Абсолютный ионный состав воды, место отбора проб которой отмечено звездочкой, дан в *г/кг*.

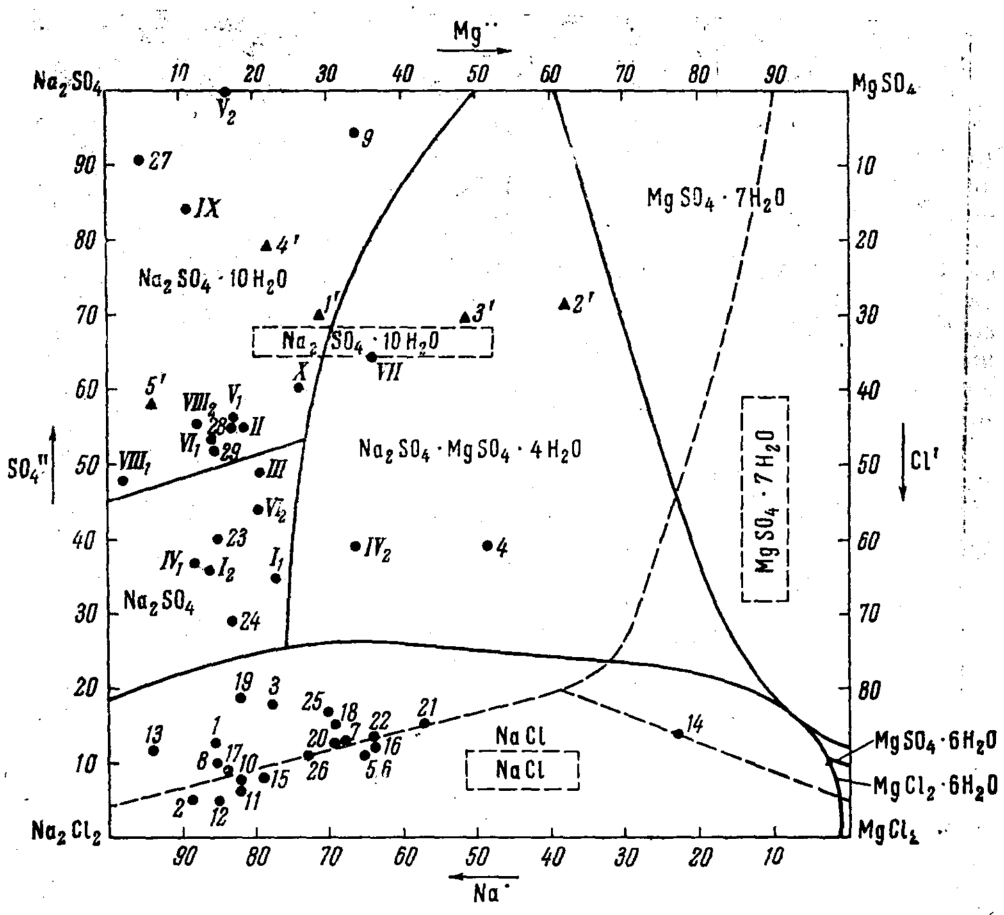


Рис. 76. Озера и реки Балхашской впадины на диаграмме системы $Na^{\cdot}$, $Mg^{\cdot\cdot}$, SO_4'', Cl', H_2O в проекции Енеке (*сплошные линии* — при 25°, *пунктирные* — при 0°).

Темный кружок — озера; темный треугольник — реки.

1—22 — данные Д. М. Керф и Л. В. Еловской (1936); *23—26* — Е. В. Посохова (1955); *27* — Д. Г. Сапожникова (1951); *28—29*, *I—X* и реки — М. Н. Тарасова

Озера: *1* — Малый Ак-Туз; *2* — Большой Ак-Туз; *3* — Бель-Туз; *4* — Большой Кара-Туз; *5* — Ат-Чабар; *6* — Саппак; *7* — Кара-Куль; *8* — Бокай-Куль; *9* — Алатай; *10* — Барлы-Куль; *11* — Сабербек-Куль; *12* — Карашаган; *13* — Алаяк; *14* — Малый Тал-Чурат; *15* — Джангалек-Куль; *16* — Узун-Туз; *17* — Уялы-Куль; *18*, *19* — Чункур-Туз; *20* — Камыш-Бельге; *21* — Бертыш; *22* — Малый Аулие-Куль; *23* — Тектурмас; *24* — Кашкантенгиз; *25* — Терсаккан; *26* — Кок-Домбак; *27* — озеро без названия в районе Бурлю-Тюбинского плеса; *28* — оз. Балхаш в западной части; *29* — оз. Балхаш в восточной части; *I—X* — озера без названий

Реки: *1'* — Или, *2'* — Каратал, *3'* — Лепса, *4'* — Ак-Су, *5'* — Аягуз

обозначены римскими цифрами). Только некоторые из этих озер—самосадочные; в них выпадает мирабилит и тенардит, которые разрабатываются.

В составе речных вод также преобладают сульфаты. При температуре 25° точки состава воды рек Или, Ак-Су и Аягуз падают в одно поле с водой оз. Балхаш — в поле мирабилита, точки состава воды рек Каратал и Лепса — в поле астраханита. При температуре 0° воды всех рек попадают в поле мирабилита.

В составе воды другой группы озер, наоборот, преобладают хлориды. Точки состава воды многих озер этой группы, даже при 0°, падают в поле галита. Все эти озера — самосадочные, в составе твердых солей озер преобладает хлористый натрий. Большинство этих озер расположено от побережья оз. Балхаш на расстоянии более значительном, чем озера, обследованные



Рис. 77. Характер поверхности соляного озера в районе Майкамыс

нами (приурочены к 5—8-километровой прибрежной полосе). Таким образом, несмотря на то, что большинство озер Прибалхашья имело один и тот же источник питания — балхашскую воду, и озера расположены сравнительно недалеко друг от друга, в химическом составе их воды имеются большие различия. Причин разнообразия состава воды соляных озер может быть несколько. Е. В. Посохов (1955) дает краткий обзор гипотез, по-разному трактующих это явление.

1. В. Н. Аникин объясняет разнообразие состава воды в близколежащих озерах влиянием ветра. По его мнению, ветер выносит главным образом глауберову соль, хлористый же натрий остается в озере. Е. В. Посохов считает, что такое объяснение нельзя признать удовлетворительным, так как в сухих соляных озерах сульфатные соли сверху сбычно бывают прикрыты галитом. Однако в связи с этим следует отметить, что очень часто, по нашим наблюдениям, поверхность соляных толщ озер Прибалхашья представляет слой толщиной в несколько сантиметров рыхлой, легкой, пылеобразной, легко развеивающейся ветром пушонки обезвоженного мирабилита (рис. 77). На реальность такого процесса указывает и А. И. Дзенс-Литовский, который пишет: «Может быть и такой случай, когда при высыхании минеральных озер сернокислый натрий постепенно из года в год уносится ветром и в высыхающих сульфатных озерах остается только чистый хлористый натрий» (1954, стр. 133). Наряду с этим, сульфат натрия в виде пушонки легко подхватывается и уносится ветром с поверхности соляных засух, представляющих выцветы и налеты солей, образующиеся на пологих берегах соляных и солоноватых озер при сгоне воды. Если признать роль ветра решающей в преобразовании соляной массы озер, то станет понятным, почему по мере удаления от оз. Балхаш одновременно с ростом минерализации уменьшается сульфатность озер и увеличивается их хлоридность. Озера, удаленные от оз. Балхаш на значительное расстояние, по-видимому, отчленились от него уже давно, и, следовательно, деятельность ветра в преобразовании их состава

сказалась значительно больше, чем у озер, отшнуровавшихся недавно. Вот почему старые озера содержат меньше сульфатов и больше хлоридов, чем молодые. При сильных ветрах, нередко дующих в Прибалхашье, развеиванию, вероятно, подвержены не только сульфаты, но и хлориды.

2. Ряд исследователей (И. Биль, Б. Бережков, И. Н. Гладцин) причину разнообразия состава воды различных озер объясняют временной их проточностью. Они полагают, что по мере осолонения озер в них выпадает мирабилит, в рапе же накапливаются хлориды. При возобновлении проточности хлоридная рапа переносится в соседние, более удаленные от источника питания котловины, в которых образуются хлоридные озера. В составе же первого озера будут преобладать сульфаты. Возможность таких процессов в условиях Прибалхашья вполне реальна. Необходимыми предпосылками для этого служат: периодические колебания уровня оз. Балхаш и нередкое расположение прибалхашских озер цепочками, вытянутыми согласно направлению заливов Южного Балхаша с севера на юг.

3. Н. Г. Кассин считает, что главной причиной различия состава солей в озерах является деятельность бактерий. Бактерии, в частности сульфатредуцирующие, своей деятельностью, бесспорно, преобразуют состав озер, однако навряд ли их деятельности следует придавать столь большое значение.

Как справедливо отмечает Е. В. Посохов, ни одна из перечисленных гипотез не может быть универсальной и каждая из них, в зависимости от условий, применима только к отдельным частным случаям. Исходя из наблюдаемого разнообразия состава воды озер Прибалхашья и условий, в которых они образуются и существуют, мы предполагаем, что дальнейшее формирование состава воды озер после отчленения их от оз. Балхаш происходит с участием всех трех процессов, которые положены в основу каждой из рассмотренных гипотез, т. е. в условиях Прибалхашья все эти гипотезы в той или иной мере находят свое подтверждение. Причем процесс развеивания солей ветром, вероятно, стоит на одном из первых мест.

Подводя итог рассмотренному выше материалу, можно отметить, что метаморфизация балхашской воды представляет один из этапов в цикле последовательных химических превращений, начиная от гидрокарбонатно-кальциевой воды Или и кончая самоосадочными хлоридно-натриевыми озерами Прибалхашья. При этом, «чем длиннее цикл миграций солей и чем он старше, тем большую относительную роль играет Cl′ (NaCl) в формировании соляной массы рассолов» (Валяшко и др., 1952, стр. 156).

7. СОЛЕВОЙ БАЛАНС ОЗЕРА БАЛХАШ

Как уже было установлено, солевой запас озера в настоящее время составляет около 305 млн. *т*, ежегодное же поступление солей — 5,73 млн. *т*. Следовательно, существующий солевой запас мог бы быть накоплен в течение всего 50 с небольшим лет. Однако из-за осаждения в озере карбонатов кальция и магния на пополнение солевого запаса озера идет не 5,73, а лишь 2,59 млн. *т* солей/год. С учетом последнего обстоятельства время, необходимое для создания имеющегося солевого запаса, увеличивается более чем вдвое, и возраст озера, подсчитанный таким путем, составит примерно 120 лет. Цифры примерно того же порядка аналогичным путем получили и другие авторы. Например, А. В. Шнитников (1936) на основе подсчета ионного стока рек (4,32 млн. *т*/год) и среднего объема озера (111,5 $км^3$), пришел к заключению, что при условии отсутствия выноса из озера солей существующая минерализация воды последнего могла быть достигнута за 20—25 лет (без учета осаждения карбонатов). Е. В. Бурмакин (Бурмакин и Домбровский, 1956), рассчитывая возраст озера по хлору, получил 250 лет. А. В. Николаев (1936) также, рассчитывая по хлору, получил, что наименьший срок, необходимый для накопления запаса солей, составляет 580—980

лет. Более высокие значения были получены им потому, что этот исследователь исходил из сильно завышенной величины запаса солей в озере, который, по его данным, составляет 800—1300 млн. *т*.

Весьма интересны результаты подобных расчетов для Аральского моря. По Л. С. Бергу, возраст этого водоема составляет 320 лет; по О. А. Алекину (1947), считавшему по хлору, — 1220 лет; по Л. К. Блинову (1956), не учитывавшего в своих вычислениях процесс осаждения $CaCO_3$,— 820 лет. Разумеется, все эти цифры, особенно те из них, которые относятся к оз. Балхаш, неправдоподобны, так как они несоизмеримо малы по сравнению с геологическими и другими данными о возрасте озера (на это указывали и сами исследователи, производившие упомянутые подсчеты).

Факт существования в условиях пустыни сравнительно пресноводного бессточного озера считается парадоксальным и без приводимых расчетов. В связи с этим неоднократно выдвигались различные предположения о причинах этого, не совсем понятного явления. Впервые, в начале текущего столетия, по поводу загадочно малого количества солей в оз. Балхаш высказал свое мнение Л. С. Берг. Он писал: «Единственное объяснение, какое я мог бы предложить этому явлению, заключается в том, что Балхаш в его теперешнем виде есть сравнительно молодое озеро; котловина его раньше была сухой, соли, отложенные ранее на дне, были покрыты с течением времени субаэральными отложениями, а затем эта котловина вновь заполнилась водою» (1903, стр. 594). Если это объяснение признать справедливым, то на основании приведенных выше расчетов необходимо согласиться с тем, что возраст молодого оз. Балхаш насчитывает не более двух сотен лет. Помимо того, что это не соответствует геологическим данным, с таким толкованием нельзя согласиться также хотя бы потому, что достоверно известно о существовании оз. Балхаш еще в XIII в. (Иоан де Плано-Карпини, 1911).

Л. А. Молчанов (1933) малую соленость оз. Балхаш связывает с колебанием климата. Он полагает, что во влажные периоды, в результате превышения прихода воды над расходом, соленые воды озера питают грунтовые воды, причем само озеро опресняется. В сухие периоды, наоборот, грунтовые воды, возвращаясь в озеро, повышают минерализацию его воды. Если указанная точка зрения в какой-то мере и может объяснить причину колебания солености воды озера, то ни в коем случае она не дает ответа на вопрос, почему же не происходит прогрессирующего засоления озера на большом отрезке времени, которое в этих условиях неизбежно.

И. И. Касаткин (1939) предполагает, что пресноводный характер оз. Балхаш объясняется периодической проточностью озера в сторону Бек-Пак-Дала, причем последний период существования проточного оз. Балхаш окончился 150—200 лет назад. Проточным руслом, по мнению названного автора, могла служить долина, соединяющая залив Кашкантенгиз с озером того же названия (оно же озеро Тузлы). В 1941 г. это предположение было проверено Г. Р. Юнусовым. В результате проведенной им тахеометрической съемки было установлено, что действительно сток воды из оз. Балхаш в оз. Кашкантенгиз через упомянутую долину возможен. Для этого необходимо повышение уровня оз. Балхаш примерно на 1,5 *м* против уровня, наблюдавшегося во время съемки. Однако дальнейший отток воды ни в каком направлении невозможен, так как котловина оз. Кашкантенгиз со всех сторон ограничивается водоразделом, возвышающимся над уровнем оз. Балхаш до 40 *м*. Как отмечает Г. Р. Юнусов, для полного заполнения котловины до уровня оз. Балхаш (дно ее на 13,5 *м* ниже уровня озера) необходимо всего лишь 0,20 $км^3$ воды. Конечно, временный отток воды в эту сторону немного уменьшает солевой запас оз. Балхаш (оз. Кашкантенгиз содержит соляную залежь площадью 7 $км^2$ и толщиной 30—35 *см*), но связанное с этим опреснение ничтожно мало.

Е. В. Посохов (1946) и Г. Р. Юнусов слабую минерализацию западной части озера справедливо объясняют ее проточностью. Относительно

восточной части Г. Р. Юнусов предполагает, что сравнительно невысокая минерализация этой части озера объясняется выпадением солей, в частности, доломита в осадок. Однако, как уже было выше показано, учет процессов осадкообразования тоже не может объяснить сравнительно невысокую минерализацию озера.

Ранее (см. гл. II) уже упоминалась точка зрения Д. Д. Квасова, согласно которой оз. Балхаш — водоем совсем молодой, образовавшийся в результате прорыва Илийского озера, располагавшегося в Илийской впадине, выше современного Капчагайского ущелья. Объясняя сравнительно невысокую минерализацию оз. Балхаш, указанный автор пишет: «Поскольку Илийское озеро долгое время существовало в качестве бессточного, оно, несомненно, было соленым. Став после прорыва сточным, озеро быстро опреснилось. Так как расход Нижней Или был первое время незначителен, она, вероятно, не доходила до современной впадины оз. Балхаш, а терялась в мелких понижениях, где и отложились вынесенные из Илийского озера соли. Когда же р. Или стала заполнять Балхаш, ее воды уже были пресными» (1959, стр. 548).

Однако такое объяснение вызывает ряд возражений. Во-первых, соли, отложенные в понижениях в период малых расходов Или, в дальнейшем, при установившемся режиме реки, хотя бы частично, должны были быть вымыты и вынесены рекой в Балхашскую котловину. Во-вторых, как отмечает сам автор, в пределах восточной части Балхашской котловины еще в среднечетвертичное время находилось «оз. Прибалхаш», питаемое реками Каратал и Ак-Су и которое после прорыва Илийского озера расширилось до современного оз. Балхаш. Если исходить даже из явно утрированного допущения, что солевой запас современного оз. Балхаш создавался ионным стоком только двух этих рек (0,59 млн. *т*/год), то окажется, что для этого потребовалось бы всего лишь около 600 лет. Наконец, для «пропиливания» рекой Или Капчагайского массива толщиной в 80—100 *м*, сложенного твердыми породами (порфирами), очевидно потребовалось не одно тысячелетие. В течение этого периода, особенно в конце его, Или, безусловно, успела внести в озеро количество солей, в десятки раз превышающее солевой запас современного оз. Балхаш.

Если даже согласиться с предположением Д. Д Квасова о прошлом оз. Балхаш, то можно лишь признать, что скорость соленакопления в нем раньше была значительно меньше, чем теперь, так как Или до недавнего времени не участвовала в солевом балансе озера. Однако, как мы видели, и это толкование не может объяснить сравнительно невысокую соленость оз. Балхаш.

Таким образом, ни одно из предложенных объяснений не может быть признано удовлетворительным. Между тем постоянная убыль солей из озера очевидна.

Уже отмечалось (гл. IV), что фильтрация воды в дно озера с последующим оттоком ее в пограничные с бассейном районы исключается, однако здесь, несомненно, наблюдается потеря воды, а с нею и солей в отшнуровывающихся от озера заливах и частично при инфильтрации воды в берега озера. Мигрировавшие таким путем соли в дальнейшем развеиваются ветром и частично засыпаются песком. Этот вывод находит свое полное подтверждение также при составлении и анализе водного баланса озера (см. гл. IV).

Рассмотрим эти процессы, наблюдающиеся в услових оз. Балхаш, и некоторые их разновидности.

Необходимыми предпосылками для миграции солей из озера служат многолетние и внутригодовые колебания уровней озера.

В годы превышения расхода воды над приходом, т. е. при падении уровня озера, создаются наиболее благоприятные условия для утечки солей, так как в этом случае от озера постепенно отшнуровываются многочисленные заливы. Вначале заливы имеют с озером ограниченный водообмен через пролив, но при дальнейшем падении уровня он постепенно прекращается,

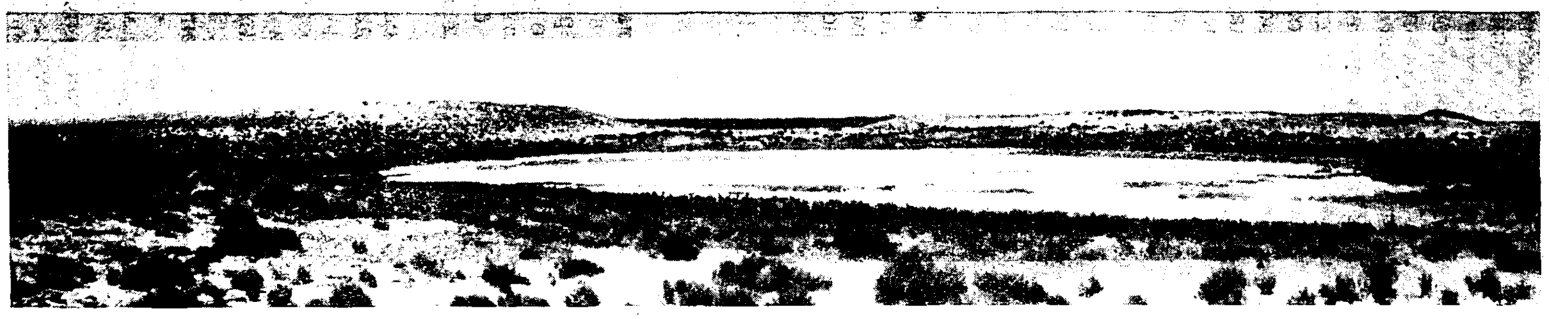


Рис. 78. Отшнуровавшееся от Балхаша соляное озеро в р-не Чемышкуль (вдали виднеется Балхаш)

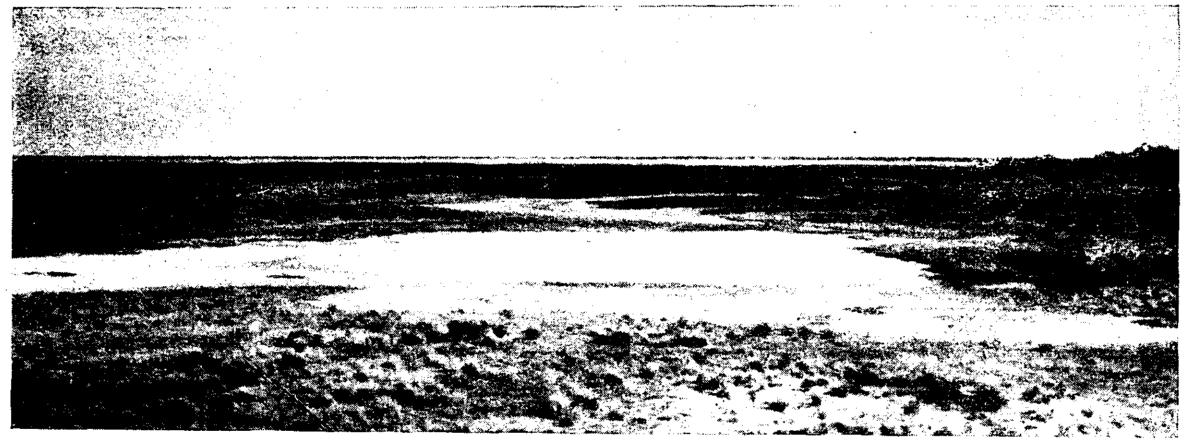


Рис. 79. Отшнуровавшееся от Балхаша соляное озеро в районе бухты Кукан

и отшнуровывавшееся озеро питается за счет оз. Балхаш подземным путем. Впоследствии и подземная связь прекращается, озеро полностью высыхает и отлагает на дне соли (см. рис. 21, 78 и 79). Наряду с этим соли при падении уровня отлагаются в многочисленных понижениях, а также и на ровной поверхности освободившегося из-под воды дна озера.

При повышении уровня озера происходит инфильтрация воды в грунт берегов. Концентрируясь в условиях высокого испарения, вода отлагает в толще почво-грунтов и на поверхности прибрежной полосы содержащиеся в ней соли. В связи с этим весьма показательной является значительная засоленность прибалхашских песков. В табл. 42 приведены результаты анализа воднорастворимой части двух образцов песков. Первый из них взят вблизи одного из соляных озер, второй — вблизи оз. Балхаш (Корф и Еловская, 1936). Как следует из таблицы, засоленность достигает 2,5%, т. е. очень большой величины.

Более активно процесс инфильтрации проходит в том случае, когда недалеко от берега имеются плоские замкнутые понижения, имеющие с озером подземную связь.

Поскольку испарение в этом понижении просходит более интенсивно, чем в озере, то в него постоянно поступает фильтрующаяся из озера вода. Со временем здесь накапливается более или менее толстый слой соли (рис. 80). Таких микроозер на побережье оз. Балхаш, особенно южном, очень много. Местное население называет их «чункур-туз», что значит «ямка соли».

Большое значение имеют внутригодовые колебания уровня оз. Балхаш. Как указывалось выше (см. IV гл.), годовая амплитуда колебания уровней составляет 0—75 *см* (в среднем 30 *см* за многолетие). В мае, когда уровень озера наиболее высок, водой затапливается широкая прибрежная полоса и все имеющиеся на ней понижения. Затем, в результате испарения, уровень озера падает и на постепенно освобождающейся от воды территории откладываются соли. Часть из них, оставшаяся на берегу к началу повторного подъема уровня, растворяясь, возвращается обратно в озеро.

На рис. 81 изображены два момента из жизни одного и того же небольшого озера, расположенного недалеко от оз. Балхаш и имеющего с ним периодическую связь (район Чемышкуль). На фотографиях хорошо видно, что в 1957 г. озеро содержало совсем небольшое количество рапы. В 1958 г. либо в результате более высокого весеннего подъема уровня оз. Балхаш по сравнению с 1957 г.[1], либо в результате нагона сюда воды ветром оно значительно увеличилось.

Постоянное волнение на озере в сочетании с пологим южным берегом приводит к тому, что во время нагонов воды на берег вода проникает далеко в глубь суши и частично фильтруется в ее толщу. С прекращением ветра впитавшаяся вода испаряется, оставляя на берегу налет сухих солей. Таким образом, бесспорно, можно считать, что в результате перечисленных процессов происходит значительная убыль солей из озера и отложение их на берегах. Этим объясняется отсутствие прогрессивного засоления оз. Балхаш, а также несоответствие его солевого запаса со сроком, в течение которого он мог быть создан наблюдаемым поступлением солей.

Однако может возникнуть вполне логичное возражение, почему этот процесс необратимый? В самом деле, если уровень озера колеблется от года к году и в течение года, то почему при подъеме уровня не происходит возврата солей в озеро, отложенных на его берегах и в прибрежных понижениях ранее? Разумеется, соли в озеро возвращаются, но не полностью, а только частично, так как часть их развеивается ветром и засыпается песками.

Сильные ветры и движущиеся пески для Прибалхашья—явление обычное. Некоторую роль играет также и то, что осаждение труднорастворимых

[1] Данных по режиму уровней в 1958 г. не имеем.

Химический состав воднорастворимой

Содержание ионов и солей, %							
$Ca^{\cdot\cdot}$, $Mg^{\cdot\cdot}$, $HCO_3' + CO_3''$	$CaSO_4$	$CaCl_2$	$MgSO_4$	$MgCl_2$	NaCl	$\Sigma_{солей}$	Нерастворимый остаток
0,21	0,05	—	0,07	0,38	0,92	1,63	97,45
0,60	0,99	0,19	—	0,78	0,01	2,57	95,66

солей ($CaCO_3$, $MgCO_3$, $CaSO_4$) происходит гораздо легче, чем их растворение. Следовательно, эти соли, выпадающие при концентрировании балхашской воды в осадок на поверхности берегов и в их толще, если даже и возвращаются потом в озеро, то в растворенное состояние почти не переходят (особенно карбонаты кальция и магния).

Ниже приведем некоторые, наиболее яркие факты, иллюстрирующие роль ветра в миграции солей.

Еще А. М. Никольский, посетивший в 1884 г. оз. Балхаш, указывал на отшнуровывание от оз. Балхаш небольших соляных озер, с поверхности которых «ветер поднимает столбы солоноватой пыли, напоминающие издали дым, и далеко разносит ее по степи, покрывая бедную растительность белым налетом» (1885 а, стр. 20).

21—22 февраля и затем 10—12 марта 1901 г. над всей Западной Европой пронеслись бури, оставившие после себя значительные количества желтоватого песку. По мнению Фореля и Шево, он был занесен из Сахары, т. е. на расстояние больше чем 1,5 тыс. *км* (Пивоваров, 1906) [1].

Д. Сахаров (1948) в Волго-Ахтубинском районе по несколько раз в год при восточных и юго-восточных ветрах наблюдал осаждение солей на почве и растительности. За три дня на 1 $м^2$ поверхности сукна оседало около 11,2 *г* солей. В их составе (в порядке уменьшения) были обнаружены SO_4'', $Ca^{\cdot\cdot}$, Cl', HCO_3'.

Л. А. Голубева (1950) приводит ряд данных по переносу почвы во время пыльных бурь. Так, в апреле 1913 г. при сильном низовом буране, разразившемся в Саратове, озимые посевы были засыпаны налетом пыли в 25—30 *см*. В апреле 1928 г. на Украине почвенный покров был снесен ветром местами до 12 *см*. С 5 по 9 марта 1936 г. в Армавирском районе при ураганном восточном ветре скоростью в 25—30 *м/сек* со вспаханных полей был сорван и перенесен на далекое расстояние слой почвы в 5 *см*. В 1940 г. в Башкирии при сильном ветре воздух был так насыщен пылевыми частицами, что видимость днем не превышала 1—2 *м*.

7—9 апреля 1951 г. в Саратовской области на незащищенных предметах появился слой соли. Были обнаружены $CaSO_4$, NaCl, Na_2SO_4, Na_2CO_3 и глина. Оказалось, что с 4 по 9 апреля в северной части Каспийского моря свирепствовал шторм, а на побережье, покрытом массой солончаков — пыльная буря. Сорванные ветром с поверхности солончаков соли, с примесью брызг морской воды, были подхвачены мощным воздушным течением и занесены в Саратовскую область (Попова, 1951).

А. И. Дзенс-Литовский (1954) отмечает, что в районе Кара-Богаз-Гола восточная сторона придорожных столбов к весне покрывается солью, принесенной ветром. Толщина соляной корки достигает нескольких сантиметров. По наблюдениям того же автора, летом 1945 г., во время соляной

[1] Я. Я. Пивоваров, рассматривая вопрос об аэральном происхождении солей в почвах (впервые эту гипотезу выдвинул Г. Н. Высоцкий), считал, что из пустынь эоловым путем уносится материала не меньше, чем приносится в них реками.

Таблица 42

части песков Прибалхашья

		Содержание ионов и солей, %-экв.					
Влага	Всего	$Ca^{\cdot\cdot}$, $Mg^{\cdot\cdot}$, $HCO_3' + CO_3''$	$CaSO_4$	$CaCl_2$	$MgSO_4$	$MgCl_2$	NaCl
0,58	99,66	12,8	3,7	—	4,5	23,0	56,0
0,61	98,84	16,0	28,0	6,0	—	22,0	28,0

бури, продолжающейся 20—25 мин., полностью были унесены соли с соляных засух. Тот же автор наблюдал в Средней Азии, как столб сульфатной пушонки, поднявшись над соляной засухой и постепенно оседая, прошел около 120 *км*.

Е. В. Посохову (1955) пришлось наблюдать, как в котловине урочища Мын-Булак (Центральный Казахстан) ветром в течение месяца целиком была выдута соляная корка толщиной в 1 *см*.

Многочисленные факты, характеризующие большую роль ветра в эоловом переносе солей, в частности, вынос солей с поверхности водоемов, находим в работах З. А. Игнатовича (1934), С. В. Доброклонского и П. Б. Вавилова (1938), Л. К. Блинова (1950, 1951), Е. С. Буркcера с сотрудниками (1951, 1954) и др. Из этих работ следует, что с удалением от источников солей (соляные водоемы и окружающие их солончаки) насыщенность атмосферы солями падает согласно гиперболической кривой. Это значит, что крупные солевые частицы оседают вблизи от источника солей, мелкие же частицы, подхваченные воздушными течениями, переносятся на громадные расстояния. Л. К. Блинов, например, считает, что расстояние, на которое может распространяться солевой поток, составляет не менее 1000 *км* (1950). Е. С. Буркcер (1951) полагает, что принос солей на территорию, ограниченную Черным морем — Азовским морем — Москвой, возможен как со стороны Атлантического океана, так и со стороны Черного и Азовского морей, их лиманов и заливов. Понятно, что вынос солей находится в непосредственной зависимости от силы ветра.

Выше уже отмечалось, что сульфат натрия значительно легче подвержен развеиванию ветром, чем хлорид натрия. Объясняется это, с одной



Рис. 80. На переднем плане (справа) небольшая котловина на южном берегу Балхаша, содержащая отложения солей, дальше — оз. Балхаш

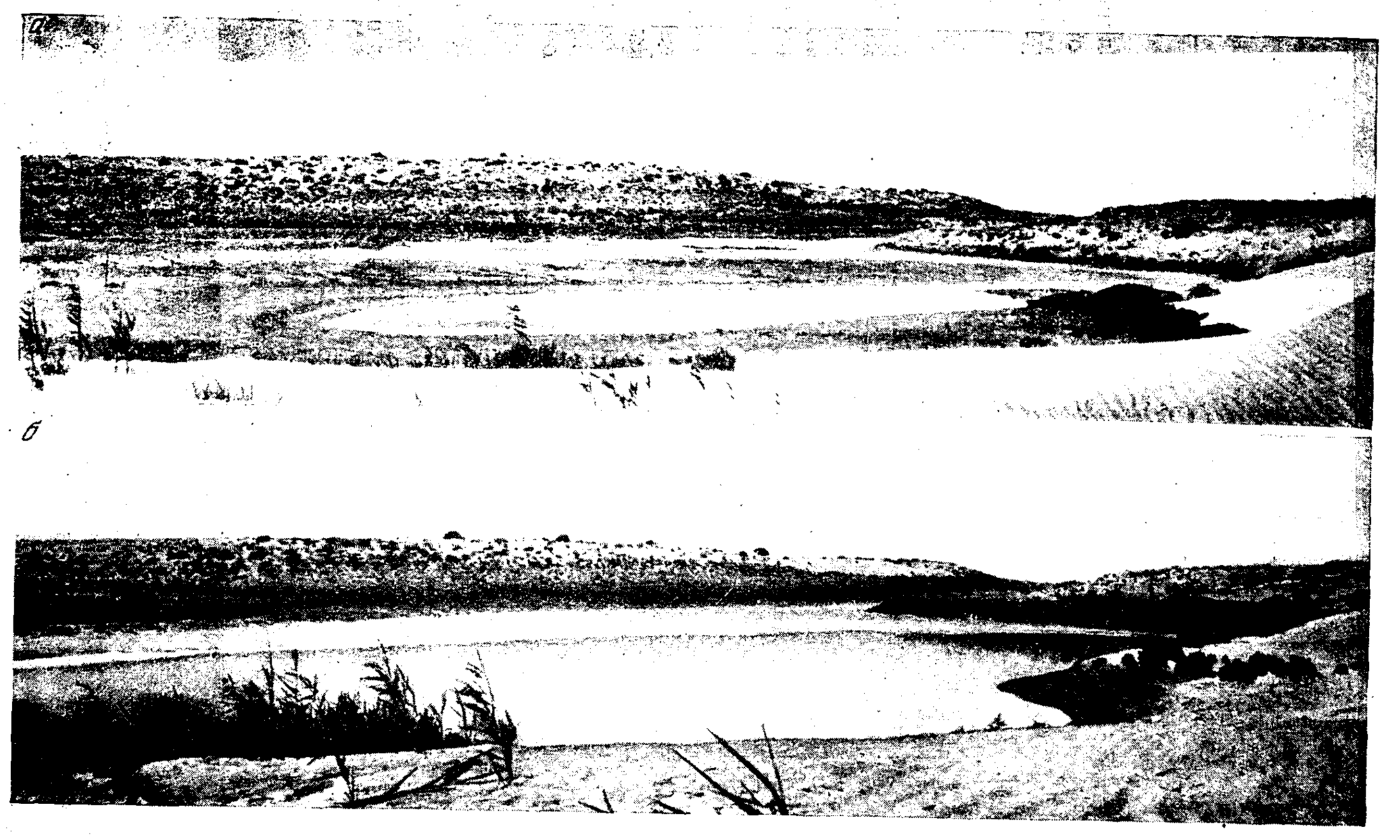


Рис. 81. Небольшое соляное озеро, имеющее периодическую связь с Балхашом (район Чемышкуль).
а — лето 1957 г.; *б* — лето 1958 г.

стороны, тем, что первый обладает меньшим удельным весом, чем второй (удельный вес галита 2,1; мирабилита — 1,4), с другой — тем, что сульфат натрия легко образует пушонку, сдуваемую ветром; хлористый же натрий, напротив, обычно представляет твердую корку или монолитный пласт. Кроме того, при испарении балхашской воды из нее вначале кристаллизуются сульфатные соли и лишь затем хлоридные (см. рис. 76). Вполне понятно, что твердые сухие соли выносятся ветром гораздо легче, чем соли, находящиеся в виде рапы. Вероятно, с этими обстоятельствами связано отмеченное выше увеличение хлоридности оз. Балхаш в направлении с запада на восток ($\frac{Cl'}{SO_4''}$ растет в этом направлении от 0,8 до 0,9), а также большая хлоридность наиболее старых по возрасту соляных озер по сравнению с недавно отчленившимися.

Естественно, что некоторая часть развеянных солей, тем же эоловым путем, возвращается на зеркало оз. Балхаш. Однако это лишь небольшая часть, так как, во-первых, площадь акватории озера, по-видимому, составляет незначительную часть той площади, на которой могут оседать унесенные ветром соляные частицы, во-вторых, поскольку в Прибалхашье господствуют северные и северо-восточные ветры, а главная масса солей выносится с южного побережья озера, то засолению подвергается не само озеро, а главным образом южная и юго-западная части его водосборного бассейна. Только редкие, но сильные ветры южных румбов благоприятствуют частичному возврату солей на зеркало оз. Балхаш. Благодаря тому, что соли эоловым путем могут переноситься на очень большие расстояния (>1000 *км*), вполне вероятно, что часть из них навсегда выносится за границы балхашского бассейна и, таким образом, уходит из сферы круговорота солей в пределах бассейна.

В свете изложенного, весьма показательным является сравнительно высокая минерализация атмосферных осадков Прибалхашья (см. табл. 11), которая свидетельствует о большой насыщенности атмосферы солями, причем сульфаты в составе осадков нередко занимают первое место.

Высокая засоленность песчаных скоплений, отмеченная выше, по-видимому, связана также с процессами погребения солей на берегах. Результат этого процесса в отношении солевого баланса озера аналогичен только что рассмотренному процессу развеивания солей,— он также служит одной из составляющих в расходной части баланса.

Сильные ветры и незакрепленные пески являются причиной того, что многие большие и малые котловины, расположенные на побережье оз. Балхаш и содержащие либо рапу, либо твердые соли, нередко засыпаются песками. На это обстоятельство указывал еще А. М. Никольский. Он отмечал, что на южном берегу озера все следы его высыхания маскируются благодаря тому, что «песчаные валы выравниваются ветром и солонцы, остающиеся от маленьких озер, заносятся песком» (1885б, стр. 42). Подобные факты были также обнаружены Д. М. Корф и Л. Б. Еловской (1936). Они, например, отмечали, что на западном берегу соляного оз. Большой Тал-Чурат залежь соли продолжается под песком на протяжении 50—60 *м*. Во время своих работ мы также неоднократно наблюдали это явление. Оно хорошо запечатлено на рис. 81 и 82.

Скорость перемещения песков велика. Как, например, следует из рис. 81, за один год песок продвинулся на значительное расстояние, равное примерно 15—20 *м*[1]. Таких озер в Южном Прибалхашье можно встретить немало, причем у одних озер процесс занесения песком находится в начальной стадии (см. рис. 82), у других — он зашел далеко, и котловина занесена уже почти наполовину (см. рис. 81), у третьих — от соляного озера

[1] Оба раза озеро заснято с одного и того же пункта.



Рис. 82. Солоноватое озеро в Южном Прибалхашье, засыпаемое песком (район Каракуль)



Рис. 83. Кромка соли на берегу бывшего соляного озера, теперь засыпанного песком (район Карабаса)

осталась лишь кромка выветрившейся соли, очевидно, представляющая берег бывшего озера (рис. 83).

Необходимо отметить, что, конечно, нельзя все погребенные соли считать целиком и навсегда исключенными из солевого баланса озера. Разумеется, частично они возвращаются в озеро при очередном подъеме его уровня. Однако значительная и, несомненно, большая часть солей теряется для оз. Балхаш безвозвратно.

Помимо рассмотренных процессов, следует еще иметь в виду образование выцветов солей на поверхности льда соляных озер в условиях малоснежных зим. Эти соли затем сдуваются ветром и уносятся далеко в степь. Например, по приблизительному подсчету А. И. Дзенс-Литовского (1954), за зиму 1923/24 г., с ледяной поверхности Доронинского содового озера таким путем было унесено до 500 *т* соды.

Внимание исследователей на некоторые из перечисленных процессов было обращено уже давно. Одни из них (Краснов, 1886; Картыков, 1903) высказывали предположение о том, что большие заливы, например залив Ала-Куль, играет для оз. Балхаш такую же роль, как Кара-Богаз-Гол для Каспийского моря, другие (Никольский, 1885а; Мефферт, 1912) констатировали факт развеивания солей в прибалхашских степях ветром, третьи (Никольский, 1885б; Мушкетов, 1886) отмечали засыпание прибрежных котловин песком. Однако все исследователи ограничивались лишь констатированием перечисленных процессов, не связывая их с солевым балансом озера.

Мысль об их роли в солевом балансе водоемов, правда, высказанная вскользь, впервые возникла у Л. С. Берга (1908). По поводу Аральского моря он указывал, что ряд узких заливов и прибрежных озер, расположенных на восточном берегу моря, могут высыхать и превращаться в самосадочные соляные озера, покрываемые впоследствии субаэральными отложениями.

В более законченном и четком виде эта идея была сформулирована О. А. Алекиным (1947) и Е. В. Посоховым (1947, 1955). Рассчитывая по хлору возраст Аральского моря и получив цифру в 1220 лет, О. А. Алекин указывал, что должен быть какой-то не учтенный расход солей. «Одной из сторон расхода, несомненно, является потеря солей с отшнуровывающимися от моря заливами, превращающимися в озера с сильно минерализованной рапой... Весьма вероятно, что значительная часть соляных озер, питавшихся при высоком уровне Арала, в настоящее время засыпана эоловыми отложениями, распространенными для Арала, или высохшие их соли развеяны ветрами» (стр. 71).

Е. В. Посохов (1947) описывает ряд зафиксированных им случаев, когда бессточные соляные озера с течением времени теряли соли и опреснялись. Это произошло, например, с оз. Улькункарой в Северном Казахстане. В конце прошлого века оно было самосадочным озером, затем совершенно высохло, и дно его представляло такыровую поверхность. В 1942 г. оно вновь заполнилось водой и в 1947 г. представляло пресное озеро. Аналогичный случай произошел с оз. Сылетытенгиз, которое за 48-летний период не только не увеличило свою минерализацию, но даже сильно опреснилось.

А. И. Дзенс-Литовский (1954) также наблюдал, как в засушливые периоды в Кулундинской степи многие сульфатные и содовые солончаки, появлявшиеся на месте высохших соляных озер, через 2—3 года исчезали, а на их месте образовывались солонцы, которые в дальнейшем зарастали травой.

Это явление Е. В. Посохов совершенно справедливо объясняет колебанием уровней озер. При усыхании озер в засушливые годы часть сухих солей выносится из них ветром. Во влажные годы, наоборот, общее количество солей в озере увеличивается. Таким образом, соляные озера находятся «так сказать, в стадии устойчивого соляного баланса» (стр. 33). По этой при-

чине определение возраста таких водоемов по хлору не дает положительных результатов — полученные величины всегда сильно занижены. Аналогичным путем Посохов объясняет причины малой солености оз. Балхаш. В его формулировке, с которой мы совершенно согласны, они заключаются «в своеобразии режима озера, обусловливающем большую амплитуду колебаний его уровня, особенностях конфигурации, мелководности и, возможно, в меньшей скорости соленакопления в прошлом. Колебания уровня вызывают опреснение озера, и, чем больше амплитуда колебания, тем сильнее опреснение... Чрезвычайно длинная по сравнению с площадью береговая линия оз. Балхаш усиливает эффективность опреснения, вызываемого колебаниями уровня. Указанные факты либо длительное время поддерживают минерализацию воды в каких-то более или менее ограниченных пределах, либо сильно замедляют скорость ее засоления» (1955, стр. 80).

Очень важным является то, что убывающая из озера вода во много раз минерализованнее, чем речная, в основном питающая озеро. Если принять, что минерализация убывающей воды равна величине минерализации средней по озеру, составляющей за многолетие (1929—1958 гг.) 2,84 *г/кг*, то нетрудно подсчитать, что один объем такой воды по количеству содержащихся в нем солей (т. е. по засоляющему действию на озеро) равноценен примерно 33 объемам илийской воды (при условии осаждения из последней кальцита и доломита). Таким образом, даже небольшая потеря воды при отшнуровывании заливов и инфильтрации в берега может препятствовать засолению озера или сильно тормозить его.

До недавнего времени, очевидно, ввиду сложности явления и отсутствия необходимых сведений, рассматриваемые процессы характеризовались лишь качественно. Только в самые последние годы появились первые, пока единичные попытки дать количественную оценку роли этих процессов в солевом балансе водоемов. Выше было указано (см. гл. IV), что Л. К. Блинов (Блинов и Буркальцева, 1957) подсчитал слой воды, фильтрующейся ежегодно в грунт берегов оз. Балхаш, исходя из предположения, что солевой запас озера не меняется во времени.

В итоге многолетней работы (1948—1956 гг.) на Карловском водохранилище (Сталинская область), В. А. Барановым и Л. Н. Поповым получены очень интересные результаты (1958). Довольно обширный материал, собранный по водно-солевому балансу водохранилища, дал им возможность сопоставить фактически наблюдаемый режим минерализации с режимом, рассчитанным общепринятыми приемами (с учетом прихода солей за счет ионного стока рек, подземного стока и атмосферных осадков и расхода на водоснабжение, фильтрацию через плотину, сброс и образование ледового покрова). Оказалось, что фактическое и расчетное содержание солей, как правило, не совпадало. Это несоответствие указанные авторы относят за счет «внутриводоемных процессов», под которыми они понимают отложение солей на берегах водохранилища при спаде уровня и поступление их с берегов при росте уровней, а также все химические и биохимические процессы.

Оценить каждый из перечисленных процессов в отдельности на данной начальной стадии изучения этого вопроса, конечно, не представляется возможным, однако В. А. Баранов и Л. Н. Попов предполагают, что главнейшее значение имеют только первые два, т. е. отложение солей на берегах и обратное поступление их в водохранилище. Как указывают авторы, при спаде уровней водохранилища на 1,0—1,5 *м*, который обычно наблюдается в период май — ноябрь, на берегах, освободившихся от воды, откладывается от 298 до 1020 *г/м*^{2} солей, при подъеме уровней, происходящем в феврале — апреле, обратно в водохранилище с берегов поступает от 227 до 917 *г/м*^{2} солей. При этом величины отклонений между расчетным и фактическим содержанием солей в водохранилище увеличиваются по мере снижения в нем уровня воды. В связи с изложенным указанные авторы

приходят к выводу, что в результаты расчетов содержания солей в воде водохранилищ, полученные обычным методом, необходимо вносить поправку, учитывающую внутриводоемные процессы. Величина поправочного коэффициента для условий Карловского водохранилища составляет при высоких уровнях 0,8—0,9, при низких — 0,6—0,7.

Следует отметить, что при расчетах прихода солей в водохранилище, по-видимому, недостаточно учитывался подземный приток. Надо было бы учесть и выделить отдельно роль химических процессов (в частности, осаждение $CaCO_3$). Совокупность всех процессов неудачно названа «внутриводоемными» процессами, хотя, как отмечают и сами авторы, первое место среди них занимают процессы осаждения солей на берегах водохранилища и возврат их с берегов, т. е. процессы «вневодоемные». Наконец, величина разности между рассчитанным и фактически наблюдаемым содержанием солей в воде водохранилища, которая должна характеризовать внутриводоемные процессы, в действительности не соответствует придаваемому ей смыслу, так как она включает в себя одновременно и все погрешности, неизбежные при расчетах. Вместе с тем эта работа, хотя и недостаточно точно, но одна из первых дает количественную оценку процессов миграции солей из водохранилища на берег и обратно, роль которых в солевом балансе водоемов неоспорима.

М. И. Кривенцов (1961а) на примере того же Карловского водохранилища рассматривает динамику солей в системе водохранилище — берег. В результате проведенных наблюдений за изменением засоленности почвогрунтов в 60—70-метровой полосе берега, прилегающей к урезу воды, М. И. Кривенцовым установлено, что в этой полосе происходит подъем и накопление солей в самых верхних горизонтах почвы и на ее поверхности. Если учесть количество солей, содержащихся в поверхностном слое почвы толщиной 0—10 *см*, то при подъеме уровня воды с августа по май примерно на 1 *м* (что соответствует затопленной площади, равной 0,7 $км^2$), в водохранилище может поступать с 1 $м^2$ берега около 580 *г* солей, а из слоя 0—60 *см* за то же время — 2055 *г* с 1 $м^2$.

Подводя итог изложенным выше фактам, вполне определенно можно заключить, что несоответствие имеющегося в настоящее время в оз. Балхаш запаса солей (в растворенном состоянии) со сроком, в течение которого этот запас мог образоваться, объясняется, с одной стороны, осаждением внесенных в озеро карбонатных соединений кальция и магния, с другой — постоянной убылью солей при отшнуровывании заливов и инфильтрации воды в берега с последующим развеиванием солей ветром и засыпанием их песками.

В общем виде солевой баланс оз. Балхаш может быть представлен следующими основными элементами:

$$Q_р + Q_{подз} + Q_{атм} = Q_{карб} + Q_{бер} \pm \Delta Q \qquad (1)$$

Здесь: $Q_р$ — ионный сток впадающих в озеро рек;

$Q_{подз}$ — количество вносимых в озеро подземными водами растворенных солей;

$Q_{атм}$ — количество солей, вносимых в озеро из атмосферы;

$Q_{карб}$ — количество солей, выделяющихся из воды озера в результате сдвига карбонатного равновесия;

$Q_{бер}$ — потеря солей на берегах при отшнуровывании заливов и инфильтрации воды в берега озера;

ΔQ — прирост или убыль общего количества растворенных в озере солей.

Приведенные элементы баланса являются основными. Еще можно было бы учесть унос солей с брызгами воды ветром, что в условиях оз. Балхаш,

очевидно, наблюдается. По этому поводу, например, имеются указания Н. Тагильцева, который писал о сильных южных ветрах, «несущих в воздухе массу ледяных игл, увлеченных ими с незамерзшей части озера во время зыби. Ветер мчит эти иглы по степи со скоростью до 20 *м/сек* и грозит не только человеку, но и животному, застигнутому им, поражениями кожных покровов» (1928, стр. 240). К сожалению, учесть количественно потерю солей (и воды) в виде брызг не представляется возможным.

Попытка провести в этом отношении аналогию с Каспием и Аралом к успеху не привела. Так, Л. К. Блинов (1950) на основании экспериментальных исследований получил, что вынос солей с Каспийского моря при скорости ветра в 6 *м/сек* составляет 52 *т* в сутки с каждого погонного километра береговой границы. Это составляет около 30% от ионного стока Волги, т. е. роль этого фактора в балансе Каспия очень велика. Тот же автор, пользуясь предложенным им методом расчета, получил для Аральского моря (среднегодовая скорость ветра 4,7 *м/сек*) ничтожно малую величину ежегодного выноса солей с брызгами — менее 0,05% от ионного стока рек (107 тыс. *т*).

Приведенные цифры настолько разнятся между собой, что остановиться на какой-либо одной из них для учета роли потерь солей с брызгами с акватории оз. Балхаш весьма затруднительно.

Кроме названного фактора, можно назвать еще целый ряд элементов, участвующих в солевом балансе озера. К таковым относятся, например, ионный сток с береговой полосы [1], вещества, попадающие в воду при распаде живых и растительных организмов, вещества, извлекаемые организмами из воды и т. д. Однако все они существенного значения в солевом балансе, по-видимому, не имеют.

Таблица 43

Солевой баланс оз. Балхаш

(среднегодовые величины за период 1931—1956 гг.)

Приход	Индекс по уравнению (1)	млн. *т*	%	Расход	Индекс по уравнению (1)	млн. *т*	%
Речной приток	$Q_р$	4,07	71,0	Разложение карбонатов:	$Q_{карб}$		
Подземный приток	$Q_{подз}$	1,35	23,6	Осаждение кальцита и доломита		1,94	33,7
Поступление из атмосферы	$Q_{атм}$	0,31	5,4	Выделение CO_2		0,86	15,0
				H_2O		0,34	5,9
				Всего		3,14	54,6
				Отшнуровывание заливов и инфильтрация в берега	$Q_{бер}$	2,06	36,2
				Прирост солевого запаса		0,53	9,2
Всего		5,73	100,0	Итого		5,73	100,0

Солевой баланс составлен для 1931—1956 гг., так как начало и конец этого периода охарактеризованы наиболее полно (данные П. Ф. Домрачева и автора настоящей монографии).

[1] 2000 *т/год*.

Как следует из табл. 37, солевой запас озера за этот 25-летний период пополнился на 13,2 млн. *т*. Следовательно, ΔQ имеет положительное значение и составляет 0,53 млн. *т/год*. Значения всех остальных слагаемых, кроме $Q_{бер}$, были получены в предыдущих разделах. Остается неизвестным $Q_{бер}$, т. е. потеря солей за счет отшнуровывания заливов и инфильтрации воды в берега. Очевидно, что величину $Q_{бер}$ можно подсчитать из уравнения (1). Ее значение оказалось равным 2,06 млн. *т/год*.

В окончательном виде солевой баланс оз. Балхаш (за период 1931—1956 гг.) представлен в табл. 43. Весьма показательно, что близкую величину $Q_{бер}$ получаем, исходя из водного баланса озера. При рассмотрении последнего было установлено (см. табл. 9), что на отшнуровывание заливов и инфильтрацаю ежегодно расходуется 1,14 *км*³ воды. Ежегодная убыль из оз. Балхаш 1,14 *км*³ воды со средней минерализацией (за период 1931—1956 гг.) 2,93 *г/кг* соответствует потере озером 3,34 млн. *т* солей. Напротив, если исходить из солевого баланса, то потеря озером 2,06 млн. *т* солей при указанной минерализации воды соответствует объему воды 0,70 *км*³. Сведя все цифры вместе, получим:

	$Q_{бер}$, млн. *т/год*	$V_{бер}$, *км*³/*год*	Слой воды в озере (*мм/год*) при отметке уровня 339,56 *м*
По солевому балансу . .	2,06	0,70	46
По водному балансу . .	3,34	1,14	74

Близкая сходимость цифр, полученных при помощи водного и солевого балансов озера, очевидно, свидетельствует об их реальности и приемлемости.

Если исходить из предположения, что солевой запас озера более или менее постоянен во времени, то величина $Q_{бер}$, представляющая количество солей, ежегодно и безвозвратно теряемое озером, очевидно составит около 2,6 млн. *т* (5,73—3,14). Проанализируем реальность возможности уноса ветром и засыпания песком этого количества солей.

Рассмотрим возможность потери солей на побережье только при внутригодовом колебании уровня оз. Балхаш. При падении уровня с мая по декабрь примерно на 30 *см* (величина средняя за многолетие) из-под воды освобождается территория площадью около 450 *км*². Если даже вести расчет только на эту площадь, то получим, что за семь месяцев один квадратный метр ее должен терять 5,8 *кг* солей или слой толщиной около 0,4 *см* (при объемном весе соли 1,3). Если принять во внимание, что изо всех возможных случаев потери солей из оз. Балхаш в расчете учтен только один — на обнажаемом от воды побережье, если вспомнить также многочисленные факты, иллюстрирующие большую роль ветра в переносе материала, например, случай, описанный Е. В. Посоховым, когда в течение месяца из котловины Мын-Булак была выдута сантиметровая корка соли, то можно заключить, что эта цифра, возможно на первый взгляд кажущаяся большой, в исключительных условиях оз. Балхаш вполне реальна.

Скорость убыли солей из озера зависит от режима уровней, ветрового режима и ряда других причин. В периоды, когда она имеет высокие значения, солевой запас озера уменьшается. Так было, например, в период 1931—1953 гг., совпадающий с падением уровня озера (см. рис. 64). Напротив, в 1929—1931 и 1953—1956 гг., когда уровень озера повышался, величина $Q_{бер}$ в связи с отсутствием процессов отшнуровывания заливов и возвратом солей с берегов при их затоплении очевидно имела меньшие значения, в результате чего солевой запас озера возрастал. В целом 25-летний период 1931—1956 гг. характеризуется небольшим увеличением соле-

вого запаса озера — за весь период — на 13,2 млн. *т* или ежегодно — на 0,53 млн. *т*.[1]

Рассмотренная в приведенном выше балансе (табл. 43) расходная статья, учитывающая потерю солей на берегах, по своему значению занимает второе место (36%) в суммарном расходе солей. Первое же место (55%) принадлежит потере солей за счет разложения карбонатов. Между этими сторонами расхода имеется весьма существенное различие. Если при отшнуровывании заливов и инфильтрации воды соли постоянно убывают из озера, то продукты разложения бикарбонатов — карбонаты кальция и магния — остаются в нем. Имея в виду последнее обстоятельство, попробуем сделать ориентировочный подсчет возраста озера.

Выше было установлено, что скорость карбонатонакопления в оз. Балхаш составляет 195 *кг/м*² за 1000 лет. Мощность современных отложений составляет 2—4 *м* (Сапожников, 1951), в среднем ее можно принять за 3 *м*. Средняя карбонатность балхашских осадков, по Н. М. Страхову (1951), 32%. Принимая удельный вес ила равным примерно 1,5 и влажность около 50%, можно подсчитать, что имеющееся на дне озера количество карбонатов могло быть накоплено не менее чем за 4000 лет[2]. Эта цифра, конечно, весьма приближенная. Очевидно, также, что она характеризует минимальный возраст, так как получена из предположения, что скорость карбонатонакопления все время была такой же, как и теперь. В действительности же, ряд соображений, изложенных выше, свидетельствует о том, что ранее климат в Прибалхашье был значительно мягче, оз. Балхаш было более полноводным, и процесс карбонатообразования здесь шел гораздо медленнее.

8. РАСТВОРЕННЫЕ ГАЗЫ И ВЕЛИЧИНА pH

К и с л о р о д. В отличие от ионного состава содержание растворенного кислорода по акватории открытой части оз. Балхаш меняется очень мало. Об этом можно судить на основании результатов наших определений, выполненных летом 1958 г. (табл. 44 и 45).

Содержание кислорода в поверхностном горизонте обычно колебалось от 7,22 до 8,32 *мг/л*, т. е. в пределах 82,7—97,2% от нормального насыщения. Примерно такие же величины (70—100%) были получены ранее и П. Ф. Домрачевым (1931, 1935). Максимальное содержание, равное 10,85 *мг/л* (123% насыщения), нами было зафиксировано 15.VIII в 19 час. 45 мин. в заливе Бурлю-Тюбе (станция № 60). В воде восточной части озера по сравнению с западной, хотя и незначительно, но вполне отчетливо,

---

[1] Интересно сравнить наблюдаемые величины солевого запаса и средней минерализации воды озера в начале и в конце 25-летнего периода с соответствующими величинами, которых следовало бы ожидать в конце периода, если бы в озере не происходили процессы разложения карбонатов и потери солей на берегах.

	Солевой запас озера, млн. *т*	Средняя минерализация озера, *г/кг*
Начало периода (1931 г.):		
а) наблюдавшиеся величины	293	2,69
Конец периода (1956 г.):		
а) наблюдавшиеся величины	306	2,94
б) величины, которых следовало бы ожидать, если учитывать только разложение карбонатов ($Q_{карб}$) и не учитывать потерю солей на берегах ($Q_{бер}$)	358	3,42
в) величины, которых следовало бы ожидать, если не учитывать ни один из рассматриваемых процессов	437	4,17

[2] При указанных условиях 1 *м*³ ила содержит ~ 250 *кг* карбонатов; следовательно, 3 *м*³ ила содержат их ~ 750 *кг*. На образование этого количества при указанной скорости необходимо около 4000 лет.

Таблица 44

Содержание растворенного кислорода и биогенных веществ, а также окисляемость воды оз. Балхаш летом 1958 г.*

Номер станции	Дата отбора пробы	Содержание O_2		Окисляемость, *мгО/л*	Содержание Si, *мг/л*	Содержание P и N, *мг/м³*			
		мг/л	% насыщения **			$P_{PO_4'''}$	$N_{NH_4^+}$	$N_{NO_2^-}$	$N_{NO_3^-}$
			Западный Балхаш						
1	10^{00}, 25.VII	7,80	89,2	4,40	3,0	24	4	<0,5	68
2	Тогда же, 11^{15}	7,80	89,2	5,82	3,7	5	8	»	57
3	» 12^{20}	7,80	89,2	4,00	3,0	7	4	»	57
4	» 14^{10}	7,80	90,6	4,00	3,7	3	7	»	57
5	» 16^{25}	7,80	90,6	4,00	3,7	5	4	»	57
7	21^{15}, 27.VII	7,70	88,0	3,36	3,2	20	7	»	10
8	6^{40}, 28.VII	7,50	85,8	3,48	3,2	4	9	»	<10
9	Тогда же, 8^{55}	7,22	85,0	3,70	4,5	<3	—	»	<10
10	» 13^{00}	7,60	90,1	3,36	3,2	<3	4	»	<10
11	6^{15}, 29.VII	7,23	82,7	4,83	3,2	<3	5	»	<10
12	15^{20}, 30.VII	7,42	89,0	3,34	3,0	3	13	»	<10
13	Тогда же, 13^{50}	7,70	89,4	3,34	3,2	5	8	»	<10
14	» 10^{20}	7,65	87,4	3,20	3,0	7	9	»	10
15	» 7^{00}	7,42	85,0	3,20	3,0	6	6	»	<10
17	17^{45}, 29.VII	—	—	4,16	2,7	<3	12	»	23
18	18^{35}, 30.VII	7,70	92,5	3,08	3,2	<3	8	»	<10
19	10^{15}, 31.VII	7,42	84,6	3,20	3,2	<3	12	»	<10
20	7^{15}, 2.VIII	7,80	88,6	3,34	3,2	22	—	»	17
21	Тогда же, 9^{00}	7,72	88,1	4,00	3,2	32	—	»	10
22	» 12^{40}	7,60	87,2	3,44	2,2	34	10	»	<10
23	» 14^{15}	7,62	87,4	3,44	2,2	32	16	»	17
25	» 18^{00}	7,65	87,3	3,36	3,5	26	12	»	17
26	6^{10}, 3.VIII	7,72	86,4	3,36	3,2	30	11	»	<10
27	Тогда же, 7^{30}	7,62	87,0	2,80	3,0	28	8	»	23
28	» 9^{20}	7,72	88,8	3,44	2,2	6	13	»	10
29	» 12^{50}	8,25	94,8	3,60	2,5	5	12	»	23
30	15^{00}, 6.VIII	7,80	86,0	3,52	2,7	5	4	»	<10
32	Тогда же, 17^{10}	7,90	89,3	4,03	2,7	<3	8	»	10
34	» 19^{45}	7,80	88,8	4,75	3,0	5	5	»	<10
			Восточный Балхаш						
35	7^{10}, 7. VIII	7,80	85,5	4,52	2,5	<3	5	<0,5	<10
36	Тогда же, 9^{35}	8,26	90,8	4,68	2,2	<3	5	»	<10
37	8.VIII, 12^{00}	7,80	88,8	4,85	2,5	<3	10	»	10
39	Тогда же, 14^{45}	7,80	90,0	4,48	3,0	3	6	»	<10
40	» 16^{35}	8,24	93,8	4,60	2,7	<3	5	»	23
41	» 17^{20}	7,87	89,4	4,60	2,5	3	5	»	23
43	10^{00}, 9.VIII	7,72	89,4	4,60	2,2	3	5	»	<10
44	Тогда же, 12^{10}	8,17	94,0	3,56	2,5	3	7	»	10
45	» 16^{40}	7,97	92,3	4,20	2,5	3	8	»	10
46	» 18^{20}	8,32	97,2	4,60	2,7	3	4	»	<10
48	6^{40}, 12.VIII	7,78	89,2	5,88	2,7	6	8	»	34
49	Тогда же, 9^{00}	—	—	5,35	2,6	3	8	»	<10
50	» 7^{40}	7,71	86,8	4,62	2,6	5	8	»	16
51	6^{30}, 13.VIII	7,72	87,0	4,68	2,7	3	8	»	18

Таблица 44 (окончание)

Номер станции	Дата отбора пробы	Содержание O_2		Окисляемость, *мгО/л*	Содержание Si, *мг/л*	Содержание P и N, *мг/м³*			
		мг/л	% насыщения **			$P_{PO_4'''}$	$N_{NH_4^+}$	$N_{NO_2'}$	$N_{NO_3'}$
52	Тогда же, 7^{30}	8,15	89,0	4,80	2,5	3	8	<0,5	<10
53	10^{55}, 15.VIII	7,72	87,2	4,95	2,5	4	8	»	10
54	Тогда же, 12^{40}	7,80	89,5	4,67	2,7	<3	8	»	10
55	8^{30}, 16.VIII	—	—	4,67	2,2	5	8	»	<10
56	Тогда же, 7^{00}	7,77	87,6	5,22	3,0	4	8	»	10
58	16^{15}, 15.VIII	7,77	88,0	4,51	3,0	6	8	»	10
59	Тогда же, 17^{20}	7,97	90,2	4,67	3,1	6	8	»	10
60	» 19^{45}	10,85	123,0	6,3	2,5	5	8	»	<10

* Местоположение станций указано на рис. 38.
** С поправкой на соленость.

кислорода содержится больше. Среднее его содержание по Западному Балхашу составляло 7,70 *мг/л* (88,4% насыщения), по восточному — 8,10 *мг/л* (91,0% насыщения). По-видимому, это связано с бóльшей прозрачностью воды в восточной части озера по сравнению с западной (см. рис. 36) и, следовательно, с более высокой фотосинтетической деятельностью водной растительности. В прибрежных частях озера, где местами водоросли сплошь покрывают значительные площади, можно было бы ожидать более высоких содержаний кислорода. В действительности же оно здесь падает до 4,0—4,5 *мг/л* (45—55% насыщения). Очевидно, это объясняется преобладанием процессов потребления кислорода на окисление органических веществ (дыхание и гниение) над процессом его фотосинтеза.

Вертикальная стратификация кислорода наблюдается почти повсюду, однако из-за мелководности водоема и постоянного ветрового перемешивания водных масс она незначительна. Обычно содержание кислорода в придонных горизонтах воды, даже в наиболее глубокой восточной части озера, лишь на 2—15% меньше, чем в поверхностных (табл. 45 и рис. 84). Только в одном случае (в заливе Бертыс, при глубине 14 *м*, 13.VII в 12 час. 50 мин.) эта разница составляла 45% (по абсолютному содержанию).

О суточном ходе содержания кислорода в воде озера можно судить по результатам двух суточных станций (рис. 84), первая из которых была проведена в Западном Балхаше в районе о-ва Тасарал, вторая — в Восточном Балхаше в районе п-ова Шаукар. Из рисунка (*I*) видно, что незначительная стратификация кислорода, имевшая место в начале наблюдений, в результате разыгравшегося ночью сильного ветра, скоростью до 15 *м/сек*, была нарушена и вновь восстановилась только с прекращением ветра. Суточный ход содержания кислорода в воде Западного Балхаша выражен очень слабо. Разница между максимальным и минимальным его содержаниями составляла всего лишь 4,3%. Причем максимум наблюдался не в 16—18 часов, как обычно, а ночью, что возможно связано со значительной аэрацией воды при очень сильном волнении. Минимальное содержание кислорода наблюдалось в утренние часы. В Восточном Балхаше (рис. 84, *II*) суточный ход содержания кислорода в воде хорошо был выражен в придонном горизонте. Здесь намечается максимум, приходящийся на 15—18 часов, и минимум, наблюдаемый на рассвете. Амплитуда колебаний абсолютных содержаний кислорода здесь заметно выше и доходит до 10%. Суточные изменения в содержании кислорода в поверхностном горизонте озерной воды почти отсутствовали.

Таблица 45

Содержание растворенного кислорода и различных форм биогенных веществ, а также окисляемость воды оз. Балхаш летом 1958 г.

Номер станции	Дата отбора пробы	Глубина, м	Температура воды, °С	pH	Содержание O_2		Окисляемость, мгО/л	Содержание Si, мг/л	Содержание P и N, мг/м³								
					мг/л	% насыщения			$P^{мин}_{раст}$	$P_{вал}$	N_{NH_4}	N_{NO_2}	N_{NO_3}	$N^{общ}_{раст}$	$N_{вал}$	$N^{орг}_{раст}$	$N^{орг}_{нераст}$
Западный Балхаш																	
6	8²⁵, 26.VII	6,50	23,0	8,58	7,80	87,7	4,00	3,0	5	16	4	<1	57	553	995	549	442
6*	Тогда же		22,5	8,55	7,65	84,3	3,28	3,0	4	—	4	<1	57	—	—	—	—
16	19³⁵, 29.VII	7,00	24,0	8,71	7,76	88,9	4,72	2,7	4	58	8	<1	<10	884	943	876	59
16*	Тогда же		24,0	8,71	7,52	86,0	3,00	2,7	4	—	4	<1	<10	—	—	—	—
24	16⁰⁰, 2.VIII	7,00	25,0	8,73	7,73	88,6	3,04	3,0	26	49	9	<1	17	796	973	787	177
24*	Тогда же		25,0	8,73	7,80	89,2	3,68	3,0	23	—	—	<1	10	—	—	—	—
31	16⁰⁰, 6.VIII	7,80	23,0	8,82	8,03	90,6	3,84	3,2	13	34	8	<1	<10	678	766	670	88
31*	Тогда же		23,0	8,82	7,86	88,8	3,48	3,2	<3	—	4	<1	<10	—	—	—	—
Восточный Балхаш																	
38	13⁰⁰, 8.VIII	15,0	23,2	8,90	7,80	88,8	4,60	3,0	4	22	8	<1	45	1091	1326	1083	235
38*	Тогда же		23,0	8,90	7,23	82,2	4,68	3,0	4	—	5	<1	23	—	—	—	—
42	18⁴⁵, 8.VIII	15,0	23,0	8,90	7,98	90,8	4,68	2,5	4	21	5	<1	<10	413	884	408	471
42*	Тогда же		22,5	8,90	7,65	85,7	4,35	2,5	3	—	5	<1	<10	—	—	—	—
47	6⁰⁰, 12.VIII	12,5	22,0	9,01	7,63	86,0	5,04	2,6	6	19	8	<1	<10	973	1385	965	412
47*	Тогда же		22,0	9,00	7,65	86,0	4,60	2,7	7	—	8	<1	<10	—	—	—	—
57	14²⁵, 15.VIII	17,5	22,3	9,07	7,77	87,6	4,67	2,5	4	14	8	<1	<10	383	471	375	88
57*	Тогда же		21,3	9,07	7,42	82,3	4,75	2,5	5	—	8	<1	<10	—	—	—	—

* У дна.

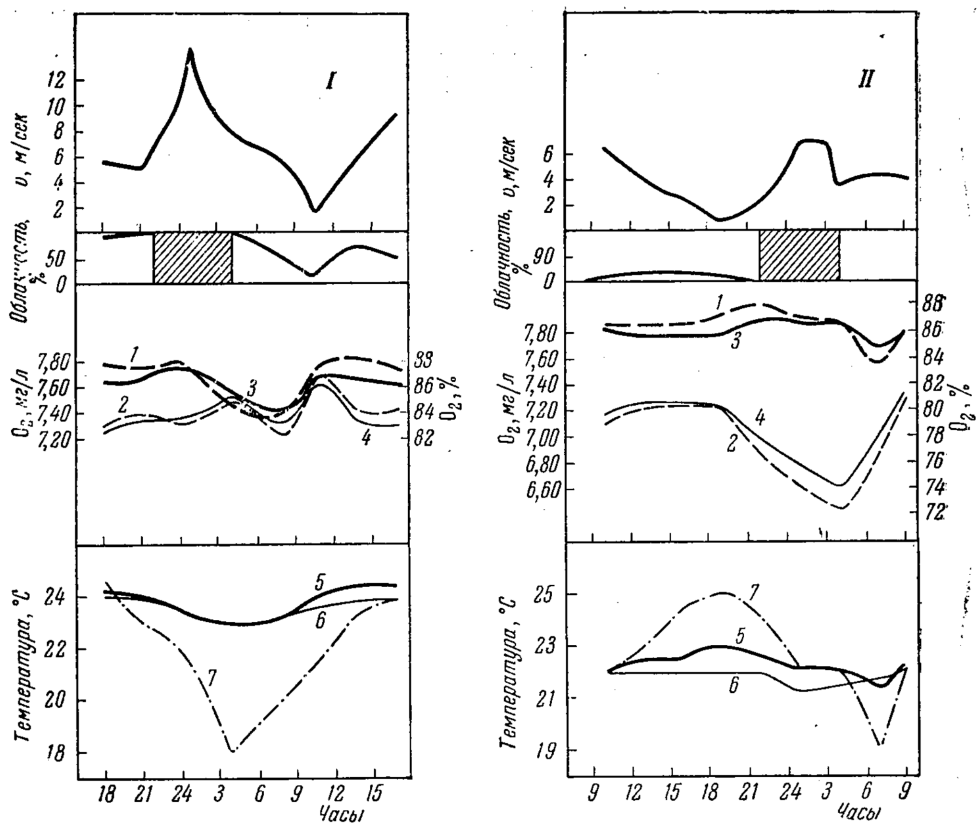


Рис. 84. Кривые, характеризующие содержание растворенного в воде кислорода, температуру воды и воздуха, скорость ветра и облачность, построенные по результатам суточных станций на оз. Балхаш.

I — район о-ва Тасарал (31.VII—1.VIII 1958 г.), глубина 6,5 *м*; *II* — район п-ова Шаукар (16.VIII 1958 г.), глубина 13,5 *м*.

1 — O_2 (в %) на глубине 0,5 *м*; *2* — то же у дна; *3* — O_2 (в *мг/л*) на глубине 0,5 м; *4* — то же, у дна; *5* — температура воды на глубине 0,5 *м*; *6* — то же у дна; *7* — температура воздуха; *v* — скорость ветра (в *м/сек*); облачность (в %); ночное время суток обозначено штриховкой

В результате указанных, правда, довольно ограниченных наблюдении предварительно можно заключить, что интенсивность биологических и биохимических процессов, идущих в озере с выделением и потреблением кислорода, невысокая. При этом в восточной части озера, где органический мир богаче, процессы идут более интенсивно, чем в западной.

Наблюдений за кислородным режимом в зимнее время мы не проводили. По данным П. Ф. Домрачева (1931б), заморных явлений на озере не наблюдается. В конце суровой зимы 1931/32 г., перед вскрытием льда насыщение водных масс кислородом составляло 60,0—96,0% от нормального. Даже в мелководном и сильно заиленном заливе Кукан насыщение перед вскрытием достигало 78%. Заморные явления, очевидно, возможны лишь в особо неблагоприятных условиях — при незначительных глубинах, высоком содержании разлагающихся органических веществ, затрудненном водообмене и пр. Эти условия характерны для залива Ала-Куль. Зимой 1931/32 г. здесь наблюдались заморные явления, сопровождаемые скоплением рыбы у прорубей (Штурм, 1934).

Двуокись углерода. Содержание CO_2 в воде оз. Балхаш очень невелико; так, ее присутствие в озерной воде в летние периоды 1956 и 1957 гг., согласно данным, полученным расчетным путем (для всех станций), не

превышало 0,7—1,1 *мг/л* и только в непосредственной близости от устьев рек достигало 3,7—5,4 *мг/л*.

Сероводород. H_2S в воде озера нами нигде обнаружен не был. Его присутствие было установлено П. Ф. Домрачевым (1930а) только в донных илах, особенно в заливах. Нами во время полевых работ также зафиксировано несколько случаев, когда доставленный дночерпателем на поверхность ил имел резкий запах сероводорода. Л. Д. Штурмом сероводород был найден в воде залива Ала-Куль (в сентябре 1932 г.) в количестве 5—6 *мг/л*. Им же (1934) в сапропелевых отложениях были обнаружены и бактерии, продуцирующие H_2S. Не исключена возможность, что сероводород периодически может встречаться и в некоторых других заливах, где господствуют аналогичные анаэробные условия. Присутствие H_2S в открытом озере исключается благодаря постоянной аэрации воды.

Характеристика величины pH. Значения pH воды оз. Балхаш даны в табл. 26—28, на основании которых составлены соответствующие карты (рис. 85). Из приведенного рисунка следует, что значения pH довольно высоки и меняются в значительном интервале. Крайние, наблюдавшиеся нами, значения составляли 7,77—9,23 (без залива Ала-Куль, где $pH_{макс} = 9{,}60$). Характер распределения величин pH по акватории аналогичен характеру распределения большинства ингредиентов ионного состава. В районе озера, прилегающем к дельте Или, наблюдаем минимальные значения pH, равные 7,90—8,00. По мере удаления от дельты на восток pH растет, и у пролива Узунарал уже составляет 8,80—8,90. Максимальных значений ($pH = 9{,}05 \div 9{,}10$) оно достигает у восточной оконечности озера. В части озера, прилегающей к юго-восточному побережью Западного Балхаша, pH на 0,10—0,15 выше, чем в части, омывающей северо-западное побережье.

Вертикальная стратификация величин pH чаще всего отсутствует. Только в редких случаях pH воды у дна на 0,05—0,10 меньше, чем у поверхности (максимум на 0,2).

Величина pH в природных водах определяется главным образом количественным соотношением CO_2, $HCO_3^{'}$ и $CO_3^{''}$. Поскольку содержание CO_2 в воде оз. Балхаш настолько мало, что практически может не приниматься во внимание, то величины pH будут зависеть только от соотношений HCO'_3 и $CO_3^{''}$. Как следует из табл. 38, с ростом отношения $\frac{HCO_3^{'}}{CO_3^{''}}$ (в %-молей) от 49 до 9, величины pH соответственно растут от 8,70 до 9,15. Такие соотношения между величинами pH и содержанием различных форм угольной кислоты, полученные в условиях оз. Балхаш, являются обычными, установленными путем физико-химических расчетов.

9. БИОГЕННЫЕ ВЕЩЕСТВА, ОКИСЛЯЕМОСТЬ И МИКРОЭЛЕМЕНТЫ

Главным источником поступления биогенных и органических веществ в озеро являются реки, первое место из которых занимает Или. Максимальный размер речного притока в условиях оз. Балхаш приходится на летние месяцы. В то же время летом наблюдается и максимальное потребление биогенных веществ. Поэтому полученные нами при полевых исследованиях (июль — август 1958 г.) значения отдельных ингредиентов, которые приводятся ниже, можно ориентировочно рассматривать как близкие к средним в годовом цикле.

Фосфор. Величины содержания фосфора, минерально-растворенного (фосфаты) и валового, приведены в табл. 43 и 44. Содержание фосфатов колеблется от <3 до 34 *мг/м*^{3}, в большинстве же случаев составляет 3—6 *мг/м*^{3}.

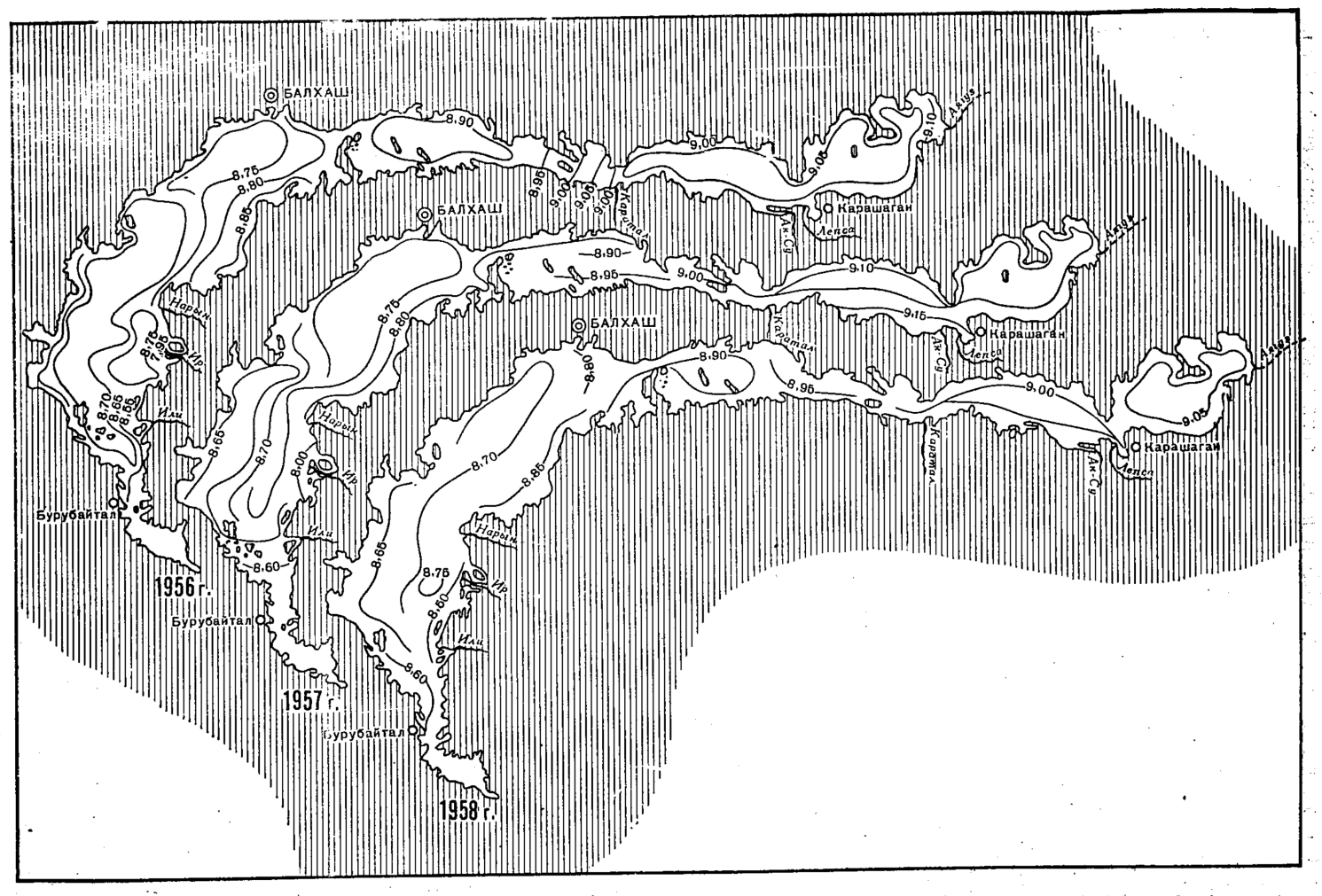


Рис. 85. Характер распределения величин pH в озере Балхаш

Установить какую-либо закономерность в распределении фосфатов по акватории не удается. Можно лишь констатировать, что более высокие содержания (22—34 *мг/м*³) наблюдаются в центральной части Западного Балхаша.

Валовое содержание фосфора находится в пределах 14—58 *мг/м*³, причем с удалением от устья Или в восточном направлении оно неуклонно снижается (см. табл. 45). Последнее объясняется двумя причинами. Во-первых, большей удаленностью от главного источника пополнения фосфора и, во-вторых, более интенсивным потреблением фосфора в Восточном Балхаше, так как здесь органический мир более богат, чем в Западном.

В целом оз. Балхаш по содержанию соединений фосфора, по-видимому, немного уступает таким водоемам, как Азовское и Черное моря, но превосходит Аральское море. Для сравнения укажем, что среднее летнее содержание минерального растворенного фосфора в оз. Балхаш составляет ~8 *мг/м*³, в Азовском море — ~9—22 *мг/м*³, в Черном — ~12 *мг/м*³ (Дацко, 1959), в Аральском — ~1—4 *мг/м*³ (Блинов, 1956).

А з о т. Соединения азота в нитратной форме находятся в пределах от 10 и меньше до 68 *мг/м*³ (см. табл. 44 и 45). Пространственное распределение нитратного азота характеризуется наибольшими величинами в части озера, прилегающей к устью Или (57—68 *мг* N/*м*³). В других частях оз. Балхаш количество содержащегося в воде нитратного азота обычно не превышает 10 *мг/м*³ и только в отдельных пунктах поднимается до 15—25 *мг/м*³. Такой характер распределения азота опять-таки подтверждает, что главным источником поступления биогенных веществ в озеро служит Или (в Или содержание нитратного азота летом составляло 460 *мг/м*³). Нитриты нигде в озере обнаружены не были.

Аммиачный азот распределяется в озере довольно равномерно, причем его содержание не выходит за пределы 4—16 *мг/м*³.

Как следует из табл. 45, валовое содержание азота достигает высоких значений (от 471 до 1385 *мг/м*³).

Рассматривая соотношение различных форм азота, видим, что преобладающей формой является органический азот. Его содержание достигает 463—1377 *мг/м*³. Из этих количеств 375—1083 *мг/м*³ (в среднем 715 *мг/м*³, или 75%) приходится на растворимую форму и 59—442 *мг/м*³ (в среднем 245 *мг/м*³, или 25%) на нерастворимую.

Таблица 46

Содержание различных форм азота в некоторых водоемах
(средние величины)

Водоем	Содержание N, *мг/м*³			Автор
	нитратный	аммонийный	органический	
Азовское море	30	70	580*	В. Г. Дацко (1959)
Аральское море	⩽5	⩽80	—	Л. К. Блинов (1956)
Оз. Балхаш	13	8	960	М. Н. Тарасов

* Дацко и Семенов (1959)

Сравнивая оз. Балхаш с Азовским и Аральским морями (табл. 46), видим, что нитратного азота в оз. Балхаш больше, чем в Аральском море. но меньше, чем в Азовском. По аммонийному азоту оз. Балхаш сильно уступает названным морям, зато по органическому азоту — превосходит Азовское море. В целом по содержанию азота. оз Балхаш, по-видимому, стоит впереди Аральского моря, но уступает Азовскому.

К р е м н и й. Содержание растворенных производных кремневой кислоты в воде озера находится в пределах 2200—4500 *мг* Si/*м*³ (см. табл. 44).

Почти такие же величины (2000—4100 *мг* Si/*м*³) были получены П. Ф. Домрачевым (1931б). Он отмечал, что никакой закономерности в распределении кремния нет. Однако, как было установлено нами, в восточном направлении от устья Или, содержание кремния вполне отчетливо уменьшается. Среднее его содержание по западной части озера составляет 3100 *мг*/*м*³, по восточной части — 2600 *мг*/*м*³.

Таким образом, кремний в озере распределяется аналогично валовому фосфору. По-видимому, и причины такого распределения остаются те же — поступление кремния с илийским притоком (содержание Si в воде реки 4100 *мг*/*м*³) и увеличивающееся в восточном направлении его потребление в процессе жизнедеятельности фитопланктона.

По сравнению с другими водоемами в оз. Балхаш содержание кремния значительно выше. Так, среднее его содержание по оз. Балхаш составляет 2900 *мг*/*м*³, по Аральскому морю — 250 *мг*/*м*³ (Блинов, 1956), по Азовскому — 800 *мг*/*м*³ (Дацко, 1959).

О к и с л я е м о с т ь. Перманганатная окисляемость балхашской воды (в щелочной среде) имеет величины порядка 2,80—6,30 *мг* О/*л* (см. табл. 44 и 45). Пространственное распределение величин окисляемости характеризуется следующими данными. В непосредственной близости от устья Или наблюдается повышенная окисляемость, значения которой составляют 4,0—5,8 *мг* О/*л*. Дальше она падает и в большей части Западного Балхаша не превышает 3,1—3,5 *мг* О/*л*. В Восточном Балхаше, по мере приближения к Бурлю-Тюбинскому плёсу, опять наблюдается постепенное повышение ее от 4,5 до 6,0 *мл* О/*л*. В среднем по западной части озера окисляемость равна 3,74 *мг* О/*л*, по восточной — 4,78 *мг* О/*л*. Повышенная окисляемость воды в Восточном Балхаше, по сравнению с Западным, хорошо согласуется с полученным выше (гл. III) выводом о более богатом здесь органическом мире. Более высокие значения окисляемости в приустьевой зоне находятся в связи с большой окисляемостью воды Или (10,1 *мг* О/*л*).

Сравнивая оз. Балхаш с другими водоемами, следует отметить, что содержание органического вещества в воде озера довольно высокое. Так, средняя перманганатная окисляемость (в щелочной среде) воды Аральского моря — 0,95, Среднего и Южного Каспия — 2,8, Азовского моря — 5,40 *мг* О/*л* (Блинов, 1956). В среднем по оз. Балхаш окисляемость составляет 4,18 *мг* О/*м*³.

Относительно вертикальной стратификации биогенных и органических веществ в озере можно отметить, что чаще всего в поверхностных горизонтах воды их содержится несколько больше, чем в придонных. Это относится также к фосфатам, нитратному и аммонийному азоту и к окисляемости. Содержание кремния по вертикали не меняется (см. табл. 44).

Сделать какие-либо окончательные обобщения относительно содержания растворенного кислорода, биогенных элементов и органического вещества в озере из-за ограниченности данных, пока трудно. Однако, резюмируя полученные сведения о распределении по акватории названных ингредиентов, а также сведения о характере изменения прозрачности воды в озере, можно отметить, что между этими характеристиками намечается тесная взаимосвязь. С увеличением прозрачности в восточном направлении создаются более благоприятные условия обитания животных и растительных организмов, в связи с чем их количество увеличивается (и окисляемость растет). При большей прозрачности интенсифицируется процесс фотосинтеза, а следовательно, растет содержание в воде растворенного кислорода и увеличивается амплитуда в суточном его ходе. Вместе с тем увеличивается потребление питательных веществ, например, нитратного азота, фосфора и кремния, содержание которых в связи с этим в восточном направлении падает.

Содержание биогенных веществ в водоемах в значительной мере зависит от ежегодно вносимого количества этих веществ, приходящегося на единицу объема водоема. Как отмечает Л. К. Блинов (1956), показательной величи-

Таблица 47

Содержание некоторых микроэлементов в воде оз. Балхаш

Элемент	Место отбора пробы	Дата отбора	г/л	Автор
Бром	В заливе Карашаган	3.VIII 1955 г.	1272	М. Н. Тарасов
Иод	Там же	Тогда же	24	
Цинк	У п-ова Чиганак	1.VII 1957 г.	58,8	
	В заливе Карашаган	Тогда же	45,4	
Стронций	Сведений нет		30,9	Е. В. Посохов (1955)
Медь	Восточнее о-ва Тасарал	Сведений нет	3,3	Д. Г. Сапожников (1951)
	В районе горы Таргыл	» »	2,2	То же
	У п-ова Чаганак	1.VII 1957 г.	13,6	
	В заливе Карашаган	Тогда же	9,1	М. Н. Тарасов
	Бурлю-Тюбинский плёс (станция № 57)	16.VIII 1958 г.	8,7	
Молибден	Там же	Тогда же	50	
Ванадий	»	»	9,5	
Титан	»	»	1,2	
Алюминий	»	»	1,1	
Железо	»	»	5,3	
Свинец	»	»	11,5	
Марганец	»	»	1,0	

ной в этом случае является отношение речного притока к объему водоема. Так, для Аральского моря, исключительно бедного биогенными веществами, это отношение составляет 5,3%, напротив, для Азовского моря оно равно 13%, а для северного Каспия — 20%. Для оз. Балхаш при его объеме около 100 $км^3$ и ежегодном речном притоке в 13,4 $км^3$ это отношение составляет 13,4%. Исходя из этого, а также учитывая значительную концентрацию биогенных веществ в реках, впадающих в оз. Балхаш, становится понятным, почему это озеро, находящееся в таких же климатических условиях, как и Аральское море, намного богаче его биогенными веществами.

Микроэлементы. Данных о содержании микроэлементов в оз. Балхаш, за исключением единичных цифр, нам найти не удалось. В табл. 47 приведены некоторые сведения, полученные в результате проведенных нами исследований [1]. Следует обратить внимание на повышенные концентрации в озере молибдена, стронция и отчасти свинца по сравнению с обычно наблюдаемыми их содержаниями в пресных и солоноватых водах. Это, очевидно, связано с влиянием сточных вод, сбрасываемых в озеро предприятиями Балхашского промышленного узла. И. С. Корякин (1958), например, отмечает, что, наряду с различными реагентами, в озеро ежегодно сбрасываются десятки тонн соединений молибдена, стронция, свинца и меди. Поступление больших количеств меди со сточными водами, а также богатство недр Прибалхашья этим металлом давало основание ожидать высоких его концентраций в озере. Однако, как следует из данных табл. 47, этого не наблюдается.

[1] Содержание всех элементов, за исключением брома, йода и цинка, по нашей просьбе, было определено В. Я. Еременко при помощи спектрального анализа. Анализ воды на содержание в ней первых трех элементов выполнен Т. Х. Колесниковой. При этом бром и йод определялся согласно прописи И. А. Гончаровой (1955), а цинк колориметрически с дитизоном (Драчев и др., 1953) Пользуемся случаем принести благодарность В. Я. Еременко и Т. Х. Колесниковой за оказанную помощь.

Таблица 48

Хлор-бромные коэффициенты воды оз. Балхаш и рапы соляных озер Прибалхашья

Место отбора пробы	Содержание ионов, *мг/л*		$\frac{Cl'}{Br'}$
	Cl′	Br′	
Залив Карашаган	977	1,272	770
Соляное озеро, расположенное примерно в 3 *км* восточнее залива Карашаган	26200	44,346	590
Соляное озеро, расположенное примерно в 4 *км* северо-восточнее бухты Майкамыс	63400	90,660	700

Экспериментально установлено, что медь из растворов чрезвычайно легко извлекается карбонатом кальция, причем образуется трудно растворимая основная углемедная соль (Архангельский и Соловьев, 1938). Аналогичный процесс, по-видимому, происходит при соприкосновении кислых вод, содержащих медь, с известняками, в результате чего медь обогащает их и не попадает в озеро (Залманзон, 1951). Медь, как и другие тяжелые металлы, не может накапливаться в воде озера также и из-за высоких значений pH воды.

Содержание других микроэлементов в озере находится в пределах обычных количеств для природных вод. Например, по данным Г. С. Коновалова (1959), в реках Арало-Каспийского бассейна содержание йода составляет 4,5—17,3 *γ/л* и цинка — 7,9—144,0 *γ/л*. В балхашской воде концентрация этих ионов соответственно равна 24 и 45,4—58,8 *γ/л*. Как установлено Н. В. Веселовским и И. А. Гончаровой (1961), содержание брома в прудах некоторых засушливых районов находится в прямой зависимости от общей минерализации воды. При общей минерализации в 3—5 *г/л* содержание брома обычно составляет 1500—2000 *γ/л*. В оз. Балхаш при минерализации в 5 *г/л* оно равно 1270 *γ/л*. Интересно отметить, что хлор-бромные коэффициенты воды оз. Балхаш и рапы озер Прибалхашья очень близки (табл. 48). Это снова подтверждает генетическое единство оз. Балхаш с окружающими его озерами.

Глава VIII

БУДУЩИЙ ГИДРОХИМИЧЕСКИЙ РЕЖИМ ОЗЕРА БАЛХАШ В СВЯЗИ С ЗАРЕГУЛИРОВАНИЕМ р. ИЛИ

1. ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ СВЕДЕНИЯ

Освоение богатств, заключенных в недрах Северного Прибалхашья, при ограниченных водных ресурсах, естественно выдвинуло проблему водоснабжения. Внимание исследователей было сосредоточено главным образом на трех возможных источниках: на речных и аллювиальных водах северных притоков оз. Балхаш, на воде западной части озера и на речной илийской воде.

В соответствии с этим были предложены многочисленные варианты проектов, которые, помимо водоснабжения, предусматривали также комплексное использование Балхаш-Илийской водной системы в целом и, в частности, гидроэнергетических ресурсов Или, для орошения огромных пустынных пространств и т. д.

Из северных притоков оз. Балхаш особого внимания заслуживала лишь р. Токрау, воду из верхнего или нижнего течений которой предполагалось подать медеплавильному комбинату по каналу. Некоторые надежды возлагались также на аллювиальные воды этой реки в нижнем ее течении (Оболенский, 1930; Русаков, 1931; Кунин, 1935). Однако реализованы эти предложения не были из-за их дороговизны, технической сложности и недостаточно высокого качества воды Токрау.

Наиболее доступным источником водоснабжения, без сомнения, следует считать западную часть оз. Балхаш. Но в той части озера, к которой прилегает промышленный узел (залив Бертыс), качество воды очень низкое. Одной из мер ее опреснения является пропуск илийской воды по старому руслу этой реки — Орта-Баканасу, устье которого находится в западной части озера против залива Бертыс (Русаков, 1931; Домрачев, 1935) [1]. П. Ф. Домрачев предполагал, что в результате опреснения воды ее качество в районе Бертысского залива будет таким же хорошим, как против современного устья Или в районе Мынарала.

Другой мерой, предусматривающей улучшение качества воды Западного Балхаша, может служить дамба, построенная в самом узком месте озера — в проливе Узунарал и разъединяющая Западный Балхаш от Восточного. Эта дамба, снабженная шлюзом, сохранит проточность западной части озера и одновременно предотвратит проникновение в эту часть более минерализованной воды с востока (Русаков, 1931, 1931а; Посохов, 1946а). По грубым расчетам М. П. Русакова, в результате этого мероприятия минерализация воды в районе бухты Бертыс снизится на 20—30%. Тот же автор предложил

[1] Аналогичное предложение было сделано А. И. Корнеевым (1911), но он главным образом имел в виду орошение пустынных пространств Южного Прибалхашья.

комплексное решение задачи, которое сводится к следующему. На р. Или в Капчагайском ущелье сооружается гидроэлектростанция и водохранилище, на озере — разъединительная дамба со шлюзом. Через дамбу проводится железнодорожная магистраль, соединяющая Қоунрад с Турксибом. Илийская вода направляется по Баканасу и затем через водопровод, проложенный по той же дамбе, поступает на водоснабжение промышленного узла [1]. Таким образом, одновременно были бы решены такие важные проблемы, как водоснабжение, орошение, энергетика и транспорт.

В силу различных причин ни один из перечисленных проектов пока осуществлен не был, и озеро до сих пор остается основным источником водоснабжения для населения, предприятий и транспорта, находящихся в северном Прибалхашье.

Директивами XX съезда КПСС на р. Или, в 11 *км* ниже с. Илийского, в начале Капчагайского ущелья, в ближайшем будущем предусмотрено строительство крупной гидроэлектростанции. Образующееся при этом Капчагайское водохранилище с площадью водного зеркала около 2000 *км*^{2}, емкостью 32 *км*^{3} и длиной до 200 *км* позволит осуществить многолетнее регулирование стока Или. Вполне понятно, что вопрос о строительстве Капчагайской ГЭС необходимо решать совместно с проблемой водоснабжения северного Прибалхашья, так как связанное со строительством значительное уменьшение притока речной воды в озере, в условиях высокого испарения и незначительных глубин последнего, сильно нарушит водный и гидрохимический режим оз. Балхаш. В связи с этим становится очевидной необходимость прогноза тех изменений, которые произойдут в озере после сооружения Капчагайской плотины. Такой прогноз позволит также выбрать наиболее выгодный вариант проекта как в отношении режима наполнения водохранилища, так и в отношении будущей минерализации воды озера.

2. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ И МЕТОДИКА ПРОГНОЗА

В процессе наполнения Капчагайского водохранилища приток илийской воды в озеро будет уменьшен и тем больше, чем бо́льшая его часть будет аккумулирована в водохранилище. В соответствии с этим проект [2] предусматривает три варианта наполнения водохранилища: медленное наполнение (продолжительностью 6—12 лет в зависимости от водности периода) и два режима форсированного наполнения (продолжительностью 3—4 года). Наряду с этим в дельте предполагаются мелиоративные мероприятия, в связи с чем проект предусматривает четыре возможных варианта водопотребления в дельте. Помимо этого, проект имеет в виду возможность изоляции западной части озера от восточной при помощи глухой дамбы, сооруженной в проливе Узунарал. Сочетание различных условий (водность, режим наполнения водохранилища, водопотребление в дельте, наличие и отсутствие дамбы) дает 48 возможных вариантов изменений водного и гидрохимического режимов озера в связи с сооружением Капчагайской ГЭС. Не имея возможности останавливаться на всех случаях, рассмотрим только наиболее характерные:

а) наполнение медленное, водопотребление в дельте 3,25 *км*^{3}/*год*, условия водности периода средние, дамба не сооружается;

б) наполнение форсированное, водопотребление в дельте 2,28 *км*^{3}/*год*, условия водности периода средние, дамба не сооружается;

в) то же, что в случае «а», но при условии сооружения дамбы;

г) то же, что и в случае «б», но при условии сооружения дамбы.

Приток илийской воды (в *км*^{3}) в озеро при этом составит:

---

[1] А. К. Вандербеллен предлагал проложить водопровод по дну озера.

[2] Составлен ленинградским отделением института «Гидроэнергопроект».

Варианты медленного наполнения водохранилища:

Годы от начала наполнения	1	2—7	8	9 и др.
Приток	3,07	7,49	8,44	9,30

Варианты форсированного наполнения водохранилища:

Годы от начала наполнения	1	2	3	4 и др.
Приток	2,68	0,88	2,27	10,27

За основу при выборе величин начальной отметки озера и средней начальной минерализации послужили соответствующие округленные значения, наблюдавшиеся в последний 25-летний период, для которого составлялись водный и солевой балансы озера. Начальная отметка озера при прогнозе принята равной 339,60 *м* [1], а средняя начальная минерализация — 2,95 *г/кг* (средняя отметка озера в период 1935—1954 гг. составляла 339,56 *м*, средняя минерализация озера в 1931—1956 гг.— 2,93 *г/кг*). Прогноз составлялся на 20 лет, за расчетный период принимался один год.

За основу при составлении прогноза водного режима озера в целом и отдельных его частей, а также при расчетах величин водообмена между Западным и Восточным Балхашом была принята методика, применявшаяся для тех же целей И. С. Соседовым. При этом за исключением притока Или, который задается проектом, исходили из средних многолетних значений отдельных слагаемых, приведенных в водном балансе (см. табл. 9 и 10). При расчетах использованы кривые связи площадей и объемов озера от уровней, которые в уменьшенном виде изображены на рис. 34 и 35.

Для определения величин и направления водообмена между Западным и Восточным Балхашом проводилось сопоставление уровня, который будет иметь озеро в целом в конце каждого года с теми уровнями, которые установились бы к концу года в Западном и Восточном Балхаше в условиях разъединения озера глухой дамбой, при одинаковом начальном уровне и соответствующих величинах прихода и расхода воды в этих частях озера в течение года. Очевидно, избыток воды в одной части озера, который должен быть равным недостатку в другой (в пределах погрешностей расчетов и округлений), представляет величину водообмена [2].

При составлении прогноза гидрохимического режима озера за основу была принята методика, примененная О. А. Алекиным при решении вопроса о будущем ионного состава воды Аральского моря (О. А. Алекин и Н. П. Моричева, 1955). При этом имелась в виду фактическая связь режимов уровней, минерализации и солевого запаса оз. Балхаш, установленная для периода 1929—1958 гг. (см. табл. 7 и рис. 64).

Исходное уравнение водно-солевого баланса, использованное нами при прогнозе, имеет следующий вид:

$$V_T C_T = V_0 C_0 + V_{рИ} C_{рИ} + \Sigma V_{рв} C_{рв} + V_{подз} C_{подз} + V_{атм} C_{атм} - V_{бер} C_{бер} - q, \quad (1)$$

где V — объемы,

C — концентрации.

Поскольку произведение объема воды на концентрацию дает общее количество солей, то отдельные слагаемые уравнения имеют следующие значения:

$V_T C_T$ — общее количество солей в озере в конце расчетного периода (года);

$V_0 C_0$ — общее количество солей в озере в начале года;

[1] В системе АН Казахской ССР.

[2] Использовать готовые результаты прогноза, полученные И. С. Соседовым, к сожалению, не представилось возможным, так как водный баланс, составленный нами, несколько отличается от баланса, составленного этим исследователем. Кроме того, принятая нами начальная отметка озера на 30 *см* выше, чем приводимая в работе И. С. Соседова.

$V_{ри}C_{ри}$ — годовой ионный сток Или;
$\Sigma V_{рв}C_{рв}$ — суммарный годовой ионный сток рек, впадающих в восточную часть озера;
$V_{позд}C_{позд}$ — годовой ионный сток за счет подземных вод;
$V_{атм}C_{атм}$ — годовое количество солей, поступающее на зеркало озера из атмосферы;
$V_{бер}C_{бер}$ — годовое количество солей, теряемое при отшнуровывании заливов и инфильтрации воды в берега;
q — количество карбонатов, переходящее из раствора в осадок при увеличении минерализации в результате сокращения объема.

Гидрохимический режим озера и, в частности, количество растворенных в нем солей находится в зависимости от режима уровней озера. Так, при спаде уровней с 1931 по 1945 г. (см. рис. 64) солевой запас оставался постоянным или имел некоторую тенденцию к уменьшению. Напротив, при росте уровня с 1946 по 1956 г. он возрастал примерно в размере 2,3 млн. m в год. Это обстоятельство также учитывалось при прогнозе введением в уравнение (1) добавочного члена ΔQ, равного 2,3 млн. m в год, но только в те периоды, когда уровень озера возрастал.

Принимая величину $C_{бер}$ как среднеарифметическую между минерализацией воды в начале и в конце периода, т. е.

$$C_{бер} = \frac{C_0 + C_T}{2}, \qquad (2)$$

и подставляя (2) в уравнение (1), решаем последнее относительно C_T.

В окончательном виде получим:

$$C_T = \frac{V_0 C_0}{V_T + 0{,}5V_{бер}} - \frac{q}{V_T + 0{,}5V_{бер}} + \frac{V_{ри}C_{ри} + \Sigma V_{рв}C_{рв} + V_{подз}C_{подз} + V_{атм}C_{атм}}{V_T + 0{,}5V_{бер}} - \frac{0{,}5V_{бер}C_0}{V_T + 0{,}5V_{бер}} + \frac{\Delta Q}{V_T + 0{,}5V_{бер}}. \qquad (3)$$

Таким образом, при прогнозе минерализации озера учитывались:

а) изменение объема озера;

б) выпадение карбонатов в осадок;

в) поступление солей извне (из рек, с подземными водами и из атмосферы);

г) потеря солей при отшнуровывании заливов и инфильтрации воды в берега;

д) фактически наблюдавшееся накопление солей в озере при повышении его уровня.

При расчете величины q за основу была принята связь содержания ионов кальция с минерализацией воды (см. рис. 56). При сокращении объема озера, наряду с ростом минерализации воды, должно расти содержание кальция. Однако в действительности оно падает. Поэтому избыток кальция над равновесным содержанием, определенным при помощи графика, при возросшей величине минерализации, соответствующей сокращению объема, а также эквивалентное указанному избытку количество карбонатов, вычиталось из этой величины минерализации как выпадающее в осадок.

Поступление солей в оз. Балхаш с ионным стоком Или (переменная величина) учитывалось согласно значениям годового притока в озеро, которые приведены выше. Минерализация воды Или принята равной 86 *мг/л* (см. табл. 18). Годовой ионный сток рек, впадающих в восточную часть озера, был нами оценен в 0,2 млн. m (см. табл. 18), поступление солей с подземными водами принято равным 1,35 млн. m (см. гл. VI). При учете поступления солей из атмосферы принималось во внимание изменение площади водного

зеркала при колебании уровня. Принято, что минерализация атмосферных осадков составляет 87 *мг/л* (см. табл. 10).

Аналогичным путем, на основе данных прогноза водного режима Западного и Восточного Балхаша и других, относящихся к ним показателей (см. табл. 10), рассчитывался ход изменения минерализации отдельно для каждой из этих двух частей озера при условии разъединения его дамбой.

Полученные таким путем величины минерализации являются средними либо для всего оз. Балхаш в целом (в случае отсутствия дамбы), либо отдельно для западной или восточной его частей (в случае сооружения дамбы). Для перехода от средней минерализации к минерализации отдельных районов была использована установленная закономерность, характеризующая распределение минерализации по длине озера (см. рис. 65). Она позволила установить соотношения между величиной средней минерализации и величинами минерализации в отдельных районах, которые статистически наблюдаются на протяжении ряда лет. Поскольку уменьшение притока Или вызовет значительное понижение уровня озера и будет благоприятствовать поступлению соленой воды из его восточной части в западную, то характер распределения минерализации по длине озера, очевидно, в этом случае будет примерно таким же, какой наблюдался при низких уровнях озера (см. кривую *I* на рис. 65). Исходя из этого, были подсчитаны коэффициенты K перехода от средней минерализации озера к минерализации отдельных районов. Коэффициенты эти следующие:

Номер района	1	2	3	4	5	6	7	8
K	0,30	0,50	0,59	0,71	0,92	1,06	1,37	1,61

В естественных условиях приток в озеро илийской воды даже в самые маловодные годы не снижался до таких малых величин, какие будут наблюдаться в первые годы наполнения Капчагайского водохранилища (0,88—3,07 *км³/год*). В результате из восточной части озера в западную в первое время должно будет поступать 0,7—1,7 *км³* воды/год, что, безусловно, отразится на характере распределения минерализации. В связи с этим в величины минерализации отдельных районов, полученные при помощи указанных коэффициентов, вводились поправки, учитывавшие поступление соленой воды из Восточного Балхаша в Западный в начале наполнения водохранилища. Для этого минерализация воды каждого из районов Западного Балхаша увеличивалась пропорционально их объемам в соответствии с количеством солей, поступивших из Восточного Балхаша. Напротив, минерализация воды в районах восточной части озера подобным же образом уменьшалась в соответствии с убывшим отсюда количеством солей [1]. При расчете минерализации отдельных районов озера в условиях разъединительной дамбы, очевидно, удобней исходить из значений минерализации средних для западной и восточной частей озера. Соответствующие переходные коэффициенты следующие:

Западная часть озера

Номер района . .	1	2	3	4
$K_д$	0,62	0,90	1,14	1,38

Восточная часть озера

Номер района	5	6	7	8
$K_д$	0,61	0,77	0,94	1,14

[1] Количество солей, поступающее из Восточного Балхаша в Западный, рассчитывалось умножением объемов убывшей отсюда воды на среднюю минерализацию Восточного Балхаша в соответствующие годы.

После сооружения дамбы, по-видимому, следует ожидать иного распределения минерализации воды по акватории.

Поступление соленых вод в западную часть оз. Балхаш с востока прекратится, и при наличии сильных ветров и небольшой глубины озера можно ожидать более равномерного распределения минерализации в большей части Западного Балхаша. Минерализация воды части озера, примыкающей к устью Или, очевидно, останется невысокой из-за распресняющего действия реки. Исходя из этих соображений, можно предположить, что при сооружении дамбы минерализация воды четвертого района понизится и станет такой же, как и в третьем районе. Во втором же районе минерализация несколько повысится (в соответствии с уменьшением общего количества солей в четвертом районе). Минерализация воды первого района останется без изменения. Предполагаемые изменения в распределении минерализации наглядно показаны на рис. 86. В соответствии с таким перераспределением минерализации коэффициенты перехода от средней ее величины в западной части озера к минерализации отдельных районов приобретут следующие значения:

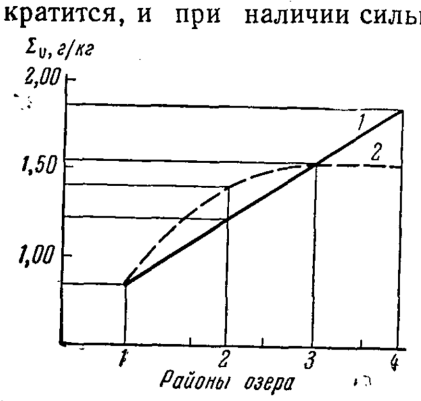


Рис. 86. Характер изменения минерализации воды в западной части оз. Балхаш.

1 — фактически наблюдаемое распределение (при низких уровнях озера); *2* — распределение, ожидаемое после сооружения дамбы

Номер района . .	1	2	3	4
$K'_д$	0,62	1,04	1,14	1,14 [1]

Предвидеть, как будет меняться характер распределения минерализации в восточной части озера после сооружения дамбы довольно трудно. Очевидно, может быть два крайних случая распределения. Первый из них наблюдается в настоящее время, второй — характеризуется равенством минерализации во всех четырех районах. Поэтому расчет минерализации по районам производился при помощи приведенных выше переходных коэффициентов. Однако следует иметь в виду, что в процессе перемешивания водных масс, очевидно, будет происходить постепенное выравнивание минерализации и со временем последняя во всех районах окажется примерно одинаковой (равной средней минерализации Восточного Балхаша). Зоны опреснения, находящиеся вблизи устьев впадающих рек, по-видимому, останутся в тех же пределах, что и теперь.

Таким образом, при составлении прогноза гидрохимического режима озера был принят следующий порядок расчета:

1) для каждого из вариантов составлялся прогноз водного режима;

2) при помощи уравнения (3) вычислялись величины средней минерализации (для всего озера в целом, либо отдельно для двух его частей) [2];

3) при помощи переходных коэффициентов с учетом водообмена между Восточным и Западным Балхашом рассчитывалась средняя минерализация по каждому из восьми районов озера.

[1] При расчете предполагалось, что в условиях варианта с дамбой, последняя будет сооружена за некоторое время (не менее года) до начала наполнения Капчагайского водохранилища и что за это время в Западном Балхаше успеет установиться указанное перераспределение минерализации.

[2] Объем и средняя минерализация в начале каждого последующего года принимались равными объему и средней минерализации в конце предыдущего года.

В прогнозе гидрохимического режима озера рассчитывались только величины минерализации воды. О содержании отдельных ионов при той или иной минерализации можно судить, пользуясь рис. 56, так как характер связи ионного состава воды с ее минерализацией в предполагаемых интервалах изменения последней, по всей вероятности, не изменится.

3. РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОГНОЗА

Режим уровней озера при медленном и форсированном наполнении Капчагайского водохранилища в условиях отсутствия дамбы показан на рис. 87. При медленном наполнении в течение первых восьми лет будет происходить постепенное падение уровня примерно на 1 *м*. С девятого года уровень начнет медленно возрастать. При форсированном наполнении снижение и рост уровня будет происходить более интенсивно. Так, за первые три года снижение уровня составит более 1,5 *м*, с четвертого года он начнет быстро повышаться и к двадцатому году — почти достигнет начального значения. Существующий в настоящее время водообмен, характеризуемый ежегодным поступлением из Западного Балхаша в Восточный 2,26 $км^3$ воды (см. табл. 10), будет нарушен. В первые годы будет наблюдаться крайне нежелательное поступление воды в обратном направлении и только постепенно, в течение значительного времени, восстановится существующий водообмен. Соответствующие цифровые значения приведены в табл. 49.

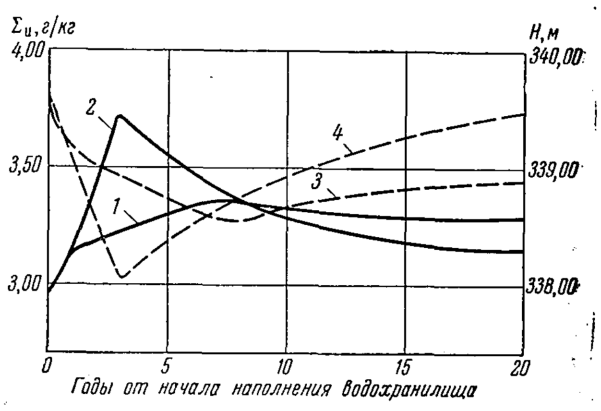


Рис. 87. Ход уровней и режим средней минерализации оз. Балхаш при медленном и форсированном наполнении Капчагайского водохранилища в условиях отсутствия на озере дамбы

1 — режим минерализации при медленном наполнении; *2* — то же при форсированном наполнении; *3* —ход уровней при медленном наполнении; *4* — то же при форсированном наполнении

Таблица 49

Величины водообмена между Западным и Восточным Балхашом при наполнении Капчагайского водохранилища

Режим наполнения	Годы от начала наполнения	Приток воды из Восточного Балхаша в Западный, $км^3$	Приток воды из Западного Балхаша в Восточный, $км^3$
Медленное	1	0,7	—
	2—7	—	1,0
	8	—	1,3
	9 и более	—	1,6
Форсированное	1	0,8	—
	2	1,7	—
	3	1,0	—
	4 и более	—	2,0—2,2

В соответствии с ходом уровней озера находится режим средней минерализации воды. Как следует из рис. 87, при медленном наполнении водо-

хранилища, наряду с падением уровня озера, минерализация воды в течение восьми лет увеличится с 2,95 до 3,36 *г/кг*. При последующем медленном повышении уровня минерализация будет незначительно падать. При форсированном наполнении водохранилища минерализация в течение первых трех лет резко возрастет с 2,95 до 3,72 *г/кг* и затем начнет быстро падать.

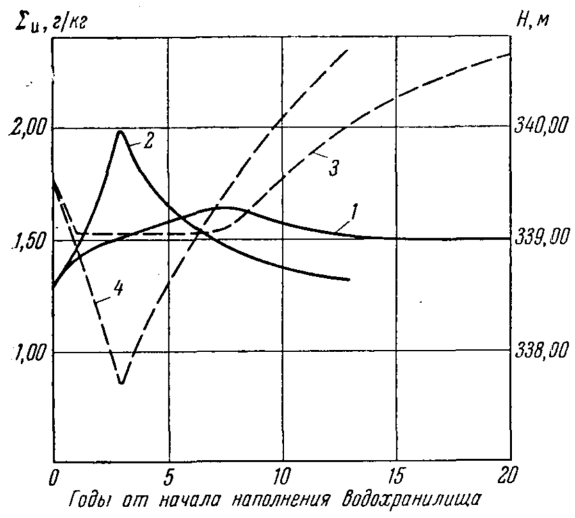


Рис. 88. Ход уровней и режим средней минерализации западной части оз. Балхаш при медленном и форсированном наполнении Капчагайского водохранилища в условиях разъединения озера дамбой.

1 — режим минерализации при медленном наполнении; *2* — то же при форсированном наполнении; *3* — ход уровней при медленном наполнении; *4* — то же при форсированном наполнении

Сопоставляя результаты медленного наполнения водохранилища с форсированным в отношении будущего режима минерализации озера, можно заключить, что преимуществом первого по сравнению со вторым является гораздо меньшее значение максимальной минерализации. В то же время недостатком медленного наполнения можно считать то, что возросшая минерализация воды будет падать значительно медленнее, чем при форсированном наполнении. Учитывая указанные преимущества и недостатки, по-видимому, следует признать, что медленное наполнение водохранилища в отношении будущего режима минерализации озера явится более благоприятным.

Ход уровней и режим средней минерализации Западного и Восточного Балхаша при разъединении озера дамбой представлены на рис. 88 и 89. При медленном наполнении водохранилища уровень Западного Балхаша в первый год упадет примерно на 0,5 *м*, затем в течение шести лет он останется без изменения, с восьмого года начнет быстро расти и к 11 — достигнет первоначального значения. В последующие годы уровень будет продолжать повышаться и к 20 году — превысит первоначальное значение примерно на один метр. При форсированном наполнении водохранилища ожидается наибольшая амплитуда колебания уровней. В первые три года падение достигнет почти двух метров, после чего начнется такой же быстрый подъем. К концу 13 года уровень превысит свое начальное значение больше чем на один метр [1].

Как следует из рис. 88, средняя минерализация Западного Балхаша при медленном наполнении водохранилища, возрастая от 1,30 *г/кг*, достигает своего максимального значения, составляющего 1,64 *г/кг*, к восьмому году от начала наполнения водохранилища. В дальнейшем она начнет медленно падать и к 20 году достигнет 1,50 *г/кг*. При форсированном наполнении водохранилища минерализация к концу третьего года увеличится почти до 2,00 *г/кг* и затем будет быстро падать. Возможно, что через 15—20 лет она станет даже меньше своего начального значения. Однако, если, как и в предыдущем случае, сравним режимы минерализации западной части озера при медленном и форсированном наполнении водохранилища, то увидим, что минерализация воды при форсированном наполнении в течение

[1] Дальнейший ход изменений уровня дать затрудняемся, так как кривыми связи площадей и объемов озера с уровнями выше отметки 340,50 *м* не располагаем.

первых 5—6 лет будет значительно выше, чем при медленном наполнении, т. е. как и при отсутствии дамбы, так и в случае сооружения ее, при медленном режиме наполнения водохранилища можно ожидать более благоприятного гидрохимического режима Западного Балхаша.

Уровень Восточного Балхаша при изоляции его от Западного в течение 20 лет упадет более чем на 4 *м*, средняя минерализация его воды при этом увеличится с 4,20 до 5,70 *г/кг* (рис. 89) [1].

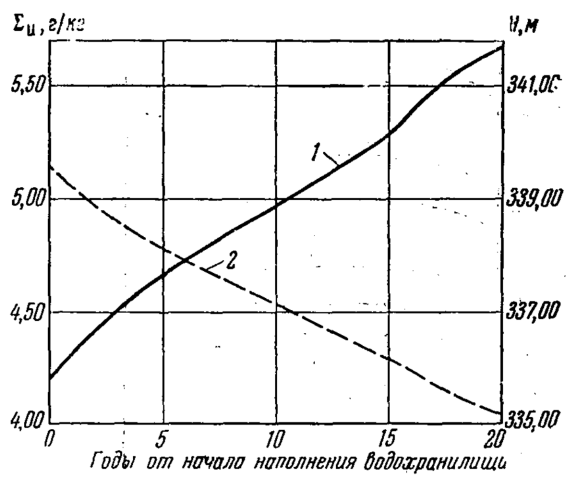


Рис. 89. Ход уровней и режим средней минерализации восточной части оз. Балхаш в условиях разъединения озера дамбой.

1 — режим минерализации; *2* — ход уровней

Для практических целей наиболее важными являются сведения о предполагаемом режиме минерализации воды в отдельных районах озера. Соответствующие данные для двух режимов наполнения водохранилища, при условии отсутствия дамбы, изображены на рис. 90 и 91. В четвертом районе (наиболее важном для экономики Прибалхашья) при медленном наполнении водохранилища минерализация воды почти все время будет иметь значение около 2,4 *г/кг*, при форсированном наполении — быстро поднимется почти до 3,0 *г/кг* и затем, постепенно падая, будет оставаться в пределах 2,3—2,1 *г/кг*.

Более удовлетворительное качество воды в западной части озера будем иметь в случае ее изоляции от восточной (рис. 92 и 93). Так, в четвертом (и в третьем) районе минерализация воды при медленном наполнении водохранилища, колеблясь около 1,75 *г/кг*, не превысит 1,9 *г/кг*. При форсированном наполнении максимальное значение минерализации достигнет 2,3 *г/кг;* однако, быстро снижаясь, она через 13—16 лет возвратится к своему первоначальному значению.

Сравнивая четыре рассмотренных случая, можно прийти к выводу, что наиболее благоприятным из них в отношении будущего гидрохимического режима в Западном Балхаше и, в частности, в четвертом районе озера является медленное наполнение Капчагайского водохранилища при условии сооружения на озере разъединительной дамбы. Однако даже при изоляции западной части оз. Балхаш от восточной возможное ухудшение в ней качества воды вызывает серьезное опасение.

Режим минерализации воды в отдельных районах Восточного Балхаша, ожидаемый после сооружения дамбы, показан на рис. 94. Во всех районах минерализация будет неуклонно повышаться и к 20 году от начала наполнения возрастет на 30—40%. Однако особых опасений это не вызывает, поскольку Восточный Балхаш, как источник водоснабжения, интереса не представляет. Следует отметить, что изображенные на рис. 94 кривые весьма ориентировочны, так как характер распределения минерализации в Восточном Балхаше после его изоляции не известен. Возможно, что изображенные кривые будут справедливы только в первые годы; со временем же, чем дальше от начала изоляции, тем больше минерализация отдельных районов будет приближаться к величине минерализации средней по Восточному Балхашу.

[1] При условии, что существующий в настоящее время речной приток в восточную часть озера останется без изменения.

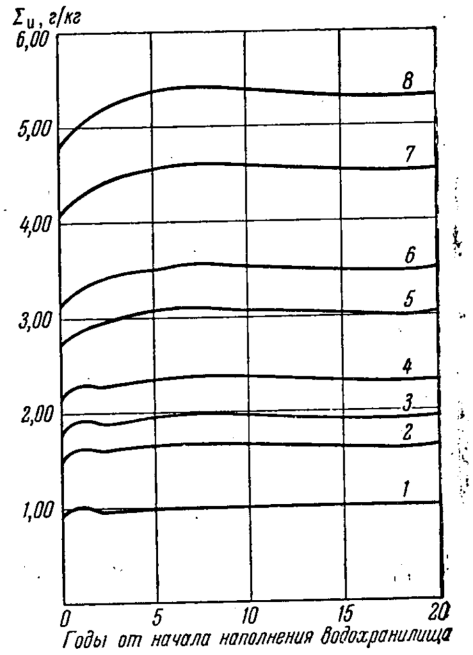


Рис. 90. Предполагаемый режим минерализации воды в отдельных районах оз. Балхаш при медленном наполнении Капчагайского водохранилища в условиях отсутствия разъединительной дамбы (цифры на кривых — номера районов)

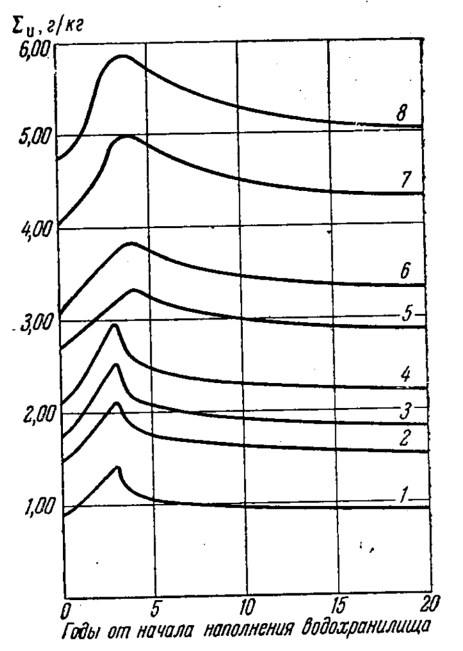


Рис. 91. Предполагаемый режим минерализации воды в отдельных районах оз. Балхаш при форсированном наполнении Капчагайского водохранилища в условиях отсутствия разъединительной дамбы (цифры на кривых — номера районов)

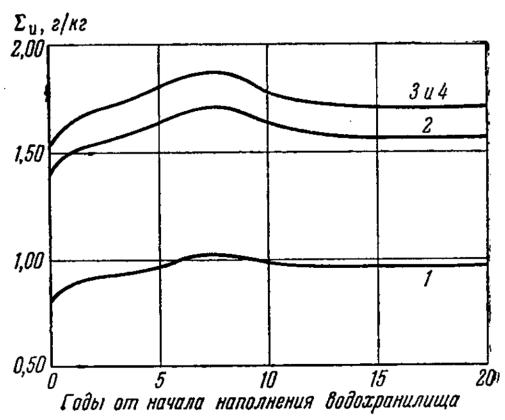


Рис. 92. Предполагаемый режим минерализации воды в отдельных районах Западного Балхаша при медленном наполнении Капчагайского водохранилища в условиях сооружения разъединительной дамбы (цифры на кривых — номера районов)

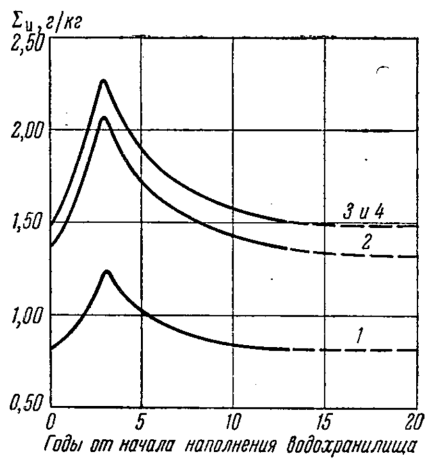


Рис. 93. Предполагаемый режим минерализации воды в отдельных районах Западного Балхаша при форсированном наполнении Капчагайского водохранилища в условиях сооружения разъединительной дамбы (цифры на кривых — номера районов)

Необходимо иметь в виду, что приведенные на графиках цифры характеризуют величины минерализации, в то время, когда озеро свободно ото льда. В зимние же периоды минерализация воды должна возрастать. Раз-

мер зимнего ее увеличения, очевидно, будет находиться в связи с глубинами озера. В западной части озера оно составляет примерно 10—15% от летнего значения минерализации, в восточной — 5—10%. Следует также отметить, что полученные цифры характеризуют величины минерализации средние по районам. Напомним, что при существующем режиме озера неоднородность минерализации наблюдается и в пределах районов. Можно предположить, что в условиях отсутствия дамбы характер неоднородности останется примерно тем же, что и теперь (см. рис. 55). Напротив, при разделении озера дамбой, в пределах отдельных районов, можно ожидать более равномерного распределения минерализации. Это следует иметь в виду при суждении о предполагаемых величинах минерализации в отдельных пунктах озера.

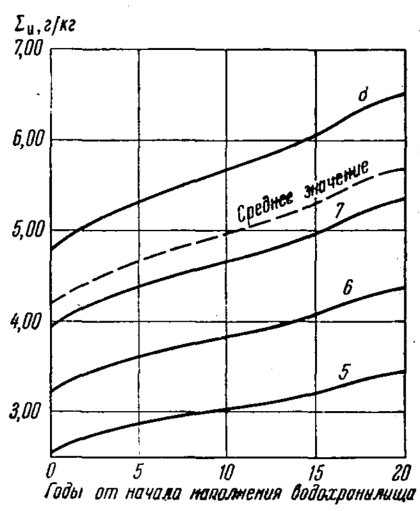


Рис. 94. Предполагаемый режим минерализации воды в отдельных районах Восточного Балхаша в условиях разъединения озера дамбой (цифры на кривых — номера районов)

Сопоставление наблюдаемых в последние годы величин минерализации воды в бухте Бертыс со средними по четвертому району показывает, что они примерно одинаковы (см. табл. 30 и 37). Очень важно иметь в виду, что поскольку бухта Бертыс соединяется с открытым озером нешироким проходом, имеющим глубину всего лишь 2—3 *м*, то при падении уровня существующий водообмен между бухтой и озером может быть нарушен. В результате этого минерализация воды в бухте будет более высока, чем предполагаемая, согласно расчетам для четвертого района озера.

В случае сооружения дамбы последняя обязательно должна быть снабжена шлюзом, обеспечивающим проточность Западного Балхаша. Иначе эта часть озера превратится в бессточный водоем, минерализация воды которого в многолетней перспективе (при установившемся режиме) будет неуклонно расти. Количество воды, сбрасываемое для избежания этого, определится примерно следующим соотношением:

$$V_4 = \frac{V_{рИ}C_{рИ} + V_{подз}C_{подз} + V_{атм}C_{атм} - V_{бер}C_{бер} + \Delta Q}{C_4}. \qquad (4)$$

В этом уравнении C_4 — минерализация воды четвертого района, а значения остальных членов те же, что и в уравнении (3), но применительно к Западному Балхашу. Подставляя округленные значения всех величин — V (в *л*), C (в *г/л*), ΔQ (в *г*), получим:

$$V_4 = \frac{(10{,}4 \cdot 0{,}09 + 0{,}18 \cdot 5{,}0 + 0{,}93 \cdot 0{,}09 - 0{,}57 \cdot 1{,}3 + 0{,}26) \cdot 10^{12}}{1{,}80} =$$

$$= 0{,}8 \cdot 10^{12}\ л,\ \text{или}\ 0{,}8\ км^3,$$

т. е. ежегодный сброс через шлюз примерно такого количества во ы будет достаточным для того, чтобы предотвратить увеличение минерализации западной части озера за счет аккумуляции всех приносимых сюда солей.

Увеличение минерализации воды озера при предполагаемом зарегулировании Или произойдет главным образом за счет сокращения объема озера. Очевидно, что чем выше будет первоначальный уровень озера, тем меньше повысится минерализация при одной и той же величине падения

уровня. Следовательно, соорудив дамбу за несколько лет до начала наполнения Капчагайского водохранилища, можно несколько поднять уровень западной части озера и тем самым понизить рост минерализации воды при последующем сокращении объема западной части озера. При благоприятных условиях водности может оказаться возможным осуществить периодическую проточность Западного Балхаша не только при установившемся режиме озера, но даже и в первые, наиболее жесткие годы наполнения Капчагайского водохранилища.

Предварительное повышение уровня целесообразно не только для улучшения качества воды озера, но также и в отношении бесперебойности работы некоторых водозаборных сооружений, так как в этом случае отпадет необходимость их перестройки. Однако следует также считаться и с нежелательным затоплением прибрежной территории.

В заключение рассмотрим кратко те изменения, которые могут произойти при зарегулировании Или в режиме биогенных веществ, столь необходимых для создания кормовой базы рыбного населения озера. К сожалению, ограниченность материала пока не позволяет охарактеризовать эти изменения с количественной стороны. Однако предвидеть направление хотя бы качественных изменений, как это, например, было сделано Л. К. Блиновым (1956) в отношении Аральского моря, представляется вполне возможным.

Поскольку основным поставщиком биогенных веществ в озеро являются реки, то режим биогенных веществ в значительной степени будет определяться соотношением речного притока и объемов озера в различные годы. При существующем режиме это соотношение довольно высокое и в целом по озеру составляет около 13%. В первые годы наполнения водохранилища положение будет менее благоприятным. В условиях отсутствия дамбы и при медленном наполнении это отношение в первый год упадет до 7,5%, а при форсированном — в первые три года будет находиться в пределах 5,5—8,0%. В последующие годы величины отношения возрастут до 14—18%, т. е. положение восстановится и станет даже лучше, чем при существующем режиме. При сооружении на озере дамбы, Западный и Восточный Балхаш станут самостоятельными водоемами. Так как биогенные вещества, поступающие из Или, будут аккумулироваться только в пределах Западного Балхаша, то он окажется в исключительно выгодных условиях. Правда, в первые годы отношение объема годового притока к объему Западного Балхаша несколько снизится. Так, при медленном наполнении водохранилища, в первый год оно составит 9,4%, а при форсированном, в первые три года — 4,0—10,4%. Однако в последующий период отношение сильно возрастет и будет находиться в пределах 20,0—35,0%. Напротив, в Восточном Балхаше, лишенном в случае сооружения глухой дамбы водообмена с Западным и питающимся только за счет небольшого притока джунгарских рек, положение значительно ухудшится. Величина отношения, равная в начале 6,3%, будет очень медленно возрастать и даже к 20-му году не превысит 11%.

Следует иметь в виду, что при зарегулировании Или и проведении мелиоративных мероприятий в дельте значительно уменьшатся стихийные разливы в последней и, следовательно, роль последней как биохимического фильтра понизится. Это должно привести к более высокой концентрации биогенных веществ в воде Или, а следовательно, и в воде озера.

В результате создания Капчагайского водохранилища можно ожидать некоторого увеличения потребления биогенных веществ за счет развития жизни в самом водохранилище. Однако размер этого потребления, особенно при стоке реки, близком к существующему, по-видимому, будет не велик из-за больших скоростей течения реки и хорошего водообмена в водохранилище.

Как отмечает Е. В. Бурмакин (1956), при быстром падении уровня озера и сокращении его площади произойдет осушение больших участков зарослей

макрофитов, используемых промысловыми рыбами в качестве нерестилищ и мест нагула. В связи с этим могут быть подорваны рыбные запасы озера. Увеличение минерализации воды, особенно в Восточном Балхаше при его изоляции от Западного, возможно, также отрицательно повлияет на рыбный промысел.

Обобщая все возможные изменения, имеющие как положительнсе, так и отрицательное значение, по-видимому, можно прийти к выводу, что в отношении будущего режима биогенных веществ в оз. Балхаш большинство рассмотренных вариантов реконструкции особых опасений не вызывает. В неблагоприятных условиях может оказаться лишь восточная часть озера при условии сооружения дамбы.

В заключение следует отметить, что сокращение разливов в дельте Или отрицательно скажется на ондатровом промысле.

При падении уровня озера, очевидно, образуется много соляных озер, которые могут представлять интерес для практического использования. Поэтому проблему реконструкции Балхаш-Илийской водной системы необходимо решать комплексно, с учетом интересов всех отраслей народного хозяйства, которые связаны с этой системой.

ЛИТЕРАТУРА

Аболин Р. И. От пустынных степей Прибалхашья до снеженых вершин Хантенгри. Геоботаническое и почвенное описание южной части Алма-Атинского округа, ч. 1. Ташкент, 1930, стр. 176.

Абрамов Н. А. Река Каратал с ее окрестностями. — Зап. Русск. геогр. об-ва, 1867, 1, стр. 269—279.

Абрамов Н. А. Станция Верхне-Лепсинская с окрестностями в 1864 г. — Зап. Русск. географ. об-ва, 1867, 1, стр. 321—327.

Абрамович С. Описание озер и рек Семипалатинской и Семиреченской областей Степного генерал-губернаторства. — Вестник рыбопром., 1889, 4, вып. 6—7, стр. 203—255.

Абрамычев К. Развитие соляной промышленности Казахстана. — Нар. хоз-во Казахстана, 1930, № 9—10, стр. 63—70.

Алекин О. А. Руководство по химическому анализу вод суши. М. — Л., Гидрометеоиздат, 1941.

Алекин О. А. К вопросу о химической классификации природных вод. — Труды научно-исслед. учрежд. Гидрометслужбы, серия IV, 1946, вып. 32, стр. 25—39.

Алекин О. А. К вопросу о происхождении солевого состава воды Аральского моря. Метеорол. и гидрол., 1947, № 4, стр. 65—72.

Алекин О. А. Гидрохимия рек СССР, ч. 3. Бассейн оз. Балхаш. Труды Гос. гидрол. ин-та, 1949, вып. 15 (69), стр. 76—81.

Алекин О. А. Гидрохимические типы рек СССР.—Труды Гос. гидрол. ин-та, 1950, вып. 25 (79), стр. 5—24.

Алекин О. А. К изучению количественных зависимостей между минерализацией, ионным составом и водным режимом рек СССР. — Труды Гос. гидрол. ин-та, 1950а, вып. 25 (79), стр. 27—35.

Алекин О. А. Ионный сток и средний состав речной воды для территории СССР. — Труды Гос. гидрол. ин-та, 1951, вып. 33(87), стр. 43—63.

Алекин О. А. Основы гидрохимии. Л., Гидрометеоиздат, 1953, стр. 296.

Алекин О. А. Химический анализ вод суши. М., Гидрометеоиздат, 1954.

Алекин О. А. и Моричева Н. П. К вопросу о происхождении и будущем ионного состава воды Аральского моря.—Гидрохимические материалы, 1955, **25**, стр. 4—15.

Алекин О. А. и Моричева Н. П. Насыщенность волжской воды карбонатом кальция. — Докл. АН СССР, 1956, **109**, № 4, стр. 803—806.

Алекин О. А. и Моричева Н. П. К вопросу о стабильности карбонатной системы в природных водах. — Докл. АН СССР, 1957, **117**, № 6, стр. 1030—1033.

Алекин О. А. и Моричева Н. П. Влияние карбонатной системы в природных водах на содержание органических веществ. — Докл. АН СССР, 1958, **119**, № 2, стр. 322—325.

Алекин О. А. и Тарасов М. Н. О генезисе химического состав воды озера Балхаш. — Докл. АН СССР, 1956, **109**, № 5, стр. 986—989.

Алекин О. А. и Тарасов М. Н. К гидрохимии озера Балхаш. — Гидрохимические материалы, 1957, **26**, стр. 144—162.

Антипов-Каратаев И. Н. и Кадер Г. М. О развитии солонцовых процессов в почвах Каменной степи. — Вопросы земледелия, 1954, **2**.

Архангельский А. Д. и Соловьев Н. В. Экспериментальные исследования по вопросу о способах накопления меди в осадочных породах. — Изв. АН СССР, серия геол., 1938, № 2, стр. 279—295.

Ахмедсафин У. М. О подземном питании озера Балхаш. — Вестник АН Каз. ССР, 1955, № 10, стр. 20—32.

Бабков. О ходе топографических исследований озера Балхаш и его прибрежий (с картой). — Зап. Русск. геогр. об-ва, 1867, 1, стр. 330—347.

Балхашская экспедиция. — Зап. Военно-топогр. упр-ния Гиавн. упр. Ген. штаба, 1906, 62, отд. 1, стр. 111—124.

Баранов В. А. и Попов Л. Н Исследования водно-солевого режима и баланса Карловского водохранилища. — Труды Ин-та ВОДГЕО. М., Госстройиздат, 1958, стр. 171—193.

Берг Л. С. Из экспедиции на оз. Балхаш. — Изв. Русск. геогр. об-ва, 1903, 39, вып. 9, стр. 262—265.

Берг Л. С. Аральское море. Опыт физико-географической монографии. — Научные результаты Аральской экспедиции, вып. 9. СПб., 1908, стр. 580.

Берг Л. С. Предварительный отчет об исследовании оз. Балхаш летом 1903 г. — Изв. Русск. геогр. об-ва, 1904, 40, вып. 4, стр. 584—599.

Берг Л. С. Высыхает ли Средняя Азия? — Изв. Русск. геогр. об-ва, 1905, 41, вып. 3, стр. 507—521.

Берг Л. С. Современное состояние уровня крупных озер СССР. Труды 2-го Всес. гидрол. съезда, 1929, ч. 2, стр. 217—249.

Берг Р. Л. По озерам Сибири и Средней Азии. М., Географгиз, 1955, стр. 320.

Бергман А. Г. и Лужная Н. П. Физико-химические основы изучения и использования соляных месторождений хлорид-сульфатного типа. М., Изд-во АН СССР, 1951, стр. 230.

Блинов Л. К. К вопросу о происхождении солевого состава морской воды. — Метеорол. и гидрол., 1947, № 4, стр. 52—64.

Блинов Л. К. О поступлении морских солей в атмосферу и о значении ветра в солевом балансе Каспийского моря. — Труды Гос. океанограф. ин-та, 1950, вып. 15 (27), стр. 67—112.

Блинов Л. К. О влиянии моря на засоление почв и вод суши.— Вопросы геогр., 1951, сб. 26, стр. 168—196.

Блинов Л. К. Гидрохимия Аральского моря. Л., Гидрометеоиздат, 1956, стр. 252.

Блинов Л. К. и Буркальцева М. А. О географическом парадоксе озера Балхаш. В. сб. «Вопросы гидрол.», Изд. Моск. гос. ун-та, 1957, стр. 226—232.

Богданов М. Н. Обзор экспедиций и естественно-исторических исследований в Арало-Каспийской области с 1720 по 1874 г.—Труды Арало-Каспийской экспедиции, 1875, вып. 1, стр. 1—53.

Бруевич С. В. Возраст современного озерного периода Каспия и метаморфизация солей речного стока в море. — Докл. АН СССР, 1939, 23, № 7, стр. 694—697.

Бруевич С. В. и Аничкова Н. И. Химия речного стока в Каспийское море. В сб. «Элементы химического баланса Каспийского моря». М.—Л., Изд-во АН СССР, 1941, стр. 9—49.

Бруевич С. В. и Виноградова Е. Г. Основные черты осадкообразования на Каспийском море (по распределению карбонатов Fe, Mn, Pb в морских осадках). — Докл. АН СССР, 1946, 52, № 9, стр. 795—798.

Брызгалов А. Географические и естественно-исторические условия хозяйствования в районах Алма-Атинского округа. — Нар. хоз-во Казахстана, 1927, № 6—7, стр. 99—137.

Бурксер Е. С. и Бурксер В. В. Аэрохимические исследования на Украине. — Труды Ин-та геол. наук АН УССР, серия петрограф. минерал. и геохим., 1951, вып. 1, стр. 127.

Бурксер Е. С., Кульская О. А., Бурксер В. В., Половко И. К. и Зайдис Б. Б. Миграция некоторых химических элементов в связи с проблемой орошения южных районов УССР.—Изв. АН СССР, серия геол., 1954, № 2, стр. 55—64.

Бурмакин Е. В. и Домбровский Г. В. Состояние рыбных запасов озера Балхаш и перспективы увеличения уловов. — Изв. ВНИОРХ, 1956, 37, стр. 5—63
Быков А. Площадь оз. Балхаш. — Вестник ирригации, 1924, № 8, стр. 66.
Валяшко М. Г., Нечаева А. А. и Поленова Т. В. Соляные озера Джамбульской области. Методы изучения и пути использования соляных озер. — Труды Всес. научно-исслед. ин-та галургии, 1952, вып. 24, стр. 106—161.
Вернер А. Р. и Орловский Н. В. О роли сульфатредуцирующих бактерий в солевом режиме почв Барабы. — Почвоведение, 1948, № 9, стр. 553—560.
Веселовский Н. В. и Гончарова И. А. О содержании брома и йода в воде прудов некоторых засушливых районов. Гидрохимические материалы, 1961, стр. 47—63.
Викторов Б. Прибалхашстрой.— Нар. хоз-во Казахстана, 1932, № 2—3, стр. 30—34.
Воронков П. П. Некоторые особенности формирования ионного состава воды водохранилищ в зоне избыточного увлажнения.— Труды Гос. гидрол. ин-та, 1951, вып. 33(87), стр. 129—145.
Воронков П. П. Формирование химического состава поверхностных вод степной и лесостепной зон Европейской территории СССР. Л., Гидрометеоиздат, 1955, стр. 352.
Воронков П. П. Гидрохимическая характеристика поверхностных вод Акмолинской области. В сб.: «Ресурсы поверхностных вод районов освоения целинных и залежных земель, вып. 1, Акмолинская область Казахской ССР». Л., Гидрометеоиздат, 1958, стр. 288—329.
Воронков П. П. Гидрохимическая характеристика поверхностных вод Кустанайской области. В сб.: «Ресурсы поверхностных вод районов освоения целинных и залежных земель», вып. 2, Кустанайская область Казахской ССР. Л., Гидрометеоиздат, 1959, стр. 254—299.
Вяткин М. К. О геоморфологии и некоторых моментах новейшей геологической истории Южного Прибалхашья.— Вестник АН Казахской ССР, 1948, № 8, стр. 3—16.
Гагарин С. П. Всеобщий географический и статистический словарь. М., 1843, стр. 150.
Гейслер А. Н. Неметаллические полезные ископаемые Казахстана. В сб.: «Казахстан». Труды конференции по изучению производительных сил Казахстана, состоявшейся в Академии наук СССР 20—26 февраля 1932 г. Л., 1932, стр. 85—97.
Географический словарь России (под ред. Д. И. Рихтера), вып. 2. СПб., 1909.
Геологические исследования южного побережья Балхаша.— Изв. Русск. геогр. об-ва, 1878, 14, вып. 5, стр. 457.
Геологический словарь, том 1 и 2. М., Госгеолиздат, 1955.
Геология СССР. Восточный Казахстан (под ред. Н. А. Кассина), т. 20, ч. 1, М.— Л., Госгеолиздат, 1941, стр. 863.
Гидрохимическая карта СССР (подземные воды), М. 1 : 50 000 000. (Карта составлена под руководством И. К. Зайцева), 1956.
Гладцин И. Н. К вопросу о причинах засоленности сибирских озер. В сб.: Отчет Геогр.-эконом. ин-та за 1927 г. Л., 1928, стр. 80—86.
Глазовская М. А. Почвы Казахстана. Очерки по физической географии Казахстана. (Под ред. И. П. Герасимова). Алма-Ата, 1952, стр. 344—384.
Голубев А. Ф. Ала-Куль.— Зап. Русск. геогр. об-ва по общей географии, 1867, вып. 1, стр. 349—361.
Голубева Л. А. О черных бурях и мерах борьбы с ними.— Изв. Всес. геогр. об-ва, 1950, № 5, стр. 522—532.
Гончарова И. А. Определение ионов брома и иода в природных водах. Современные методы химического анализа природной воды. М., Изд-во АН СССР, 1955, стр. 80—86.
Горбунов В. Г. Ледники бассейна озер Балхаш, Сасык-Куль и Ала-Куль.— Изв. Гос. геогр. об-ва, 1939, № 5, стр. 705—722; № 6, стр. 831—843.
Гортиков В. М. Применение теории активностей к расчетам карбонатных равновесий в минеральных источниках на примере Аршана Тункинского.— Водные богатства

недр земли на службу социалистическому строительству, сб. 5. Ленинград — Москва — Новосибирск, 1934, стр. 125—144.

Григорович М. О. О находке *Dreissensia polymorpha* в террасовых отложениях оз. Балхаш.— Бюлл. комиссии по изучению четвертичн. периода, 1938, № 4, стр. 55—58.

Григорьев А. А. и Личков Б. Л. Основные проблемы геоморфологии Казахстана. В сб.: «Казахстан».— Труды Конференции по изучению производительных сил Казахстана, состоявшейся в Академии наук СССР 20—26 февраля 1932 г. Л., 1932, стр. 85—97.

Гринев В. Я. Гидрогеология северо-восточного Казахстана.— Нар. хоз-во Казахстана, 1932, № 5, стр. 28—36.

Гуревич М. И. К гидрохимии северо-западной части оз. Балхаш.— Исследование озер СССР, 1934, вып. 6, стр. 13—27.

Давыдов И. Я. Об использовании эмпирических кривых для определения состава солей в грунтовых водах по одному компоненту.— Изв. АН Азербайдж. ССР, 1953, № 10.

Дацко В. Г. Органическое вещество в водах южных морей. М., Изд-во АН СССР, 1959, стр. 271.

Дацко В. Г. и Семенов А. Д. Наблюдения над кислородным режимом Азовского моря в 1956 г. и содержанием биогенных элементов в 1955—1956 гг.— Гидрохимические материалы, 1959, 29, стр. 102—117.

Демченко Л. Н. К вопросу об испарении с поверхности воды на территории равнинной части Казахстана.— Метеорол. и гидрол., 1952, № 10, стр. 30—33.

Джантлеусов. Балхашский район.— Нар. хоз-во Казахстана, 1930, № 11—12, стр. 87—98.

Дзенс-Литовский А. И. Ветровой вынос солей и соляные бури.— Труды Лаборатории озероведения АН СССР, 1954, 3, стр. 127—149.

Доброклонский С. В. и Вавилов П. Б. К вопросу о выносе солей на сушу с брызгами морской воды.— Изв. АН СССР, серия геогр. и геофиз., 1938, № 1, стр. 23—28.

Домрачев П. Ф. Балхашская научно-промысловая экспедиция 1928 г.— Изв. Гос. ин-та опытн. агрономии, 1929, 7, вып. 2, стр. 222—224.

Домрачев П. Ф. Рыбохозяйственное исследование оз. Балхаш в 1928 г. (Предварительный отчет).— Нар. хоз-во Казахстана, 1929а, № 1—2, стр. 166—173.

Домрачев П. Ф. Отчет о работах Балхашской научно-промысловой экспедиции в 1929 г.— Изв. Ленингр. ихтиолог. ин-та, 1930, 11, вып. 1, стр. 60—106.

Домрачев П. Ф. Рыбохозяйственное исследование оз. Балхаш в 1929 г.— Нар-хоз-во Казахстана, 1930а, № 1—2, стр. 46—60.

Домрачев П. Ф. Рыбохозяйственная проблема Балхаша.— Бюлл. рыбн. хоз-ва, 1930б, вып. 6, стр. 27—28.

Домрачев П. Ф. О гидрологическом исследовании озера Балхаш в 1929 г.— Изв. Гос. гидрол. ин-та. 1931, № 30, стр. 118—121.

Домрачев П. Ф. Гидрологические работы Балшахской научно-промысловой экспедиции в 1930 г.— Изв. Гос. гидрол. ин-та, 1931а, № 32, стр. 109—111.

Домрачев П. Ф. Окончание гидрологических работ Балхашской научно-промысловой экспедиции в 1931 г.— Изв. Гос. гидрол. ин-та, 1931б, № 38, стр. 42—47.

Домрачев П. Ф. Общий план работ Балхашской экспедиции 1930—1931 гг. и его выполнение.— Исследование озер СССР, 1933, вып. 4, стр. 7—15.

Домрачев П. Ф. Краткий очерк прежних исследований оз. Балхаш и Прибалхашья в связи с работой экспедиции 1928—1931 гг.— Исследование озер СССР, 1933а, вып. 4, стр. 17—30.

Домрачев П. Ф. Материалы к физико-географической характеристике оз. Балхаш.— Исследование озер СССР, 1933б, вып. 4, стр. 31—56.

Домрачев П. Ф. Промыслово-географическое районирование оз. Балхаш.— Исследование озер СССР, 1933в, вып. 4, стр. 113—139.

Домрачев П. Ф. Балхаш и Прибалхашье. Научно-популярный очерк природных

условий и хозяйственного значения озера и прилегающего к нему района. Алма-Ата, Казахстанское краеведч. изд-во, 1935, стр. 64.

Домрачев П. Ф. Озеро Балхаш как объект географического изучения и исследовательские работы, производившиеся на нем за последнее десятилетие (1928—1938).— Изв. Всес. геогр. об-ва, 1940, **72**, вып. 6, стр. 824—831.

Драчев С. М., Разумов А. С., Бруевич С. В., Скопинцев Б. А. и Голубева М. Т. Методы химического и бактериологического анализа воды. М., Медгиз, 1953, стр. 280.

Дублицкий Б. Экспедиционная работа в 1928 году в Алма-Атинском округе.— Нар. хоз-во Казахстана, 1929, № 1—2, стр. 184—195.

Дуров С. А. Характер накопления сульфатов в воде прудов Сальской степи.— Докл. АН СССР, 1950, **75**, № 1, стр. 67—69.

Дуров С. А. К вопросу о сульфатонакоплении в прудах засушливой степной зоны.— Труды Новочеркасск. политехн. ин-та, 1955, **25(39)**, стр. 3—16.

Дуров С. А. Применение новых геометрических методов в вопросах генезиса и метаморфизации природных вод.— Гидрохимические материалы, 1955а, **24**, стр. 89—93.

Дуров С. А. Геометрический метод в гидрохимии. Ростиздат, 1959, стр. 195.

Дышко Т. В. Применение микрометода Кьельдаля к определению органического азота в природных водах.— Гидрохимические материалы, 1953, **20**, стр. 53—62.

Еременко В. Я. Вещества, сбрасываемые водой р. Дона в Азовское море.— Гидрохимические материалы, 1948, **15**, стр. 80—133.

Ефимовский И. Географическое обозрение Западной Сибири и Киргизской степи.— Журнал. Мин. внутрен. дел, 1855, ч. 12, отд. 3, стр. 51—90.

Еще историческая справка о Балхаше.— Туркестанские ведомости, 1904, № 2251 (4 февраля).

Зайков Б. Д. Средний сток и его распределение в году на территории СССР. М.—Л., Гидрометеоиздат, 1946.

Залесский. Краткий отчет о хронометрической экспедиции по южному берегу оз. Балхаш и по рекам Каратал и Или, произведенной в 1903 г.—Изв. Русск. геогр. об-ва, 1904, **40**, вып. 4, стр. 600—608.

Залманзон Э. С. К познанию осадкообразования в оз. Балхаш. — Бюлл. Моск. об-ва испыт. природы, отд. геол., 1951, **26**, стр. 41—59.

Зелинский Н. Д. О Балхашском сапропеле и возможности его использования для технических и промышленных целей.— Нефт. и сланц. хоз-во, 1920, № 1—3, стр. 76—83.

Зубов Н. Н. и Чигирин. Океанологические таблицы. М., Гидрометеоиздат, 1940.

Иванов П. В. Гидрологические исследования в Северном Казахстане. В сб.: «Казахстан».—Труды Конференции по изучению производительных сил Казахстана, состоявшейся в Академии наук СССР 20—26 февраля 1932 г. Л., 1932, стр. 51—56.

Иванов И. К. Пути рационального освоения и воспроизводства рыбных запасов в водоемах Карагандинского экономического административного района. Объединенная научная сессия по проблемам развития производительных сил центрального Казахстана (Тезисы докладов). Алма-Ата, Изд-во АН Казахской ССР, 1958, стр. 314—316.

Иванов С. Н. Насущные проблемы рыбного хозяйства Балхаша. — Рыбное хоз-во, 1959, № 11, стр. 20—24.

Ивлев В. С. Влияние тростниковых зарослей на биологию и химический режим водоемов— Труды Всес. гидробиол. об-ва, **2**, 1950, стр. 79—102.

Игнатович З. А. К вопросу о содержании хлора в воздухе в районе Сакского озера. — Курортология и физиотерапия, 1934, № 2, стр. 193—196.

Иоан де Плано-Карпини. История монголов. Вильгельм де Рубрук. Путешествие в восточные страны. Пер. А. И. Малеина. СПб., 1911, стр. 224.

Казаков А. В., Тихомирова М. М., Плотникова В. И. Система карбонатных равновесий (доломит, магнезит).— Труды Ин-та геол. наук, АН СССР, 1957, серия геол., вып. 152, стр. 13—58.

Казахская ССР. Экономо-географическая характеристика. М., Географгиз, 1957, стр. 734.

Казахстан. Общая физико-географическая характеристика. М.—Л., Изд-во АН СССР, 1950, стр. 492.

Каплин В. Т., Дацко В. Г. и Семенов А. Д. Опыт ускоренного сожжения органического вещества для последующего определения азота и фосфора в природных водах. — Изв. АН СССР, Отд. хим. наук, 1959, № 9, стр. 1526—1528.

Карбасников М. П. Площадь Балхаша.— Изв. Рос. гидрол. ин-та, 1924, № 8, стр. 52—53.

Картыков А. Северный и западный берег оз. Балхаш. — Туркестанские ведомости, 1903, № 82, 84.

Картыков А. Озеро Балхаш.— Топограф. и геодез. журнал, 1912, № 7, стр. 106—108; № 10—11, стр. 154—156; № 13, стр. 198—200; № 21, стр. 228—229; № 23, стр. 259—261; № 24, стр. 277—285.

Касаткин И. Некоторые соображения по поводу озера Балхаш.— Проблемы. физ. геогр., 1939, 7, стр. 132—133.

Кассин Н. Г. Краткий геологический очерк северо-восточного Казахстана.— Труды Всес. геол.-развед. объед. ВСНХ СССР, 1931, вып. 165, стр. 79.

Кассин Н. Г. Материалы по палеогеографии Казахстана. Алма-Ата, Изд-во АН Казахской ССР, 1947, стр. 258.

Квасов Д. Д. Возможные причины геологической молодости озера Балхаш.— Изв. Всес. геогр. об-ва, 1959, вып. 6, стр. 546—549.

Киселев И. А. К сведениям о флоре водорослей оз. Балхаш. — Уч. зап. Ленингр. гос. ун-та, 1951, серия биол. наук, 142, вып. 29, стр. 199—207.

Ковда В. А. Происхождение и режим засоленных почв, т. 1. М., Изд-во АН СССР, 1947.

Козлов В. П. Почвы современной дельты р. Или и возможности их освоения. В сб.: «Пустыни Прибалхашья». М.—Л., Изд-во АН СССР, 1941, стр. 115—143.

Козлов В. П. Почвы Северного Прибалхашья. В сб.: «Пустыни Прибалхашья». М.—Л., Изд-во АН СССР, 1941а, стр. 145—166.

Козырев А. А. Краткий гидрогеологический очерк Казахстана. Л., 1927, стр. 183.

Коновалов Г. С. Вынос микроэлементов главнейшими реками СССР. — Докл. АН СССР, 1959, 129, № 4, стр. 912—915.

Коншин В. Д. Метаморфизация воды оз. Балхаш. — Докл. АН СССР, 1945, 48, № 5, стр. 355—357.

Копылов Н. А. Материалы по гипсометрии Казахстана.— Материалы особого Комитета по исследованию союзных и автономных республик, серия Казахстанская вып. 15. Л., 1927.

Корженевский Н. Озеро Балхаш по новейшим картографическим данным.— Бюлл. Средне-Азиатского метеорол. ин-та, 1930, № 4, стр. 60.

Корнеев А. И. Река Или и Прибалхашье.— Ежегодник отдела земельных улучшений, 1911, год 3-й, стр. 425—438.

Коротченок Н. А., Лопатина Е. К., Смирнова Е. М. и Федорова А. А. Водоснабжение г. Алма-Аты в период 1932—1937 гг.— Гидрохимические материалы, 1939, 11 (дополнительный), стр. 1—26.

Корф Д. М. и Еловская Л. Б. Прибалхашские соляные озера.— Труды соляной лабор. АН СССР, 1936, вып. 11, стр. 83—150.

Корякин И. С., Говорова М. С., Медведева В. М. и Гришинская А. Я. Гигиеническая оценка влияния сточных вод Балхашского промышленного узла на озеро Балхаш. — Объед. научная сессия по проблемам развития производит. сил Центрального Казахстана (Тезисы докладов). Алма-Ата, 1958, стр. 274—275.

Костенко Н. Н. К истории Балхаша.— Изв. Казахского филиала АН СССР, серия геол., 1946, вып. 8.

Котельников Д. Аральско-Балхашская гидрографическая экспедиция.— Зап. по гидрографии, 1922, 45, стр. 205—224.

Краснов А. Н. Сведения о поездке на оз. Балхаш. — Изв. Русск. геогр. об-ва, 1886а, 22, вып. 3, стр. 346—351.

Краснов А. Н. О природе Прибалхашской низменности. — Изв. Русск. геогр. об-ва, 1886б, 22, вып. 5, стр. 577—579.

Кривенцов М. И. атмосферные осадки района Пролетарского водохранилища на р. Западный Маныч. — Гидрохимические материалы, 1961, 31, стр. 12 — 18.

Кривенцов М. И. К вопросу о роли береговых отложений в солевом балансе водохранилища на примере Карловского водохранилища. — Гидрохимические материалы, 1961а, 32, стр. 105—113.
Кривицкий. Проблема освоения камышевых зарослей.— Нар. хоз-во Казахстана, 1932, № 4, стр. 37—45.
Крылов М. М. Гидрогеологический очерк низовьев р. Или по рекогносцировочным исследованиям 1929 г. — Материалы по гидрогеол. Средней Азии, 1933, вып. 1 (14), стр. 1—38.
Крюков П. А. и Номикос Л. И. Меркуриметрический метод определения концентраций ионов хлора. Современные методы химического анализа природной воды. М., Изд-во АН СССР, 1955, стр. 44—46.
Кузнецов В. Озеро Балхаш и река Или.— Вестник Русск. геогр. об-ва, 1856, ч. 18, кн. 5, отд. 5, стр. 6—11.
Кумпан С. В. Балхашская экспедиция (угольного института).— Изв. глав. геол.-развед. упр., 1931, 50, вып. 7, стр. 95—100.
Кунин В. Н. К характеристике грунтового потока р. Токрау (Северное Прибалхашье).— Исследование подземных вод, 1935, вып. 5, стр. 177—191.
Курдюков К. В. Древние озерные бассейны Юго-Восточного Казахстана и климатические условия времен их существования.— Изв. АН СССР, серия геогр., 1952, № 2, стр. 11—24.
Лавров В. И. Проблема освоения пустынь низовьев р. Или и Южного Прибалхашья.— Изв. Всес. геогр. об-ва, 1946, 78, вып. 4, стр. 433—437.
Лазарев К. Г. Гидрохимический очерк равнинной части течения реки Аму-Дарьи. М., Изд-во АН СССР, 1957, стр. 107.
Лебедев П. Н. Краткий гидрографический очерк Казахстана. Л., 1928, стр. 142.
Лилейко А. А. Изыскание источников водоснабжения «Прибалхашстроя».— Изв. Гос. гидрол. ин-та, 1932, № 43, стр. 64—67.
Лундинг А. М. Отчет по Илийскому и Лепсино-Каратальскому районам. Отчет гидрометрической части в Туркестанском крае за 1912 г. 1913, т. 4, стр. 36—59.
Лундинг А. М. Отчет по Илийскому и Лепсино-Каратальскому районам. Отчет гидрометрической части в Туркестанском крае за 1913 г. 1915, т. 3, стр. 83—161.
Любопытнейшее путешествие Монаха Францисканского Ордена Жана дю План Карпина, посланного в 1246 году в достоинстве Легата и Посла от папы Иннокентия IV к татарам; им самим писанное. М., Изд. университетской типографии у Ридигера и Клаудия, 1800, 126 стр.
Мазарович А. Н. Историческая геология. М.—Л., ГОНТИ, 1937, стр. 463.
Макаренко Ф. А. О грунтовых водах коротких долин на примере Центрального Казахстана и Северного Прибалхашья. — Труды Лабор. гидрогеол. проблем, 1951, 10, стр. 59—62.
Масальский В. И. Туркестанский край. Россия. Полное географическое описание нашего отечества, т. 19, СПб., 1913 г.
Мефферт Б. Ф. Очерк Северного Прибалхашья и побережий Западного Балхаша.— Изв. Русск. геогр. об-ва, 1912, 48, вып. 1—5, стр. 23—66.
Мефферт Б. Ф. О колебании уровня оз. Балхаш.— Изв. Русск. геогр. об-ва, 1915, 51, вып. 1, стр 35—39.
Микулин А. Ю. Материалы к фауне *Chironomidae* оз. Балхаш.— Исследование озер СССР, 1933, вып. 4, стр. 71—96.
Молчанов Л. А. Озера Средней Азии.— Труды Средне-Азиатского гос. ун-та, серия геогр., 1929, 12, вып. 3, стр. 46—51.
Молчанов Л. А. Вероятная причина малой солености вод озера Балхаш.— Зап. Гос. гидрол. ин-та, 1933, 10.
Мушкетов И. В. Туркестан. Географическое и орографическое описание по данным, собранным во время путешествий с 1874 по 1880 г., ч. 1. СПб., 1886.
На озере Балхаш. Сибирь, 1925, № 5—6, стр. 11.
Недзвецкий М. М. Ирригационные изыскания в Прибалхашье. — Нар. хоз-во Казахстана, 1929, № 4—5, стр. 49—62.

Никитин С. А. Пустыни Среднего Прибалхашья и пути их использования.— Нар. хоз-во Казахстана, 1932, № 11—12, стр. 47—53.
Никитин С. А. Пустыни Прибалхашья и перспективы сельскохозяйственного освоения их. В сб.: «Пустыни Прибалхашья». М.—Л., Изд-во АН СССР, 1941, стр. 3—17.
Никитин С. А. Геоморфология Южного Прибалхашья. В сб.: «Пустыни Прибалхашья». М.— Л., Изд-во АН СССР, 1941а, стр. 29—60.
Николаев А. В. К вопросу о речном сульфатном накоплении. В сб.: «Караганда — третья угольная база СССР», М.—Л., Изд-во АН СССР, 1936, стр. 277—321.
Николаев В. И. и Фридкина Х. Г. Изотермические пути кристаллизации солей при испарении воды Аральского моря.— Докл. АН СССР, новая серия 1945, 49, № 8, стр. 595—597.
Никольский А. М. Об ихтиологической фауне Балхашского бассейна. — Труды СПб. об-ва естествоиспыт., 1885, **16**, вып 1, стр. 18—22.
Никольский А. М. Путешествие на оз. Балхаш и в Семиреченскую область. — Зап. Зап.-Сиб. отд. Русск. геогр. об-ва, 1885а, кн. 7, вып. 1, стр. 1—93.
Никольский А. М. Геология Балхаша.— Труды Сиб. об-ва естествоиспыт., 1885б, **16**, вып. 1, стр. 41—43.
Никольский А. М. К истории озера Балхаш.— Зап. Одесск. об-ва естествоиспыт., 1928, **44**, стр. 289—293.
Оболенский. К проблеме обводнения Коунрада.— Нар. хоз-во Казахстана 1930, № 6, стр. 38—45.
Оборин А. А. О гидрохимии грунтовых вод Южного Прибалхашья.— Сов. геология, 1959, № 7, стр. 117—122.
Объяснительная записка к гидрохимической карте СССР в масштабе 1:5 000 000 (под ред. И. И. Зайцева). М., Госгеолтехиздат, 1958.
Озеро Балхаш.— Землеведение, 1903, **10**, кн. 4, стр. 80—81.
Озеро Балхаш.— Вестник знаний, 1928, № 10, стр. 536.
Основные пути развития Северо-Восточного Казахстана.— К итогам 1-й межкраевой конф. Северо-Восточного Казахстана. Алма-Ата, 1931, стр. 48.
Пальгов Н. Н. Ледники в Южном Казахстане. — Нар. хоз-во Казахстана, 1931, № 7, стр. 84—88.
Пальгов Н. Н. Казахстан. Географиздат, 1953, стр. 167.
Пальчинский П. К вопросу об оз. Балхаш как месторождении исходных материалов для получения тепла, энергии и промышленного сырья в связи с экономическими перспективами Чу-Балхашского района. — Нефть. и сланц. хоз-во, 1920, № 1—3, стр. 64—75.
Панов Б. П. Уровни озера Балхаш.— Исследование озер СССР, 1932, вып. 1, стр. 34—41.
Песков С. Ф. Геоморфология Северного Прибалхашья. В сб.: «Пустыни Прибалхашья». М.—Л., Изд-во АН СССР, 1941, стр. 61—76.
Петров В. В. О современном состоянии промысла на оз. Балхаш и путях его дальнейшего развития.— Информ. бюлл. конструкторск. бюро ВНИОРХ, 1941, № 5—6, стр. 4—7.
Пивоваров Я. Я. К вопросу об аэральном происхождении солей в почвах. — Почвоведение, 1906, № 1—4, стр. 67—80.
Подземные воды Азиатской части СССР (под ред. Б. К. Терлецкого). М., Изд-во «Сов. Азия», 1932, стр. 95.
Попов А. В. Устройство поверхности нижней части Илийского бассейна. В сб.: «Вопросы географии Казахстана», вып. 5. Алма-Ата, Изд-во АН Каз.ССР, 1959, стр. 3—32.
Попов А. П. Химическая оценка воды озера Балхаш.— Исследование озер СССР 1933, вып. 4, стр. 105—112.
Попова Р. К. Гипс и соль из атмосферы.— Природа, 1951, № 2, стр. 65—66.
Посохов Е. В. Содовые озера Илийской впадины.— Изв. Казахского филиала АН СССР, 1946, серия геол., вып. 8, стр. 80—95.
Посохов Е. В. О засолении озера Балхаш и о мерах опреснения западной его части.— Вестник АН Казахской ССР, 1946а, № 7—8, стр. 20—23.

Посохов Е. В. Об опреснении соляных озер Северного Казахстана.— Вестник АН Казахской ССР, 1947, № 3, стр. 31—33.
Посохов Е. В. О некоторых минеральных источниках Казахстана.— Изв. АН Казахской ССР, серия хирург., 1947а, вып 1.
Посохов Е. В. Соляные озера Северо-Западного Прибалхашья.— Изв. АН Казахской ССР, серия геолог., 1949, вып. 9, стр. 46—55.
Посохов Е. В. Лечебные грязи полуострова Бертыс.— Вестник АН Казахской ССР, 1949а, вып. 7, стр. 97—101.
Посохов Е. В. К геологии и гидрохимии соляных озер Центрального Казахстана.— Изв. АН Казахской ССР, серия геол., 1949б, вып. 11, стр. 58—68.
Посохов Е. В. Соляные озера Казахстана. М., Изд-во АН СССР, 1955, стр. 187.
Посохов Е. В. К гидрохимии подземных вод Северо-Западного Прибалхашья.— Гидрохимические материалы, 1955а, 25, стр. 183—188.
Посохов Е. В. О распространении и происхождении содовых вод в Казахстане.— Изв. АН Казахской ССР, серия геол., 1958, вып. 4, стр. 79—88.
Посохов Е. В. Гидрохимия вод аллювиальных отложений некоторых долин Центрального Казахстана.— Гидрохимические материалы, 1959, 29, стр. 153—168.
Потоцкий. Южная Киргизия (естественно-географические условия, население, хозяйство). — Сов. Киргизия, 1925, № 2, стр. 55—75.
Распопов М. П. Подземные воды Северного Казахстана. В сб.: «Казахстан».— Труды Конференции по изучению производительных сил Казахстана, состоявшейся в Академии наук СССР 20—26 февраля 1932 г. Л., 1932, стр. 56—76.
Рубцов Н. И. Растительный покров Казахстана. Очерки по физической географии Казахстана (под ред. И. П. Герасимова). Алма-Ата, 1952, стр. 385—451.
Румянцев П. П. Материалы по обследованию туземного и русского старожильческого хозяйства и землепользования в Семиреченской области, ч. 1, 1911.
Русаков М. П. К вопросу о понижении уровня оз. Балхаш.— Изв. Гос. гидрол. ин-та, 1926, № 17, стр. 91—92.
Русаков М. П. К проблеме водоснабжения Коунрадского медеплавильного комбината.— Нар. хоз-во Казахстана, 1931, № 7, стр. 66—75.
Русаков М. П. О направлении Трансказахстанской железной дороги.— Нар. хоз-во Казахстана, 1931а, № 5, стр. 10—20.
Русаков М. П. К проверке окончательных решений о направлении постройки Трансказахстанской ж. д., включающей Коунрад и медную промышленность Союза.— Цветные металлы, 1931б, № 3, стр. 378—388.
Рыбин Н. Г. Природные условия Южного Прибалхашья.— Изв. АН Казахской ССР, 1948, серия геогр., вып. 1, стр. 35—49.
Рыбин Н. Г. Озера Казахстана. Очерки по физической географии Казахстана (под ред. И. П. Герасимова). Алма-Ата, 1952, стр. 244—310.
Рыбин Н. Г. Сухие русла древней реки Или—Баканасы.— Изв. АН Казахской ССР, 1955, серия геол., вып. 19, стр. 152—162.
Рыбин Н. Г. и Юнусов Г. Р. Реки Казахстана. Очерки по физической географии Казахстана (под ред. И. П. Герасимова). Алма-Ата, 1952, стр. 197—243.
Рылов В. М. К сведениям о планктоне озера Балхаш.— Исследование озер СССР, 1933, вып. 4, стр. 57—69.
Сазонов Н. И. Балхашиты залива Алакуля.— Нар. хоз-во Казахстана, 1931, № 7, стр. 63—65.
Сапожников В. В. Предварительный отчет об ученой командировке в Семиреченскую область летом 1902 г.— Изв. Русск. геогр. об-ва, 1903, 39, вып. 4, стр. 273—295.
Сапожников Д. Г. Известково-доломитовый ил озера Балхаш.— Докл. АН СССР, новая серия, 1942, 36, вып. 4—5, стр. 167—170.
Сапожников Д. Г. Современные осадки и геология оз. Балхаш.— Труды Ин-та геол. наук АН СССР, 1951, серия геол., вып. 132, № 53, стр. 203.
Сапожников Д. Г. Осадкообразование в озерах засушливой зоны СССР. Озеро Балхаш. В сб.: «Образование осадков в современных водоемах». М., Изд-во АН СССР, 1954, стр. 238—314.

Сапожников Д. Г. Озеро Балхаш и его донные осадки.' Природа, 1954а, № 2, стр. 86—90.
Сарычев В. И. Озеро Балхаш в географическом, экономическом и этнографическом отношении.— Зап. Семипалат. отд. Русск. геогр. об-ва, 1925, 15, стр. 88—105.
Сахаров Д. Импульверизация солей в Волго-Ахтубинском районе.— Почвоведение, 1948, стр. 576—577.
Сваричевская З. А. К истории Балхаш-Алакульской впадины. — Вест. Ленингр. ун-та, 1952, № 7, стр. 107—112.
Селевин В. А. О колебании уровня озера Балхаш.— Природа, 1933, № 7, стр. 59—60.
Семенов П. Географический словарь Российской империи, т. 1, 1863.
Слесаревич В. В. Почвы Южного Прибалхашья. В сб.: «Пустыни Прибалхашья». М.— Л., Изд-во АН СССР, 1941, стр. 77—114.
Слесаревич В. В. и Песков С. Ф. Заметка о климатических условиях Прибалхашья. В сб.: «Пустыни Прибалхашья». М.— Л., Изд-во АН СССР, 1941а, стр. 19—28.
Соколов И. Ю. Таблицы и номограммы для расчета результатов гидрохимических анализов. М., Госгеолтехиздат, 1958.
Соколовский А. Н. Засоление почвы как одно из солепроявлений на земной поверхности.— Почвоведение, 1941, № 7—8, стр. 3—29.
Страхов Н. М. Доломитовые осадки оз. Балхаш и их значения для познания процесса доломитообразования. — Сов. геология, 1945, № 4, стр. 46—68.
Страхов Н. М. О значении современных и лагунных водоемов для познания процессов осадкообразования.— Изв. АН СССР, 1945а, серия геол., № 1, стр. 61—78.
Страхов Н. М. Известково-доломитовые фации современных и древних водоемов. Опыт сравнительно-литологического исследования.— Труды Ин-та геол. наук АН СССР, серия геол., 1951, № 45, вып. 124, стр. 371.
Страхов Н. М., Бродская Н. Г., Князева Л. М., Разживина А. Н., Ратеев М. А., Сапожников Д. Г. и Шишкова Е. С. Образование осадков в современных водоемах. М., Изд-во АН СССР, 1954, стр. 791.
Тагильцев Н. Озеро Балхаш и Прибалхашский край.— Нар. хоз-во Казахстана, 1928, № 11—12, стр. 238—250.
Тажибаев Л. Водоемы Казахстана. Алма-Ата, 1951, стр. 158.
Тарасов М. Н. О связи относительного ионного состава воды некоторых прудов с минерализацией.— Гидрохимические материалы, 1954, 22, стр. 79—86.
Тарасов М. Н. О формировании ионного состава воды прудов Северо-Восточного Приазовья.— Гидрохимические материалы, 1956, 25, стр. 154—169.
Терлецкий Б. К. Балхаш-Алакульская впадина.— Труды Главн. геол.-развед. упр. ВСНХ СССР, 1931, вып. 105, стр. 1—88.
Тарасов М. Н. К вопросу о карбонатообразовании в замкнутых водоемах аридной зоны на примере озера Балхаш.—Гидрохимические материалы, 1961, 31, стр. 78—87.
Терлецкий Б. К. Основные черты гидрогеологии Казахстана. В сб.: «Казахстан».— Труды Конференции по изучению производительных сил Казахстана, состоявшейся в Академии наук СССР 20—26 февраля 1932 г. Л., 1932, стр. 24—40.
Толстов В. И. Озеро Балхаш как водохранилище для орошения низовьев рек Чу и Сыр-Дарьи.— Вестник ирригации, 1929, № 7, стр. 97—101.
Усов Н. Н. Генезис и мелиорация почв Каспийской низменности. Саратов, 1940.
Фесенко Н. Г. Определение кальция в природных водах комплексометрическим титрованием в присутствии мурексида как индикатора. — Гидрохимические материалы, 1955, 23, стр. 158—164.
Фесенко Н. Г. Гидрохимический облик Цимлянского водохранилища в период ввода его в эксплуатацию.— Гидрохимические материалы, 1955а, 25, стр. 69—97.
Филимонов И. Гидрология Карагандинско-Коунрадского края.— Нар. хоз-во Казахстана, 1931, № 6, стр. 30—37.
Фишер В. Озеро Балхаш и течение р. Или от выселка Илийского до ее устьев. — Зап. Зап.-Сиб. отд. Русск. геогр. об-ва, 1883, кн. 6, стр. 1—21.
Шлегель Б. Х. Изыскания в Лепсинском уезде Семиреченской обл.— Ежегодник Отдела земельн. улучшений, 1914, 5, ч. 2. стр. 398—411.

Шлегель Б. Х. Водное хозяйство Средней Азии. М.—Л., 1926, стр. 74.
Шлегель Б. Х. Результаты исследований 1928 г. в районе Туркестано-Сибирской ж. д.— Нар. хоз-во Казахстана, 1929, № 4—5, стр. 173—182.
Шлыгин Е. Д. Геологическая история и геологическое строение Казахстана. Очерки по физической географии Казахстана. Алма-Ата, 1952, стр. 59—126.
Шнитников В. Н. К вопросу о колебании уровня озер в Средней Азии.— Изв. Гос. гидрол. ин-та, 1924, № 11, стр. 88—90.
Шнитников В. Н. История научного исследования Джетысу.— В сб.: «Джетысу». Ташкент, 1925, стр. 1—53.
Шнитников А. В. Элементы водного и солевого баланса оз. Балхаш.— Труды соляной лабор. Всес. ин-та галургии, 1936, вып. 11, стр. 5—82.
Шнитников А. В. Общие черты циклических колебаний уровня озер и увлажненности территории Евразии в связи с солнечной активностью. — Бюлл. комис. по исслед. солнца АН СССР, 1949, № 3—4, стр. 65—78.
Шнитников А. В. Внутривековые колебания уровня степных озер Западной Сибири и Северного Казахстана и их зависимость от климата. — Труды Лабор. озероведения АН СССР, 1950, **1**, стр. 28—129.
Штегман Б. К. К истории формирования дельты р. Или. Геогр. сборник, 1952, **1**, стр. 133—150.
Штурм Л. Д. Балхашиты и сапропели Ала-Кульского залива.— Нар. хоз-во Казахстана, 1932, № 5, стр. 41—43.
Штурм Л. Д. Исследование Ала-Кульского озера и вопрос о происхождении балхашита. Труды Сапропел. ин-та АН СССР, 1934, **1**, стр. 167—200.
Шульц С. С. Геологические исследования континентальных отложений части Илийской долины. — Изв. Главн. геол.-развед. упр., 1931, вып. 46, стр. 735—745.
Эберлин Л. Сапропель Ала-Кульского залива озера Балхаш. — Горнозавод. дело, 1915, № 37, стр. 11845—11846.
Экспедиция на озеро Балхаш. — Человек и природа, 1929, № 16, стр. 40.
Юнусов Г. Р. О причине опресненности оз. Балхаш.— Изв. АН Казахской ССР, серия энерг., 1950, вып. 2, стр. 41—43.
Юнусов Г. Р. Гидрологический режим оз. Балхаш. — Труды III Всес. гидрол. съезда, т. 4. Л., Гидрометеоиздат, 1959, стр. 192—200.
Яковлев Д. Гидрогеологические наблюдения, произведенные в горах Западного Прибалхашья и в западной части Чу-Илийских гор в 1928 г.— Изв. Геол. ком., 1929, **48**, № 5, стр. 151—159.
Янковская А. И. Механический и химический состав грунтов озера Балхаш и распределение в нем моллюсков. — Исследование озер СССР, 1933, вып. 4, стр. 97—103.
Buch K., Harvei H. W., Wattenberg H. und Grippenberg. Über das Kohlensäuresystem im Meerwasser.— Rapports et Procès Verbaux des Reunions, September 1932, 79, 7—68.
Eardley A. J. Sediments of Great Salt Lake, Utan.— Bull. of Amer. Assoc. Petrol. Geol. 1938, **22**, No. 10, p. 1305—1411.
Gevers T. W. Terrestrer Dolomit in der Etoscha-Pfanne, Südwestafrika.— Zbl. Min., Geol. und Paläontol., 1930, Abt. B, S. 224—230.
Harned H. a. Davis K. The ionization constant of carbonic acid in water and the solubility of carbon dioxidain water and aqueons salt solution from 0 to 50°.— J. Amer. Chem. Soc., 1943, **65**, No. 10, p. 2030—2041.
Wattenberg H. Calziumkarbonat und Kohlensäuregehalt des Meerwassers.— Wissenschaftl. Ergebn. u. auf dem Forsch. u. Vermessungsschiff «Meteor», Bd. 8, Berlin und Leipzig, 1933, S. 179—227.

ОГЛАВЛЕНИЕ

От редактора 3

Введение 5

Глава I. Обзор предшествующих гидрохимических исследований 7

Глава II. Общая физико-географическая характеристика бассейна озера Балхаш . 11

1. Местоположение и орография 11
2. История Балхашской котловины и геологическое строение бассейна . . . 12
3. Почвы и растительность 20
4. Гидрография и элементы гидрологии 22
5. Гидрогеология 36
6. Климатические условия Прибалхашья 38

Глава III. Морфометрия, гидрофизика и органический мир озера 43

1. Характеристика побережий и морфометрия озерной котловины 43
2. Волнение и течения в озере 51
3. Физические свойства воды 53
4. Органический мир озера 55

Глава IV. Уровни и водный баланс озера 57

Глава V. Задачи, объем и методика наших исследований 66

Глава VI. Гидрохимия Прибалхашья 69

1. Атмосферные осадки 69
2. Реки 72
3. Подземные воды 89

Глава VII. Гидрохимия озера Балхаш 95

1. Общая характеристика 95
2. Распределение величин минерализации воды 128
3. Ионный состав воды, его метаморфизация и распределение в озере . . . 134
4. Режим минерализации воды 139
5. Осадкообразование в озере 155
6. Гидрохимия озер Прибалхашья 165
7. Солевой баланс озера Балхаш 177
8. Растворенные газы и величина pH 192
9. Биогенные вещества, окисляемость и микроэлементы 197

Глава VIII. Будущий гидрохимический режим озера Балхаш в связи с зарегулированием р. Или 203

1. Предварительные сведения 203
2. Исходные данные и методика прогноза 204
3. Результаты прогноза 209

Литература 216

Михаил Николаевич Тарасов

Гидрохимия озера Балхаш

Утверждено к печати
Гидрохимическим институтом
Академии наук СССР

*

Редактор издательства *А. Л. Банквицер*
Технический редактор *В. Г. Лаут*
Корректор *И. А. Талалай*

*

РИСО АН СССР № 31—25В.
Сдано в набор 6/VII—1961 г. Подписано к печати 31/X—1961 г.
Формат 70×108¹/₁₆. Печ. л. 14,25+4 вкл. (0,5 печ. л.);
усл. печ. л. 20,20; уч. изд. л. 19,3 (18,8 + 05 вкл.)
Тираж 1000 экз. Т—12519.
Изд. № 5337. Заказ № 2158.

Цена 1 р. 35 к.

Издательство Академии наук СССР
Москва, Б-62, Подсосенский пер., д. 21
2-я типография Издательства АН СССР
Москва Г-99, Шубинский пер., д. 10

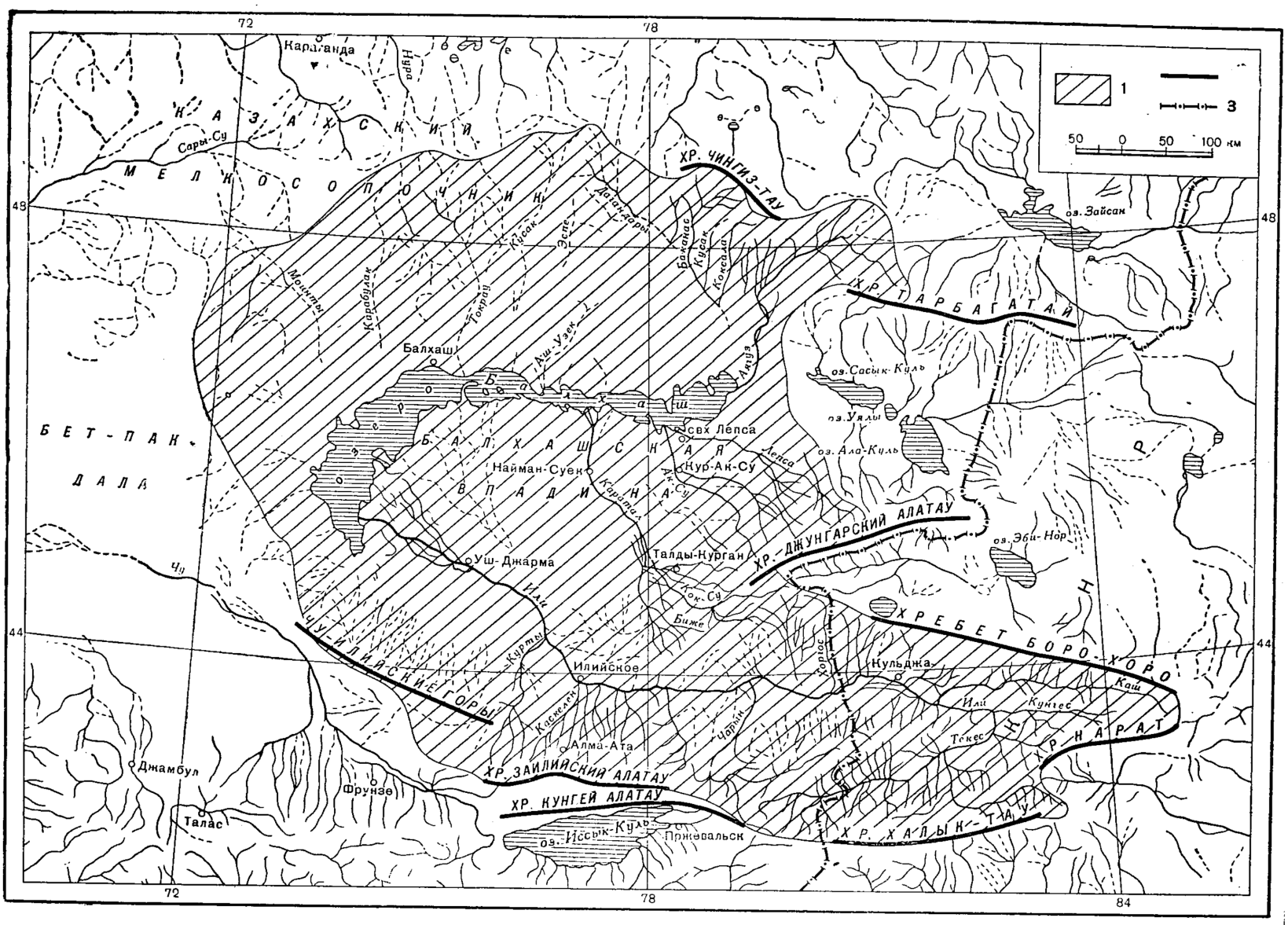


Рис. 1. Схема орографии и гидрографии Балхашского бассейна:

1 — бассейн оз. Балхаш; *2* — горные хребты; *3* — государственная граница

М. Н. Тарасов

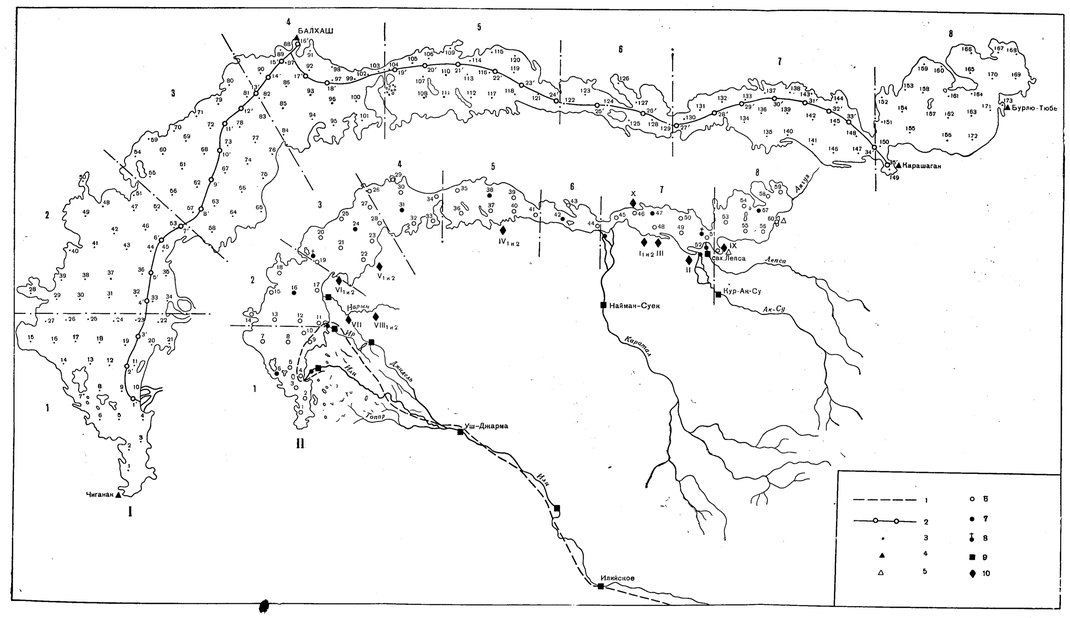


Рис. 38. Маршруты и схемы расположения пунктов отбора проб воды на химический анализ.

1 — воздушный маршрут (1955 г.); *2* — маршрут судна и пункты отбора проб воды для солевого анализа (1955 г.); *3* — пункты отбора проб воды для солевого анализа(1956 и 1957 гг.); *4* — постоянные пункты отбора проб воды для солевого анализа (1956—1957 гг.); *5* — пункты отбора проб атмосферных осадков (1956—1957 гг.); 6 — пункты отбора проб воды для анализа на содержание биогенных веществ и растворенного кислорода (1958 г.); *7* — то же, но по расширенной программе (1958 г.); *8* — суточные станции (1958 г.); *9* — пункты отбора проб воды из рек для солевого анализа (1955—1957 гг.); *10*—пункты отбора проб воды из Прибалхашских озер для солевого анализа

Таблица 18

Среднегодовой многолетний взвешенный по стоку химический состав рек, впадающих в Балхаш, жидкий и ионный стоки этих рек

Место отбора пробы	Годы, за которые использованы данные химических наблюдений	Жидкий приток в озеро, км³	Естественное состояние														Ионный сток, млн. т	С учетом осаждения кальцита													Ионный сток, млн. т	С учетом осаждения кальцита и доломита													Ионный сток, млн. т
			мг/л							%-экв								мг/л							%-экв								мг/л							%-экв							
			Cl'	SO_4''	$HCO_3' + CO_3''$	$Ca^{\cdot\cdot}$	$Mg^{\cdot\cdot}$	$Na^{\cdot} + K^{\cdot}$	$\Sigma_и$	Cl'	SO_4''	$HCO_3' + CO_3''$	$Ca^{\cdot\cdot}$	$Mg^{\cdot\cdot}$	$Na^{\cdot} + K^{\cdot}$			Cl'	SO_4''	$HCO_3' + CO_3''$	$Ca^{\cdot\cdot}$	$Mg^{\cdot\cdot}$	$Na^{\cdot} + K^{\cdot}$	$\Sigma_и$	Cl'	SO_4''	$HCO_3' + CO_3''$	$Ca^{\cdot\cdot}$	$Mg^{\cdot\cdot}$	$Na^{\cdot} + K^{\cdot}$			Cl'	SO_4''	$HCO_3' + CO_3''$	$Ca^{\cdot\cdot}$	$Mg^{\cdot\cdot}$	$Na^{\cdot} + K^{\cdot}$	$\Sigma_и$	Cl'	SO_4''	$HCO_3' + CO_3''$	$Ca^{\cdot\cdot}$	$Mg^{\cdot\cdot}$	$Na^{\cdot} + K^{\cdot}$	
Река Или, с. Илийское	1936—1949, 1952, 1955, 1956—1957,	10,38	14,7	43,8	172,0	48,0	9,9	23,4	311,8	4,9	11,0	34,1	28,9	9,8	11,3	3,26	14,7	43,8	26,2	Нет	9,9	23,4	118,0	11,7	26,0	12,3	Нет	23,3	26,7	1,23	14,7	43,8	Нет	Нет	4,6	23,4	86,5	15,6	34,4	Нет	Нет	14,4	35,6	0,89
Река Каратал, с. Найман-Суек	1936, 1937, 1938, 1940, 1941, 1942, 1945, 1947, 1948, 1949, 1952, 1955, 1956, 1957	2,10	9,2	30,4	144,0	41,0	10,5	8,5	243,6	4,0	9,7	36,2	31,7	13,1	5,2	0,51	9,2	30,4	18,8	»	10,5	8,5	77,4	10,9	26,2	12,9	»	35,8	14,2	0,16	9,2	30,4	»	»	6,7	8,5	54,8	14,6	35,4	»	»	31,0	19,0	0,12
Река Ак-Су, с. Кур-Ак-Су	1956—1957	0,23	10,7	55,0	196,0	46,7	14,6	28,2	351,2	3,2	12,4	34,4	25,0	12,9	12,1	0,08	10,7	55,0	53,5	»	14,6	28,2	162,0	6,4	24,8	18,8	»	25,8	24,2	0,04	10,7	55,0	»	»	3,9	28,2	97,8	10,6	39,4	»	»	11,0	39,0	0,02
Река Лепса, совхоз Лепса	1936, 1939—1942, 1944—1949, 1955, 1956—1957,	0,55	11,3	33,8	152,0	44,6	9,5	13,0	264,2	4,5	9,9	35,6	31,6	11,0	7,4	0,14	11,3	33,8	17,0	»	9,5	13,0	84,6	12,3	27,0	10,7	»	30,0	20,0	0,05	11,3	33,8	»	»	6,1	13,0	64,2	15,7	34,3	»	»	24,5	25,5	0,03
Река Аягуз, г. Аягуз[1]	IV 1952, IV 1955	0,18	36,6	70,7	197,0	52,3	9,2	59,1	425,0	8,8	12,6	28,6	22,8	6,6	20,6	0,08	36,6	70,7	37,8	»	9,2	59,1	213,4	16,5	23,6	9,9	»	12,1	37,9	0,04	36,6	70,7	»	»	1,7	59,1	168,0	20,6	29,4	»	»	2,8	47,2	0,03
	Всего	13,44												Всего		4,07											Всего		1,52											Всего		1,09

[1] Приведен средний химический состав за апрель.

[*] Учитывая малую вероятность нахождения в воде в заметных количествах аммиака, ...

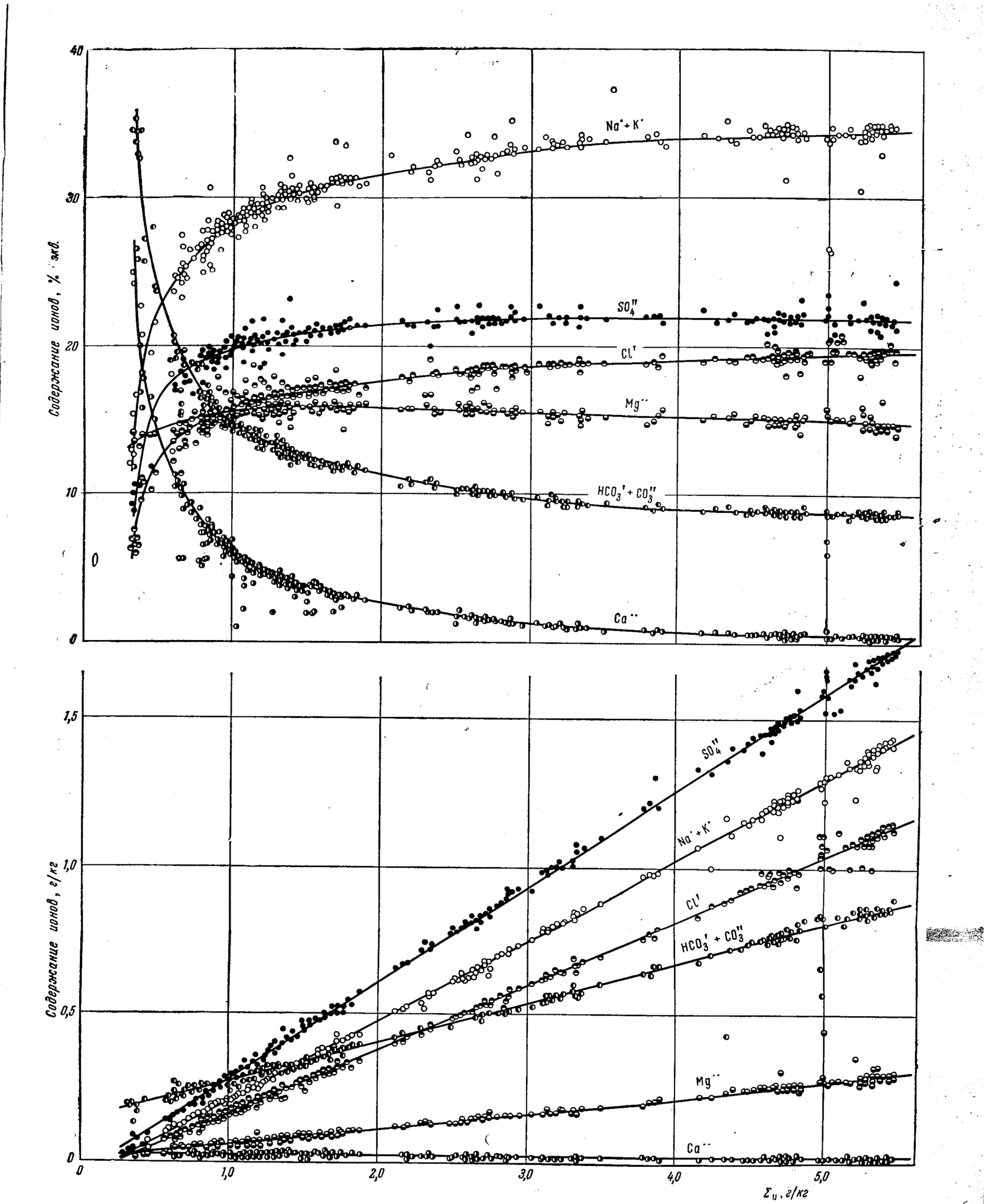


Рис. 56. Характер связи между ионным составом и минерализацией воды оз. Балхаш