

А К А Д Е М И Я Н А У К С С С Р

Т Р У Д Ы
ИНСТИТУТА ГЕОЛОГИЧЕСКИХ НАУК

ВЫП. 132. ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ СЕРИЯ (№ 53). 1951

Д. Г. САПОЖНИКОВ
СОВРЕМЕННЫЕ ОСАДКИ И ГЕОЛОГИЯ
ОЗЕРА БАЛХАШ



ИЗДАТЕЛЬСТВО АКАДЕМИИ НАУК СССР

ТРУДЫ ИНСТИТУТА ГЕОЛОГИЧЕСКИХ НАУК

вып. 132. ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ СЕРИЯ (№ 53). 1951

Гл. редактор чл.-корр. Н. С. Шатский

Отв. редактор чл.-корр. Н. М. Страхов

Д. Г. САПОЖНИКОВ

СОВРЕМЕННЫЕ ОСАДКИ И ГЕОЛОГИЯ
ОЗЕРА БАЛХАШ

ВВЕДЕНИЕ

С 1940 г. отдел сравнительной литологии Института геологических наук, по инициативе заведующего отделом Н. М. Страхова систематически проводил работы по изучению современных отложений. В качестве первоочередного объекта этих исследований было выбрано оз. Балхаш, работы на котором намечались еще академиком А. Д. Архангельским.

В летний сезон 1940 г. под руководством автора на оз. Балхаш работал отряд, который на катере «Вест» обследовал значительную часть площади водоема и собрал материалы, характеризующие его донные отложения. При этом в восточных плесах впервые был обнаружен характерный белый ил, оказавшийся редким и весьма своеобразным известково-доломитовым осадком.

Материалы, собранные за летний период, обрабатывались зимой 1940/41 г. литологическим отделом Института геологических наук под руководством Н. М. Страхова. При этом Э. С. Залманзон начала подробное изучение химического состава образцов илов, взятых с 10 станций, расположенных в разных частях озера. В дальнейшем эта работа была закончена ею в 1946 г. и защищена в качестве кандидатской диссертации. Н. М. Страхов с сотрудниками изучал состав карбонатной части илов и дал оригинальную концепцию образования доломита, изложенную им в работах, опубликованных в 1945 г. На долю автора пришлось разрешение общих вопросов процесса осадкообразования в водоеме.

Летом 1941 г. на Балхаше были продолжены исследования, которые велись автором с сотрудниками на судне «Казах». При этом собран дополнительный материал по донным отложениям и изучалась гидрохимия бассейна. Кроме того, были взяты колонки донных отложений озера.

Во время великой Отечественной войны исследование современных отложений оз. Балхаш продолжалось только частично в 1941 и 1942 гг. в г. Алма-Ата.

Работа по теме была возобновлена мною в 1944 г. и велась вплоть до 1946 г. За это время совершены две поездки на озеро (в летние периоды 1944 и 1945 гг.), причем собран материал по современным отложениям рек, впадающих в оз. Балхаш, а также и дополнительные данные

по гидрохимии и донным отложениям рек этого бассейна. Особо были поставлены длительные, с августа 1945 г. по май 1946 г., наблюдения над карбонатным режимом воды в восточном плесе бассейна, у пос. Бурлю-тюбе (исполнитель А. Л. Сапогова). Эти наблюдения дали новый материал, который позволил несколько дополнить существующие представления об углекислотном режиме в воде оз. Балхаш.

Всего за время работ взяты пробы осадков со 160 станций, разбросанных по всей площади озера, взят ряд колонок осадков озера, проведено бурение донных отложений со льда до глубины 7 м и собрано значительное количество образцов осадков соленых озер и речных русловых и пойменных отложений Прибалхашья.

Обработка накопившегося материала по современным отложениям оз. Балхаш с использованием результатов исследований Н. М. Страхова и Э. С. Залманзон была весьма трудоемкой, поэтому закончилась она только в 1947 г.

В работах по изучению отложений оз. Балхаш, кроме упомянутых выше сотрудников Института геологических наук, принимали участие: прораб Л. В. Токарев (1940 г.), микробиолог М. Д. Чумак (1940 г.), гидрохимик В. Д. Ковшин (1941 г.), микробиолог М. Б. Бабинская, студент IV курса биофака МГУ (1941 г.) и коллекторы В. И. Чернов (1941 г.) и О. А. Кузьмина (1945 г.).

Химические анализы проводили химики отдела сравнительной литологии А. Н. Разживина, Е. С. Шишова и Р. М. Михайлова под руководством Э. С. Залманзон. Спектроскопические анализы выполнены в лаборатории С. А. Боровика. Механические анализы проводились в лаборатории М. А. Жиркевич (1940 г.) и С. Г. Саркисяна (1945 г.). Минералы тяжелой фракции изучали Н. Д. Покровская и Л. В. Токарев, пыльцу — Е. Д. Заклинская, диатомовые — ассистент МГРИ А. П. Жузе.

Выражаю свою признательность всем лицам, принимавшим участие в обработке балхашского материала. Особую благодарность приношу члену-корреспонденту АН СССР Н. М. Страхову, который своими ценными указаниями во многом содействовал выполнению этой работы.

Глава 1

КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА БАССЕЙНА ОЗ. БАЛХАШ

Водосборный бассейн оз. Балхаш занимает огромную, около 500 000 кв. км, площадь в пределах Казахской ССР и сопредельной части Китайской Народной Республики (см. карту фиг. 1). Он включает в своей западной части степные пространства и полупустыни Центрального Казахстана, а на востоке охватывает ряд горных сооружений Северного Тянь-Шаня, хребет Джунгарский Алатау и Илийскую впадину.

Вся область, занимаемая бассейном оз. Балхаш, лежит в центральной части Азиатского материка и в соответствии с этим характеризуется резко континентальным сухим климатом. Лишь склоны и вершины хребтов располагаются в зоне более влажного и сурового высокогорного климата.

Элементы орографии

В пределах водосборного бассейна оз. Балхаш отчетливо выделяются два основных орографических типа. На севере и северо-западе расположены равнинные, относительно пониженные пространства, являющиеся областями аккумуляции. Они представляют собой неактивные части бассейна, поскольку речной сток с них в озеро практически отсутствует.

раздельного гребня, выровнены и представляют собой участки высоко приподнятого древнего пенеплена. Интересно отметить, что современные речные долины большей частью не связаны с основными морфологическими элементами Джунгарского Алатау. Они вытянуты в меридиональном направлении и пропиливают поперек хребты продольные межгорные и древние долины.

Хребет Заилийский Алатау на большом протяжении ограничивает описываемую область с юга. Он представляет собой горное сооружение, вытянутое с запада-юго-запада на восток-северо-восток на протяжении 250 км при незначительной ширине, порядка 40 км. Хребет имеет наибольшую высоту — около 5000 м — в средней части и постепенно снижается к западу и востоку. С севера к Заилийскому Алатау примыкает Илийская впадина, поверхность которой в частях, прилегающих к хребту, достигает абсолютной высоты 700 м.

В орографии Заилийского Алатау наблюдается ряд черт, роднящих его с Джунгарским Алатау: здесь на вершинах хребтов часто располагаются участки древней выровненной страны с пологими возвышенностями и широкими долинами. Современные речные долины обычно секут элементы древнего рельефа.

Чу-Илийские горы представляют собой группу возвышенностей, протягивающихся от западной оконечности хребта Заилийский Алатау до района южной оконечности оз. Балхаш и уходящих далее на север, в пределы Казахской складчатой страны. Поверхность их, поднимающаяся до высоты около 1000 м, имеет характер плато, на котором располагаются отдельные небольшие пологие вершины.

Хребет Тарбагатай, расположенный в крайней северо-восточной части описываемой области, отличается такой же морфологией, как и хребты юго-восточного Казахстана. Он представляет собой ряд платообразных массивов, расположенных друг над другом на различной высоте, не превышающей даже в водораздельной части 3000 м.

Хребет Боро-хоро тянется в широтном направлении от границы СССР в глубь Китайской Народной Республики и ограничивает здесь бассейн р. Или с севера. На вершинах его, поднимающихся в западной части выше снеговой линии, местами сохранились участки древнего выровненного рельефа. Предгорья хребта слабо расчленены и круто спускаются к пустынной каменистой степи, опоясывающей подножья. Речные долины режут хребет поперек. Они очень слабо разработаны и представляют собой в верховьях узкие щели, по дну которых струится вода, а ниже по течению — глубокие каньоны с отвесными стенами.

Равнинные пространства располагаются на северной и северо-западной окраине гор, отделяя горные сооружения системы Тянь-Шаня и Джунгарского Алатау от плато Центрального Казахстана.

В пределах этой полосы, в ее более широкой юго-западной части, расположена Балхашская впадина. Она ограничена с запада и севера оз. Балхаш, а с востока хр. Джунгарский Алатау. Поверхность ее в общем почти равнинная, лишь весьма постепенно поднимается в сторону ограничивающих горных сооружений. Далее к востоку, к предгорьям Джунгарского Алатау наклон поверхности несколько возрастает, но все еще измеряется ничтожно малой величиной.

Еще менее значительные изменения поверхности равнины наблюдаются по направлению с севера на юг. На протяжении около 200 км от южного берега оз. Балхаш в районе полуострова Узун-арал до предгорий Чу-Илийских гор относительные превышения нигде не превосходят 40 м. Лишь в предгорной части равнинные пространства быстро повышаются в сторону хребтов, но уже за пределами собственно Балхашской впадины.

Поверхность юго-восточного Прибалхашья, сложенного озерными и речными образованиями, обладает весьма характерной морфологией. Здесь можно выделить три основных генетически различных типа устройства поверхности.

К первому морфологическому типу относятся наиболее низкие части равнины, примыкающие к берегам озера и представляющие собой участки дна, только недавно освободившиеся от воды. Эти участки отличаются почти совершенно ровной поверхностью и только местами затронуты процессами развевания, которые привели к образованию небольших песчаных холмов и расположенных между ними западин выдувания.

Второй морфологический тип представляет собой аллювиальную равнину, пересеченную многочисленными сухими руслами р. Или и ее протоков. На берегах между руслами в результате деятельности ветра образовались бугристые пески. Песчаные бугры спускаются местами и в сухие русла. Устройство поверхности подобного типа характерно для западной части Балхашской впадины. Главное значение в моделировании поверхности здесь имела деятельность реки.

Преобладающим распространением в пределах Балхашской впадины пользуется третий тип устройства поверхности, представляющий равнину, покрытую бугристыми песками. Бугристые пески слагают большую часть территории юго-восточного Прибалхашья и возникли благодаря эоловой переработке выполняющих эту впадину аллювиальных отложений. Они развиты в пределах огромной территории, ограниченной на востоке предгорьями Джунгарского Алатау; северной границей их служит побережье оз. Балхаш. На юге бугристые пески распространяются вплоть до долины р. Или и затем переходят на ее южный берег.

Песчаные бугры чаще всего ориентированы в северо-западном направлении и разделены неглубокими западинами выдувания. Дно последних часто представляет собой небольшой такыр или сор. Бугры поднимаются над поверхностью западин на высоту 5—10 м; склоны их крутые, несколько асимметричные, большей частью поросшие редкими кустарниками. Местами часть песчаных бугров резко изменяет свое направление. Пониженные пространства между буграми чаще всего сложены с поверхности глиной. Иногда, особенно на участках, тяготеющих к восточным плесам оз. Балхаш, в этих западинах на поверхности лежит пласт солей (чаще всего сульфата натрия). Иные западины, на дне которых также залегает пласт солей, представляют собой пересохшие озера.

Рельеф района нижнего течения р. Или сходен с только что описанным. Здесь располагается огромная низина, занятая бесчисленным количеством неглубоких озер и поросших камышами заболоченных пространств, соединяющихся друг с другом руслами, рукавами и протоками в одну водную систему.

Впадины, занятые озерами, имеют форму котловин выдувания и разделены грядами бугристых песков. Это свидетельствует о том, что вода залила пространства между буграми, а сами бугры превратились в острова, перемычки между озерами и в берега их.

Повидимому, вся область нижнего течения р. Или в самое недавнее время испытала прогибание, и развитые здесь бугристые пески оказались затопленными водой р. Или. Сама же река именно в результате недавнего прогибания изменила свое первоначальное северо-западное направление и оставила старые русла, известные в настоящее время под именем сухих русел — Баканасов.

Рельеф северного и западного Прибалхашья резко отличается от описанного выше и полностью сходен с рельефом Центрального Казахстана. В общем все северное и западное Прибалхашье представляет плато высотой 400—500 м с типичным для Казахстана мелкосопочником.

Не останавливаясь на характеристике рельефа плато, укажу лишь на две особенности его, наблюдающиеся близ побережий оз. Балхаш.

Первая особенность заключается в том, что на поверхности плато, в части, наклоненной в сторону Балхашской впадины, местами наблюдаются террасообразные, выровненные поверхности, спускающиеся крутыми уступами к озеру.

Остатки подобной же поверхности встречены нами на острове Басарал в юго-западной части озера. Здесь поверхность сложена третичными (палеогеновыми) глинами, имеющими в подоле палеозойские образования; верхние горизонты отложений представлены галечниками предположительно неогенового возраста.

Описанные поверхности можно рассматривать как высокие третичные террасы, образовавшиеся после сокращения третичного бассейна. Следовательно, современная аккумуляция происходит на более низком уровне, чем третичная, что свидетельствует о молодых прогибаниях Балхашской впадины.

Вторая интересная особенность рельефа наблюдается на западе, на территории побережья Мын-арал. Она заключается в чрезвычайной изрезанности береговой линии и наличии многочисленных островов близ берега. Само название Мын-арал в переводе на русский язык означает «Тысяча островов». Подобная конфигурация береговой линии указывает на то, что западное побережье в районе Мын-арала недавно опустилось ниже уровня воды в озере. При этом затопленные долины образовали многочисленные заливы, а сопки — участки берега между ними и острова далее в озере. Можно предположить, что сюда доходит область того же прогибания, которое отчетливо проявляется в нижнем течении р. Или.

Схема геологического строения бассейна оз. Балхаш

Геологическое строение территории, занимаемой водосборным бассейном оз. Балхаш, сложно и различно для отдельных регионов, входящих в ее пределы. Не задаваясь целью дать сколько-нибудь подробный обзор геологии Балхашского бассейна, ограничусь приведением самой общей схемы его геологического строения.

В структурном отношении бассейн оз. Балхаш неоднороден. В нем выделяются следующие структурно-геологические единицы: 1) области молодых поднятий, захватывающие хребты северного Тянь-Шаня, а также Джунгарский Алатау, Халык-тау, Боро-хоро и некоторые другие; 2) межгорные впадины — Илийская и частью Алакульская; 3) палеозойская платформа Центрального Казахстана (район северо-западного Прибалхашья) и 4) Балхашская впадина (включающая все юго-восточное Прибалхашье, начиная от оз. Балхаш до Чу-Илийских гор, Заилийского и Джунгарского Алатау).

Все эти структурные единицы отличаются друг от друга особенностями стратиграфии, литологического состава пород и тектоники.

Палеозой и мезозой

Области молодых поднятий, включающие перечисленные выше хребты и горные сооружения, слагаются в главной своей части палеозойскими породами, среди которых можно выделить нормальные осадочные образования, породы эффузивного комплекса, интрузивные и метаморфические породы.

Среди осадочных пород наиболее распространены конгломераты и всевозможные песчаники, а также песчанистые и глинистые сланцы.

В нижних горизонтах толщи палеозойских отложений сланцы часто представлены глинисто-хлоритовыми и серицитовыми разностями, переходящими в филлиты. В верхних частях разреза это нормальные осадочные, не затронутые метаморфизмом породы. Песчаники обладают различным составом, чаще всего встречаются аркозовые и полимиктовые разности. Часто встречаются также туфо-песчаники, связанные непрерывными переходами с туффитами и туфами.

В подчиненном количестве среди осадочных толщ встречаются известняки, мергели и доломиты, а также кремнистые сланцы и другие образования.

Осадочные породы палеозойского возраста переслаиваются с эффузивами, среди которых выделяются кислые кварцевые порфиры, фельзиты и альбитофиры, лавы среднего, преимущественно андезитового состава и основные излияния, представленные порфиритами, диабазовыми порфиритами и другими породами.

В крайней восточной части бассейна, в хребтах Боро-хоро и Халык-тау нижний и средний палеозой сложены преимущественно известняками и другими карбонатными породами, которые кроются сланцево-эффузивной толщей верхнего палеозоя, представленной мощной серией кремнистых сланцев с включениями пластовых залежей эффузивов.

В геологическом строении горной части бассейна оз. Балхаш значительную роль играют интрузии, рвущие толщу осадочных и эффузивно-осадочных образований и метаморфизующие их. При этом резко преобладают кислые интрузии — граниты, гранитоиды и породы типа аляскистов. Основные и ультраосновные породы встречаются гораздо реже и тела их обладают небольшими размерами.

Осадочные породы интенсивно дислоцированы — смяты в крутые складки, осложненные многочисленными разломами. Многие из них имеют региональное значение.

Разрывные дислокации, как правило, развиваются длительно. Некоторые из них возникли еще в палеозое и неоднократно обновлялись в течение мезозоя и кайнозоя.

Горные сооружения района чрезвычайно сходны между собой по тектонике, истории геологического развития и морфологии. Они обычно представляют крупные пологие складки палеозойского субстрата, осложненные разрывными дислокациями. Палеозойские породы несут местами покров третичных образований.

Зарождение этих антиклиналей началось еще в мезозое (восточная часть района), однако формирование основной складчатой структуры молодых поднятий пришлось на третичный период и наибольшей интенсивности достигло к концу неогена и началу четвертичного периода.

Обширные территории палеозойской платформы Центрального Казахстана, примыкающие к оз. Балхаш с запада и севера и входящие в его водосборный бассейн, сходны по своему геологическому строению с описанной ранее горной областью. Главную роль и здесь играют палеозойские, преимущественно осадочные породы, слагающие большую часть описываемой территории. Осадочные породы переслаиваются с эффузивными, причем и те и другие во многом сходны с описанными выше породами горной области. Однако имеются и существенные отличия. Так, в составе осадочных толщ Центрального Казахстана появляются яшмы и яшмо-кварциты, играющие существенную роль в составе нижнепалеозойских отложений. Эффузивные породы представлены здесь преимущественно кислыми разностями, средние по составу и особенно основные отступают на задний план. Среди интрузивных пород, как и в горной области, преобладают кислые породы гранодиоритового ряда. Наряду с ними встречаются отдельные мелкие тела ультраосновных пород

(в северном Прибалхашье). Особого развития достигают в северозападном Прибалхашье так называемые вторичные кварциты, представляющие собой главным образом эффузивные образования, сильно измененные гидротермальным процессом и процессами контактового метаморфизма.

Палеозойские породы Прибалхашья также интенсивно дислоцированы, преимущественно пликтивными дислокациями. Разрывные дислокации встречаются относительно редко. В пределах Балхашской впадины и межгорных Илийской и Алакульской впадин палеозойские породы скрыты чехлом мезо-кайнозойских образований.

Весь юго-восточный Казахстан в палеозое входил в состав огромной Урало-Тяньшаньской геосинклинали, переживавшей в то время весьма сложную историю. Не останавливаясь на более подробной характеристике геологического развития нашей области в палеозое, отмечу только, что она в верхах его — в верхнем карбоне и в перми — испытала последовательно ряд фаз складчатости, которые привели к тому, что на месте современного Прибалхашья, так же как и на месте всей геосинклинали, возникла горная страна. Вся область, начиная от Урала на западе и кончая горными сооружениями Тянь-Шаня и Джунгарии на востоке, превратилась при этом в огромную палеозойскую платформу. Интересно отметить один знаменательный факт, подчеркивающий некоторое своеобразие описываемой области. Прибалхашье и весь юго-восточный Казахстан относятся к числу таких частей Урало-Тяньшаньской геосинклинали, где палеозойские тектонические и связанные с ними другие процессы продолжались дольше всего. В этой области наиболее длительный период сохранялись геосинклинальные условия, и она позднее, чем соседние территории, превратилась в палеозойскую платформу. Эта особенность заслуживает внимания потому, что, как указано ниже, как раз здесь в первую очередь с особенной силой разыгрались тектонические процессы, проявившиеся в более поздние этапы развития области в кайнозое.

Верхнепалеозойский орогенез привел к тому, что на месте современного юго-восточного Казахстана возникла складчатая область. Она представляла собой в первое время горную страну, значительно приподнятую над уровнем моря. В конце палеозоя и в начале мезозоя здесь господствовали преимущественно процессы денудации и выноса материала. Это привело к тому, что нижние горизонты мезозойских образований отсутствуют и известны только более молодые юрские.

Наиболее древние достоверно мезозойские (юрские) образования встречаются в крайней восточной и юго-восточной частях области в Алакульской и Илийской впадинах. Юрские отложения представлены кирпично-красными конгломератами, желтыми конгломерат-песчаниками, серыми и красными глинами и песчано-глинистыми сланцами. Эти отложения включают прослойки угля и углистого сланца. Юрский возраст этой толщи определяется находками флоры *Nilssonia gracilis* Nath. и *Anotozamites*. Упомянутые отложения представляют собой нижнюю часть серии юрских образований. Они залегают слабо наклонно, падая под углом 10—15°.

В восточной части Алакульской впадины юрские отложения представлены, по Е. Д. Шлыгину (1936), свитой терригенных пород. Свита складывается песчаниками — желтыми, бурыми и зелеными, глинами — красно-бурыми, бурыми, охристыми и белыми, а также малиновыми глинистыми сланцами и мергелями. В основании этой толщи, на интенсивно дислоцированном палеозое несогласно залегает базальный конгломерат. Юрские отложения слабо дислоцированы и падение их не превышает 20—25°. Юрский возраст описанных образований определяется

флорой, среди которой встречены *Cladophlebis* ex gr. *haiburnensis* L. et H., *Phoenicopsis* cf. *speciosa* Неег и *Pityophyllum angustifolium* Nath.

За пределами описанных участков в Илийской и Алакульской впадинах доказанных юрских образований в юго-восточном Казахстане не встречено.

Отложения меловой системы выделяются лишь в южных районах описываемой территории и только предположительно. Они сосредоточены почти исключительно в восточной и средней частях Илийской впадины.

В восточной части Илийской впадины меловые отложения представлены песчаниками, обычно крупно- и среднезернистыми, вверху белыми — кварцевыми, подстилаемыми светлыми, иногда почти белыми известковистыми конгломератами, лежащими с угловым несогласием на юрских образованиях. Все эти отложения не содержат фауны и относятся к мелу в значительной степени условно.

Далее к западу меловые отложения представлены своеобразной серией костеносных отложений. Они слагаются здесь песчаниками с прослоями конгломератов и слюдистыми среднезернистыми песками. Конгломераты слагаются средней по величине хорошо окатанной галькой изверженных пород. Цемент конгломератов гипсовый, переполненный песчаным материалом. Углекислый кальций в цементе не обнаружен. Кроме галек, в конгломератах встречены окатанные обломки костей позвоночных — *Ceratopsidae*, *Stegosauridae* и более редких *Trachodontidae* и *Ornithomimidae*. Здесь указываются как верхнеюрские, так и нижнемеловые и даже верхнемеловые формы. Вместе с костями встречены остатки стволов деревьев. Костеносная серия окрашена в разные оттенки красного цвета, а в ожелезненных участках — в черный цвет. Эти отложения описаны А. Кириковым (1927), И. А. Ефремовым (1931 и 1944) и позже другими авторами. Западнее аналогичные образования были встречены в пределах плато Карой и в Голодной степи, где в них также присутствуют в большом количестве рептилии.

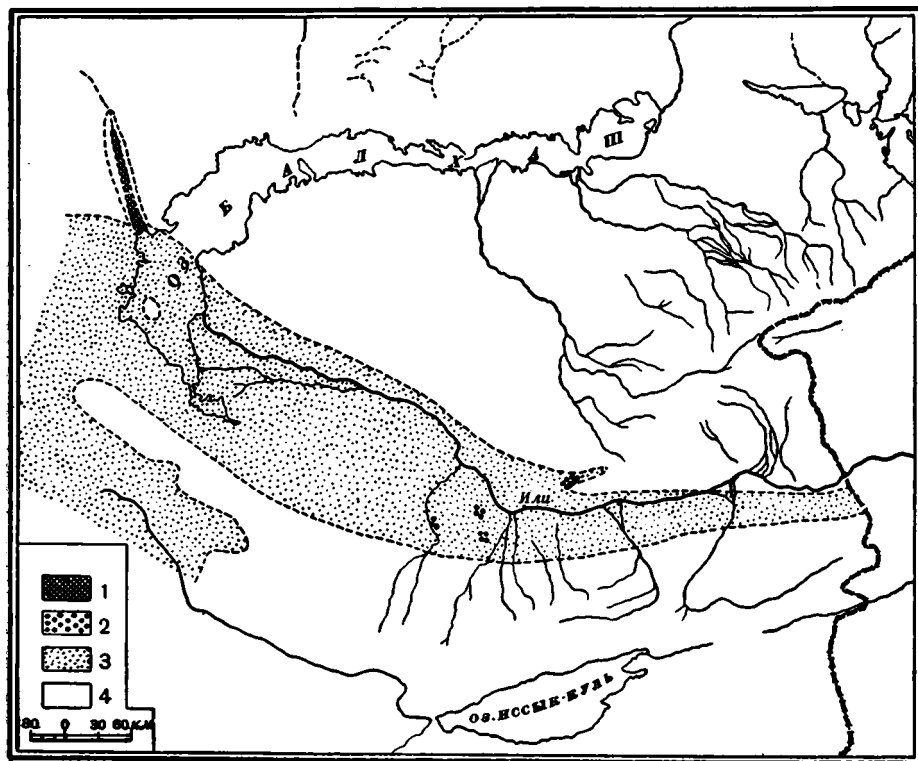
Следовательно, можно предполагать, что накопление осадков мелового периода в пределах Казахстана имело место. Область их развития протягивалась полосой широтного простирания, располагающейся на месте современной Илийской долины. Эта область накопления континентальных меловых пород представляла собой депрессию, которая далее к западу переходила в обширную пониженную область, располагавшуюся на территории современной Голодной степи.

В то время как в пределах окраинных — восточных и южных районов юго-восточного Казахстана протекали процессы седиментации, приведшие к накоплению юрских и меловых отложений, большая часть юго-восточного Казахстана и все Прибалхашье представляли собой область накопления коры выветривания мезозойского возраста, залегающей на породах палеозоя и образовавшейся вследствие их разрушения. В некоторых местах эти образования перекрываются третичными осадками. Породы коры выветривания иногда выходят на поверхность, однако хорошие обнажения их встречаются редко. Это своеобразно окрашенные породы — белые, желтые, серые и розовые, сложенные глинистым каолиновым веществом, сохранившим следы первоначальной структуры и первоначального сложения пород, за счет которых эти глины образовались. Кроме того, в глинах наблюдается щебень первоначальных пород, а также многочисленные совершенно неокатанные зерна и кристаллы минералов, преимущественно кварца.

Среди пород коры выветривания здесь привлекают внимание: 1) конгломераты, галька и цемент которых в равной степени выветрели, переработаны и почти нацело замещены минералами глин; в общей массе породы первоначальное сложение конгломерата все же хорошо заметно;

сохранились контуры галек, структура цемента и т. д.; 2) изверженная порода, почти полностью замещенная минералами глин, местами сохранившая лишь отдельные полуразрушенные участки, обладающие порфировой структурой, некогда свойственной исходной породе. Полная мощность описываемых образований не установлена.

Подобные же глинистые породы неоднократно встречены и в северо-восточном Прибалхашье. Повидимому, кора выветривания была здесь весьма широко развита, подобно тому, как она распространена в пределах прилегающих частей Центрального Казахстана и далее к западу.



Фиг. 2. Схематическая карта областей сноса и седиментации верхнего мела.

1 — галечники и выполнения древних долин предположительно верхнемелового возраста; 2 — верхнемеловые отложения, перемытые; 3 — области седиментации; 4 — области сноса и области развития коры выветривания.

на Урале. В описываемом районе нет достоверных данных, позволяющих определить возраст коры выветривания. По аналогии с другими областями ее распространения, можно думать, что она имеет различный возраст.

Расположение областей сноса и седиментации верхнего мела юго-восточного Казахстана схематически воспроизведено на карте фиг. 2. Как видно, все Прибалхашье и большая часть территории юго-восточного Казахстана представляли собой в мелу область формирования пород коры выветривания и частично область сноса. Эта область характеризовалась более или менее стабильным тектоническим режимом. Орографически она представляла собой полого-волнистое плато, умеренно приподнятое над уровнем моря. Накопление осадков происходило лишь в пределах узкой полосы, проходившей на месте современной Илийской впадины и южной части Балхашской.

Интересно отметить, что отложения, которым предположительно приписывается верхнемезозойский возраст, прослеживаются по долине р. Мойнты на значительном расстоянии от устья. Лишь в Алакульской (юра) и Илийской (юра и мел) впадинах происходили процессы более или менее интенсивного осадконакопления. Они были порождены движениями земной коры — прогибанием впадин, как Алакульской, так и, особенно, Илийской, и поднятиями сопредельных территорий, о чем свидетельствуют состав и мощность осадков.

Третичные отложения

Отложения третичной системы в пределах юго-восточного Казахстана широко развиты во впадинах, но встречаются также в виде тонкого покрова местами в горных сооружениях. На большей части интересующей нас территории они представлены весьма однообразной толщей глинистых отложений. Лишь местами они включают прослой песчаного материала и гравия, а в восточных районах и главным образом в верхах разреза — еще и прослой конгломератов и брекчий. В пределах горных сооружений, особенно Джунгарского Алатау, и на примыкающих к ним территориях заметно возрастает роль песчаного и более крупного обломочного материала.

Глины чаще всего жирные, пластичные, окрашенные в красный, бурый, серый, розовый, желтый, иногда зеленый и некоторые другие цвета. Иногда окраска пятнистая. Глины слагаются главным образом тонким пелитовым материалом. На долю алевроитового и тонкопесчанистого вещества в этих породах приходится лишь незначительная часть.

Наряду с этим встречаются глины, несколько более обогащенные обломочным материалом и содержащие примесь песка и даже щебня. Такие разности породы в Прибалхашье, как правило, встречаются реже.

Характерной особенностью описываемых образований является присутствие в них гипса, обычно встречающегося в виде отдельных мелких кристалликов в породе, а иногда в виде крупных скоплений и целых прослоев, выдерживающихся на значительном протяжении и кое-где разрабатывающихся.

Третичные глины обращают на себя внимание еще и тем, что они не содержат остатков растений; даже пыльца растений в них не обнаружена.

Остатки фауны также обычно не встречаются в описанных образованиях. Вследствие этого возраст их определяется в значительной степени условно, по аналогии с подобными образованиями других частей Казахстана и Средней Азии. Обычно этим глинам приписывается палеогеновый возраст. Не исключено, однако, что наиболее низкие горизонты толщи глин начали отлагаться в верхнем мелу, а верхние части ее продолжали накапливаться еще и в неогене.

Третичные отложения широко распространены по северному и западному берегам оз. Балхаш, где они встречаются главным образом в пределах пониженных участков. Местами глины перекрываются галечниками и песчано-гравийными отложениями, относимыми условно к неогену.

По северному берегу оз. Балхаш в верхней части толщи глин встречаются отдельные прослои песчано-глинистых пород и маломощный горизонт брекчий.

На восточном побережье оз. Балхаш, по Б. К. Терлецкому, широко развиты отложения так называемой балхашской свиты. Они представлены чередованием «слоев гальки и гравия со слоями мелко- и среднезернистых песков». В песках найдены раковины моллюсков, которые, по определению Е. И. Ивановой, оказались *Corbicula fluminalis* Müll. Нижние

горизонты балхашской свиты слагаются чередованием песков с прослоями красных глин. Возраст ее определяется как верхний плиоцен.

Третичные отложения были встречены приборами на дне оз. Балхаш в районах трех станций, а также на южном берегу озера.

Восточные выходы третичных отложений обнаружены и во многих пунктах северных предгорий Джунгарского Алатау. Южнее эти отложения широко представлены по западному склону Джунгарского Алатау, а также в пределах Илийской впадины и по северному склону Заилийского Алатау.

В северной части Джунгарского Алатау комплекс третичных пород С. В. Калесник выделил в особую алакульскую свиту. Нижняя часть ее слагается красными глинами. Верхняя часть алакульской свиты представлена в западной части северных предгорий Джунгарского Алатау конгломератами то грубыми, плохо отсортированными, то более мелкогалечными, гравийными. Материал мелкогалечных конгломератов хорошо окатан и отсортирован.

Восточнее разрез третичных образований слагается почти исключительно глинистыми породами. Внизу залегает голубая глина, сменяющаяся пластом гравия, который в свою очередь перекрывается темно-красной глиной с зелеными и голубоватыми пятнами. Далее к востоку и северо-востоку в разрезах вскрывается толща глин, лишенная пластов песчаников и конгломератов. Таким образом, в пределах северного склона Джунгарского Алатау в верхней части толщи третичных отложений наблюдается по направлению с запада на восток постепенный переход конгломератов в песчаные глины и далее на северо-восток — в пластичные глины, иногда мергелистые и содержащие прослои мергелей.

Возраст пород алакульской свиты определен С. В. Калесником на основании находок костей *Carnivora* и *Artiodactyla* как олигоцен-миоцен. Следовательно, нижним горизонтам развитых здесь красных глин можно, в значительной степени условно, приписать палеогеновый возраст. Верхние же горизонты толщи третичных отложений, также условно, могут быть отнесены к миоцену, а возможно и к плиоцену.

Южнее, в пределах Илийской впадины, разрез третичных отложений резко увеличивается в мощности и изменяется по литологическому составу пород.

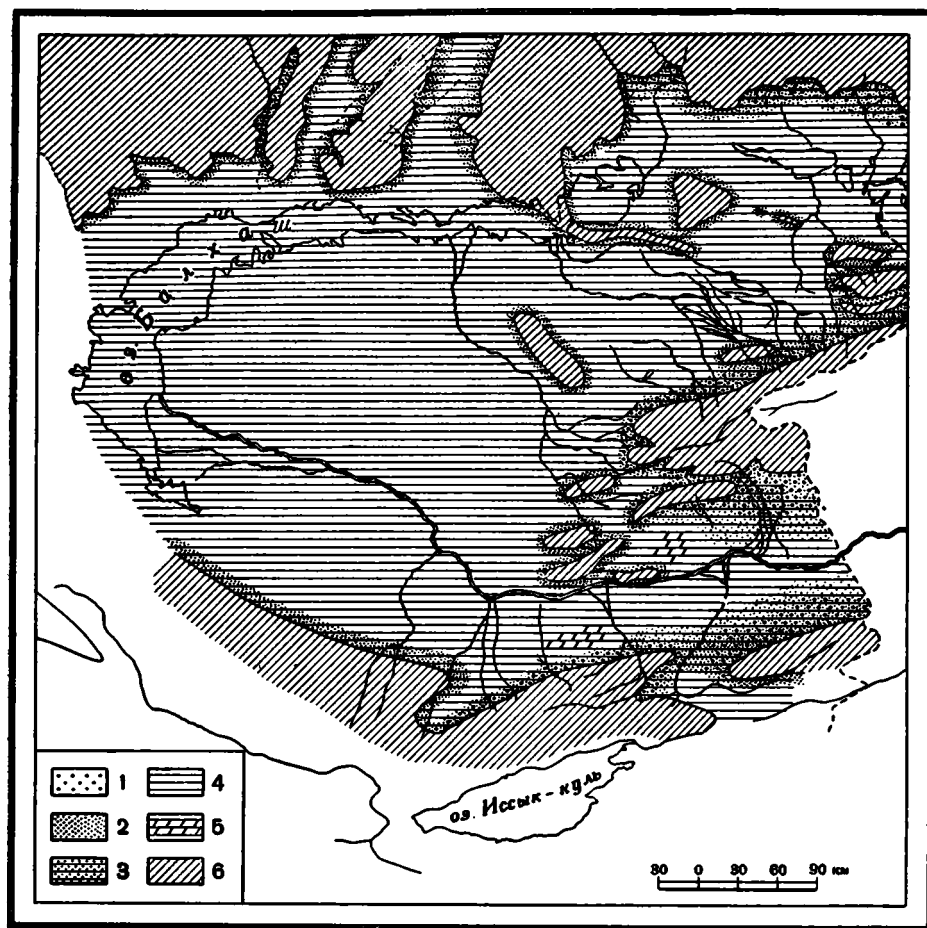
Палеогеновая толща начинается здесь прослоем известняка и заканчивается конгломератами розового и коричневого цвета. В разрезе преобладают глинистые и песчано-глинистые образования, а также галечники и конгломераты. Цвет палеогеновых толщ преимущественно красный. Неогеновые отложения представлены внизу песчаными и песчано-глинистыми образованиями, которые вверх заменяются конгломератами, совершенно вытесняющими близ кровли толщи другие породы. Породы неогена окрашены преимущественно в палево-желтый цвет.

В южной части впадины характер разреза вновь изменяется. Здесь развиты преимущественно песчано-глинистые породы относительно малой мощности.

Третичные отложения Калканских гор слагаются песчано-глинистыми образованиями, включающими прослои мергелей.

В. В. Галицкий, работавший в этом районе, указывает, что в сторону южных предгорий Джунгарского Алатау разрез третичных отложений несколько изменяется. Здесь наряду с красными глинами, слагающими главную часть разреза и особенно нижние горизонты, появляются внизу прослои известняков и мергелей, а в верхних горизонтах разреза начинает преобладать галечниковый материал. Нижние горизонты разреза представляют палеогеновые образования, тогда как верхние предположительно относятся к неогену.

По южному склону Джунгарского Алатау, третичные отложения сложены красными глинами, вязкими, карбонатными, содержащими кристаллы гипса и прослой щебня. Выше лежит толща песчано-глинистых пород с прослоями гальки. Наконец, в самых верхних горизонтах песчано-глинистая толща содержит пласт красной глины. Весьма условно, по аналогии с соседними районами, можно полагать, что нижняя глинистая



Фиг. 3. Схематическая карта распространения типов осадков и областей сноса.
Палеоген (олигоцен).

1 — галечники и конгломераты; 2 — пески; 3 — песчано-глинистые породы; 4 — глины;
5 — мергели; 6 — области сноса.

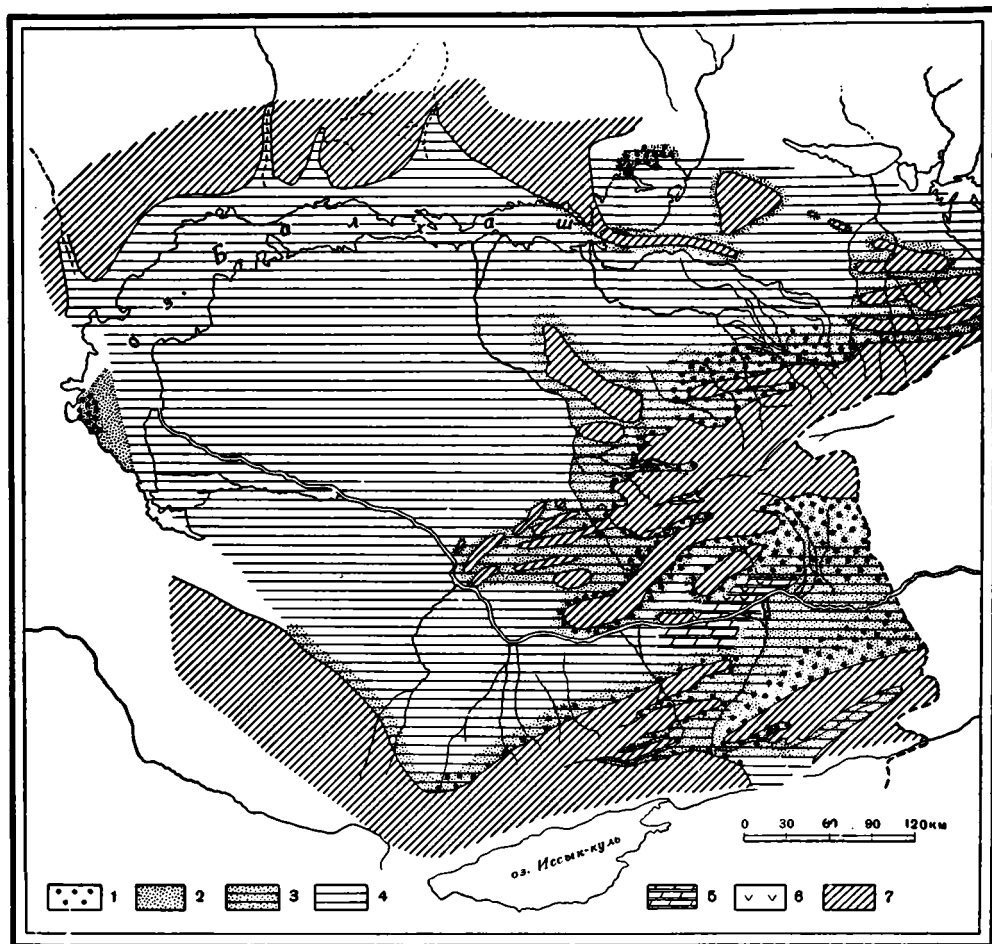
часть этого разреза относится к палеогену, тогда как верхней, возможно, следует приписать неогеновый возраст.

В последнее время Н. Н. Костенко изучены третичные отложения в северных частях Кунгей Алатау. Эти отложения начинаются здесь толщей известковых глин красно-бурого и шоколадного цвета, включающих тонкие прослой конглобрекций. В глинах встречена фауна пелеципод, которая позволяет датировать включающие ее отложения как плиоцен.

Выше располагается толща галечников. Можно полагать, что нижние горизонты глинистой толщи начали отлагаться значительно ранее плиоцена, вероятно еще в палеогене.

По северному склону Заилийского Алатау в нижних частях толщи третичных отложений залегает горизонт известняков, который вверху переходит в кластическую толщу. Последней большинство исследователей приписывает неогеновый возраст.

Характеристика третичных отложений была бы неполной без указания на то, что они в горной части сплошь бывают дислоцированы. Кроме



Фиг. 4. Схематическая карта распространения типов осадков и областей сноса. Неоген (миоцен).

1 — галечники и конгломераты; 2 — пески; 3 — песчано-глинистые породы; 4 — глины; 5 — глины и мергели; 6 — гипсы; 7 — области сноса.

того, они располагаются на различной высоте над уровнем моря. В Прибалхашье они располагаются относительно невысоко. В пределах Джунгарского Алатау третичные отложения залегают на различных отметках. На северном склоне они наиболее высоко приподняты; на южном склоне они расположены на еще более значительных высотах.

Анализируя состав палеогеновых глин, можно прийти к заключению, что они отлагались в водной среде в условиях неглубокого бассейна, покрывавшего большую часть юго-восточного Казахстана, или в многочисленных мелких озерах этой области.

На прилагаемой карте (фиг. 3) сделана попытка воссоздать расположение различных типов осадков и областей сноса в палеогене. При рассмотрении карты видно, что в то время почти весь юго-восточный Казахстан представлял собой бассейн, ограниченный на западе и севере палеозойскими структурами Центрального Казахстана. На востоке, на месте современного Джунгарского Алатау и других хребтов, начались поднятия и располагалась группа островов. От Туркестанского третичного моря этот бассейн отделялся участками суши, находившимися на месте современных Чу-Илийских гор.

Можно предполагать, что в палеогене процессы эрозии не отличались интенсивностью, — преобладал смыв, а не донная эрозия. В связи с этим были размыты и переотлагались самые верхние горизонты пород, которые в то время были представлены в описываемой области почти повсеместно глинами коры выветривания. Литологически сходные с ними глинистые породы палеогена захватывают в своем распространении значительную часть тех участков, где в настоящее время находятся горные сооружения Заилийского и Джунгарского Алатау. Это несомненно указывает на то, что в палеогене на месте упомянутых хребтов выдавались лишь небольшие и невысокие участки, в то время как остальная часть территории, занятой в настоящее время Джунгарским и Заилийским Алатау, была покрыта водой.

В неогене продолжали развиваться поднятия, наметившиеся еще в палеогене. Это хорошо видно при сравнении схемы распространения типов осадков и областей сноса неогена (фиг. 4) и палеогена. Увеличилась площадь горных сооружений за счет сокращения водного бассейна, покрывавшего юго-восточный Казахстан. Соответственно с этим в толще неогеновых пород и особенно в верхах ее значительную роль приобретает грубообломочный материал. В далеких от гор частях бассейна — в пределах Балхашской впадины — шло отложение глинистых осадков, во многом сходных с глинами палеогена. Здесь же местами отлагались мергели, а в отшнуровавшихся частях бассейна шла садка гипса.

Поднятия, происходившие в области современных хребтов, как и в палеогене, компенсировались прогибаниями во впадинах. Особой интенсивности достигли процессы прогибания в Илийской впадине, где, как следствие этого, отложились толщи пород громадной мощности. Значительно менее интенсивным было прогибание в Балхашской впадине: там, судя по мощностям разрезов третичных отложений (расположенных, правда, в краевой части этой структурной единицы), оно не превышало 100 м. Однако процессы прогибания захватили здесь огромную площадь.

Четвертичные отложения

В пределах всего юго-восточного Казахстана четвертичные отложения распространены широко, но крайне неравномерно. Они заметно отличаются от лежащих ниже третичных образований и, следовательно, отлагались в существенно иных физико-географических условиях.

Среди четвертичных отложений области выделяются более древние и современные образования. Все они в совокупности слагают единую формацию озерно-аллювиальных отложений, в состав которой как часть входят современные осадки оз. Балхаш.

Древние четвертичные отложения в горах юго-восточного Казахстана представлены преимущественно моренами и другими образованиями ледникового комплекса, а также аллювиальными отложениями, развитыми на надпойменных террасах речных долин. Меньшую роль играют среди них элювиальные и делювиальные образования.

В области предгорий и в пределах аккумулятивных равнин (впадин) четвертичные отложения представлены аллювиальными и аллювиально-пролювиальными образованиями, к которым у подножий гор примешивается делювиальный материал, а также и древними озерными и эоловыми образованиями.

Серия четвертичных пород юго-восточного Казахстана, сложенная большим количеством различных по генезису и по составу образований, разделяется на несколько комплексов. Каждый из них сложен также различными по генезису образованиями: конечными моренами — в горах, отложениями террас — в речных долинах, отложениями конусов выноса — в области предгорий, и аллювиальными и озерными отложениями — во впадинах. Однако все эти образования соответствуют единой по времени стадии развития юго-восточного Казахстана и находятся в определенных соотношениях с породами других комплексов.

Н. Н. Костенко, посвятивший много лет детальному изучению четвертичных отложений юго-восточного Казахстана, выделяет четыре таких комплекса: эоплейстоценовый, мезоплейстоценовый, неоплейстоценовый и голоценовый, или современный. Каждый из них был связан с определенным оледенением или же, по мнению отдельных авторов, с одной из стадий единого оледенения, имевшего место в горах в течение всего четвертичного периода.

В связи с такой особенностью строения плейстоценовых образований достаточно рассмотреть отложения какого-нибудь одного комплекса, для того, чтобы создать представление о всех четвертичных отложениях этой части Казахстана. В качестве примера ниже подробно охарактеризованы отложения наиболее типичного мезоплейстоценового комплекса, в состав которого входят породы, образовавшиеся за время второго, по Н. Н. Костенко, оледенения. Данные, характеризующие четвертичные отложения другого возраста, приводятся как материал для сравнения.

Мезоплейстоценовый комплекс включает, по Н. Н. Костенко, древние конечноморенные валы, связанные с ними высокие вторые террасы, верхний ярус конусов выноса, расположенных в предгорной полосе и сливающихся у выхода речных долин на равнину с поверхностью высоких террас, а также другие образования.

Конечноморенные валы располагаются в пределах высокогорной части хребтов юго-восточного Казахстана и приурочены к троговым долинам, в которые врезаны русла современных рек. Эти морены лежат на высоте 2300—2700 м.

Морены представлены валунно-галечниковой толщей, состоящей из накопления малоотсортированных и плохоокатанных валунов, щебня, гальки и дресвы. Нередко валуны и глыбы величиной до 3—4 м перемежаются здесь с мелкой галькой, щебнем и песком. Состав гальки и глыб весьма разнообразен и, естественно, близко отражает состав коренных пород, слагающих местность.

Кроме описанных конечных морен, в пределах современных речных долин выше по течению расположены еще два яруса конечноморенных валов. Это морены более молодых оледенений, а также конечные морены современных ледников.

Следует отметить, что в высокогорной части хребтов Джунгарского и Зайлийского Алатау во многих местах встречен покров донной морены, часто приуроченный к древним долинам, не совпадающим с современной гидрографической сетью. Такой покров связывают с более древним эоплейстоценовым оледенением.

Высоты залегания моренного покрова и конечноморенных валов в пределах Джунгарского и Зайлийского Алатау приведены в табл. 1.

Абсолютная высота залегания морен (в м)

	Зайли́йский Алатау	Джунга́рский Алатау
Моренный покров первого оледенения	3200—3400	2800—3200
Конечные морены второго »	2500—2700	2300
» » третьего »	2800—3300	3000—3200
» » современных ледников	2700—3400	2900—3560

Не вдаваясь в подробную характеристику образований, слагающих конечные морены, отмечу лишь, что все они по составу чрезвычайно сходны между собой и соответствуют приведенному выше краткому литологическому описанию.

С конечноморенными накоплениями описываемого комплекса связываются верхние (вторые) надпойменные террасы речных долин, высота которых в долинах разных речных систем и даже отдельных рек различна. Кроме того, высота террас непостоянна и в пределах одной речной долины: обычно она больше в верховьях и заметно снижается к устью.

В Джунгарском Алатау высота террас в ряде случаев возрастает от верховий к устью.

Строение речных террас в горной части долин и связанных с ними конусов выноса достаточно однообразно и может быть сведено к следующей схеме. В основании залегает более или менее мощная толща галечников; выше лежит светложелтый суглинок, составляющий верхнюю часть террасы. Галечники в верхней части долин плохо отсортированы и нередко слагают всю толщу террасовых отложений. Гальки здесь слабо окатаны. Ниже по реке галечники лучше отсортированы и слагающие их гальки хорошо окатаны; здесь к ним примешивается песчаный материал. Верх разреза также сложены суглинками, светложелтыми, внизу песчаными, содержащими дресву и щебень. Еще ниже по течению, в тех местах, где террасы переходят в конусы выноса, галечник, лежащий в их основании, обычно плотный, хорошо окатанный, часто цементированный песком и карбонатизированным суглинком. Величина галек колеблется в значительных пределах. Над слоем галечников здесь залегают лёссовидные суглинки желтовато-серые, светложелтые и палевые, пористые, пылеватые и карбонатизированные. В нижних частях слоя суглинков содержатся линзы галечника, гравия и песка. Местами наблюдаются мелкие кристаллы гипса.

Такая схема строения в некоторых случаях нарушена, однако нижний галечниковый горизонт всюду сохраняется. Верхний горизонт в ряде разрезов замещен песчаниками, песками или другими образованиями. Так, в одной из впадин в Джунгарском Алатау видно налегание на валунно-галечниковую толщу полимиктовых песчаников, перекрытых пластом озерного мергеля.

К северу от подножий Зайли́йского Алатау, в пределах краевой части Илийской депрессии, верхние горизонты четвертичных образований сложены здесь почти исключительно лёссовидными суглинками, покров которых увеличивается в мощности по мере удаления от гор на север, к долине р. Или. Нижние горизонты представлены песками и глинами, содержащими включения гравия.

По данным Н. Н. Костенко, лёссовидные суглинки на 90% состоят из минералов легкой фракции (преимущественно из кварца и полевых шпатов). Из минералов тяжелой фракции им упомянуты: магнетит,

мусковит, биотит, эпидот, турмалин, лимонит, пирит, ильменит, алмаз и другие устойчивые минералы. Суглинки карбонатны; гипс встречается в них редко и то лишь в основании толщ.

Отложения мезоплейстоценовых террас и конусов выноса весьма сходны с породами, слагающими пойму рек и современные конусы выноса, образующиеся в области предгорий.

По мере приближения из области предгорий к долине р. Или четвертичные образования претерпевают изменения, которые сводятся к тому, что нижняя, галечниковая часть меняет свой состав и переходит в песчано-глинистые образования. Таким образом, наблюдается дальнейшее уменьшение величины частиц обломочного материала при удалении от области питания к устью рек.

На р. Или мезоплейстоценовый возраст, по Н. Н. Костенко, имеет первая надпойменная терраса.

Ниже этой надпойменной террасе соответствует равнина, занимающая все юго-восточное Прибалхашье. Первоначально равнина имела сложный озерно-аллювиальный генезис. В дальнейшем она подверглась еще воздействию эоловых процессов, вследствие чего вся поверхность ее покрыта бугристыми песками.

Мезоплейстоценовые отложения в среднем течении р. Или представлены лёссовидными суглинками и супесями. Такой же песчано-глинистый характер имеют рассматриваемые образования, по Н. Н. Костенко, и далее вниз по течению р. Или, в пределах всего пустынного юго-восточного Прибалхашья. Сравнивая состав пород мезоплейстоценовой террасы р. Или с составом ее современных пойменных и русловых образований, нельзя не отметить чрезвычайного сходства между ними, которое подтверждается их близким минералогическим составом.

С этими образованиями сходны четвертичные аллювиальные отложения и других частей юго-восточного Казахстана. Так, по данным С. В. Калесника, на северном склоне Джунгарского Алатау, в области пониженных плато и равнинных участков, аллювиальные отложения состоят из лёссовидных суглинков и глинистого песка с прослоями галечников. Нередко толщ галечников подстилают лёссовидные суглинки. При этом они часто связаны глинистым или карбонатным цементом в плотные конгломераты.

В более восточных районах аналогичное строение имеют речные террасы, сложенные в своей верхней части суглинками, которые подстилаются галечниковыми слоями или конгломератами. Подобная же замена грубокластического материала вверх по разрезу песчаным и глинистым наблюдается и в конусах выноса, и в известных нам в настоящее время разрезах аккумулятивных равнин. Мало того, другие по возрасту комплексы четвертичных отложений, например, эоплейстоценовый или неоплейстоценовый, слагаются близкими по составу породами и характеризуются той же последовательностью напластования или близкими соотношениями между основными типами отложений.

Приведенный выше материал, характеризующий породы мезоплейстоценового комплекса, дает представление об образованиях, слагающих толщу четвертичных отложений, взятую в целом, и о соотношениях между ними. Однако среди четвертичных отложений Прибалхашья имеются еще некоторые генетические типы, до сих пор в настоящей работе не охарактеризованные. К ним прежде всего относятся древнечетвертичные озерные образования и эоловые пески, представляющие значительный интерес. Древнечетвертичные озерные образования наиболее распространены в восточных частях Илийской депрессии. Кроме того, среди отложений речных террас в ряде точек района наблюдаются пласты мергелистых пород, отложившихся, вероятно, в озерных условиях.

Озерные отложения Илийской депрессии представлены, по данным Н. Г. Кассина, песчано-глинистыми образованиями, обладающими хорошо выраженной горизонтальной слоистостью. Среди них развиты преимущественно желто-бурые суглинки, частью лёссовидные, а также пески мелкозернистые, глинистые, слюдистые. В них встречены раковинки *Planorbis* и *Limnaeus*. Описанные образования слагают среднюю часть Илийской депрессии, причем слои их слабо наклонены к р. Или.

К древним озерным образованиям следует отнести также породы, встречающиеся среди отложений террасы р. Или. Они представлены серыми плитчатыми известняками, залегающими среди песчаников, местами обогащенных гравием. В известняках наблюдаются раковинки гастропод, стебли камыша и отпечатки его листьев.

Известняки залегают горизонтально. Карбонатные образования — мергели и известняки, как и породы вмещающей их толщи, несомненно отложились в озерном бассейне, и в них можно видеть аналогов современных карбонатных илов оз. Балхаш. Вопрос о песчано-глинистых образованиях, которым различные авторы приписывают озерный генезис, остается спорным; не исключено, что они являются аналогами современных пойменных образований р. Или.

Пески эолового происхождения широко распространены среди четвертичных отложений. Они развиты в пределах пустынного юго-восточного Прибалхашья, где слагают песчаные бугры на площади во много тысяч квадратных километров. Бугристые пески эолового происхождения известны также во многих точках в пределах Илийской депрессии, где они тяготеют к долине р. Или. Широко развиты пески далее в низовьях рек в пределах равнинных пространств, ограничивающих с севера Джунгарский Алатау, а также в юго-западной части Алакульской впадины и, наконец, по восточному побережью оз. Балхаш. Эоловые пески распространены преимущественно в пределах пониженных участков, главным образом в речных долинах области аккумуляции; при этом они чаще всего приурочены к верхней, более древней террасе.

В юго-восточном Прибалхашье эоловые пески приурочены к надпойменной террасе р. Или. Однако бугристые пески часто встречаются и на пойме рек, например на пойменной террасе р. Или у с. Куйган и на пойменной террасе р. Лепсы. Наряду с этим эоловые пески часто оказываются расположенными на значительной высоте; так, например, бугристые пески встречены на вершине невысоких гор Уч-кара. Эоловые пески чаще всего окрашены в желтый с буроватым оттенком цвет, сложены мелкими и средними по величине окатанными зернами и обладают полимиктовым составом.

Механические анализы образцов эоловых песков, взятых из разных частей описываемой территории, показывают, что эти пески, несмотря на некоторые отклонения, в главной своей части слагаются мелкозернистым материалом и содержат незначительную примесь глинистого вещества, а также растворимой части.

Литологический состав и характер залегания четвертичных отложений указывают на то, что они возникли в совершенно иных условиях, чем те, в которых шло образование палеогеновых и неогеновых пород. Процесс развития структуры юго-восточного Казахстана привел к тому, что в пределах последнего к началу четвертичного периода резко сократилась площадь водоема, покрывавшего значительную часть этой области в палеогене и неогене. Большого развития достигли поднятия, которые привели к образованию горных хребтов Джунгарского и Заилийского Алатау, а также других второстепенных возвышенностей. Процессы прогибания развивались в Илийской и Алакульской впадинах, где они были унаследованы с мезозоя и третичного периода.

Для Балхашской впадины также имеются указания на то, что в ней существовали прогибания. Уже упоминалось, что третичные отложения в выходах по юго-западной и северо-восточной окраинам оз. Балхаш лежат на 40—50 м выше современного уровня воды в бассейне, а также выше уровня аккумулятивной равнины юго-восточного Прибалхашья. Это наряду с другими фактами свидетельствует о некотором снижении уровня поверхности четвертичной аккумуляции по сравнению с поверхностью третичной, а следовательно, и о соответствующем прогибании.

Воды, стекавшие с гор, устремлялись в области прогибания, где возникли озерные бассейны, в первую очередь близ подножий. Для развития этих водоемов характерен быстрый занос их осадками, приносимыми текущими с гор водами. Естественно, что эти осадки прежде всего отлагались в тех частях бассейнов, которые примыкали к горам. Здесь сгруппировались главные массы обломочного материала и отсюда постепенно начинался занос озера. Вода в котловине озера по мере заноса все далее и далее оттеснялась от гор. Примером такого бассейна, наиболее, так сказать, «оттесняемого» от горных сооружений, может служить оз. Балхаш, отстоящее на 300—500 км к северо-западу от хребтов Джунгарский и Заилийский Алатау.

Оз. Балхаш имеет, таким образом, длительную историю. Оно развилось из бассейна, располагавшегося некогда близ гор, непрерывно перемещавшегося от них и достигшего к настоящему времени северо-западной окраины Балхашской впадины.

Подводя итог всему сказанному выше, можно высказать предположение, что тектонические процессы, активизировавшиеся к началу четвертичного периода, резко изменили физико-географические условия, господствовавшие в юго-восточном Казахстане в палеогене и в неогене, и привели к образованию новых крупных горных сооружений. Понятно, что в изменившихся условиях стали отлагаться осадки, резко отличные от глин, бывших господствующим типом третичных отложений. В плейстоцене на территории юго-восточного Казахстана отлагались породы различного состава и генезиса, причем все они, в конечном счете, являлись результатом геотектонических условий, которые в значительной степени определяют и современную физико-географическую обстановку, господствующую в этой области. Это позволяет рассматривать все породы серии четвертичных отложений в качестве отдельных членов единой формации, в состав которой входят породы ледникового комплекса, речной аллювий, пролювиально-делювиальные отложения, эоловые образования и осадки озер, в том числе и осадки оз. Балхаш.

Так как в составе этой формации главную роль играют речной аллювий и осадки озер, мы будем называть ее в дальнейшем формацией озерно-речных отложений, помня при этом, что здесь значительную роль играют и другие образования.

Следовательно, современные осадки оз. Балхаш находят себе место среди мезо-кайнозойских толщ юго-восточного Казахстана в качестве одного из членов четвертичной формации озерно-речных отложений. Эта формация отлична от формации пород коры выветривания мезозоя и от формации третичных глинистых пород, накапливавшихся здесь в предшествующие геологические эпохи.

Структура Балхашской впадины и современные движения в ней

Можно полагать, что юго-восточная окраина палеозойской платформы Центрального Казахстана уже в палеогене начала прогибаться и что прогибание продолжается здесь по настоящее время (см. ниже). В

результате этих прогибаний возникла Балхашская впадина в ее современном виде.

Палеозойский фундамент залегает здесь, судя по малым мощностям осадков, неглубоко. Об этом свидетельствуют наблюдающиеся местами выходы третичных пород на восточном берегу оз. Балхаш, близ устья р. Или. Характерна форма впадины: она не параллельна горным хребтам, как типичные межгорные впадины, а как бы околнуривает их по периферии. Таким образом, Балхашская впадина по малой амплитуде прогибания и по форме отличается от типичных межгорных впадин. Кроме того, она отличается от типичных межгорных котловин и тем, что располагается не между горными массивами, а на их окраине.

Изложенные соображения основаны главным образом на материале, относящемся к периферической части впадины, где имеются выходы коренных пород и где можно определить их мощности. Для расшифровки же структуры центральной части впадины, занимающей огромную площадь, сложенную рыхлыми четвертичными отложениями, приходится прибегнуть к помощи гравиметрии. С этой целью нами были сведены данные по аномалиям силы тяжести для юго-восточного Казахстана. При этом выяснилось, что в пределах Прибалхашья и примыкающей к нему территории выделяются две области, гравитационное поле которых различно. Это, с одной стороны, области, характеризующиеся относительно малой величиной аномалии силы тяжести, колеблющейся здесь в пределах от 50 до 80 миллигал в среднем. К ним относится вся часть Центрального Казахстана, входящая в пределы карты, а также Балхашская впадина. Таким образом, в пределах последней гравитационное поле имеет совершенно тот же характер, что и в пределах Центрального Казахстана. Это служит важным указанием на то, что впадина представляет собой, в сущности, продолжение палеозойской платформы Центрального Казахстана. С другой стороны, нельзя не отметить резкого изменения в характере гравитационного поля при переходе от Балхашской впадины к горам и межгорным впадинам, где величина отрицательных аномалий силы тяжести быстро возрастает до 150—200 миллигал. Подобное изменение может быть истолковано как указание на то, что, выходя за пределы Балхашской впадины к югу и к востоку, мы переходим в совершенно другую структурно-тектоническую зону.

Сравнивая гравитационное поле Балхашской и Илийской впадин, легко заметить, что отрицательные аномалии силы тяжести в пределах последней ¹ примерно вдвое больше, чем в первой. Это можно рассматривать как достаточно веское доказательство различной природы их глубинной структуры. Если это так, то имеется еще одно основание полагать, что в Балхашской впадине нет столь интенсивных прогибаний земной коры, как в Илийской.

Прогибание Балхашской впадины, начавшееся еще в палеогене, продолжалось в течение всего третичного периода и плейстоцена. Имеются факты, указывающие на то, что оно продолжается здесь и по настоящее время. Быше указывалось, что затопление больших пространств, сложенных бугристыми песками, наблюдающееся в нижнем течении р. Или, равно как и характер западного побережья оз. Балхаш против устья р. Или свидетельствуют о прогибаниях, продолжающихся в настоящее время. Напомним также, что в этом районе р. Или в недавнем прошлом изменила свое течение, бросила свои старые русла (система сухих русел

¹ Следует отметить, что наибольшие значения аномалии силы тяжести приходятся не непосредственно на район впадины; они несколько смещены в сторону от нее. Подобное явление наблюдается не только в условиях структур юго-восточного Казахстана, но описано и для других мест.

«Баканас») и течет теперь прямо на северо-запад. Область прогибания, наличие которой подтверждается всеми перечисленными выше фактами, вытягивается здесь полосой в направлении с юго-востока на северо-запад, захватывая южную часть западного плеса оз. Балхаш и его западное побережье. Длинная ось прогибания вытянута параллельно Чу-Илийским горам.

Имеются еще и другие указания на наличие современных прогибаний в пределах Балхашской впадины. Так, в западной части восточной половины озера во многих местах побережья развиты берега аральского типа. Наличие их указывает, по мнению Б. А. Федоровича (1942), на затопление водами области бугристых песков. Действительно, южный берег местами здесь сильно изрезан, вдается узкими косами в пределы бассейна, а озерные воды глубоко входят в область побережий, заполняя впадины между песчаными буграми. Косы и отмели ориентированы в том же, северо-западном направлении, которое так характерно для бугристых песков прилегающей пустынной области. Повидимому, эта часть побережья в недавнее время испытывала погружения. Мало того, эти погружения захватили, вероятно, еще большую область, в том числе и часть пустынного юго-восточного Прибалхашья.

Действительно, в колонках донных отложений с некоторых станций, расположенных уже в западном плесе, под слоем озерных отложений небольшой мощности залегает прослойка торфообразного вещества, которое возникло, повидимому, на берегу или в прибрежной полосе, а не в открытой части озера. По данным Н. Н. Костенко, сухие русла Баканас прослеживаются в этом районе на некотором протяжении по дну озера, что также свидетельствует о недавних погружениях. Можно полагать, что острова, имеющие характер высоких песчаных бугров, вытянутых в северо-западном направлении, представляют собой остатки побережий, сохранившиеся в открытой части озера, в то время как береговая линия бассейна вследствие погружений продвинулась далеко к югу.

Обращает на себя внимание и тот факт, что с устьевой частью р. Каратал совпадает резкое увеличение аномалий силы тяжести, отрицательные значения которых доходят здесь до значительной величины. Такое резкое изменение величины гравитационного поля может быть вызвано прогибаниями земной коры в этой области. Возможно, что в связи с этим р. Каратал изменила первоначальное северо-западное направление своего течения на северное.

Характерно, что район развития торфа в осадках, как и область дна, в пределах которой прослеживается подводное продолжение русел Баканас, лежит на продолжении полосы погружений, намеченных к востоку от полуострова Узун-арал.

Отсутствие побережий аральского типа в районе к западу от полуострова Узун-арал не противоречит сделанному выводу: это легко объясняется тем, что вследствие значительной величины плеса волнение достигает большой силы и быстро моделирует побережье, не оставляя песчаных бугров, которые некогда господствовали здесь и были созданы деятельностью ветра.

Кроме явлений прогибания, в районе оз. Балхаш наблюдаются и поднятия. Область одного из них приходится на среднюю часть западного плеса, где в районе полуострова Тас-арал бассейн резко суживается. Само озеро здесь несколько менее глубоко, чем на участках, лежащих к северу и югу отсюда. Эти факты наряду с изменением направления р. Или и затоплением бугристых песков в ее устье дают некоторые основания утверждать, что в районе, примыкающем к оз. Балхаш, в недавнее время шли тектонические процессы, которые продолжают и в настоящее

время. Движения земной коры здесь отчетливо дифференцированы, вследствие чего отдельные участки дна и побережий погружаются, другие же остаются стабильными или проявляют тенденцию к поднятию.

Современные тектонические процессы, вне всякого сомнения, идут и в других частях Балхашской впадины, однако вдали от области побережий и от рек их очень трудно обнаружить.

Заканчивая на этом краткий обзор рельефа и геологии бассейна оз. Балхаш, следует подчеркнуть следующие особенности обстановки, в которой протекает осадкообразовательный процесс в Балхаше и Прибалхашье.

1. Процессы разрушения пород, дающие исходный материал для образования осадков, происходят преимущественно в высокогорной зоне в условиях умеренного и холодного горного климата. В отличие от этого, отложение осадков происходит в зоне предгорий и во впадинах, которые характеризуются сухим резко континентальным климатом.

2. В водосборном бассейне озера (в области разрушения) развиты преимущественно палеозойские породы, среди которых преобладают осадочные и меньше распространены магматические — главным образом кислые образования. Все эти породы представляют собой тот исходный материал, который идет на образование осадков оз. Балхаш. Можно полагать, что разнообразие пород, развитых в бассейне озера, неизбежно должно обусловить полимиктовый состав осадков, отлагающихся на дне его.

3. В связи с тем, что отложения осадков в оз. Балхаш происходят на значительном расстоянии от высоких горных сооружений, реки, особенно Или и Каратал, несут в него преимущественно глинистый, алевритовый и песчаный материал, в то время как гравий и галька не спускаются ниже среднего течения этих рек.

4. Отложения осадков в оз. Балхаш происходят на фоне современных движений в пределах озерной котловины, что несомненно должно сказаться на мощностях донных отложений в водоеме.

Глава 2

ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ОЗ. БАЛХАШ И ПИТАНИЕ ЕГО ОСАДОЧНЫМ МАТЕРИАЛОМ

Впадина оз. Балхаш при малой ширине чрезвычайно вытянута в длину и отличается весьма своеобразной формой: она резко коленообразно изогнута в средней части, вследствие чего бассейн разделяется на два плеса — восточный, протягивающийся в широтном направлении, и западный, вытянутый с юга на север. Акватория озера располагается между меридианами $73^{\circ}30'$ и 79° восточной долготы и параллелями 43° и 47° северной широты.

Климат

Озеро Балхаш находится в юго-восточном Казахстане, в пределах области с сухим резко континентальным климатом. Остановимся кратко на тех климатических факторах, которые оказывают наибольшее влияние на ход современных геологических процессов, протекающих в бассейне Балхаша и в самом озере.

Температура воздуха в районе Балхаша колеблется в широких пределах. Так, годовая амплитуда среднемесячных температур доходит до $45-47^{\circ}$. Средняя температура января колеблется от -10 до -19° .

Январь оказывается самым холодным месяцем в Прибалхашье. Если к этому прибавить, что в течение декабря и февраля также господствуют низкие температуры, то станет очевидным, что зима в Прибалхашье является весьма суровой и холодной. Вследствие этого оз. Балхаш покрывается в зимнее время толстым слоем льда. Летнее время, наоборот, характеризуется высокими температурами. Средняя температура наиболее жаркого месяца (июля) колеблется обычно около 25° . Высокие температуры летних месяцев обуславливают жаркое лето, что, в сочетании с малым количеством выпадающих осадков, приводит к чрезвычайной сухости воздуха, способствующей весьма значительному колебанию среднесуточных температур. Наивысшая температура доходит в летние месяцы до 40° , а минимальные температуры января до -45° . Таким образом, максимальная амплитуда годовых температур составляет здесь $80-85^{\circ}$. Амплитуда суточных колебаний температуры достигает максимума в летние месяцы.

Атмосферные осадки в пределах Прибалхашья выпадают редко и в незначительных количествах. Число дней с осадками не достигает ста, а в ряде случаев их меньше пятидесяти, причем наибольшее количество пасмурных дней и дней с осадками приходится на позднюю осень и зимние месяцы.

Количество осадков, выпадающих в районе г. Балхаш, ничтожно: среднее годовое количество их не превышает 100 мм. Эта цифра приобретает особый интерес, если сравнить ее с величиной испарения с открытой водной поверхности, достигающей в условиях Балхаша, по данным Г. Р. Юнсова, величины порядка 1000 мм. Таким образом, сумма осадков, выпадающих в Прибалхашье, в среднем примерно в 10 раз меньше количества испаряющейся влаги.

Питание оз. Балхаш за счет атмосферных осадков, выпадающих в пределах собственно его бассейна, происходит лишь в небольших количествах и почти исключительно во время весеннего снеготаяния. В летние же месяцы вся влага, выпадающая в виде дождей на поверхность почвы, испаряется прежде, чем она успеет дойти до озера или просочиться в глубь. Это приводит к тому, что поступление вод в оз. Балхаш из собственно его водосборного бассейна ничтожно и составляет всего около 3% от общего количества вод, вносимых в озеро. Понятно также, что в Прибалхашье питание водоносных горизонтов за счет атмосферных осадков невелико.

Абсолютная влажность воздуха в пределах Прибалхашья колеблется от 2 мм в зимние месяцы до $14-15$ мм в летние. Средние значения абсолютной влажности за год составляют $6-7$ мм. Относительная влажность испытывает также значительные колебания и меняется в широких пределах. Климат Прибалхашья характеризуется постоянным недостатком влажности, особенно в летние месяцы. Максимальный дефицит влажности воздуха летом составляет в среднем примерно $15-20$ мм. Эти данные, а также величины абсолютной и относительной влажности указывают на то, что наиболее сухой период времени в Прибалхашье — середина лета (июль).

Данные, характеризующие влажность воздуха и изменение величины ее во времени, имеют большое значение для понимания режима водных бассейнов Прибалхашья, так как в прямой зависимости от влажности воздуха находится величина испарения. В свою очередь, испарение влияет на изменение концентрации солей, растворенных в воде, и может вызывать выпадение тех или иных соединений в осадок. Понятно, что наибольшее испарение, а следовательно, и максимальное выпадение солей в осадок приходится на самые сухие и жаркие месяцы. Зимой, когда озеро сковано льдом, испарение резко сокращается.

Величина испарения с водной поверхности трудно поддается непосредственному определению, так как условия опытов, производимых с этой целью, обычно несколько отличаются от природных условий. По Г. Р. Юнусову, непосредственные замеры величины испарения с водной поверхности дают цифры, в полтора-два раза превышающие истинную величину его. А. В. Шнитников (1936) принимает величину испарения с водной поверхности равной 1350—1400 мм в год. Однако эта цифра представляется резко завышенной.

Одной из характерных особенностей климата Прибалхашья являются почти постоянные ветры. На долю штилей здесь приходится лишь небольшое число дней в году. В Прибалхашье преобладают ветры северо-восточных румбов. Значительно менее постоянны ветры противоположного — юго-западного направления.

Средние скорости ветров порядка от 4,5 до 5,7 м/сек., а средняя годовая скорость около 5 м/сек. Однако максимальные скорости ветра в Прибалхашье значительно превосходят эту цифру и достигают 15 м/сек. и более. Особенно сильные ветры штормового характера дуют осенью, в октябре — ноябре, и зимой, в январе — феврале.

Штормовые ветры порождают сильное волнение, при котором волны достигают настолько большой амплитуды, что доходят до дна и взмучивают донные осадки. Кроме того, ветры, особенно дующие постоянно, порождают сгонные, нагонные и, косвенно, компенсационные течения, которые подхватывают взмученные частицы и разносят их по всей территории озера. В этом заключается главное влияние, оказываемое ветром на процесс осадкообразования в бассейне. Кроме того, сильная волна, поднимаемая ветром, производит работу у берегов озера.

Приведенная характеристика климата Прибалхашья относится к району г. Балхаш. Район восточной оконечности оз. Балхаш и крайняя южная часть бассейна обладают несколько иными климатическими особенностями. Так, для района восточных плесов бассейна характерны несколько более низкие среднегодовые температуры воздуха, большее количество выпадающих осадков и большая влажность воздуха. Одновременно здесь несколько падают средние скорости ветров, большую роль начинают играть северные ветры и возрастает количество безветренных дней. Климат самой южной части бассейна, наоборот, отличается несколько более высокой температурой воздуха, среднее годовое значение которой здесь примерно на 2° выше, чем в г. Балхаш. Кроме того, в Бурубайтале выпадает несколько меньшее количество осадков. Изменяется также и ветер — здесь преобладают, в отличие от Балхаша, северные, северо-западные и северо-восточные ветры. Кроме того, падает скорость ветра и возрастает число безветренных дней.

Краткая характеристика побережий

Озеро Балхаш отделяет друг от друга две области, резко отличающиеся по характеру рельефа и своему геологическому строению. Западные и северные берега бассейна, сложенные преимущественно палеозойскими осадочными и кристаллическими породами, заметно поднимаются над уровнем озера и образуют волнистое плато с типичным для Центрального Казахстана мелкосопочным рельефом. В рельефе мелкосопочника преобладают многочисленные невысокие сопки, разделенные широкими и неглубокими лощинами и сухими руслами рек и саев. Вершины и склоны возвышенностей несут маломощный слой покровных образований, из-под которых проступают коренные породы. Нижние части склонов речных долин и саев покрыты чехлом четвертичных

отложений, мощность которых на дне долин достигает десятков метров. Под четвертичными отложениями в долинах рек и саев часто можно встретить третичные и даже верхнемеловые отложения.

Растительный покров на сопках, бортах долин и их дне обычно весьма скуден. Здесь встречается редкая травянистая растительность, а также редкие карликовые кустарники. Лишь в русловой части долин, в тех местах, где поток грунтовых вод, насыщающий аллювиальные отложения, подходит близко к дневной поверхности, растительность становится густой, а иногда и пышной.

Северо-западный берег возвышается над уровнем воды на 20—30 м; изредка высота его достигает 40 и даже 60 м. Высокий берег часто интенсивно подмывается волнами, образуя обрывы, круто спускающиеся к воде. Берега обычно каменисты и мало изрезаны. На отдельных участках побережий наблюдаются береговые валы. Лишь местами, чаще всего в районе современного прогибания можно наблюдать живописный берег, изрезанный множеством бухт и заливов и сопровождающийся многочисленными группами островов в прибрежной части водоема.

В отличие от северного берега, южный и восточный берега озера поражают своим однообразием. Здесь низкие равнинные побережья поднимаются всего на 1—2 м над водой, отделяясь от нее полосой отмелей и широким пляжем, и прослеживаются на сотни километров. Эту унылую картину разнообразят лишь бугристые пески, которые иногда подходят близко к побережью, да небольшие лощины, проходящие между песчаными холмами и занятые пересохшими солеными озерами, на дне которых отложился пласт солей. Береговая линия часто сильно изрезана, причем во множестве встречаются заливы, вдающиеся глубоко в берег, частью отшнуровавшиеся от бассейна и превратившиеся в маленькие озерки.

Наряду с этим наблюдаются косы и отмели, уходящие на километры в открытую часть озера. В местах впадения рек побережье на много километров покрывается густыми зарослями камышей. Вдали от устьев рек растительность становится более редкой, однако заросли камышей тянутся вдоль всего южного и восточного берегов водоема.

В восточной части бассейна, где вода озера солоноватая, вдоль южного берега протягивается полоса соленых и сульфатных озер, частью совершенно пересохших, превратившихся в сухие месторождения соли или тенардита и перекрытых иногда песками.

Вдали от берега озера все юго-восточное Прибалхашье приобретает характер низменной пустынной страны, сложенной с поверхности бугристыми песками с бедной растительностью. Лишь местами здесь встречаются густые заросли и целые рощи саксаула. Однообразие рельефа южного и восточного Прибалхашья обусловлено тем, что эта область представляет собой аллювиальную равнину. Она сложена преимущественно песчаными, глинистыми и глинисто-песчаными породами, отложенными реками Или, Каратал и Лепсой, а частью оз. Балхаш и перерабатываемыми в верхней части процессами развевания в бугристые пески.

Основные черты морфометрии озерной котловины

Озеро Балхаш является третьим по величине озерным бассейном в Азиатской части СССР и уступает по размеру лишь Аральскому морю (озеру) и оз. Байкалу.

Длина озера, его ширина и площадь подвержены постоянным изменениям в зависимости от изменения режима этого бассейна, в связи с чем

и величины площади бассейна, вычисленные различными авторами, заметно расходятся.

Наиболее подробно площадь и объем водной массы бассейна вычислил П. Ф. Домрачев, возглавлявший Балхашскую научно-промысловую экспедицию 1928—1931 гг. и 1938 г. По его данным, площадь озера составляет всего 17 659,6 кв. км, общая длина береговой линии 2428 км, длина западного плеса озера около 284 км при средней ширине 30—40 км. Ширина его лишь в отдельных случаях достигает 60 км. Длина восточной половины озера около 304 км при ширине в среднем 9—18 км, а в отдельных случаях до 20 км.

Таковы были размеры озера в 1929—1930 гг. С тех пор, однако, площадь его заметно сократилась. Об этом свидетельствует хотя бы тот факт, что залив Ала-куль, заполненный в 1929—1932 гг. водой и соединявшийся с оз. Балхаш, оказался в 1940 г. почти полностью пересохшим.

В связи с этим заимствованные из работы П. Ф. Домрачева величины, характеризующие размеры Балхаша, в настоящее время приходится считать несколько преувеличенными. Из табл. 2 следует, что оз. Балхаш, при огромной площади в 17 203 кв. км, обладает весьма малым объемом водной массы, равным всего 109,4 куб. км. Это является следствием малой глубины бассейна, средние значения которой не превосходят 9 м.

Таблица 2

Площадь и объем водной массы оз. Балхаш

	Площадь, кв. км	Объем, куб. км	Примечание
Западный Балхаш	10 432,13	51,0	За вычетом залива Алакуль
Восточный Балхаш	6 771,08	58,4	
Все озеро	17 203,21	109,4	

В заключение следует отметить, что Бурлю-тюбинский плес озера, в котором идет массовая садка доломитовых илов, имеет площадь 2288,1 кв. км и вмещает в настоящее время около 28,2 куб. км воды.

Уровень оз. Балхаш подвержен значительным колебаниям и долгое время оставался точно не определенным; только в последние годы, благодаря исследованиям Г. Р. Юнусова, сделавшего много для уточнения высоты его, стало известно, что абсолютная отметка зеркала воды в начале 40-х годов текущего столетия в районе Бурлю-тубе составляла 339,52 м. Эта высота не может быть признана постоянной, так как поверхность воды в озере ежегодно летом повышается, в связи с поступлением массы воды, освобождающейся при таянии снегов в горах, а зимой падает. Кроме того, ветры, дующие длительное время в одном направлении, приводят к тому, что массы воды стоняются к одному из берегов, где создается временный более высокий уровень, в то время как у другого берега уровень соответственно понижается.

В свете данных, изложенных в первой главе и подтверждающих наличие современных дифференцированных движений в Прибалхашье, следует весьма осторожно подходить к вопросу о периодических колебаниях уровня оз. Балхаш. При этом побережья озера нельзя рассматривать как единое целое и нельзя упускать из виду, что в то время как в области прогибания, например в районе устья р. Или и урочища

Мын-арал, берега затопляются, в соседних участках возможно обратное явление.

Вопрос о периодических изменениях уровня оз. Балхаш ставили многие авторы: А. М. Никольский (1885), Л. С. Берг (1904), П. Ф. Домрачев, Н. Н. Костенко (1946) и другие, однако все они основывали свои выводы главным образом на указаниях путешественников, посетивших в разное время ту или иную часть водоема, или на опросных данных. Поэтому приходится признать, что периодические колебания уровня, отмеченные в работах упомянутых авторов и наиболее полно суммированные в статье Н. Н. Костенко (1946), нельзя считать достаточно обоснованными.

В настоящее время, ввиду отсутствия точных измерений высоты поверхности воды в оз. Балхаш, поставленных в течение достаточно длительного срока, преждевременно говорить о периодах колебания его уровня. Однако из рассмотрения картографического материала и сравнения старых карт Балхаша с новыми можно сделать вывод о том, что уровень этого водоема за последние 40 лет повсеместно заметно понизился.

Несмотря на свои огромные размеры, оз. Балхаш характеризуется ничтожной глубиной, которая нигде не превышает 30 м. Глубины распределяются неравномерно и так, что западный, больший плес озера оказывается значительно более мелководным, чем восточный, меньший по площади. К югу от полуострова Тас-арал глубина озера понемногу сокращается. В южной оконечности плеса и вдоль восточного берега его располагается широкая полоса мелководья, переходящая у пологих берегов в широкий пляж.

К северу от главной протоки р. Или близ восточного берега озера расположена большая отмель. Она вытянута параллельно берегу. Глубины в пределах распространения ее ничтожны. Интересно отметить, что эта отмель отделяется от восточного берега узкой и относительно глубокой протокой, возникшей вследствие наличия течения, проходящего вдоль восточного берега в данной части бассейна.

В северо-западной части плеса глубины несколько возрастают и достигают максимума в проливе, отделяющем этот остров от берега. Если глубина западной части озера остается в общем постоянной, то в восточной части бассейна наблюдается медленное и закономерное нарастание глубины по направлению к востоку, причем относительно наиболее глубоким является Бурлю-тюбинский плес. В западной части среднего плеса также располагается область относительно больших глубин.

Рассматривая данные по батиметрии западной части озера, а также наиболее крупных восточных плесов его, нетрудно заметить неравномерное распределение глубин. Мелководье протягивается широкой полосой вдоль низменных восточных и южных берегов бассейна, причем глубина этой полосы на внешнем, удаленном от берега крае достигает всего до нескольких метров. За полосой мелководья следует нарастание глубины, весьма постепенное в западной части озера и более резкое в восточных плесах. Наконец, наибольшие глубины смещены к северному и западному берегам, сложенным коренными породами. Это особенно хорошо видно в западном и в Лепсинском плесах.

Такое распределение глубин указывает на то, что бассейн заносится обломочным материалом, приносимым реками. В тех местах, куда затруднен доступ материалу, взвешенному в воде озера (например, в проливе, отделяющем остров Тас-арал), наблюдается наименее интенсивное накопление осадков и сохраняется наибольшая глубина.

Отдельные плесы бассейна соединены между собой многочисленными проливами, в пределах которых глубина озера достигает относительно

большой величины. Лишь пролив Узкость, отделяющий полуостров Узун-арал от северного берега, отличается чрезвычайным мелководьем.

В заключение следует упомянуть, что в приустьевых частях более или менее крупных рек, впадающих в озеро, в пределах последнего располагаются бары, причем глубина здесь ничтожна.

Наряду с этим имеются указания Н. Н. Костенко на то, что от места впадения сухих русел Баканас по дну озера на далекое расстояние прослеживаются их затопленные продолжения.

Элементы гидродинамики

Значительное влияние на процессы отложения осадков в оз. Балхаш оказывают волны. Они постоянно взмучивают верхнюю часть слоя илов, лежащих на дне в неглубокой части озера, и разрушают его берега.

Вода в оз. Балхаш бывает спокойной только в зимнее время под льдами и во время полных штилей. Все остальное время она находится в движении, причем во время сильных ветров волны достигают значительной длины и амплитуды. Волны высотой 1,5—2 м представляют здесь частое явление.

Вопрос о величине волн и соотношении их элементов с глубиной бассейна имеет для нас первостепенное значение. Когда волнение в той или другой степени доходит до дна, осадки, накапливающиеся на его поверхности, подвергаются воздействию движущихся масс воды, взмучиваются и переотлагаются. При этом происходит дополнительное разделение и сортировка осадка по крупности зерна, а также разрушение слоистости и других первоначальных текстурных особенностей донных отложений. Если же волнение не доходит до дна, то осадки сохраняют свою слоистость и текстурные особенности, а процессы переотложения и дополнительного разноса материала происходят только в зоне придонных течений. Отсюда понятно, насколько важно выяснить, доходит ли волнение до дна оз. Балхаш и влияет ли оно непосредственно на процесс осадкообразования.

В настоящее время к определению величины волн оз. Балхаш можно подойти с помощью расчета; кроме того, имеются непосредственные наблюдения за элементами волны по другим водоемам, позволяющие корректировать расчетные данные.

Расчет, проведенный по формуле Стивенса, показывает, что высота волны в глубоком Бурлю-тюбинском плесе оз. Балхаш при скоростях ветра около 17 м/сек. и длине разгона 25 км составит 1,83 м. Учитывая,

что длина волны (L) связана с высотой (h) в формуле $m = \frac{h}{L}$, где m , согласно эмпирическим данным, полученным на озерах Онежское и Выг, принимается равным 0,08—0,10, легко можно вычислить длину волны L . Последняя составит в нашем случае 18 м.

Близкие величины элементов волн получатся, если воспользоваться вычислениями В. Г. Андреянова (1939), сведенными в его работе в таблицу. Для ветра скоростью 15 м/сек. и при длине разгона 25 км он приводит следующие значения: $h = 1,80$ м и $L = 22,8$ м. При скорости ветра 20 м/сек. и длине разгона 25 км элементы волны заметно возрастут: h достигнет 2,58 м, а L будет равна 30,4 м. Таким образом, вычисленные элементы волны Бурлю-тюбинского плеса оз. Балхаш ($h = 1,83$ м и $L = 18$ м) того же порядка, что и элементы волны, определенные с помощью таблицы В. Г. Андреянова. Кроме того, они вполне сравнимы со значениями h и L , установленными непосредственными наблюдениями на одном из водоемов. При скорости ветра 16 м/сек. здесь наблюдались

максимальные значения $h = 1,5$ м и $L = 16$ м, т. е. величины, близкие к вычисленным нами для Балхаша.

Ветер на поверхности воды в оз. Балхаш вызывает интенсивное волнение. Для того чтобы выяснить, как распространяется вглубь движение воды, вызванное волнением, мы должны быть уверены, что в нашем случае волны не трансформируются, т. е. не изменяются в результате трения о дно, так как только для простых, не трансформированных волн, имеются данные, позволяющие определить скорость, с которой затухает волновое движение.

Принято считать, что если глубина бассейна превышает половину длины волны, то волна не трансформируется. Следовательно, в пределах большей части Бурлюк-тюбинского и части Лепсинского плесов, ветровая волна не изменяется, а трансформируется лишь при переходе на меньшие глубины. Если это так, то мы можем применить для восточных плесов оз. Балхаш правило, согласно которому для обычной, не трансформированной волны, при возрастании глубины в арифметической прогрессии, радиус круговых орбит, по которым происходит движение воды при волнении, возрастает в геометрической прогрессии. В. П. Зенкович (1946) приводит следующую таблицу, в которой показано, как изменяется диаметр упомянутых орбит, выраженный в долях h , в зависимости от глубины, выраженной в долях L :

Глубина в долях L	1/9	2/9	3/9	4/9	и т. д.
Диаметр орбит в долях h	1/2	1/4	1/8	1/16	и т. д.

С помощью этой таблицы можно подсчитать величину амплитуды колебания воды у дна восточных плесов оз. Балхаш до глубин, равных L , т. е. в случае ветра силой 17 м/сек. до глубины 18 м и в случае ветра силой 20 м/сек. — до максимальных глубин бассейна.

Выясняется, что волна при $h = 1,83$ м и $L = 18$ м вызывает колебания на глубине 8 м с амплитудой несколько более 1 м. На глубине 12 м амплитуда составит около 2,8 см, а на глубине 18 м всего около 3,6 мм.

При скорости ветра 20 м/сек. длина волны $L = 30,4$ м и высота $h = 2,58$ м. Такие волны вызывают круговое движение: на глубине 17 м — с амплитудой в 8 см, на глубине 20 м — в 4 см и на глубине 27 м — в 1 см и т. д.

В западной части бассейна глубина, как правило, меньше половины длины волны, вследствие чего волны повсюду касаются дна. При этом происходит трансформация их. В настоящее время нет данных, по которым можно было бы вычислить элементы трансформированной волны и подойти к вопросу об интенсивности движения, вызываемого волнением в придонном слое воды. Ясно только, что волнение здесь даже при незначительных ветрах доходит до дна и что движение воды у дна интенсивное.

Движение воды, вызванное волнением, во время сильных ветров достигает дна во всех, даже в наиболее глубоких восточных плесах оз. Балхаш. Разница заключается лишь в том, что в западном и других мелководных плесах волнение почти постоянно взмучивает осадки, тогда как в восточных плесах это происходит только в сильные бури и проявляется относительно слабо.

Этим объясняется постоянная и значительная мутность воды озера. Вода прозрачна лишь в Лепсинском плесе и в еще более глубоком Бурлюк-тюбинском.

Работа волн, помимо взмучивания донных отложений, проявляется также в разрушении берегов озера, особенно северного и западного, около которых находятся наибольшие глубины. Волны с большой силой

набегают здесь на берег и разрушают слагающие его палеозойские породы.

Совершенно по-другому ведут себя волны у южного и восточного берегов, где, подходя со стороны открытого озера, они попадают в область мелководья, набегают на широкий пляж и постоянно намыывают материал, приносимый из соседних частей бассейна. Таким образом происходит бесперывное наращивание восточного и южного берегов бассейна.

В оз. Балхаш наблюдаются течения двух типов: 1) временные нагонные, сгонные и компенсационные, возникающие в разных частях бассейна под влиянием ветров, и 2) постоянное круговое течение, происходящее в западном плесе и являющееся результатом вноса больших масс воды р. Или.

Сгонные, нагонные и компенсационные течения возникают в бассейне в весенние, летние и осенние месяцы, когда поверхность его свободна от льда. Наибольшей интенсивности они достигают весной и осенью, т. е. в период наиболее сильных ветров. В период штилей, а также в зимнее время описываемые течения практически отсутствуют.

Ни нагонные, ни сгонные, ни компенсационные течения в Балхаше совершенно не изучены. Об их наличии можно судить лишь по тому, что во время ветров, длительно дующих в одном направлении, вода заметно прибывает на наветренной части побережья и спадает на подветренной.

Течения непосредственно наблюдаются в узких проливах, соединяющих большие плесы. Они почти постоянно наблюдаются в проливе Узкость, соединяющем западный плес озера с восточным. При этом здесь, в зависимости от направления ветра, воды текут то на запад, то в противоположном направлении — на восток.

Подобные течения наблюдаются также в проливе у сел. Бурубайтал, в проливах, отделяющих остров Алгазы от берегов, и в некоторых других пунктах.

Большие массы воды направляются из западного плеса — от района устья р. Или — в восточную половину озера, где испарение с водной поверхности заметно превышает подачу воды реками Лепсой, Ак-су и Каратал. В результате этого через пролив Узкость и другие проливы проходят большие объемы воды, которые компенсируют испарение с поверхности восточных плесов озера и постоянно несут с запада на восток все новые и новые массы взвешенных частиц и растворенных минеральных соединений.

Подсчетом установлено, что количества воды, проходящей в оз. Балхаш с запада на восток, весьма значительны. При попытке вычислить объем воды, поступающей через пролив, отделяющий Лепсинский плес от Бурлю-тюбинского, оказалось, что здесь ежегодно, главным образом в летние месяцы, проходит около 1,6 куб. км воды, т. е. такое количество ее, которое вдвое превышает ежегодный сток р. Лепсы. В связи с этим можно полагать, что через пролив у острова Алгазы в Лепсинский и Бурлю-тюбинский плесы, взятые вместе, поступает ежегодно в два, два с половиной раза больше, или около 3,2—4 куб. км воды. Для пролива Узкость, через который проходит вода из западного плеса в восточные, это количество возрастает до 5—6 куб. км в год.

Течения медленно несут огромные массы воды и поэтому не оказывают существенного влияния на осадки, развитые на дне озера. При сильных же ветрах, дующих длительное время в одном направлении и весьма обычных в Прибалхашье, нагонные течения несут вдоль побережий большие массы воды со значительной скоростью. Доходя до мысов, вдающихся в озеро, течения, естественно, изменяют свое направление и распадаются на «струи», часть которых уходит в открытое озеро,

где они на значительном расстоянии от берега продолжают сохранять свою скорость. Такие «струи» несомненно оказывают значительное влияние на характер осадков, отлагающихся в озере. В местах своего прохождения «струи» смывают глинистые частицы, отложившиеся на дне, и взамен их отлагают песчаный материал, принесенный из прибрежной части. Забегая вперед, можно сказать, что этим объясняется появление песчаных осадков в средней части озера среди области развития тонких илов.

О постоянном круговом течении, существующем в западном плесе озера, впервые упомянул П. Ф. Домрачев. Оно зарождается в юго-восточном углу этого плеса, в месте впадения р. Или, где приносимые ею массы воды продолжают, уже в пределах озера, свое движение к западу.

В этом течении вносимые р. Или воды доходят до западного берега в районе урочища Мын-арал, затем поворачивают к северу и северо-востоку и мимо острова Тас-арал, районов горы Таргыл и г. Балхаш доходят до полуострова Узун-арал на востоке. В этом месте они поворачивают к югу, а затем у южного берега — к юго-западу и мимо побережья в районе ур. Корс и пос. Семискуль возвращаются к устью р. Или и ее проток. Здесь воды частью вновь втягиваются в общий круговорот и заново проделывают тот же путь. В результате огромные массы воды, растворимых солей и обломочного материала, вносимые р. Или, распределяются по всему западному плесу, а через пролив Узкость временными течениями выносятся в восточную часть бассейна.

Г. Р. Юнусов зимой при работах со льда не обнаружил течения воды в южной части западного плеса. В связи с этим можно думать, что движения воды здесь настолько медленны, что их нельзя уловить вертушкой, применявшейся Г. Р. Юнусовым. Однако это не дает оснований считать, что постоянное круговое течение, существование которого подтверждается наблюдениями П. Ф. Домрачева и особенностями распределения осадков на дне, здесь отсутствует.

Характерной особенностью воды западных плесов оз. Балхаш является ее чрезвычайная мутность и серый цвет, переходящий в коричневый в районе устья р. Или. В отличие от этого вода Лепсинского плеса относительно прозрачна и обладает зеленоватым цветом. Воды же наиболее восточного Бурлю-тюбинского плеса еще более прозрачны и имеют голубоватый оттенок.

Прозрачность воды оз. Балхаш в течение нескольких лет изучалась Балхашской научно-промысловой экспедицией Всесоюзного научно-исследовательского института озерного рыбного хозяйства, проводившей свои работы на озере в течение 1928—1931 гг. под руководством П. Ф. Домрачева. Результаты этого изучения, проводившегося с помощью диска Секки, сводятся, в общих чертах, к следующему. Установлено, что величина прозрачности не остается постоянной в течение круглого года, а закономерно изменяется. При этом в зимние месяцы она значительно больше, чем в летние, когда эта величина постепенно снижается и вода все более и более мутнеет. Наименьшая прозрачность наблюдается в августе месяце и составляет в южной части западного плеса 38 см. В зимнее время прозрачность воды по наблюдениям, проведенным здесь же, достигает: в январе 87 см, в феврале 112 см.

Такие сезонные изменения прозрачности П. Ф. Домрачев ставит в связь с цветением воды в летние месяцы, когда фитопланктон достигает наиболее пышного развития. Добавлю от себя, что к этому же времени приурочено поступление главных масс речной воды, наиболее мутной в летние месяцы. Несомненно, что возросший объем и повышенная мутность речных вод, питающих озеро, оказывает существенное влияние на прозрачность воды в нем.

П. Ф. Домрачев устанавливает также определенную связь между глубиной водоема и величиной прозрачности воды. При этом минимальные значения прозрачности изменяются в зависимости от глубины следующим образом:

Глубина, м	2—3	5—6	9—10	12—13	15—16
Минимальное значение прозрачности, см	15	25	30	100	200 и т. д.

Такие изменения прозрачности воды в условиях Балхаша приходится ставить в связь в первую очередь с волнением, которое, даже при ветрах средней силы, достигает дна в пределах большей части водоема и взмучивает тонкий иловатый материал, входящий в состав донных отложений. Этот материал, оказавшись во взвешенном состоянии, долгое время не выпадает на дно вследствие своей дисперсности и присутствует в слое воды в виде тонкой мути, разносимой течениями на далекое расстояние.

Таким образом, вода восточных, более глубоких плесов во много раз прозрачнее, чем в западных. Отсюда ясно, что процесс взмучивания и перестроения осадков в этих, более глубоких частях бассейна протекает в ограниченных размерах. Большое влияние на прозрачность воды в озере оказывают его притоки: в районе их устьев мутность воды резко возрастает. Указанное явление особенно отчетливо заметно в районе устья р. Или, которая вносит большое количество мутной воды, переносимой круговым течением в южной части западного плеса озера и достигающей даже района полуострова Тас-арал.

Подобное же помутнение воды озера, но в значительно меньших масштабах, можно постоянно наблюдать в районе устьев рек Каратал и Лепсы.

Гидрохимия оз. Балхаш

Сведения о питьевых качествах воды оз. Балхаш, появившиеся впервые около 100 лет назад, долгое время были противоречивыми.

Первые систематические данные, достаточно полно характеризующие состав воды оз. Балхаш, были получены при работах упоминавшейся уже Балхашской научно-промысловой экспедиции.

Все работы, проведенные по изучению гидрохимии Балхаша, показывают, что химический состав воды в нем закономерно изменяется, соленость воды возрастает по мере движения из юго-западной части озера в северо-восточную часть его. В соответствии с этим количество сухого остатка в воде возрастает от устья р. Или к северо-восточной оконечности бассейна примерно в 11 раз. Значительно изменяется состав воды, ее активная реакция и другие свойства.

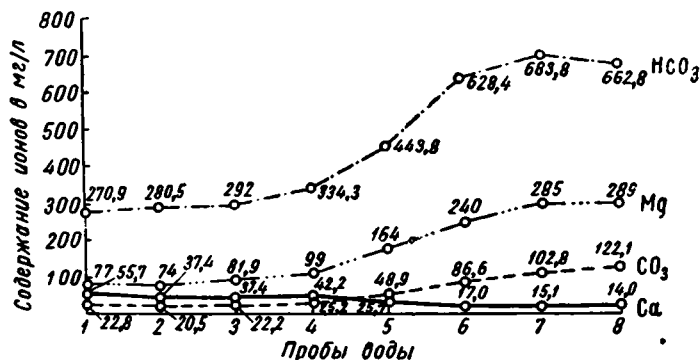
Химический состав воды оз. Балхаш хорошо иллюстрируется данными, полученными при работах Балхашского отряда Института геологических наук, относящимися к разным частям озера и приведенными в работе В. Д. Коншина (1945).

В табл. 3 приведены данные, иллюстрирующие изменение содержания в воде оз. Балхаш ионов кальция, магния, бикарбонатной и монокарбонатной уголекислоты, имеющих наибольшее значение для характеристики процесса карбонатообразования, а также значения рН.

Рассматривая данные анализов, необходимо иметь в виду, что вода оз. Балхаш лишена вертикальной зональности и состав ее у дна в основном такой же, как и близ поверхности. Это обусловлено интенсивным перемешиванием воды волнением в условиях неглубокого водоема.

Наряду с общим ростом солености совершенно естественно наблюдается и абсолютное увеличение содержания большинства ионов в воде.

оз. Балхаш в направлении с юго-запада на северо-восток. Все ионы, за исключением кальция, содержатся в воде восточной части бассейна в больших количествах, чем в западной. Наибольшее увеличение концентрации наблюдается для иона $\text{CO}_3^{''}$, содержание которого возрастает, по данным анализов Балхашского отряда Института геологических наук, в 5,4 раза. Подобное же увеличение концентрации наблюдается для суммы ионов $\text{Na}^+ + \text{K}^+$. Содержание их в воде возрастает также в 5,4 раза. Немного меньше увеличивается концентрация ионов хлора и сульфат-иона, содержание которых возрастает для хлора в 4,7 раза и для $\text{SO}_4^{''}$ — в 4,6 раза.



Фиг. 5. Рост содержания отдельных ионов в воде оз. Балхаш:

1 — Западный плес район устья р. Или; 2 — южная часть Западного плеса; 3 — средняя часть Западного плеса; 4 — северная часть Западного плеса; 5 — средний плес, западная часть; 6 — Лепсинский плес; 7 и 8 — Бурлю-тюбинский плес.

Значительно меньше, лишь в 3,7 раза, возрастает концентрация иона магния. Концентрация иона HCO_3' увеличивается еще меньше — всего в 2,4 раза. Наконец содержание иона кальция не только не возрастает при увеличении общей концентрации воды, а наоборот, уменьшается в 4 раза, что резко выделяет его среди всех других ионов.

Таблица 3

Содержание отдельных ионов в воде оз. Балхаш

Место взятия пробы	Содержание, мг/л				pH
	$\text{CO}_3^{''}$	HCO_3'	Ca^+	Mg^{++}	
Западный плес					
южная часть (район устья р. Или) .	22,8	270,9	55,7	77,0	8,2
южная часть	20,5	280,5	37,4	74,0	8,3
средняя часть	22,2	292,1	37,4	81,9	8,4
северная часть	25,2	334,3	42,2	99,0	8,4
Средний плес, западная часть	48,9	443,8	25,7	164	9,0
Лепсинский плес	86,6	628,4	17,0	240	9,15
Бурлю-тюбинский плес	102,8	683,8	15,1	285	9,2
Бурлю-тюбинский плес, восточная часть	122,1	662,8	14,0	289	9,15

Поскольку содержание различных ионов в воде оз. Балхаш возрастает не в одинаковой степени, большой интерес приобретает выяснение

относительных концентраций ионов, что имеет также большое значение для понимания особенностей процесса образования осадков в бассейне,

Относительное содержание отдельных ионов можно хорошо иллюстрировать так называемым хлорным коэффициентом, т. е. отношением количества данного иона к количеству хлора, выраженным в процентах. Значения хлорных коэффициентов для главнейших ионов, входящих в состав воды, взятой из различных частей бассейна, приведены в табл. 4, позаимствованной из работы В. Д. Коншина (1945).

Таблица 4

Хлорные коэффициенты главнейших ионов

Место взятия пробы	CO ₃ ''	HCO ₃ '	SO ₄ ''	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺ + Na ⁺
Западный плес						
южная часть (район устья р. Или)	9,62	114,30	156,12	23,50	32,49	106,33
южная часть	9,00	123,02	155,26	16,40	32,46	117,11
средняя часть	8,54	112,35	151,92	14,38	31,50	115,38
северная часть	7,95	105,46	153,31	13,31	31,23	114,51
Средний плес	8,52	77,32	155,57	4,48	28,57	120,91
Лепсинский плес	9,08	65,87	147,80	1,78	25,16	123,06
Бурлю-губинский плес	9,51	63,26	150,60	1,40	26,36	121,65
» » »	11,03	59,87	152,21	1,26	26,11	123,13

Как следует из таблицы, отдельные ионы можно разделить на три группы: к первой из них относится ион CO₃'' и щелочные металлы (Na⁺ + K⁺), хлорные коэффициенты которых возрастают с ростом общей солености воды; ко второй группе относится ион SO₄'', хлорный коэффициент которого не обнаруживает существенных и закономерных изменений с общим ростом солености; наконец, к третьей группе относятся ионы кальция, магния и бикарбонатной углекислоты, хлорные коэффициенты которых характеризуются тенденцией к уменьшению от района устья р. Или к северо-восточной оконечности озера.

Рассмотрение величин хлорных коэффициентов и сопоставление их с абсолютным содержанием ионов, выраженным в миллиграммах на литр, показывает, что, несмотря на отчетливо видимый рост абсолютного содержания всех ионов (за исключением ионов кальция) в воде оз. Балхаш, относительное количество большинства из них далеко не всегда возрастает при повышении общей концентрации в воде озера. Кроме того, из сказанного выше вытекает следующее: 1) Ионы щелочных металлов меньше всего расходуются водой оз. Балхаш и, следовательно, в наименьшем количестве уходят в осадок. 2) Анионы Cl' и SO₄'' расходуются в несколько большей степени. 3) Наибольшее относительное сокращение содержания констатируется для ионов Ca⁺⁺, Mg⁺⁺, HCO₃', за счет которых, надо думать, возникают и выпадают на дно озера молекулы карбонатов, слагая развитые там известковые и известково-доломитовые илы. Что касается иона CO₃'', который ведет себя отлично от всех прочих, то здесь уместно напомнить, что его нельзя рассматривать изолированно, без учета изменений содержания иона HCO₃'. К этому следует добавить, что содержание хлора в западном плесе возрастает несколько быстрее, чем сумма всех ионов, а в восточных плесах рост общей солености соответствует росту содержания хлора в воде.

До сих пор мы оперировали ионными соотношениями. Попытаемся теперь дать некоторое представление о тех солевых комплексах, которые

могут возникнуть в воде, взятой из разных частей оз. Балхаш. По данным В. Д. Коншина, пересчет ионного состава воды озера показывает, что здесь могут возникнуть следующие соли: хлориды натрия и калия (NaCl и KCl), сульфат натрия (Na_2SO_4), сульфат магния (MgSO_4), бикарбонат магния [$\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$], бикарбонат кальция [$\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$], карбонат магния (MgCO_3) и карбонат кальция (CaCO_3). Сюда необходимо прибавить двойную углекислую соль кальция и магния [$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$], которая может возникать в восточных плесах озера. Помимо этого, возможно образование и других солей, однако количества их практически ничтожны. Содержания всех перечисленных солей различны для разных частей бассейна. Количество углекислого кальция практически одинаково в крайней восточной и западной частях водоема, но заметно возрастает в средних плесах его. Наибольшие количества кислого углекислого кальция согласно расчетам содержатся в южной части западного плеса водоема в районе устья р. Или. По мере удаления от устья последней содержание этой соли в воде падает и в восточной половине водоема равно нулю. В противоположность этому углекислый магний совершенно отсутствует в воде западного плеса озера, появляясь лишь в восточной половине водоема. Здесь по мере приближения к восточной оконечности озера отчетливо видна тенденция к увеличению содержания этой соли.

Все остальные соли присутствуют в воде озера повсеместно. При этом количество их резко возрастает по направлению с запада на восток. Особенно резко увеличивается содержание сернокислого натрия, который находится в воде Бурлю-тюбинского плеса в равном количестве с хлоридами натрия и калия ($\text{KCl} + \text{NaCl}$), в то время как в районе устья р. Или отношение сульфата натрия к сумме хлоридов натрия и калия равно 1 : 1,5.

Все указанные выше соли и ионы играют первостепенную роль в общей минерализации воды оз. Балхаш. Однако наряду с ними в воде бассейна содержатся и второстепенные компоненты, присутствующие в малых количествах, но представляющие существенный интерес с точки зрения характеристики протекающих в озере процессов образования осадков. К числу таких компонентов, о присутствии которых в воде мы имеем определенные сведения, относятся калий, медь, кремнекислота и фосфорная кислота.

По данным П. Ф. Домрачева, не проверенным нашими анализами, получается отчетливая картина обогащения вод оз. Балхаш калием. Содержание калия растет по мере движения на восток быстрее, чем концентрация любого другого иона. Причина указанного явления в настоящее время не ясна.

Содержание фосфора в воде оз. Балхаш определял П. Ф. Домрачев, который установил, что в воде оз. Балхаш наименьшее количество фосфора содержится в западной части, примыкающей к устью р. Или. Далее к востоку содержание его заметно возрастает, а затем, начиная от пролива Узун-арал и до восточной оконечности озера остается почти стабильным. Во всяком случае, величины, характеризующие верхний предел содержания этого элемента в воде, здесь повсюду практически одинаковы. Отсюда можно сделать вывод, что фосфор по мере повышения концентрации воды вначале ведет себя как и большинство других элементов и обнаруживает некоторый рост содержания, а затем, в пределах восточной части озера, достигнув, повидимому, определенной концентрации, перестает накапливаться, несмотря на увеличение общей минерализации воды. Надо полагать, что здесь он начинает расходоваться. Расход фосфора может быть обусловлен по крайней мере двумя факторами: во-первых, поглощением его планктонными и другими организмами и, во-вторых, выпадением его в осадок в виде минеральных

соединений. Однако в нашем случае особенности поведения фосфора вряд ли обусловлены поглощением его организмами, так как при этом максимальные количества его наблюдались бы в воде западного плеса, неподалеку от устья р. Или, являющейся главным первичным источником фосфора. Кроме того, постоянное содержание фосфора в воде восточной части бассейна, обладающей неодинаковой минерализацией в пределах разных участков, плохо вяжется с предположением о том, что особенности распределения фосфора в воде бассейна обусловлены поглощением его организмами. Последние, конечно, расходуют определенную часть соединений этого элемента, но не выводят значительного количества фосфора из общего круговорота, так как при гибели их и разложении органического вещества он вновь в значительном количестве возвращается в раствор. Расход фосфора, вероятно, обусловлен вторым фактором — выпадением соединений этого элемента в осадок по мере повышения концентрации воды.

Содержание кремниевой кислоты в воде всех частей озера колеблется в одинаковых пределах и составляет в среднем около 5 мг/л.

Систематических определений содержания ионов железа, алюминия и меди проведено не было и в отношении их мы располагаем данными всего одного-двух анализов.

Железо, согласно данным анализа воды, взятой нами с одной станции, находится в воде средней части западного плеса в количестве 1,20 мг/л.

Алюминий, согласно тому же анализу, содержится примерно в таком же количестве — 1,27 мг/л.

Интересно отметить, что, по данным П. Ф. Домрачева (1929 г.), железо содержится в воде притоков Балхаша в следующих количествах (в мг/л): в р. Каратал 1,4, в р. Лепсе 2,5, в р. Ак-су 1,4; в р. Или железо отсутствует.

Таким образом, вода каждого из притоков оз. Балхаш содержит несколько большее количество железа, чем вода самого бассейна. Это ясно указывает на выпадение некоторых количеств соединений железа из воды и на переход его в осадок.

Медь определялась в двух пробах воды озера, взятых нами из западного плеса; обе пробы были взяты в открытой части бассейна. При производстве анализов этот элемент был отдельно определен из взвеси, присутствовавшей в воде, и из сухого остатка. Анализы дали следующие результаты (в процентах):

	Сухой остаток	Взвешенная часть
Вода из района к востоку от о. Тас-арал . . .	0,0003	0,002
Вода из района горы Таргыл	0,0002	0,0024

Из приведенных данных следует, что медь содержится в воде западной части озера в ничтожном количестве. При этом в сухом остатке этого элемента содержится в 10 раз меньше, чем во взвешенной части. Отсюда можно заключить, что медь приносится в бассейн в основном как составная часть твердого стока.

Активная реакция воды в оз. Балхаш определяется в основном соотношением между количеством монокарбонатной, бикарбонатной и свободной уголекислоты, в то время как роль других факторов, определяющих активную реакцию (содержание других слабых кислот), здесь, сравнительно с карбонатами, ничтожна. В связи с этим, по мере удаления от устья р. Или и возрастания количества иона CO_3^{2-} в воде и относительного снижения количество иона HCO_3^- (а также снижения содержания свободной CO_2), величина рН возрастает. Как видно из табл. 3, наименьшее значение рН (8,2) определяется в воде близ устья р. Или.

Наибольших значений рН достигает в восточных — Лепсинском и Бурлю-
тюбинском плесах, где величина его доходит до 9,15—9,2. В промежутке
между упомянутыми крайними пунктами величина рН закономерно и
весьма постепенно увеличивается к востоку.

По данным П. Ф. Домрачева, «Балхаш является водоемом, с водой,
достаточно насыщенной кислородом, содержание которого в поверх-
ностных слоях часто превышает 100% насыщения. Абсолютные коли-
чества кислорода подвержены заметным пространственным и сезонным
изменениям». Количество кислорода в воде, как правило, колеблется
в пределах от 6 до 11 мг/л. В отдельных случаях оно опускается до 3,1
и возрастает до 14 мг/л.

Количество свободной углекислоты (CO_2) в воде оз. Балхаш невелико
и не превышает 2 мг/л и подвержено заметным изменениям. Наибольшее
количество свободной углекислоты определяется в южной части запад-
ного плеса озера близ устья р. Или, а также в районе устьев других
притоков.

В заметных количествах CO_2 содержится только в воде западного
плеса озера, где она обнаруживается почти повсюду и колеблется в пре-
делах от 0,2 до 2 мг/л. Однако уже в северной части Западного плеса
имеются станции, в воде которых не удалось определить свободной CO_2 .
По словам П. Ф. Домрачева, за пределами западного плеса «нигде, кроме
опресненных участков, при устьях рек свободной углекислоты не обна-
руживалось». П. Ф. Домрачев пользовался методом Тильмана и Геблейна,
который оказался недостаточным для определения малых количеств
углекислоты в воде восточных плесов.

Снижение содержания свободной углекислоты в воде озера к востоку
становится понятным, если учесть высокие значения рН, наблюдающиеся
в этой части водоема.

Приведенная выше краткая характеристика гидрохимии оз. Балхаш
указывает на то, что он представляет собой весьма специфический во-
доем, которому трудно подыскать аналогов среди других озер мира.

По своему режиму Балхаш относится к группе так называемых
олиготрофных озер, а по строению щелочного резерва — ко второму
классу карбонатных озер по схеме Н. М. Страхова (1951).

Сопоставление зимних концентраций воды

Место взятия пробы в северной части Западного плеса	Глубина взятия пробы, м	Ко н	
		монокarbonатной	
		зимняя средняя	летняя
Открытое озеро в 5 км к югу от западного мыса залива Тарангалык	У поверхности	18,9	23,7
	На глубине 5 м	18,5	15,9
Открытое озеро в 4 км к юго-западу от Бер- тысского полуострова	У поверхности	19,0	31,7
Открытое озеро в 5 км к юго-востоку от Бер- тысского полуострова	У поверхности	20,7	31,7
	На глубине 6 м	20,2	23,8

При движении от устья р. Или к югу, в южную замкнутую часть бассейна, мы вновь сталкиваемся с теми же изменениями в составе воды, которые были подмечены при движении в сторону восточной оконечности водоема. И здесь возрастает соленость воды, увеличивается содержание в ней монокарбонатной углекислоты, повышается значение рН и т. д. Однако все эти изменения не настолько интенсивны, как в восточной части озера.

При оценке химизма воды в оз. Балхаш нельзя не остановиться на некоторых изменениях, которые претерпевают воды этого бассейна в течение года. По данному вопросу имеются лишь сведения М. И. Гурвича (1934) и результаты круглогодичных наблюдений, организованных нами в крайней восточной части оз. Балхаш, в бухте Бурлю-тюбе, в 1945—1946 гг.

М. И. Гурвич (1934), проводивший исследования в районе, примыкающем к городу Балхаш, указывает, что состав воды в озере в зимний и летний периоды различен. Прежде всего бросается в глаза то, что общая концентрация солей в воде этой части оз. Балхаш в зимнее время возрастает по сравнению с летним. Прямые указания на это в работе М. И. Гурвича отсутствуют. Однако если обратиться к рассмотрению содержания хлора в воде, по изменению которого обычно судят о соответствующих изменениях общей концентрации солей, то получится совершенно определенная картина увеличения солености воды в оз. Балхаш зимой по сравнению с летним временем: содержание хлора повсеместно значительно повышается в пределах от 3 до 25—27% (табл. 5).

Такой рост содержания хлора и солености воды в главной части озера может быть объяснен образованием ледового покрова в зимнее время: на образование слоя льда расходуется значительная часть пресной воды, концентрация же остальной части воды соответственно возрастает. Понятно, что в западной, мелководной части озера, где слой льда достигает толщины около 1 м, этот процесс существенно повышает соленость воды в зимнее время.

Углекислота, содержащаяся в воде озера в монокарбонатной и бикарбонатной форме, ведет себя в летнее и зимнее время резко различно.

Таблица 5

оз. Балхаш с летними

концентрация CO_2 , мг/л				Возрастание зимней концентрации по сравнению с летней, %					
бикарбонатной		монокарбонатной + бикарбонатной		Cl^-	SO_4^{2-}	CO_2			
зимняя средняя	летняя	зимняя	летняя			монокарбонатной	бикарбонатной	монокарбонатной + бикарбонатной	
273,0	182,5	291,9	206,2	27,0	34,0	—20,3	49,6	41,8	
281,5	206,1	300,0	222,0	16,0	18,5	16,4	36,3	35,1	
270,0	190,0	289,0	221,7	25,0	24,0	—40,1	42,1	30,5	
303,0	222,1	323,7	253,8	4,1	58,0	—34,7	38,7	27,6	
283,2	230,0	303,4	253,8	3,2	53,2	—18,8	22,8	19,5	

Поведение иона HCO_3' примерно такое же, как и хлор-иона, причем содержание его в зимнее время возрастает в пределах от 23 до 50%, т. е. больше, чем хлора (табл. 5).

Другой ион — ион монокарбонатной углекислоты — ведет себя совершенно по-иному. Количество его не только не возрастает в зимнее время, а, наоборот, как правило, резко падает в пределах от 18,8 до 40,1%. Это явление может быть истолковано как результат перехода части монокарбонатной углекислоты в бикарбонатную под влиянием новых порций CO_2 , поступающих в озерную воду.

Общее количество моно- и бикарбонатной углекислоты увеличивается в зимнее время по сравнению с летним в пределах от 19,5 до 41,8%. Характерно, что это увеличение всегда больше соответствующего возрастания содержания хлора и общей солености.

Такое явление представляется для озерных бассейнов обычным, так как в осенне-зимнее время планктонные формы водорослей и других растений отмирают, в связи с чем резко сокращается, а временами и совсем прекращается фотосинтез, на который в летнее время расходуются огромные массы углекислоты. Кроме того, в зимнее время продолжается поступление углекислоты вследствие жизнедеятельности животных организмов, в результате чего запасы ее зимой возрастают.

Заметные изменения наблюдаются и для сульфат-иона, количество которого в зимнее время значительно возрастает по сравнению с летним и увеличивается в пределах от 18,5 до 58%. Следует отметить, однако, что причина таких резких колебаний содержания сульфат-иона неясна.

В связи с наметившимися интересными сезонными изменениями состава воды нами были проведены длительные наблюдения за изменением содержания карбонатных ионов в воде восточной части оз. Балхаш, близ берега в районе бухты Бурлю-тюбе. При этом пробы для анализа брались 2 раза в месяц, а в период ледостава 1 раз в месяц, и непосредственно после взятия анализировались на месте на содержание ионов CO_3'' и HCO_3' . Данные этих анализов приведены в табл. 6.

Таблица 6
Сезонные изменения содержания ионов CO_3'' и HCO_3'
в воде оз. Балхаш

Дата взятия пробы и анализа	Содержание ионов, мг/л		
	CO_3''	HCO_3'	$\text{CO}_3'' + \text{HCO}_3'$
7 августа	175	684	859
18 октября	158	751	909
3 ноября	172	724	896
16 ноября	158	724	882
1 декабря	158	751	909
2 января	145	738	883
3 февраля	132	765	897
2 марта	119	833	952
17 апреля	132	778	910
1 мая	158	697	855
16 мая	238	630	868

Из данных табл. 6 следует, что в восточной части озера незначительно сокращается содержание иона CO_3^{2-} в воде в зимнее время и ранней весной. При этом минимальная концентрация (всего 119 мг/л) приходится на раннюю весну (2 марта). Начиная с апреля, количество монокарбоната в воде оз. Балхаш возрастает.

Рассматривая сезонные изменения содержания бикарбонатного иона, нельзя не прийти к заключению, что оно практически все время несколько изменяется, а в течение времени с 3 февраля по 17 апреля достигает значений, превышающих летние количества. Суммарное же содержание углекислоты в воде близ бухты Бурлю-тюбе в течение зимы остается практически постоянным. В то же время в других озерных бассейнах и в более западных районах Балхаша запасы ее постоянно возрастают. В обычных условиях это и не может быть иначе, так как массы углекислоты, образующиеся в результате жизнедеятельности животных и разложения органического вещества, в зимнее время, как правило, накапливаются в воде. Зимой в восточных плесах оз. Балхаш несомненно происходит процесс выделения свободной углекислоты, однако количество ее настолько мало по сравнению с количествами моно- и бикарбонатной углекислоты, растворенными в воде этой части озера, что свободная углекислота не оказывает почти никакого влияния на сумму этих ионов.

Органический мир

Вода и дно оз. Балхаш относительно бедны растительностью и представителями животного мира. Огромные площади на дне водоема лишены, как правило, флоры водорослей, которые в больших количествах встречаются лишь близ берегов и особенно в заливах, где они сплошь покрывают значительные площади. В соответствии с этим в осадках открытой части озера обычно не удается встретить донных водорослей, а все остатки растений, находящиеся в илу, представляют собой преимущественно части стеблей трав, камыша и кустарников, растущих по берегам или в долинах впадающих в озеро рек.

Планктонные растительные формы не отличаются разнообразием; среди них указываются диатомеи и сине-зеленые водоросли, изученные еще недостаточно. Диатомовые водоросли описаны в работе С. М. Вислоуха (1923), который приводит 20 форм их, в том числе семь галофильных. В более поздней работе В. М. Рылова (1933) приводятся еще две галофильные формы. Таким образом, для Балхаша в настоящее время известно 22 вида диатомовых водорослей. Из сине-зеленых и зеленых водорослей разные исследователи указывают: *Chroococcus minor* K t z. N a g., *Phormidium retzii* (A g.) G m t., *Oscillatoria brevis* K t z., *Oocystis solinaria* W i t t r., *Botryococcus braunii* K t z. и др. Из них *Botryococcus braunii* K t z. представляет особый интерес, поскольку эта форма, скапливаясь в недавнем прошлом в огромных количествах в заливе Ала-куль, давала своеобразное сапропелевое вещество, известное под названием балхашита.

В осадках фитопланктон представлен кремневыми скелетиками диатомовых водорослей, которые местами скапливаются в больших количествах и начинают играть значительную роль в составе донных отложений.

Животный мир, населяющий озеро, не отличается разнообразием. Особенно бедно представлены позвоночные, из которых известно всего восемь видов рыб. В числе последних массовым распространением пользуются только три вида — сазан, маринка и окунь. Они населяют все плесы и являются промысловыми рыбами. В илах остатки позвоночных

встречаются очень редко и не имеют здесь сколько-нибудь существенного значения.

Из беспозвоночных бентонных форм указываются: моллюски, *Chironomidae*, черви, а также донные формы следующих отрядов ракообразных — *Copepoda*, *Cladocera* и *Ostracoda*.

Раковины моллюсков встречены нами в осадках, взятых со многих станций оз. Балхаш. Однако они, как правило, распространены неравномерно по дну и тяготеют преимущественно к песчаным грунтам, встречаясь в илистых как исключение. Очень важно отметить, что за все время работ мы не встретили ни одной живой формы, и все раковины были мертвы и пусты, несмотря на то, что пробы, приносимые дночерпателем, местами наполовину слагались раковинным материалом.

Большие сборы моллюсков оз. Балхаш сделал П. Ф. Домрачев и передал их для определения А. И. Янковской. По данным последней, в оз. Балхаш обнаружены 11 видов моллюсков, относящихся к родам *Limnaea*, *Valvata*, *Bythynia*, *Planorbis* и *Pisidium*. Из этих моллюсков наиболее распространены *Valvata piscinalis*, *Planorbis albus*, *Pisidium* sp. Характеризуя фауну моллюсков, А. И. Янковская (1933) пишет: «Необходимо отметить, что материал с *Mollusca* содержал, за исключением *Pisidium*'а, преимущественно мертвые раковины. В большинстве случаев раковины очень обточенные, что указывает на давность их происхождения». Добавлю от себя, что обточенность и истертость раковин, наряду с тем, что они представлены почти исключительно мертвыми формами, свидетельствует в пользу предположения, что раковинный материал принесен в озеро либо с берегов, либо из притоков. Озеро населяет, возможно, лишь один род *Pisidium*.

Далее А. И. Янковская указывает, что наибольшее количество видов моллюсков (10 видов) встречено в западном плесе оз. Балхаш, тогда как в восточных плесах число их сокращается и в Бурлю-тюбинском плесе составляет всего шесть. Таким образом, качественный состав раковин моллюсков несколько изменяется с запада — от более пресноводных плесов, на восток — к плесам, более осолоненным.

Из бентонных форм в Балхаше наиболее распространены личинки хирономид, которые населяют ил и особенно часто встречаются в пробах, взятых дночерпателем в восточных плесах водоема.

Подробное изучение хирономид провел А. Ю. Микулин (1933), который определил в илах оз. Балхаш 19 различных представителей этой группы. Наиболее распространенными хирономидами являются: *Chironomus salinaris* Kieff., *Protenches*, *Cryptochironomus* и *Harnischia*.

Плотность населения личинок хирономид весьма значительна и растет с запада на восток. Так, по данным А. Ю. Микулина, на одну пробу донных отложений в западном плесе озера приходится 6—7 экземпляров, в Лепсинском плесе 10,5, а в Бурлю-тюбинском плесе 14,8 экземпляра. Личинки хирономид встречены нами исключительно в илах и, надо полагать, отсутствуют в песках и песчаных илах.

Зоопланктон оз. Балхаш подробно изучал В. М. Рылов (1933), который определил в нем представителей *Protozoa*, *Rotatoria*, *Copepoda*, *Cladocera* — всего 50 различных видов. Упомянутый автор считает, что планктон Балхаша беден количественно и качественно, причем в нем отсутствуют многие формы, весьма обычные для озерных водоемов.

Характеризуя зоопланктон, В. М. Рылов пишет: «Рассматривая качественный состав планктона, однако, мы должны особенно отметить весьма значительную роль рачков. Не говоря уже о *Diaptomus salinus*, главным образом за счет которого в некоторых случаях нужно отнести

сырой объем планктона, в Балхаше в значительных количествах развиваются *Mesocyclops*, *Diaphanogona*, *Cephaloxus*».

Интересно отметить, что планктон западного плеса озера богаче формами, чем восточных. Так, из числа наиболее часто встречающихся в озере 22 планктонных форм в Западном плесе обнаружено 20. В то же время в Бурлю-тюбинском плесе встречено всего 13 форм. Обращает на себя внимание тот факт, что в планктоне Западного плеса, особенно его южной части, много прудовых форм, принесенных из дельты р. Или.

Остатки планктонных животных встречаются в осадках оз. Балхаш в заметных количествах, причем чаще всего они представлены раковинками остракод и других родственных им форм.

Все исследователи — Л. С. Берг, П. Ф. Домрачев, В. М. Рылов, А. Ю. Микулин и А. И. Янковская — единодушно указывают на бедность животного и растительного мира Балхаша и на малую продуктивность этого водоема. Хотя в настоящее время нет опубликованных работ с достоверными количественными данными, подтверждающими это мнение, все же с фактом малой продуктивности оз. Балхаш приходится считаться.

Причины слабого развития флоры и фауны в оз. Балхаш в настоящее время неясны. Возможно, что его следует поставить в связь с чрезвычайной мутностью и специфическим солевым составом воды этого бассейна.

Питание оз. Балхаш и элементы баланса

В оз. Балхаш стекают реки, берущие начало в зонах, различных по своим физико-географическим условиям. С запада и севера в озеро впадают реки Мойнты, Джамчи и Токрау, обладающие активным водотоком только в верховьях, и огромные сухие долины, совершенно безводные в течение всего года, за исключением короткого периода весеннего снеготаяния. Эти долины, наиболее крупной из которых является долина Кентерлау, впадают преимущественно в восточную часть озера, совершенно лишенную других северных притоков.

С востока и юга, со стороны горных сооружений северного Тянь-Шаня, Джунгарского Алатау и отчасти Тарбагатай, в оз. Балхаш стекают наиболее крупные притоки. Река Или, дающая подавляющую часть всего стока, и более мелкие реки — Каратал, Лепса, Ак-су и Аягуз. За исключением Аягуза все они представляют полноводные артерии, несущие большое количество воды и особенно многоводные в летнее время, при интенсивном таянии ледников в горах.

Бассейн озера складывается из бассейнов всех перечисленных рек и собственной водосборной площади. Из них на долю активного бассейна приходится 152 985 кв. км.

Распределение водосборного бассейна оз. Балхаш между его притоками видно из следующей табл. 7.

Площадь бассейна р. Мойнты составляет, по данным А. В. Шнитникова (1936), 4800 кв. км, площадь р. Токрау 19 090 кв. км, однако их нельзя причислить к активному бассейну озера, так же как долины некоторых других речек и крупных ложбин стока, вроде долины Кентерлау.

Расходы рек Балхашского бассейна еще недостаточно изучены. Для большинства крупных рек имеются данные, характеризующие их сток, для рек же Мойнты и Токрау нам систематические наблюдения не известны. По р. Джамчи и долине Кентерлау в нашем распоряжении совершенно нет материалов, характеризующих их расход.

Средний расход за год по р. Мойнты составлял около 10 м³/сек.

**Активный водосборный бассейн оз. Балхаш и его
притоков**

Наименование притоков	Площадь бассейна, км ²
Или	112 700
Каратал	13 810
Ак-су	4 190
Лепса	6 790
Аягуз	9 495
Собственная водосборная площадь	6 000
	152 985

Для р. Токрау среднегодовые расходы достигают больших величин. В отдельные годы расход р. Токрау резко возрастает. Так, в рекордном 1943 г., когда воды р. Токрау дошли до оз. Балхаш, средние расходы достигли в отдельные месяцы десятков м³/сек. Отсюда ясно, что в отдельные годы Токрау вносит в озеро заметные количества воды.

Химизм вод рек Моинты и Токрау систематически не изучался, и в нашем распоряжении нет данных, на основании которых можно было бы показать, какое количество минеральных растворимых солей они несут к оз. Балхаш. Однако малый расход этих рек позволяет считать, что количество это весьма невелико.

Приток воды в оз. Балхаш составляет, по вычислению Г. Р. Юнусава, всего ок. 15 куб. км в год расхода рек в верховьях. Из этого числа большая часть поступает в западную часть озера и меньшая — в восточную. Главную массу воды вносит в озеро р. Или, тогда как на долю всех других рек приходится примерно четвертая часть поверхностного стока.

Режим стока большинства рек подвержен значительным колебаниям. Как правило, главная масса воды стекает по речным долинам в весеннее и летнее время, тогда как зимой интенсивность стока заметно падает. Так, расходы р. Или в течение зимы остаются стабильными, к апрелю количество воды в реке заметно увеличивается, а с апреля по июль расход возрастает в 2—2,5 раза. Наибольшее количество воды проносится р. Или в июне и июле. В августе обычно начинается резкий спад, продолжающийся и в сентябре. Наименьший расход воды приходится на январь и февраль.

Подобная картина наблюдается и на реках Каратал и Лепсе. Неравномерность речного стока заметно отражается на уровне оз. Балхаш, который подвержен значительным колебаниям. Действительно, уровень воды в бассейне периодически изменяется, причем кривая колебания его имеет почти такой же характер, как и кривая расхода р. Или. Наиболее высокие уровни приходятся на июнь, затем, несмотря на продолжающийся большой приток воды, уровень остается стабильным или же несколько падает. Это находится в прямой связи с испарением, достигающим в июле наибольших величин.

Подземные воды не имеют сколько-нибудь существенного значения в питании озера. Структуры палеозойских пород, к которым приурочены

пластовые и трещинные воды, узки и вытянуты вдоль берега озера. Тем самым исключается возможность наличия больших бассейнов подземных вод в непосредственной близости от озера и, следовательно, стока в него значительных масс грунтовых вод.

Грунтовые потоки, связанные с аллювиальными отложениями речных долин, безусловно играют некоторую роль в питании озера. Однако эта роль невелика. Проведенный подсчет показывает, 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. Грунтовый поток в рыхлых русловых отложениях рек Или, Каратал, Ак-су, Лепсы и Аягуз несомненно существует, однако в нашем распоряжении нет данных, позволяющих оценить его расход и определить место, которое он занимает в питании описываемого бассейна. Можно лишь предполагать, что расход грунтового аллювиального потока всех перечисленных рек относительно невелик по сравнению с величиной их поверхностного стока.

Питание озера водой, поступающей непосредственно с берегов и собственно из его бассейна, совершенно ничтожно.

Огромные массы поверхностных вод, поступающие в оз. Балхаш, несут с собой большое количество растворенных химических соединений и мелкого обломочного материала, идущих на образование осадков озера.

Вода всех перечисленных притоков оз. Балхаш относится к III классу, по Пальмеру.

Из приведенных данных следует, что хотя все реки, впадающие в оз. Балхаш, несут пресную воду, однако степень минерализации их различна. При этом наибольшее количество минеральных солей содержит р. Или, на втором месте находятся реки Каратал и Лепса, вода которых почти в одинаковой степени минерализована и, наконец, наиболее пресную воду имеет р. Ак-су.

Такое различие в степени минерализации воды, при одинаковом соотношении отдельных растворенных компонентов (одинаковом классе воды) в различных реках, свидетельствует о том, что в данном случае происходит процесс повышения концентрации, обусловленный испарением воды. Действительно, вода р. Или должна пройти от истоков до устья путь, значительно более длинный, чем вода р. Каратал или р. Лепсы; при этом она намного больше испаряет воды и, естественно, оказывается более минерализованной.

Химический состав воды рек района, расходы которых подвержены значительным колебаниям, не может оставаться постоянным и меняется в течение года. Минерализация воды в реках повышается от истоков рек к их устьям. Максимальное содержание минеральных веществ в воде в устьевой части примерно в 2 раза больше, чем в верховьях, и следовательно, концентрация воды за время движения от истоков к устью возрастает в 2 раза. По наблюдениям, относящимся к другому периоду времени, отмечено то же явление.

В заключение интересно сравнить состав воды р. Или с водой ее притоков, берущих начало высоко в горах, близ снеговой линии, и посмотреть, не изменяются ли соотношения различных ионов по мере движения из горной области к нижнему течению р. Или.

Можно думать, что воды в верховьях рек, образовавшиеся за счет дождей, выпавших в горах, или за счет таяния ледников, чрезвычайно быстро растворяют многие ионы, и в первую очередь ионы кальция, бикарбонатной углекислоты и кремниевой кислоты. Повидимому, процессы выветривания в горах, в зоне влажного горного или холодного высокогорного климата, идут таким образом, что подготавливают коренные

породы для быстрого выщелачивания. Поверхностные воды, в свою очередь, обладают здесь высокой растворяющей способностью, что прежде всего обусловлено значительным содержанием углекислоты в них. Эти особенности вызывают быструю минерализацию вод и находят свое отражение в химическом составе воды притоков описанной речки, типичном для поверхностных вод горной части бассейна оз. Балхаш.

При сравнении химического состава вод истоков одной из рек текущей в Зайилийском Алатау (бассейн р. Или) с водой р. Или, бросается в глаза резкое различие в степени минерализации. Вода р. Или почти в четыре раза более минерализована, чем вода истоков речки. Количество же отдельных ионов по направлению от истоков речки к р. Или возрастают следующим образом: хлора и кальция — в 3,8 раза, бикарбонатной углекислоты — в 4,7 раза, магния — в 5 раз и, наконец, сульфат-иона — в 10 раз. Из приведенных данных можно сделать вывод, что по направлению к нижнему течению р. Или не только увеличивается степень минерализации воды истоков, но происходит и некоторое изменение состава солей. Особое внимание привлекает резкое увеличение содержания сульфат-иона, количество которого возрастает в 10 раз, а также и ионов магния и углекислоты, содержание которых растет в 4,7—5 раз при общем увеличении количества минеральных солей в воде в 4 раза.

Помимо растворимых солей, притоки оз. Балхаш несут в него большое количество взвешенных минеральных частиц, которые, отлагаясь на дне бассейна, входят в состав его осадков. Наибольшее количество мути вносит р. Или, далее следуют реки Лепса и Каратал, дающие примерно одинаковое количество взвешенных частиц, и, наконец, на последнем месте стоит р. Ак-су, несущая наиболее чистую воду.

Интересно отметить, что количество взвешенных частиц, переносимых водой, возрастает вниз по реке. Так, в верхнем течении одной из рек количество переносимой мути составляло в среднем за год 3,09 кг/сек, а вблизи устья за тот же год оно доходило до 31,7 кг/сек. Расход же реки на этом промежутке несколько сокращается. Таким образом, количество взвешенных частиц, переносимых рекой, возрастает здесь в 10 раз. То же явление наблюдается на других речках, где на промежутке между гидрометеопунктами, расположенными выше и ниже по реке, количество взвешенных частиц, переносимых рекой, возрастает почти в 2 раза и, в частности, для одной артерии с 13,1 до 25,0 кг/сек.

Количество взвешенного материала, выносимого реками, непостоянно и меняется в зависимости от времени года.

Зимой вода несет мало взвеси и относительно прозрачна. В весенние месяцы количество мути резко возрастает. Но максимума оно достигает в летнее время — с 15 мая по август. Летом огромные массы воды, выносимой реками, отличаются наибольшей мутностью, причем количество взвеси доходит до 1 кг/куб. м. Осенью наблюдается постепенный спад количества воды, переносимой реками, а также резко повышается ее прозрачность.

Во время работ на оз. Балхаш удалось собрать взвешенное вещество из воды рек Или и Лепсы и проанализировать его. В табл. 8 приведены результаты анализа 1,5%-ной солянокислой вытяжки взвешенного вещества. Из этой таблицы прежде всего следует, что в составе твердой взвеси содержится значительное количество углекислого кальция.

Как видно, количество углекислого кальция достигает 13,01% (р. Лепса) и 19,86% (р. Или).

Таким образом, муть, вносимая р. Или в оз. Балхаш, примерно на 20% состоит из углекислого кальция. Интересно отметить, что русловые отложения менее карбонатны, чем взвесь. Среднее содержание угле-

Анализы солянокислой вытяжки взвешенного вещества

(содержание в %)

Место взятия пробы	Минераль- ный нера- створимый остаток	Полуторные окислы	CaO	MgO	CO ₂	CaCO ₃	MgCO ₃	MgO сили- катная
р. Или у с. Куйган . . .	67,50	4,75	11,13	1,66	9,00	19,86	0,52	1,41
р. Лепса у совхоза (близ устья)	66,88	7,29	7,29	1,70	5,76	13,01	0,08	1,66

кислого кальция в русловых отложениях составляет 16% и не подни-
мается выше 18%, взвешенное же вещество содержит, как указывалось
выше, около 20% этого соединения.

Особый интерес представляет наличие в составе взвеси р. Или угле-
кислого магния, количество которого достигает 0,52%. Если это коли-
чество пересчитать на доломит, то содержание последнего составит 1,12%
от общего количества взвеси.

Следует отметить, что в то время как вещество, взвешенное в воде
р. Или, содержит в своем составе доломит в количестве до 5% от кар-
бонатной части, русловые отложения совершенно свободны от этого
минерала. Содержание железа во взвешенном веществе, переносимом в
воде р. Или, составляет 3,11% и в составе взвеси р. Лепсы 3,9%.

В настоящее время нет материалов, характеризующих грунтовый
поток рек Или, Каратала, Лепсы, Ак-су и Аягуза по химическому со-
ставу. Роль их в балансе минерального вещества, поступающего в озеро,
равно как и роль подземных вод юго-восточного Прибалхашья, проса-
чивающихся в бассейн, совершенно не учтена, но, по видимому, невелика.

Неучтенным остается также материал, вносимый грунтовыми пото-
ками в долинах рек Мойнты, Джамчи и Токрау и материал сухих ложбин
стока северного и западного Прибалхашья. Однако если учесть, что грун-
товый поток этих речных долин доносит до озера количество воды, равное
одной полуторатысячной части от суммарного стока поверхностных вод,
то станет понятно, что роль растворенного материала, приносимого под-
земными водами речных долин северного Прибалхашья, совершенно
ничтожна.

Факт приноса ветром обломочного материала — тонкого песка и пы-
леватых частиц — и отложения его на поверхности воды в оз. Балхаш
не может оспариваться. Озеро Балхаш лежит в области, характеризую-
щейся сухим климатом и, как следствие этого, незначительным разви-
тием растительного покрова. В результате почвенный слой, слабо
защищенный растительностью и сложенный сухим материалом, легко
поддается здесь развеванию.

Особенно слабо развит растительный покров в пределах пустынного
юго-восточного Прибалхашья, где преобладают полузадернованные, а на
отдельных участках голые подвижные пески.

В северном и западном Прибалхашье сплошной растительный покров
наблюдается как исключение, причем он развит здесь в русловых частях
пересыхающих речек или на пойменных террасах рек, обладающих по-
стоянным водотоком. Все остальные пространства этой области поросли,
как правило, редкой травой или низкорослыми кустарниками, причем
почва в значительной части остается и здесь открытой.

В таких условиях сильные ветры, довольно частые в Прибалхашье, поднимают в атмосферу и переносят значительные массы тонкого обломочного материала. Подобное явление я наблюдал в 1943 г. в районе устья р. Каратал, когда в результате сильного ветра, дувшего в течение трех дней, поднялись огромные массы пыли. Воздух был настолько насыщен ею, что свет заметно померк, а солнце и в середине дня представлялось в виде тусклого красно-желтого шара.

Само собой разумеется, что после прекращения ветра пыль понемногу оседает на землю, а часть ее попадает на поверхность воды оз. Балхаш и отлагается на его дне, входя в состав осадков данного водоема.

Помимо этого, хорошо всем известного пути обогащения эоловым материалом осадков озера, некоторое количество песка может попадать в водоем в зимнее время, когда, вследствие слабого развития снегового покрова, песок вместе с сухим снегом перекачивается по поверхности почвы и, дойдя до берега, продолжает свой путь по льду озера. Рано или поздно этот песчаный материал задержится, накапливаясь в трещинах и неровностях льда, и при таянии его упадет на дно озера, увеличивая мощность осадков, отлагающихся в водоеме. Этим путем — по льду озера — может переноситься на значительное расстояние большое количество зерен песка, величина которых, будучи прямо пропорциональной силе ветра, может достигать значительных размеров.

Однако оценка массы материала, поступающего таким образом в озеро, крайне затруднена, ввиду отсутствия соответствующих наблюдений за количеством пылеватых частиц и песка, выпадающего из воздуха на поверхность озера или наносимого с берегов путем перекачивания по льду. Некоторые сравнительные данные для суждения по рассматриваемому вопросу можно почерпнуть из литературы по Каспию, для которого была сделана попытка учесть роль эоловой аккумуляции.

Интересные наблюдения в этом направлении проводил Б. А. Аполлов в дельте Волги. Он установил небольшую ванночку на чисто вымытой барже, находившейся на значительном расстоянии от берега. Ванночка была заполнена водой, убыль которой постоянно восполнялась. После наблюдений, длившихся непрерывно несколько месяцев, на дне ванночки был обнаружен осадок, представленный тонким желтым песком, нанесенным ветром. Б. А. Аполлов (1927) вычислил, что количество этих эоловых отложений, выпадающих на поверхность воды в дельте Волги, составляет ежегодно слой толщиной 0,28 мм.

Подобный опыт, но уже в открытом море, был проведен М. Ф. Розен, установившим, что в отдалении от берега на поверхности воды выпадает осадок, приносимый эоловым путем. Этот осадок на 43% состоит из органического вещества, главным образом остатков насекомых и тонкой пыли, включающей лишь отдельные зерна кварца диаметром до 0,17 мм. Мощность слоя минеральных веществ, приносимых ветром, М. Ф. Розен (1928) определил в 0,07 мм в год.

Данные, полученные упомянутыми авторами, трудно использовать для расчета количества минеральных веществ, заносимых ветром в водоем. Кроме того, при испарении «фильтрованной воды», которой была наполнена ванночка, несомненно на дно ее выпадали трудно растворимые соединения, в первую очередь карбонаты.

У Б. А. Аполлова нет указаний на то, что минеральные вещества («желтый песок»), обнаруженные в конце опыта на дне ванночки, обрабатывались кислотой. В связи с этим не исключено, что главная часть «песка», оказавшегося в ванночке, представляет собой карбонаты, выпавшие из «фильтрованной воды», специально завезенной из Астрахани.

Соображения, приведенные выше, дают основание считать, что величины Б. А. Аполлова резко завышены, а величины М. Ф. Розена ближе

к действительным. Однако и эти последние нужно уменьшить, поскольку южный берег оз. Балхаш на огромных пространствах порос камышами. Условно можно принять, что в оз. Балхаш золотое питание ежегодно дает слой осадка мощностью не более 0,03 мм. Если принять это значение, то сумма минеральных веществ, заносимых ветром в озеро, составит около 1 000 000 т ежегодно.

В заключение укажем, что простой подсчет даст представление о том, какие массы минеральных веществ ежегодно вносятся реками в оз. Балхаш.

Главные притоки оз. Балхаш — реки Или, Каратал, Ак-су и другие — несут к нему ежегодно, по данным многолетних наблюдений, около 9 773 400 т взвешенных минеральных веществ. Однако примерно половина этого количества оседает в дельтах рек и не доходит до озера, в которое действительно поступает 4 886 700 или примерно около 5 000 000 т взвешенных веществ.

Минеральные растворимые соединения вносятся в бассейн главными реками в количестве, достигающем в среднем по подсчетам за несколько лет 6 709 700 т растворимых солей (табл. 9).

Таблица 9

Количество материала (в тоннах), переносимого главнейшими притоками оз. Балхаш за один год

Реки	Растворимые вещества					Сумма всех рас- творимых веществ	Взвешен- ные вещества (муть)	Суммар- ный внос материала
	Главнейшие компоненты растворимой части							
	НСО ₃ '	Cl'	SO ₄ "	Ca"	Mg"			
Или	3 227 000	200 000	928 000	913 000	220 000	5 870 000	8 300 000	14 170 000
Каратал . .	325 000	18 500	70 300	92 700	24 420	547 000	790 000	1 337 000
Лепса . . .	127 000	8 300	28 000	35 000	7 200	217 500	650 000	867 500
Ак-су . . .	41 400	2 920	2 900	10 000	3 350	72 000	32 000	104 000
Аягуз . . .	1 850	130	400	450	150	3 200	1 400	4 600
Сумма по пяти прито- кам . .	3 722 250	229 850	1 029 600	1 051 150	255 120	6 709 700	9 773 400	16 483 100

Таким образом, оз. Балхаш принимает в себя ежегодно около 11 596 400 или, округленно, 12 000 000 т минеральных веществ, приносимых реками во взвешенном и в растворенном состоянии.

Из изложенного видно, что в питании оз. Балхаш водой и минеральными веществами, находящимися как в растворимой, так и в обломочной форме, главная роль принадлежит поверхностному речному стоку. В несравненно меньших количествах поступают в озеро растворимые минеральные соединения, которые несут преимущественно подземные воды, наконец, заметное количество обломочного материала вносит в озеро ветер.

Некоторые количества обломочного материала поступают в озеро также вследствие разрушения берегов. Однако этот процесс на Балхаше существенно не развит. Вдоль низменных южных и восточных побережий озера, где глубины даже на значительном расстоянии от берега не

превышают 1—2 м, не происходит сколько-нибудь заметного разрушения берегов. На западном и северном побережьях оз. Балхаш местами в довольно интенсивной форме протекает процесс разрушения коренных, главным образом палеозойских пород, однако он строго локализован и идет главным образом у скалистых и обрывистых участков берега. Во всех других местах здесь не наблюдается активного размыва, наоборот, преобладают процессы намывания пород, о чем свидетельствуют береговые валы, протягивающиеся на огромном расстоянии в зоне побережий.

Минеральные вещества, поступающие в оз. Балхаш, весьма разнообразны по составу. Силикаты, составляющие главную часть их, вносятся в бассейн главным образом в виде песка в результате волочения его по дну рек и в составе взвеси. Большое количество их поступает также в форме мелкого обломочного материала, заносимого ветром.

Углекислые соли кальция и магния вносятся в озеро главным образом поверхностным речным стоком. Проведенный расчет показал, что количество карбонатов, поступающих в составе речного стока, огромно — несколько миллионов тонн в год. Так, за один год в оз. Балхаш поступило около 5322 тыс. т карбонатов. Эта величина складывается из данных, приведенных в табл. 10.

Таблица 10

**Количество карбонатов, переносимых в составе речного стока за один год
(в тыс. тонн)**

Углекислый кальций			Углекислый магний			Сумма карбонатов
В растворенном состоянии	В составе твердого стока	Сумма	В растворенном состоянии	В составе твердого стока	Сумма	
2600	1800	4400	880	42	922	5322

В настоящее время отсутствуют какие-либо достоверные материалы, которые позволили бы оценить количество карбонатов, заносимых в озеро в результате процесса эолового питания. Однако если предположить, что степень карбонатности материала, попадающего при этом в оз. Балхаш, того же порядка, что и эоловых песков Прибалхашья, т. е. достигает максимум 10%, то общее количество карбонатов, вносимых ветром в водоем, составит сотни тысяч тонн. Это количество в десятки раз меньше, чем массы карбонатов, транспортируемых речным стоком, которые, как было указано выше, измеряются миллионами тонн.

Анализируя поступление в оз. Балхаш углекислых соединений, нельзя не отметить, что количество карбоната магния, вносимого реками (922 тыс. т), примерно в 5 раз меньше соответствующей величины для углекислого кальция, составляющей 4400 тыс. т. Отсюда следует, что главная масса углекислых солей в годичном стоке приходится на углекислый кальций, в то время как углекислый магний играет здесь резко подчиненную роль.

Далее можно отметить, что в питании оз. Балхаш карбонатами большое значение имеет твердый сток, причем здесь вновь намечается разница между карбонатом кальция и карбонатом магния: в то время как 1800 тыс. т, или около 41%, карбоната кальция поступает в озеро в составе твердого стока, $MgCO_3$ входит в ничтожном количестве во взвешенное вещество, транспортируемое реками, и поступает в основном (880 тыс. т, или 95,5%) в растворенном состоянии.

Вся масса минеральных веществ, поступающих за один год в оз. Балхаш, достигает 12 000 тыс. т, в том числе на долю карбонатов приходится 5 000 т, или около 42 %. Отсюда становится понятным большое значение углекислых соединений в составе минеральных масс, вносимых в озеро и отлагающихся на дне его.

В заключение этой главы попытаемся использовать приведенные выше материалы и подсчитать те количества воды и минеральных веществ, которые ежегодно поступают в восточный, Бурлю-тюбинский плес озера, где, как известно, идет массовая и наиболее интенсивная садка доломита. Это позволит уточнить условия, в которых в настоящее время идет доломитообразование.

Расход воды через испарение с поверхности Бурлю-тюбинского плеса составляет ежегодно величину порядка 1,991 куб. км воды. Эта убыль воды через испарение компенсируется осадками, выпадающими на поверхность плеса, поверхностным стоком и подтоком воды из западных плесов озера.

Подток грунтовых вод ничтожен, им можно пренебречь. Точно так же мы пренебрегаем осадками, выпадающими в пределах площади, дренируемой собственно Бурлю-тюбинским плесом, поскольку они в основной массе испаряются, не доходя до озера. Приток воды из р. Аягуз, единственной артерии, впадающей непосредственно в плес, составляет 0,016 куб. км в год. Осадки, выпадающие на площадь плеса, составляют около 0,318 куб. км в год.

Значительное превышение количества воды, расходуемой через испарение, над количеством ее, поступающим из р. Аягуз и выпадающим на площади Бурлю-тюбинского плеса в виде осадков, пополняется подтоком из более западных частей озера. Величина подтока значительна — 1,657 куб. км воды ежегодно.

Таким образом, элементы водного баланса Бурлю-тюбинского плеса следующие:

	куб. км
Поступление воды за счет атмосферных осадков, выпадающих на поверхность плеса, — примерно	0,318
Поверхностный сток — около	0,016
Поступление воды из западных плесов (в том числе и воды р. Лепсы)	1,657
Сумма	1,991

Расходы воды через испарение с поверхности	1,991
--	-------

(Здесь мы принимаем, что вся вода, поступающая из р. Лепсы, направляется в Бурлю-тюбинский плес, а вода р. Ак-су поступает в Лепсинский плес. Действительно, в проливе, соединяющем эти части озера, имеется постоянный ток воды в восточном направлении, обусловленный испарением воды с поверхности Бурлю-тюбинского плеса. Течение захватывает главную массу воды, приносимой р. Лепсой, поскольку устье ее расположено в самом проливе, и лишь небольшую часть воды р. Ак-су, устье которой находится несколько западнее.)

Попытаемся теперь разобрать, сколько каждый из упомянутых выше трех источников питания вносит минеральных веществ, и затем просуммируем результаты.

Река Лепса вносит в Бурлю-тюбинский плес 649 640 т взвешенного вещества ежегодно, в том числе углекислого кальция 84 450 т и углекислого магния 680 т.

Растворимых минеральных веществ р. Лепса вносит около 220 000 т, с поверхностным стоком в Бурлю-тюбинский плес ежегодно поступает 3200 т растворимых минеральных солей и 1400 т взвешенных веществ. В том числе в составе взвеси — 7 т $MgCO_3$ и 280 т $CaCO_3$.

В растворенном состоянии в составе поверхностного стока в Бурлю-тюбинский плес поступает:

	т		т
HCO_3'	1850	Ca''	450
Cl'	130	Mg''	150
SO_4''	400	$\text{K} + \text{Na}$	около 220

Зная состав воды Лепсинского плеса и р. Лепсы и количество ее, поступающее в Бурлю-тюбинский плес, устанавливаем, что в него приносится в течение года 4 045 400 т минеральных веществ, и в том числе:

	т		т
CO_3''	77 900	Ca''	50 300
HCO_3'	683 000	Mg''	223 600
Cl'	866 300	$\text{K} + \text{Na}$	1 067 200
SO_4''	1 295 000		

Если подвести итог всем произведенным вычислениям, то окажется, что в Бурлю-тюбинский плес ежегодно вносится 4 917 540 т минеральных веществ, в том числе взвешенного вещества 651 040 т, т. е. всего около 13,8%. Эти минеральные массы распределяются между отдельными источниками питания следующим образом (табл. 11).

Таблица 11

Поступление минеральных веществ в Бурлю-тюбинский плес (в тоннах в год)

	В составе поверхностного стока		Из Лепсинского плеса и р. Лепсы		Всего поступает	
	растворимых в воде	в составе твердого стока	растворимых в воде	в составе твердого стока	растворимых в воде	в составе твердого стока
CO_3''	—	—	77 900	—	77 900	—
HCO_3'	1850	—	683 000	—	684 850	—
Cl'	130	—	866 300	—	866 430	—
SO_4''	400	—	1 295 000	—	1 295 400	—
Ca''	450	—	50 300	—	50 750	—
Mg''	150	—	223 600	—	223 750	—
$\text{K} + \text{Na}$	220	—	1 067 200	—	1 067 420	—
Сумма	3200	1400	4 263 300	649 640	4 266 500	651 040
В том числе						
CaCO_3	1130	280	125 750	84 450	126 880	84 730
MgCO_3	530	7	782 000	680	782 530	687

Глава 3

ТИПЫ СОВРЕМЕННЫХ ОСАДКОВ ОЗ. БАЛХАШ И СВЯЗАННЫЕ С НИМИ ОБРАЗОВАНИЯ

Целью изучения донных отложений оз. Балхаш является получение возможно более полной характеристики их, необходимой для выяснения условий образования современных осадков этого водоема. Чтобы описать современные отложения того или иного водоема, надо знать веще-

ственный состав, текстурные особенности и условия залегания осадков, а также соотношения их друг с другом, что даст возможность полно и всесторонне сопоставить их с ископаемыми образованиями. Необходимость подобного сопоставления нужно постоянно иметь в виду, поскольку изучение современных осадков ведется с целью использовать полученные результаты и выявленные закономерности при исследовании ископаемых объектов.

При изучении осадков озера Балхаш нам приходилось идти различными путями и применять разную методику. Прежде всего образцы осадков подробно изучались макро- и микроскопически и составлялось их описание. Затем проводились лабораторные исследования. При этом осадок подвергался механическому анализу по методу, предложенному В. П. Батуриным. Полученные данные механического анализа служили для характеристики осадка. Кроме того, на основе их вычислялись средний диаметр и коэффициент сортировки. Вычисление этих констант велось способом квартилей (Рухин, 1947). При этом для подавляющей части илстых отложений не удавалось получить данных, необходимых для вычисления коэффициента сортировки, так как илы сложены в основном фракцией размером менее 0,01 мм, которая при механическом анализе, проведенном согласно принятой методике, остается неразделенной более дробно. В результате во многих случаях материала для определения третьей квартили в илах оказывалось недостаточно, а без этого вычислить коэффициент сортировки осадков невозможно. С другой стороны, коэффициент сортировки не удалось определить и для песков, богатых гравийным материалом, поскольку количество частиц диаметром более 2 мм определялось суммарно, что часто лишало возможности вычислять первую квартилю, необходимую для установления этого показателя.

В илах иногда находится такое большое количество нефракционированного глинистого материала, что не удается определить медиану и установить величину среднего диаметра. Однако можно утверждать, что эта величина повсюду для таких илов менее 0,01 мм.

Кроме механического анализа, подробному изучению был подвергнут минералогический состав тяжелой фракции. За исходный материал бралась фракция осадков величиной от 0,01 до 0,25 мм, которая делилась тяжелой жидкостью (бромформ, удельный вес 2,9) на тяжелую и легкую фракции. Минералы определялись иммерсионным методом.

Химический состав осадков изучался различными методами. Прежде всего для небольшого количества образцов Э. С. Залманзон проделала полные химические анализы, которые включали: 1) валовой анализ осадка, 2) анализ 1,5%-ной солянокислой вытяжки, 3) определения содержания малых элементов. Кроме того, из всех образцов была выделена коллоидная фракция, которая также исследовалась.

При проведении валового анализа закисное железо определялось методом ванадометрии. Углекислота и органический углерод определялись весовым способом на аппарате Классен-Фрезениуса. Остальные определения проведены общеизвестными методами (Гиллебранд и Лендель, 1935).

Коллоидная фракция выделялась методом отмучивания. Перед проведением этой операции карбонатная часть осадка была удалена растворением в слабой уксусной кислоте (0,5 N). После этого пробы отмывались от солей кальция сначала слабой (0,2 N) уксусной кислотой, а затем водой, для того чтобы освободиться от уксусной кислоты. Далее осадок насыщался углекислым литием. Реакция среды доводилась до слабо щелочной ($pH=8$) и коллоиды выделялись путем длительного отстаивания и сливания фракций.

Выделенную таким образом коллоидную фракцию (размером менее 0,002 мм) Э. С. Залманзон подвергла валовому анализу. Данные валового анализа пересчитаны ею на прокаленную навеску для того, чтобы сделать возможным сопоставление их с результатами анализа силикатной части натурального осадка.

Помимо перечисленных анализов, произведены массовые карбонатные анализы (анализы 1,5%-ной солянокислой вытяжки), а также определение железа, органического углерода и меди.

Эти анализы и определения велись не столько с целью дать представление о вещественном составе осадка, сколько для того, чтобы на их основе вскрыть закономерности, определяющие особенности распространения того или иного компонента осадка на дне водоема.

При проведении карбонатного анализа осадок обрабатывался 1,5%-ной соляной кислотой, которая нагревалась до кипения. При этом, по данным Э. С. Залманзон, в раствор переходят доломит, магнезит и кальцит, находящиеся в любых соотношениях. Часть осадка, не растворившаяся в слабой соляной кислоте и взвешенная после прокаливания в муфельной печи при температуре 700—800°, выделяется как минеральный нерастворимый остаток. Содержание полуторных окислов, а также окиси кальция и окиси магния определялось обычным весовым методом, количество углекислоты из отдельной навески — по методу Кнопа.

Массовые анализы железа велись по методу Рейнгарта. Органический углерод определяли по методу Кнопа, медь — по методу Лирцман и Кульберг, видоизмененному Л. А. Гуляевой и Е. С. Иткиной.

Среди современных отложений Прибалхашья выделяются четыре группы осадков, отличных друг от друга по внешним признакам и условиям образования. Первая группа включает современные осадки оз. Балхаш, представленные в свою очередь различными типами. Вторая группа современных отложений охватывает осадки соленых озер Прибалхашья как связанных с Балхашом, так и лишенных связи с ним. Аллювиальные отложения р. Или, равно как и других притоков озера, выделяются в третью группу. К четвертой группе отнесены бугристые пески, представляющие собой в главной части продукт эоловой переработки аллювиальных отложений.

В настоящей работе главное внимание уделено специальному изучению современных осадков оз. Балхаш, также дана краткая характеристика связанных с ними отложений соленых озер и аллювиальных образований.

Современные осадки оз. Балхаш

Дно оз. Балхаш на большей части своей площади складывается современными образованиями, из-под которых только местами проступают более древние коренные породы. Современные отложения озера обладают неодинаковым составом, различными внешними признаками и занимают определенное положение в водоеме. В основу классификации этих образований нами положены внешние петрографические признаки осадка, обусловленные главным образом величиной частиц обломочного материала, количеством содержащейся в нем пелитовой фракции, химической природой карбонатов и некоторыми другими особенностями состава.

Среди донных отложений Балхаша выделяются пять основных типов осадков: 1) глыбы, 2) галька и гравий, 3) пески, 4) песчаные илы и 5) илы известковые, известково-доломитовые и др.

Первые два типа донных отложений (глыбы, а также гравий и галька) весьма четко отделяются друг от друга и от осадков других типов. Этого нельзя сказать об осадках трех последних типов — песках, песчаных

илах и илах, которые связаны между собой постепенными переходами и зачастую весьма сходны по внешнему облику.

Крайние члены этой группы, т. е. пески и илы, также легко отличимы, но провести резкую границу между песками и песчаными илами, с одной стороны, и песчаными илами и илами, с другой — затруднительно. Однако оказывается, что осадки, определяемые по внешним признакам как пески, содержат обычно не более 40% пелитовой фракции (считая глинистый и тонкий карбонатный материал осадка). Осадки, содержащие от 40 до 70% пелитовой фракции, воспринимаются внешне как песчаный ил. Наконец, если в осадке 70% и более пелитового материала, то такой осадок воспринимается как ил.

Таким образом, появляется точный критерий, с помощью которого можно со значительной достоверностью отнести осадок к тому или иному типу донных отложений. Отметим, что уже давно М. В. Кленова (Кленова и Авилов, 1938) на подобной же основе классифицировала донные отложения морей. Однако она приняла в основе содержание глинистой фракции обломочного материала и иные, чем у нас, градации содержания его для различных типов осадков.

Пески характеризуются, как правило, значительной примесью пелитового материала, количество которого колеблется в пределах от 10 до 40%. Такая примесь тонких частиц дает основание считать, что повсюду в водоеме встречаются только илистые пески и нигде не обнаруживаются чистые пески.

Песчаные илы в условиях описываемого водоема весьма однородны, и среди них только в одном месте — в Бурлю-тюбинском плесе — была встречена разность, содержащая незначительную примесь оолитов, сложенных карбонатным материалом.

Среди илов выделяется несколько разностей. К ним относятся известковые илы, содержащие более или менее значительную примесь глинистого материала и представленные серым и белым илом. Наиболее интересны известково-доломитовый ил, окрашенный обычно в белый цвет, и доломит, встреченный в одной из колонок донных отложений.

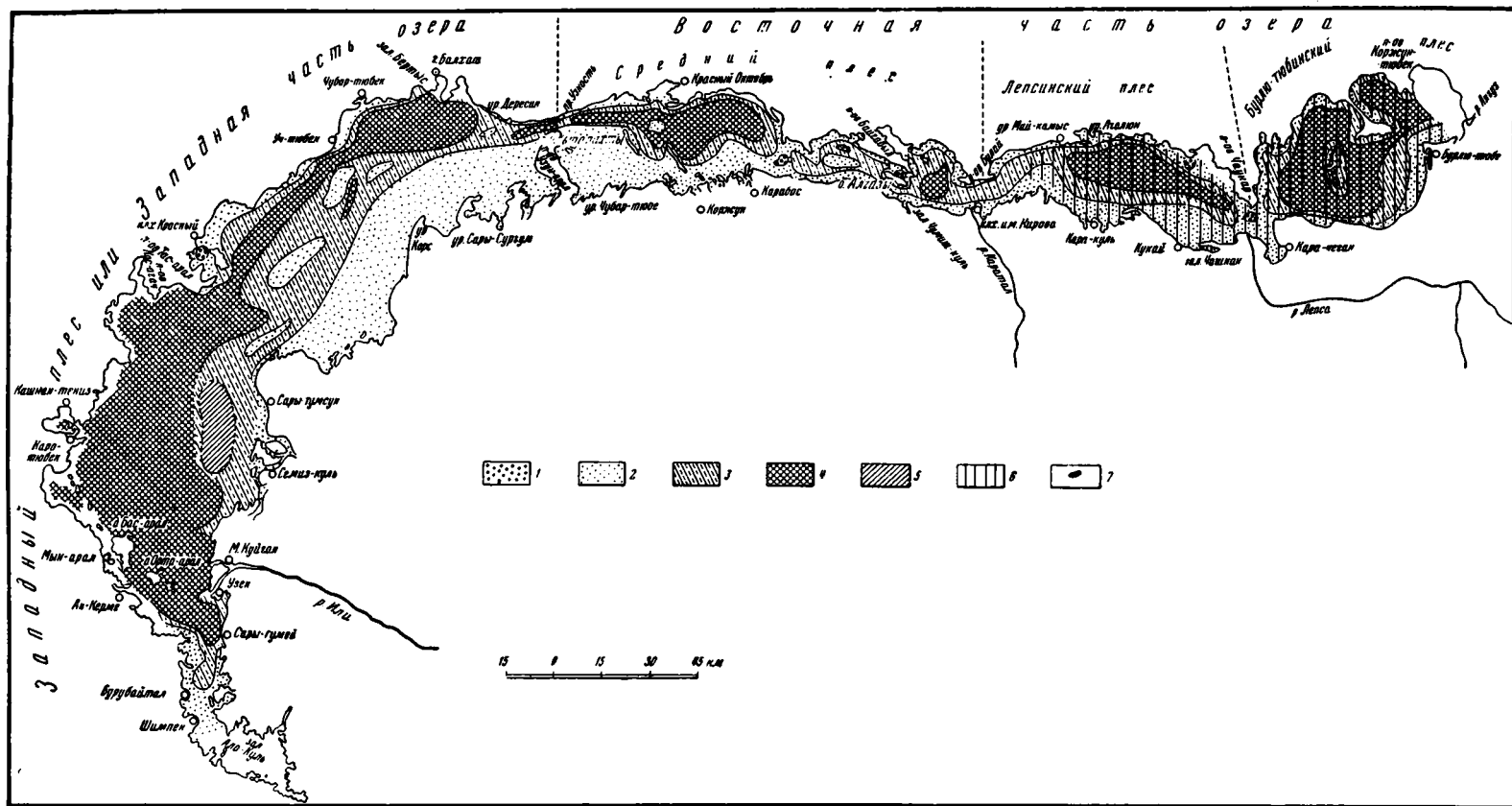
Несколько особняком стоят органогенные илы водоема: 1) остракодовый ил, сложенный известково-глинистой массой, переполненной раковинками остракод, и 2) известково-диатомовый ил, сложенный известковым веществом, содержащим множество скелетиков диатомовых водорослей.

Необходимо упомянуть еще о каустобиолитах Балхаша — балхашите, встреченном на бичевнике залива Ала-куль (ныне пересохшего), и торфе, развитом по побережью водоема и встреченном в отдельных точках на дне под слоем илистых осадков.

Все осадки оз. Балхаш можно расположить в следующий ряд:

Глыбы			
Галька и гравий			
Илистый песок (содержит до 40% частиц размером менее 0,01 мм)			
Песчаный ил (содержит от 40 до 70% частиц размером менее 0,01 мм)			
Ил (содержит более 70% частиц размером менее 0,01 мм)	{	Известковый	{ серый
			{ белый
		Известково-доломитовый	(белый)
		Доломитовый (доломит)	
		Остракодовый	
	{	Известково-диатомовый	
Балхашит			
Торф			

Из всех этих осадков наиболее распространены илистые пески, песчаные илы, серые известковые и белые известково-доломитовые илы.



Фиг. 6. Схематическая карта осадков оз. Балхаш:

1 — галька, щебень и гравий; 2 — илистые пески; 3 — песчаные илы; 4 — илы; 5 — отмель, намывал в районе с. Сары-Тумсу; 6 — доломитовые осадки; 7 — глины третичного возраста.

Глыбы, галька и гравий

Скопления глыб встречаются на дне оз. Балхаш в зоне, примыкающей к обрывистым участкам северного и западного берега или у скалистых островов внутри водоема.

Глыбы хорошо видны в полосе мелководья у берега, где нагромождения их быстро сменяются осадками других типов. Они обычно протягиваются узкими полосами и встречены во многих местах, однако площади распространения их весьма невелики, вследствие чего на прилагаемой карте осадков (фиг. 6) они не выделяются.

Величина глыб весьма изменчива. Форма их, как правило, резко угловатая. Состав весьма различен и полностью соответствует составу развитых на берегу коренных пород.

Галька и гравий, а также щебневатые породы развиты в прибрежной зоне или на дне проливов. Эти породы встречены всего на шести станциях.

Галечник обнаружен на дне пролива к югу от полуострова Чаукар. Он сложен мелкой галькой размером от 1 до 3 см, содержащей примесь гравийного материала; отдельные гальки имеют размер до 6 см. Кроме того, здесь же встречены частицы щебня, угловатые или слегка обработанные. Галька и щебень сложены кремнистыми породами и хлоритовыми сланцами; крупная галька состоит из хлоритизированных песчаников. Все эти породы развиты здесь же неподалеку на полуострове Чаукар, где им приписывается силурийский возраст.

Скопление щебня и галек обнаружено в проливе, отделяющем остров Алгазы от северного берега. Дночерпателем добыт здесь осадок, состоящий более чем на 70% из щебня и содержащий гальки, а также примесь песчано-гравийного материала. Размеры галек от 1,5 до 5 см. Они слабо обработаны и обладают полуокатанной формой. Величина обломков пород, входящих в состав щебня, от 1 до 5 см, а в отдельных случаях и до 8 см. Как правило, эти обломки угловатые и полуугловатые; большинство из них имеет плитчатую форму, что свидетельствует об образовании их в результате разрушения сланцеватых пород. По составу это зеленые хлоритизированные песчаники и сланцы силура, совершенно похожие на такие же породы, развитые на полуострове Байгабыл и острове Алгазы.

Галечник с примесью гравийного материала и песка обнаружен в суженной части озера против полуострова Узун-арал. Размер галек доходит здесь до 9—10 см, степень окатанности их различная: крупные гальки, как правило, хорошо окатаны, мелкие — полуокатаны; имеются и полуугловатые разности. В составе галек встречены и осадочные и кристаллические породы.

Гравий, содержащий примесь песчаного и глинистого материала, залегает на дне в Бурлю-тюбинском плесе. Частицы гравийного материала величиной до 1 см хорошо окатаны, обладают полимиктовым составом. Данные о механическом составе этого осадка приведены в табл. 12.

Таблица 12

Механический анализ гравия

Растворимая часть осадка	Нерастворимый остаток	Содержание фракций (размеры в мм) в % от нерастворимого остатка							
		> 2	2—1	1—0,5	0,5—0,25	0,25—0,1	0,1—0,05	0,05—0,01	< 0,01
27,01	72,99	46,80	12,95	9,79	1,79	0,17	0,39	0,49	27,62

Заслуживает внимания тот факт, что в описываемом гравии во множестве встречены пустые раковины гастропод.

Близкие по составу осадки развиты на дне озера в районе северного берега Лепсинского плеса. В первой из этих точек залегает смешанный песчано-гравийный осадок, содержащий около 11% алевритовой и 20% глинистой фракции, а также отдельную мелкую гальку. Во второй точке на расстоянии 2,5 км от берега на дне лежит слой гравия, богатого песчаным материалом; количество глинистой части составляет в нем всего около 9%, а алевритовой — около 7%.

Повсюду за пределами распространения коренных пород или описанных грубозернистых образований, слагающих небольшие участки дна, развиты огромные области, сложенные илами, песчаными илами и илистыми песками, всестороннее изучение которых составляет главную задачу настоящей работы.

И л и с т ы е п е с к и

Илистые пески оз. Балхаш объединяют группу осадков, которые слагаются преимущественно песчаным и алевритовым материалом, содержащимся в них в количестве от 60 до 90%. Остальные 10—40% осадка состоят из глинистого и карбонатного материала, соотношение между которыми различно. Внешне илистый песок представляет собой осадок, окрашенный в серый и зеленовато-серый цвет, плохо отсортированный и сложенный полимиктовым материалом. Зерна обломочного — песчаного и алевритового материала, составляющие главную часть осадка, обладают, как правило, окатанной или полуокатанной формой и имеют величину, изменяющуюся в широких пределах. Размеры этих зерен обычно колеблются от 0,01 до 0,25 мм. В других случаях в этих осадках существенную роль играет более крупный материал с частицами размером от 0,25 до 2 мм.

Среди илистых песков выделяются две группы, весьма сходные по внешним признакам, но заметно отличающиеся друг от друга по механическому составу. К первой из этих групп следует отнести собственно илистые пески, сложенные в основном песчаным материалом. Состав отложений этого типа иллюстрируется анализами 1, 2, 3, 7, 8 и 9 в табл. 13 (стр. 60—61). Илистые пески этой группы отличаются малым содержанием алевритовой и глинистой фракций, на долю которых обычно приходится не более 10% от веса нерастворимой части осадка. Характерно, что илистые пески этого типа распространены преимущественно в зоне, примыкающей к северному и западному берегам водоема, а также на дне проливов и суженных частей восточной половины бассейна.

Вторая группа илистых песков (анализы 4, 5, 6, 11 и 12) слагается на 75—90% (считая от веса нерастворимой части) обломочным материалом фракции 0,1—0,05 мм и относится к илистым пескам до некоторой степени условно, поскольку в настоящее время нет достаточного аналитического материала для выделения ее в особый, самостоятельный тип осадков; по внешнему виду обе группы илистых песков почти тождественны. Отложения второй группы развиты на дне озера в части, примыкающей к южному берегу.

Данные о механическом составе илистых песков, взятых из различных точек озера, приведены в табл. 13; там же даны величины среднего диаметра. Из этой таблицы следует, что средний диаметр для илистых песков первой группы колеблется в пределах от 0,1 до 0,46 мм, средний же диаметр илистых песков второй группы меняется в небольших пределах—

от 0,06 до 0,07 мм. Наряду с этим оказывается, что терригенная часть всех илистых песков, развитых в оз. Балхаш, достаточно хорошо отсортирована. Коэффициент сортировки (S_0) колеблется в пределах от 1,1 до 2,2. Наиболее отсортированы пески второй группы, развитые на дне в зоне, примыкающей к южному берегу ($S_0 = 1,1—1,2$). Илистые пески, распространенные на дне проливов и узких частей озера, сложены более разнородным материалом ($S_0 = 1,3—2,2$). Если рассчитать данные механического анализа на натуральный остаток, то окажется, что содержание глинистой фракции в илистых песках изменяется в пределах от 4,3 до 23%, а на долю песчаных и алевритовых частиц приходится главная масса осадка.

Все илистые пески в той или иной степени карбонатны. Карбонаты и прежде всего углекислый кальций присутствуют в виде тонкого порошкового материала в осадке и образуют налет на песчаных зернах.

Кроме этого, карбонатный материал находится в осадке в виде раковинок брюхоногих моллюсков, а также обломков этих раковинок. Отдельные экземпляры последних часто встречаются в илистых песках. Изредка здесь можно наблюдать целые скопления раковин. Почти во всех образцах илистых песков попадаются раковинки остракод. Часто встречаются и остатки растений, обычно хорошо сохранившиеся, реже обуглившиеся — бурые и черно-бурые, легко рассыпающиеся.

Минералогический состав илистых песков весьма однообразен. Все они представлены полимиктовыми разностями, сложенными, главным образом, кварцем, полевыми шпатами, обломочками различных пород и табличками слюды.

Минералы тяжелой фракции, определенные в илистых песках, приведены в табл. 14. Из этой таблицы следует, что состав минералов тяжелой фракции остается примерно постоянным во всех образцах илистых песков, взятых из различных частей озерного бассейна. Так, состав минералов тяжелой фракции осадка устья р. Лепсы (анализ 6 в табл. 14) мало чем отличается от состава минералов илистого песка (образец № 2, табл. 14), взятого в 300 км к западу отсюда в северной части западного плеса, близ северного берега его.

Растворимая часть илистых песков представлена преимущественно карбонатным материалом, который присутствует как один из компонентов осадка.

Для характеристики карбонатной части илистых песков в табл. 15 приведены данные химического анализа 1,5%-ной солянокислой вытяжки этих осадков по станциям, разбросанным по всей площади бассейна. Исследованные образцы расположены в этой таблице, как и во всех других, последовательно, начиная с юго-западной оконечности озера на север до пролива Узкость и далее на восток. Среднее содержание углекислых солей в них от 8 до 14%. Только в одном случае содержание карбонатов составляет всего 4,19% и в одном случае доходит до 18,86%.

Состав карбонатной части илистых песков подвержен существенным изменениям. В западной части бассейна илистые пески содержат в своем составе, как правило, только углекислый кальций. То же самое можно сказать и об осадках со станций, расположенных в западной половине восточной части бассейна (анализы 5 и 6 табл. 15). В восточном же Бурлю-тюбинском плесе в составе растворимой части илистых песков появляется доломит, содержание которого местами значительно. Однако и здесь, вблизи устьев рек (анализ 8) или в прилегающих к ним районах наблюдаются илистые пески, не содержащие в своем составе растворимой части доломита. Максимальное количество доломита (5,7%) констатировано в илистых песках из бухты Бурлю-тюбе, где степень доломитности карбонатной части осадка доходит до 45%.

№ анализа	Местонахождение (последовательно с юго-запада на северо-восток)	Растворимая часть	Минеральный нерастворимый остаток
1	Западный плес, средняя часть	16,33	83,67
2		8,62	91,38
3		10,00	90,00
4		17,91	82,09
5	Западный плес, северная часть	15,18	84,82
6		14,64	85,36
7		15,54	84,46
8	Средний плес, западная часть	21,22	78,78
9	Средний плес	11,80	88,20
10		15,26	84,74
11		10,59	89,41
12	Лепсинский плес	10,99	89,01

* Сумма трех фракций.

** Сумма двух фракций.

Кроме анализа растворимой части, при обработке материала было определено содержание в илистых песках железа, меди и органического углерода.

Из данных табл. 16 следует, что железо содержится в илистых песках в весьма малом количестве — обычно в пределах от 1,7 до 2,7% и только в одном случае количество его достигает 3,94%.

Среднее содержание железа в илистых песках составляет 2,36%.

Из дальнейшего мы увидим, что илистые пески более бедны железом, чем другие осадки озера, содержащие равные с ними количества терригенной нерастворимой части.

Органическое вещество определяется в илистых песках в весьма незначительном количестве; органического углерода содержится в них от 0,05 до 1,02% (в среднем 0,24%). В шести образцах (из 9 проанализированных) количество органического углерода не достигает 0,2% (табл. 16). По содержанию органического углерода илистые пески принадлежат к наиболее бедным образованиям среди осадков оз. Балхаш.

Приведенные выше данные, характеризующие механический и химический состав илистых песков, показывают, что они, несмотря на второстепенные отличия, представляют образования, обладающие общими характерными особенностями. Это наряду со сходным внешним обликом дает основание отнести их к одному типу.

Илистые пески широко развиты в пределах оз. Балхаш. Зона их распространения начинается непосредственно от берегов, вдоль которых они тянутся полосой, достигающей ширины 10—15 км у южного и восточного берегов, где область мелководья уходит далеко в озеро. У северного берега, где бассейн более глубокий, полоса их распространения резко сокращается и непосредственно у берега располагаются песчаные илы и даже илы.

Во время экспедиционных работ на озере было подмечено, что илистые пески, взятые у южного побережья Балхаша, обычно выделяются своей зеленоватой и желтовато-зеленой окраской, отличаясь от типичных

илистых песков

Содержание фракций (размеры в мм) в % от нерастворимого остатка							Средний диаметр, мм
2-1	1-0,5	0,5-0,25	0,25-0,1	0,1-0,05	0,05-0,01	< 0,01	
—	0,04*	—	69,39	19,86	1,99	8,72	0,11
—	39,56	—	38,74	6,87	2,30	12,53	0,22
—	65,85	—	—	28,84	0,24	5,07	—
—	0,12	—	3,84	75,82	11,23	8,99	0,062
—	0,18	—	3,39	90,58	1,05	4,80	0,067
—	0,16	—	3,61	83,98	0,48	11,77	0,066
0,16	3,72	31,37	27,35	16,89	5,90	14,61	0,15
0,73	36,64	11,68	44,01	1,23	0,30	5,41	0,25
4,54	48,20	16,58	20,32	4,82	0,51	5,03	0,46
—	43,04	—	25,68	17,71	1,10	12,47	0,20
—	0,11	—	0,39	86,97	2,08	10,45	0,07
—	0,23**	0,70	0,38	81,97	0,50	16,22	0,062

серых и темносерых разностей осадка, развитых на других участках дна.

Кроме полосы в прибрежной части, илистые пески можно кое-где встретить и в середине озера. Например, эти осадки распространены относительно широко в северной части западного плеса в пределах относительно мелководных участков.

Илистые пески распространены также в проливах. Там постоянные и сильные движения воды не позволяют отлагаться песчаным илам и илам, содержащим большее количество тонкоотмученного материала.

Полосы распространения илистых песков обычно подходят вплотную к устьям рек, где они совершенно постепенно переходят в отложения русел, представленные также илистыми песками.

Песчаные илы

Песчаные илы представляют вторую широко распространенную группу современных отложений на дне оз. Балхаш. К ним относятся осадки, содержащие от 40 до 70% глинистой и карбонатной части и соответственно от 60 до 30% алевритового и песчаного материала. Соотношение между глинистым и карбонатным веществом в песчаных илах весьма изменчиво. В одних разностях содержится относительно большое количество глинистого материала, в других, наоборот, преобладает карбонатное вещество, а глинистая часть находится по отношению к нему в подчиненном количестве.

Несмотря на существенное разнообразие состава песчаных илов, выделяющееся главным образом в различных соотношениях между песчаным, глинистым и карбонатным материалом, эти илы сходны по внешнему виду и хорошо выделяются морфологически. При этом, в соответствии с промежуточным положением между илистыми песками и илами, песчаные илы обладают чертами, свойственными как тем, так и другим осадкам.

Количественный минералогический состав

№ ана- лиза	Местонахождение (последовательно с юго-запада на северо-восток)	Рудные минералы	Рутил	Пирок- сены моно- клинные	Роговые обманки
1	Западный плес, средняя часть	61,0	—	× **	14,3
	Бичевник *	33,3	—	1,1	23,5
2	Западный плес, у северо-западного бе- рега	51,6	—	×	22,7
3	Западный плес, северная часть (у юж- ного берега)	{ 39,1 11,8	1,1 —	5,6 ×	26,3 44,2
4	Лепсинский плес, западная часть . . .	8,4	—	—	48,5
5	Лепсинский плес, северная часть . . .	51,5	×	—	21,2
6	Район устья р. Лепсы	17,8	—	×	45,2

* Западный берег оз. Балхаш.

** × — единичные зерна.

Анализы солянокислой вытяжки

№ ана- лиза	Местонахождение (последовательно с юго-запада на северо-восток)	Минераль- ный нерас- творимый остаток	Полу- торные окислы	CaO	MgO
1	Западный плес, средняя часть . . .	78,50	6,56	8,18	0,92
2		84,15	1,59	6,01	0,71
3	Западный плес, северная часть . . .	82,06	1,60	7,74	0,79
4		83,08	1,40	7,78	0,73
5	Средний плес, западная часть	75,60	1,92	10,33	0,90
6		80,94	2,14	7,21	1,11
7	Лепсинский плес	86,20	1,84	5,20	0,86
8	Район р. Лепсы	89,93	3,06	3,11	0,59
9	Бухта Бурлю-тюбе	80,61	3,41	5,55	1,32
10	Бурлю-тюбинский плес	80,40	2,37	5,74	2,09

Песчаные илы в свежем виде представляют собой полужидкое обра-
зование, сложенное в основном тонким материалом, содержащее замет-
ную примесь песчаных зерен и окрашенное в различные оттенки серого
цвета. При высыхании песчаный ил приобретает светлосерую окраску,
рыхлое сложение и землистый излом. Он легко истирается между паль-
цами в тонкую порошокватую массу, содержащую множество зерен
песчаного материала.

Песчаные илы сравнительно редко включают остатки растений и ра-
ковины пресноводных моллюсков. Лишь скорлупки остракод, различ-
ные простым глазом, встречаются в значительном количестве. Растения

тяжелой фракции илистых песков (в %)

Глауко- фан	Минералы группы граната	Другие устойчи- вые мине- ралы	Турма- лин	Ставро- лит	Мусковит	Хлорит	Титанит	Минералы группы эпидота
×	3,0	10,9	0,8	—	—	—	1,7	8,3
0,6	2,3	×	×	—	—	×	5,4	33,8
2,2	2,0	1,2	×	—	0,5	0,5	2,5	16,8
—	5,6	12,3	—	—	—	1,6	4,5	3,9
4,4	17,1	×	0,6	×	—	0,9	2,1	18,9
2,0	13,1	1,1	0,8	—	0,6	3,4	2,2	19,9
×	9,1	6,1	×	—	—	—	×	12,1
1,2	8,3	0,6	0,6	—	—	1,5	5,5	19,3

Таблица 15

илистых песков (содержание в %)

CO ₂	CaCO ₃	MgCO ₃	MgO силикат- ная	Недоста- ток CO ₂	Кальцит	Доломит	Суммар- ное содер- жание карбона- тов	Доломи- тизация карбона- тов, %
6,30	14,60	—	0,92	0,14	14,60	—	14,60	—
4,69	10,73	—	0,71	0,03	10,73	—	10,73	—
6,06	13,44	—	0,79	0,80	13,44	—	13,44	—
5,95	13,20	—	0,73	0,85	13,20	—	13,20	—
8,33	18,44	0,42	0,70	—	17,94	0,92	18,86	4,8
5,65	12,87	—	1,11	—	12,87	(условно)	12,87	—
3,71	8,23	—	0,86	1,30	8,23	—	8,23	—
1,89	4,19	—	0,59	1,28	4,19	—	4,19	—
5,98	9,90	2,61	—	—	6,81	5,70	12,51	45
4,98	10,24	0,92	1,65	—	9,15	2,01	11,16	18

отличаются хорошей сохранностью, но изредка они обуглены. Под микроскопом в песчаных илах часто можно наблюдать многочисленные скелетики диатомовых водорослей, раковинки остракод, мелкие обломки раковин гастропод.

В соответствии с общим различием донных отложений, развитых в восточной части бассейна, песчаные илы также несколько отличаются от осадков Западного плеса. На западе осадки окрашены в темносерый и синевато-серый цвет, известковисты и содержат больше глинистого вещества, чем карбонатного. В восточных плесах это преимущественно светлосерый осадок, карбонатная часть которого сложена известково-

Содержание железа и органического углерода в илистых песках (в %)

№ анализа	Местонахождение (последовательно с юго-запада на северо-восток)	Минеральный нерастворимый остаток	Железо	Органический углерод
1	Западный плес, южная часть	67,67	2,25	—
2	Западный плес, средняя часть	{ 82,64	2,00	—
3		{ 88,33	1,64	—
4		{ 90,34	2,28	—
5		{ 63,98	2,40	—
6		{ 78,22	2,39	—
7	Западный плес, северная часть	{ 82,06	2,39	0,12
8		{ 83,08	1,76	0,06
9		{ 81,16	1,86	0,05
10		{ 81,20	1,69	—
11		{ —	—	1,02
12	Средний плес, западная часть	75,60	3,18	0,23
13	Средний плес	{ 80,94	3,94	0,09
14		{ 87,00	2,07	—
15	Лепсинский плес, западная часть	{ 84,74	2,36	—
16		{ 82,00	—	0,49
17	Лепсинский плес, средняя часть	86,20	0,09	—
18	Лепсинский плес, восточная часть	64,74	3,39	—
19	У р. Лепсы	{ 89,93	2,72	0,06
20		{ 70,25	1,81	—
21		{ 86,96	—	0,13
22	Бурлю-тюбинский плес	80,40	0,42	—
Среднее для илистых песков . .		—	2,36	0,24

доломитовым материалом, пахнущий сероводородом и характеризующийся преобладанием карбонатной части над глинистой.

Под микроскопом видно, что песчаные илы состоят из основной тонкозернистой глинисто-карбонатной массой, содержащей примесь более крупных зерен обломочного материала, а также другие включения. Основная масса состоит из мелких зерен карбонатного вещества величиной в среднем от 0,001 до 0,003 мм.

Размеры зерен тончайшего обломочного материала, входящего, наряду с карбонатом, в состав основной массы (цемента) осадка, колеблются обычно от 0,01 до 0,001 мм. Они совершенно не окатаны и не координированы, угловаты, местами иззубрены.

Глинисто-карбонатный цемент осадка содержит многочисленные включения, среди которых на первом месте находятся более крупные зерна обломочного материала различной величины — от 0,01 до 0,25 мм. Форма их полуугловатая, полуокатанная; крупные зерна окатанные, наиболее мелкие — угловатые.

Песчаные зерна представлены полевыми шпатами (главным образом плагиоклазами и ортоклазом), кварцем, табличками слюды — биотита,

реже мусковита и других слюд и мелкими обломками кристаллических, главным образом эффузивных и осадочных пород. В меньших количествах присутствуют роговые обманки, минералы из группы граната, глаукофан, титанит, эпидот и некоторые другие минералы. Особо следует упомянуть о присутствии пирита, встречающегося почти во всех образцах в виде отдельных правильных шариков или сростков. Кроме того, в отдельных случаях наблюдаются неправильные скопления бурого железистого вещества, величиной порядка сотых долей миллиметра, а также оолитовые зерна, величиной 0,1—0,3 мм. В центральной части их обычно находится мелкая песчинка, на которую нарастают концентрические слои карбоната. Состав последнего определить не удалось.

Оолитовые зерна были встречены в песчаных илах двух станций из Бурлю-тюбинского плеса и в других местах не наблюдались.

Песчаные илы представляют собой однообразный осадок, лишенный микрослоистости, закономерной ориентировки минералов и других особенностей. Отдельные участки осадка непрозрачны, окрашены в темно-бурый цвет и возникли в результате обогащения песчаного ила железистым веществом.

Данные механических анализов, выполненных для изучения состава песчаных илов, приведены в табл. 17.

В составе песчаных илов преобладает терригенный материал, на долю которого приходится в среднем от 60 до 70%. Анализ нерастворимой части показывает, что в составе ее большую роль играет глинистая фракция, количество которой доходит до 50—60% от веса нерастворимой части и до 40% от веса натурального осадка. Наряду с этим, содержание глинистой фракции в ряде образцов заметно сокращается до 15 и даже до 8—10% от веса натурального осадка.

Большую роль в составе песчаных илов играет алевроитовый материал, количество которого колеблется в пределах от 30 до 60% в среднем, а в образцах с одной станции анализ 4 достигает 80,4% от веса нерастворимой части.

Количество песчаного материала в песчаных илах невелико и измеряется несколькими процентами или долями процента. Только в отдельных образцах (см. анализ 1, табл. 17) количество песчаной фракции составляет около 26% от веса нерастворимого остатка.

Размеры частиц обломочного материала, входящего в состав песчаных илов, в массе своей не превышают 0,1 мм. Более крупные зерна встречаются в небольшом количестве и играют существенную роль в составе нерастворимого остатка лишь в образцах с отдельных станций.

Средний диаметр зерен обломочного материала, входящего в состав песчаных илов, изменяется в пределах от 0,02 до 0,06 мм и только в отдельных случаях равен 0,01 мм и менее.

Если сопоставить илистые пески с песчаными илами, то окажется, что последние отличаются меньшим содержанием обломочного материала и меньшим средним диаметром слагающих его частиц.

Несмотря на то, что песчаные илы распределены на огромных площадях дна оз. Балхаш, причем отдельные станции часто отстоят друг от друга на сотни километров, состав минералов тяжелой фракции их отличается чрезвычайным постоянством (табл. 18).

Качественный состав минералов тяжелой фракции песчаных илов практически постоянен в пределах всего озерного бассейна. Подвержено заметным колебаниям только процентное содержание минералов. При этом состав минералов тяжелой фракции песчаных илов и илистых песков повсюду почти одинаков (см. табл. 14 и 18). То же можно сказать и о минералах легкой фракции.

Механические анализы

№ анализа	Местонахождение (последовательно с юго-запада на северо-восток)	Растворимая часть	Минеральный нерастворимый остаток
1	Западный плес, южная часть	25,83	74,17
2		28,40	71,60
3	Западный плес, средняя часть	28,16	71,84
4	Средний плес, западная часть	29,52	70,48
5	Лепсинский плес	37,97	62,03
6		48,38	51,62
7	Район р. Или	18,10	81,90

* Сумма трех фракций.

Количественный минералогический состав

№ анализа	Местонахождение (последовательно с юго-запада на северо-восток)	Рудные минералы	Шпинель	Рутил	Пироксены моноклинные	Тремолит
1	Южная часть западного плеса . .	70,0	—	× *	4,1	—
2		68,2	—	0,7	—	—
3		8,3	—	—	—	—
4	Средняя часть западного плеса . .	45,2	—	—	4,2	—
5		58,5	×	×	×	—
6	Северная часть западного плеса . .	19,2	—	1,4	14,0	—
7	Средний плес	26,7	—	—	—	1,6
8	Средний плес, район устья р. Каратай	42,5	—	—	—	—
9		65,3	—	—	—	—
10	Лепсинский плес	58,4	—	—	—	—
11	Бурлю-тюбинский плес	37,2	—	×	1,4	—
12		32,1	—	—	—	—

* × единичные зерна.

Для суждения о химическом составе песчаных илов в настоящее время имеются два полных анализа этих осадков, произведенных Э. С. Залманзон (1951). Помимо этого, получены и другие данные, характеризующие, с одной стороны, состав растворимой части песчаных илов, а с другой стороны — содержание в них отдельных элементов, прежде всего железа и органического углерода.

Данные валового анализа и анализа солянокислой вытяжки двух образцов песчаного ила приведены в табл. 19.

песчаных илов

Содержание фракций (размеры в мм) в % от нерастворимого остатка							Средний диаметр
2—1	1—0,5	0,5—0,25	0,25—0,1	0,1—0,05	0,05—0,01	< 0,01	
—	0,14*	—	25,80	14,13	5,02	54,91	<0,01
—	—	—	0,34	20,65	45,37	33,64	0,017
—	—	0,04	—	46,31	10,64	43,01	0,035
—	—	0,12	0,16	51,30	29,14	19,28	0,051
0,23	0,18	—	0,11	43,10	21,76	34,85	0,04
	1,02	1,49	1,17	68,52	8,16	19,41	0,06
—	0,27	—	0,45	8,68	28,96	61,64	<0,01

Таблица 18

тяжелой фракции песчаных илов (в %)

Роговые обманки	Глаукофан	Минералы группы графита	Другие углейчатые минералы	Турмалины	Ставролит	Хлорит	Титанит	Минералы группы эпидота	Андалузит
12,5	—	4,1	9,3	—	—	—	×	—	—
16,0	—	3,1	0,7	×	×	—	3,1	8,2	—
41,9	4,9	15,0	×	—	—	1,5	5,8	22,6	—
35,2	—	5,6	5,6	—	—	—	4,2	—	—
24,2	×	3,8	5,8	×	—	—	2,9	4,8	—
40,4	—	1,4	2,1	—	—	—	4,2	9,0	8,3
28,9	—	10,2	7,5	×	—	—	7,7	17,4	—
24,0	1,9	14,8	9,2	—	—	—	5,7	1,9	—
10,6	×	6,8	9,0	—	—	—	3,0	5,3	—
9,5	—	3,5	18,2	—	—	—	6,9	3,5	—
29,1	—	12,6	4,6	—	—	—	2,9	12,2	—
12,4	×	19,2	22,7	×	—	—	5,5	8,1	—

Рассмотрение ее показывает, что в составе песчаных илов, так же как и других осадков оз. Балхаш, выделяются: растворимая в воде солевая часть, в состав которой входят в основном хлориды и сульфат натрия, карбонатная часть, сложенная углекислым кальцием и углекислым магнием, и не растворимая в воде и слабой соляной кислоте силикатная часть, отличающаяся весьма сложным составом.

Главную роль в составе силикатной части песчаного ила играет окись кремния и окись алюминия, содержание которых в обоих образцах почти

Химический состав песчаных илов (в %)

По данным Э. С. Залманзон

Валовой анализ

Анализ 1,5%-ной солянокислой
вытяжки

Компоненты	Образец № 1	Образец № 2	Компоненты	Образец № 1	Образец № 2
SiO ₂	53,99	38,17	Минеральный нерастворимый		
TiO ₂	0,68	0,54	остаток	72,79	49,80
Al ₂ O ₃	11,58	8,27	Al ₂ O ₃	2,99	3,27
Fe ₂ O ₃	2,88	1,03	Fe ₂ O ₃	1,13	1,17
FeO	1,71	2,26	CaO	9,66	18,02
MnO	0,07	0,07	MgO	1,27	3,15
CaO	10,51	18,62	CO ₂	8,04	16,02
MgO	2,58	3,85	SiO ₂ (разрушенных силика-		
Na ₂ O	1,99	1,47	тов)	0,38	—
K ₂ O	2,53	1,80	CaCO ₃	17,24	32,16
P ₂ O ₅	0,09	0,19	MgCO ₃	0,88	3,60
S	0,05	0,25	MgO (разрушенных силикат.)	0,85	1,35
SO ₃	Нет	0,32	MgO (сернокислой соли) . .	Нет	0,08
CO ₂	8,04	16,02	Кальцит	16,18	27,89
Cl	Нет	0,09	Доломит (для обр. № 1 ус-		
H ₂ O ⁺	2,49	3,41	ловно)	1,92	7,87
H ₂ O ⁻	0,52	1,66	Карбонатность	18,10	35,76
C органический	0,38	1,25	Доломиты, % от суммы кар-		
Элементы органического			бонатов	10,61	22,0
вещества	0,27	0,91			

Солевая часть ила

Силикатная часть ила

Компоненты	Образец № 1	Образец № 2	Компоненты	Образец № 1	Образец № 2
NaCl	—	0,15	SiO ₂	68,97	68,64
Na ₂ SO ₄	—	0,21	TiO ₂	0,87	0,97
MgSO ₄	—	0,19	Al ₂ O ₃	14,79	14,88
CaCO ₃	17,24	32,16	Fe ₂ O ₃	3,68	1,85
MgCO ₃	0,88	3,60	FeO	2,11	3,57
Ca ₃ (PO ₄) ₂	0,19	0,41	MnO	0,09	0,12
FeS ₂	0,10	0,47	CaO	0,96	0,68
Сумма	18,41	37,19	MgO	2,76	3,72
			Na ₂ O	2,54	2,34
			K ₂ O	3,23	3,23
			FeO : Fe ₂ O ₃	0,57	1,93
			SiO ₂ : Al ₂ O ₃	4,66	4,61

одно и то же. Другие соединения: окись титана, окись марганца, окись кальция и окиси щелочных металлов содержатся в силикатной части обоих образцов также в близких количествах. Это особенно интересно, если учесть, что образцы 1 и 2 табл. 19 взяты из противоположных концов озера, отстоящих друг от друга не менее чем на 400 км. При этом образец 1 взят из района, находящегося в сфере влияния р. Или (близ ее устья), тогда как в состав песчаных илов образца 2 входит материал, приносимый преимущественно реками Каратал и Лепса, поскольку он взят примерно на середине расстояния между устьями этих рек. В отличие

от рассмотренных выше соединений, содержание окиси магния заметно различно для силикатной части илов, взятых с разных станций: оно возрастает с 2,76% (обр. № 1) до 3,72% (обр. № 2).

Силикатная часть осадков с обеих станций за исключением отдельных компонентов отличается постоянством состава, состав же карбонатной части песчаных илов, взятых из западного и восточного плесов озера, весьма различен.

Для более полной характеристики карбонатов, входящих в состав песчаных илов, можно использовать данные и других анализов 1,5%-ной солянокислой вытяжки этих осадков (табл. 20), из которых следует, что в составе растворимой части песчаных илов с юго-запада на север к району полуострова Узун-арал и далее на восток появляется во все возрастающем количестве углекислый магний. Из табл. 20 видно, что карбонаты находятся в песчаных илах в количестве от 8 до 33%. Содержание углекислого магния в составе осадка различно — от нуля до 4,64%. Интересно отметить, что отсутствие углекислого магния характерно для области, лежащей в средних частях бассейна; в осадках западного плеса он находится в количествах от 0,52 до 1,21%, а в восточных плесах достигает 1,92 и 4,64%. Содержание доломита в восточных плесах достигает 10,15%.

Вопрос о форме нахождения углекислого магния в осадках озера Балхаш решен, благодаря работам Н. М. Страхова (1945), в пользу доломита.

В дальнейшем мы увидим, что и другие осадки, особенно илы, заметно обогащаются магнием к востоку и переходят в доломитовые разности.

Содержание железа в песчаных илах было определено в 11 образцах, взятых со станций, расположенных в различных точках бассейна. Данные анализа показывают (табл. 21), что железо содержится в песчаных илах в количестве от 1,38 до 6,04%. При этом отмечается несколько большее содержание его в илах западного плеса бассейна. Среднее количество железа (3,16%) в песчаных илах несколько выше, чем в илистых песках. Следует учитывать, что песчаные илы беднее и терригенным материалом. Если же рассчитать содержание железа на нерастворимую часть осадка, то окажется, что в песчаных илах она значительно богаче этим элементом, чем в илистых песках.

Органический углерод был определен в десяти образцах песчаного ила, причем из данных табл. 21 следует, что он содержится в песчаных илах обычно в количестве от 0,37 до 1,25%, и только в образце 14 сокращается до 0,28%, а в образцах 15 и 16 возрастает соответственно до 1,43 и 1,85%. Среднее содержание органического углерода в песчаных илах составляет 0,76%.

При сравнении количества органического углерода в илистых песках (табл. 16) с данными, приведенными в табл. 21, нетрудно убедиться в том, что илистые пески содержат меньшие количества этого элемента. Таким образом, песчаные илы, как тип осадка, взятые в целом, богаче органическим углеродом, чем илистые пески.

Медь, по данным спектроскопического анализа, содержится в песчаных илах, как и в других осадках озера, повсюду примерно в одинаковых количествах, измеряемых тысячными долями процента.

Песчаные илы распространены на дне оз. Балхаш весьма широко. Они располагаются полосами, следующими вдоль его берегов, будучи отделены от них более или менее широкой зоной илистого песка (см. карту осадков, фиг. 6). Местами песчаные илы непосредственно подходят к берегу озера и только у самого бичевника сменяются илистыми песками.

№ анализа	Местонахождение (последовательно с юго-запада на северо-восток)	Минеральный нерастворимый остаток	Полуторные окислы	CaO	MgO
1	Западный плес, южная часть . .	{ 65,71 68,10	4,50 1,75	12,91 14,12	1,75 0,97
2	Западный плес, северная часть .	{ 64,77	2,17	15,69	1,10
3		{ 70,75	2,40	12,17	1,16
4	Средний восточный плес, район острова Алгазы	65,38	6,28	10,96	2,01
5	Средний восточный плес, район устья р. Каратал	{ 86,13	2,33	4,55	0,80
6		{ 77,13	2,73	7,90	1,39
7	Лепсинский плес	76,30	2,01	8,07	2,21
8	Бурлю-тюбинский плес	58,74	2,36	16,00	4,44

В открытой части озера песчаные илы уступают место илам, сложенным более тонко отмученным глинистым и карбонатным материалом.

Известковый (серый) ил

Серый ил является господствующим типом осадка, развитым почти повсеместно на дне открытой части западного плеса оз. Балхаш. В свежем состоянии ил насыщен водой и представляет полужидкий осадок, окрашенный в серый и темносерый цвет, бесструктурный и однородный. Воды в нем содержится от 40 до 60%. С поверхности он покрыт тонким слоем желтовато-серой и желтой разности того же осадка. Этот слой, толщиной от 2 мм до 1 см, редко более, представляет собой своеобразную пленку окисленного ила.

На воздухе серый ил быстро теряет влагу и высыхает, переходя в светлосерое рыхлое пылеватое образование, легко истирающееся между пальцами в тонкий порошок и обладающее землистым сложением. Для высохших разностей ила характерны зеленоватые тона светлосерой окраски. Иногда, особенно в верхних частях колонки, наблюдается едва заметный коричневатый оттенок, свойственный некоторым разностям ила. Сухой ил во многом близко напоминает цемент.

Естественная влажность воздушно-сухого серого ила составляет объем 1,5—2,5%. Он тонко порист и обладает в связи с этим небольшим объемным весом.

Ил не вполне однороден: в нем можно наблюдать мелкие пятна и прослой, окрашенные в несколько более темный или более светлый, чем основная масса осадка, оттенок серого цвета. Осветленные разности ила, как правило, богаче карбонатным веществом и беднее терригенным материалом, чем более темные.

Прослой и пятна обычно едва намечаются в основной массе осадка и лишь местами принимают вполне отчетливый вид. Пятна имеют неправильную форму. Длинной осью своей они чаще всего расположены под углом к поверхности дна. Прослой тонкие, в 1—3 мм, как правило, быстро выклиниваются, реже выдерживаются в пределах колонки. Часто они в той или иной степени смяты. Иногда наблюдаются лишь слабые

Таблица 20

песчаных илов (содержание в %)

CO ₂	CaCO ₃	MgCO ₃	Силикатная		Кальцит	Доломит	Сумма карбонатов	Доломит в % от суммы карбонатов
			MgO	CaO				
9,50	23,04	1,21	0,58	—	21,60	2,65	24,25	10,9
11,44	25,20	0,69	0,64	—	24,38	1,51	25,89	5,8
12,58	28,00	0,52	0,85	—	27,38	1,14	28,52	4,0
9,56	21,72	—	1,16	—	21,72	—	21,72	—
8,60	19,56	—	2,01	—	19,56	—	19,56	—
3,53	8,02	—	0,80	0,06	8,02	—	8,02	—
6,27	14,10	0,13	1,33	—	13,95	0,28	14,23	2,0
7,34	14,40	1,92	1,29	—	12,12	4,20	16,32	25,8
15,12	28,73	4,64	2,23	—	23,23	10,15	33,38	30,4

Таблица 21

Содержание железа и органического углерода в песчаных илах (в %)

№ анализа	Местонахождение (последовательно с юго-запада на северо-восток)	Минеральный нерастворимый остаток	Железо	Органический углерод
1	Западный плес, район устья р. Или . .	72,80	3,34	0,38
2	Западный плес, средняя часть	65,71	3,06	0,37
3		64,90	6,04	—
4		68,26	2,62	—
5		66,08	2,72	—
6		68,10	1,83	0,37
7	Западный плес, северная часть	64,77	—	0,47
8	Восточный плес, западная часть . . .	71,59	3,70	—
9	Восточный плес, средняя часть	70,75	—	0,61
10	Восточный плес, восточная часть . . .	75,10	3,21	—
11		64,10	4,46	—
12	Восточный плес, » » . . .	65,38	—	0,63
13	Лепсинский плес	49,80	2,46	1,25
14	Бурлю-тюбинский плес	76,30	—	0,28
15		53,00	—	1,43
16		31,80	1,38	1,85
Среднее для песчаных илов . . .			3,16	0,76

перегибы и волнистость прослоев, местами же они сильно деформированы, перекручены и разорваны.

В одном-двух случаях в колонках ила удавалось встретить более толстую слоистость, обусловленную чередованием прослоев мощностью до нескольких сантиметров. Такие прослой, по крайней мере в пределах колонки, залегают более спокойно и слабо наклонены по отношению к поверхности напластования (фиг. 7).

В свежем, только что вынутом из воды иле обычно трудно заметить включения. В сухих разностях осадка включения более заметны. Они представлены редкими раковинами гастропод и остатками растений, а также раковинками остракод и редкими мелкими зернами обломочного материала, в том числе табличками слюд, скопляющихся местами в больших количествах.

Отдельные прослой серого ила иногда переполнены остатками остракод и переходят в своеобразный остракодовый ил, отличающийся от типичной разности осадка лишь наличием большого количества скорлупок этих организмов.

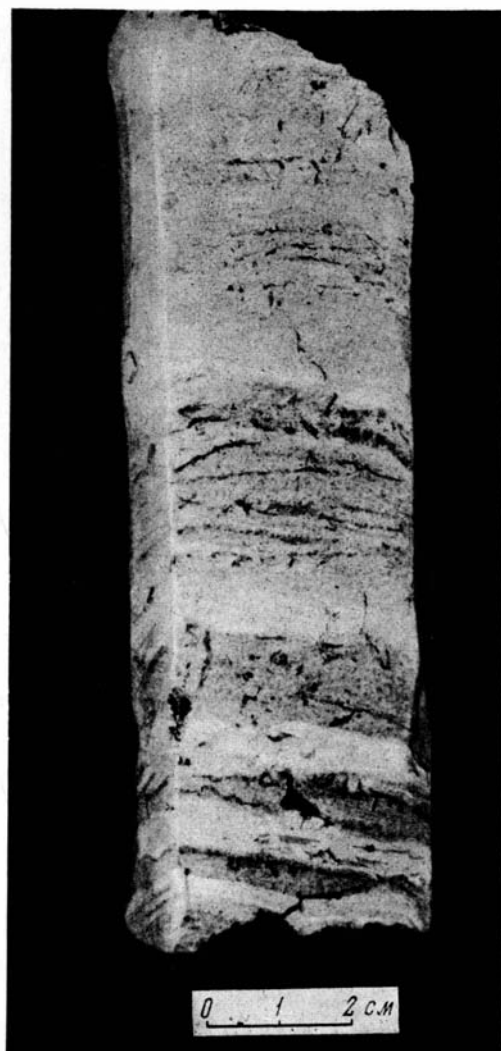
Прослой остракодового ила местами ложатся на резко неровную поверхность серого ила и выполняют карманы и углубления в нем (фиг. 8). В одном случае можно было наблюдать, как остракодовый ил по тонким

Таблица 22

Механический состав серых илов

№ п/п	Местонахождение (последовательно с юго-запада на северо-восток)	Растворимая часть	Минеральный нерастворимый остаток	Содержание фракций (размеры в мм) в % от нерастворимого остатка					
				1-0,5	0,5-0,25	0,25-0,1	0,1-0,05	0,05-0,01	<0,01
1	Западный плес, южная часть	34,94	65,06	—	Ничтож- ные сле- ды	0,15	1,51	20,30	78,04
2		27,96	72,04			Ничтожные следы	0,09	1,21	29,14
3		35,25	64,75		0,22 *	0,82	1,24	1,32	96,40
4		36,42	63,58		0,06	0,15	0,33	1,12	98,34
5		55,71	44,29		Следы	0,07	1,58	26,76	71,59
6	Западный плес, средняя часть	46,98	53,02			0,11	2,58	41,71	55,60
7		55,66	44,34	—	—	0,16	1,49	21,79	76,56
8		55,06	44,94	—	—	Ничтож- ные сле- ды	2,48	12,44	85,08
9		53,49	46,51	—	—		0,09	2,52	8,06
10		51,59	48,41	—	—	0,13	1,30	10,49	88,08
11	Западный плес, северная часть	49,46	50,54	0,36	0,73	0,58	4,92	16,60	76,81
12		58,63	41,37		0,14	0,07	0,17	0,97	98,65
13		52,83	47,17	—	0,06	0,13	19,31	18,19	62,31
14		53,70	46,30		0,67	1,22	14,91	2,82	80,38
15		40,60	59,40	0,14	—	0,09	4,70	21,98	73,09
16	Пролив Узкость (западная часть среднего плеса)	48,80	51,20	—	Следы		0,82	16,42	82,76
17		33,23	66,77	0,43			0,34	5,45	23,63

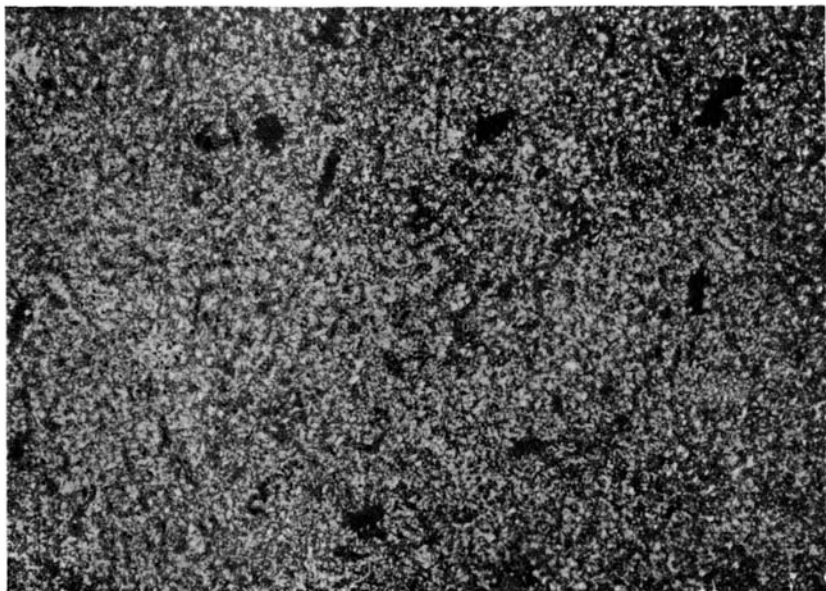
* Сумма двух фракций.



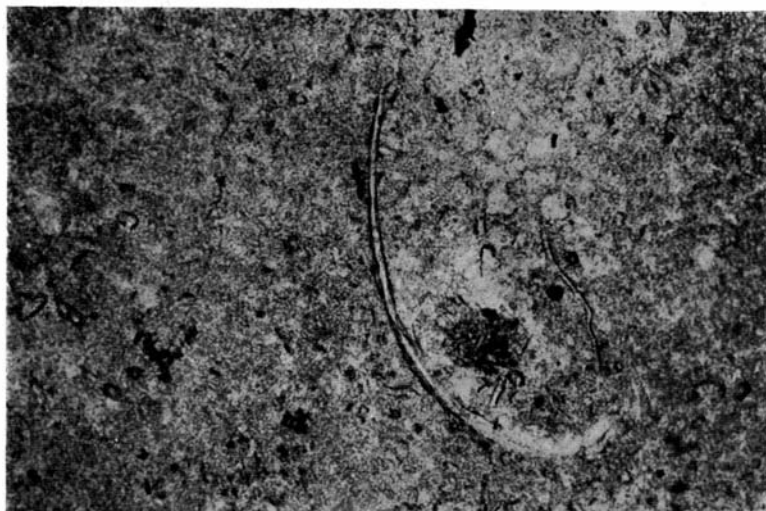
Фиг. 7. Слоистость в сером иле.
Средняя часть Западного плеса.



Фиг. 8. Колонка донных отложений, снятая с двух разных сторон. Вверху остракодовый ил, отделяющийся неровной границей (I) от подстилающего серого ила. В средней части тонкая крутая трещина (II) в сером иле; она заполнена материалом из вышележащего слоя и содержит неправильные включения остракодового ила. Средняя часть Западного плеса.



Фиг. 9. Ил глинисто-известковый серый. Южная часть Западного плеса. Ув. 450, николи || .



Фиг. 10. Ил глинисто-известковый серый, с включением разрушенной раковинки остракоды. Южная часть Западного плеса. Ув. 145, николи || .

вертикальным трещинам проникает в глубь нижележащего слоя серого ила.

Под микроскопом видно, что серый ил состоит из тонкозернистой основной массой, состоящей из карбонатно-глинистого вещества и содержащей более крупные минеральные зерна, а также другие включения.

Глинистое вещество, входящее в состав основной массы осадка, состоит в своей различной части зернами величиной преимущественно от 0,001 до 0,005 мм. Среди них на первом месте находятся таблочки гидрослюда, хлорит, мелкие зерна кварца и полевых шпатов. Из минералов глин присутствует каолинит, представленный отдельными чешуйками и агрегатами их, а также другие, ближе не определенные минералы этой группы.

В. П. Петров, работая иммерсионным методом, обнаружил в илах войлокоподобные мелкозернистые агрегаты каолинита с показателем преломления 1,56. Кроме того, в одном образце найдены хорошо выраженные, типичные для каолинита, вермикулитоподобные сростки с тем же показателем преломления.

Карбонатное вещество, входящее в состав основной массы, однородно (фиг. 9 и 10) и тонкозернисто; размер частиц его в среднем 0,002—0,003 мм.

Из включений, различимых под микроскопом, особенно многочисленны скелетики диатомей, которые представлены как целыми формами, так и обломками, сохранившимися в большей или меньшей степени. Величина их доходит до 0,06—0,08 мм. Несколько реже встречаются раковинки остракод размером 0,2—0,4 мм, представленные как целыми формами, так и их обломками (фиг. 10).

В значительном количестве встречаются в иле черные, обуглившиеся остатки растений, иногда с сохранившимся клеточным строением, иногда без следов его. Величина их различна, чаще всего она составляет десятые доли миллиметра.

Зерна находящегося в иле обломочного материала, величиной от 0,01 до 0,2 мм, имеют полуугловатую форму. Встречаются и полуокатанные, и угловатые зерна. Обломочный материал не корродирован.

Механический состав терригенной части серых илов отличается значительным постоянством. Действительно, как это видно из табл. 22, главным компонентом нерастворимой части является глинистый материал, на долю которого приходится в среднем 35—50% от веса натурального осадка.

На долю алевритового и песчаного материала, входящего в состав описываемого образования, приходится, как правило, не более 15% от веса натурального осадка, причем количество песчаной фракции измеряется 1—2%, а чаще долями процента, тогда как алевритовая фракция составляет 10—14%, а иногда и более. Содержание песчаной и алевритовой фракций, вычисленное в процентах от нерастворимого остатка серого ила, заметно возрастает (см. табл. 22), но, как правило, не превышает 30—40%. В связи с этим средний диаметр зерен обломочного материала во всех образцах серого ила менее 0,01 мм.

Минералогическое изучение показало, что состав легкой фракции весьма однообразен и в нее везде входит лишь очень ограниченный круг минералов, среди которых основное значение имеют кварц, полевые шпаты, обломки пород и разрушенных минералов и большая часть слюды, некоторое количество которых переходит в тяжелую фракцию. Кроме того, в легкую фракцию попадают скелетные частицы диатомовых водорослей.

Тяжелая фракция состоит из минерального комплекса, типичного для современных отложений оз. Балхаш. В табл. 23 приведен количественный

Количественный минералогический состав

№ п/п	Местонахождение (последовательно с юго-запада на северо-восток)	Рудные минералы	Рутил	Пироксен	Роговая обманка	Глаукофан
1	Западный плес, южная часть . .	50,7	—	—	30,5	×*
2		21,9	—	—	34,7	1,8
3		90,5	—	—	5,5	0,5
4		96,9	—	—	1,5	—
5		92,2	—	—	4,0	—
6		98,3	—	—	1,7	—
7	Западный плес, средняя часть .	12,7	—	×	31,5	8,0
8		92,4	—	—	3,8	—
9		13,5	—	0,6	35,9	1,4
10	Западный плес, северная часть .	38,3	—	×	30,9	5,4
11		73,6	—	—	9,9	—
12	Восточный плес, западная часть .	43,9	×	1,5	34,3	—
13		40,8	—	—	34,6	—
14		37,5	—	—	48,8	2,5

* × единичные зерна.

минералогический состав тяжелой фракции серых илов, взятых из разных частей озера. Главную роль в тяжелой фракции играют рудные минералы, содержание которых колеблется примерно от 13 до 98% и составляет в среднем 53,3%.

Рудные минералы представлены чаще всего пиритом и продуктами его разложения — бурыми гидроокислами железа. Пирит обычно встречается в заметных количествах. Зерна его величиной от 0,005 до 0,03 мм имеют правильную шарообразную или округлую форму. В поле зрения микроскопа пирит чаще всего попадает в виде отдельных зернышек. Однако местами можно наблюдать скопления этого минерала, в которых насчитывается до десятка отдельных зерен. Иногда зерна пирита в краевых частях лимонитизированы. В шлифах видны также мелкие скопления бурого непрозрачного или слабо просвечивающего минерала — лимонита, произошедшего, вероятно, вследствие окисления сульфида железа.

Кроме рудных минералов, в составе тяжелой фракции встречены роговые обманки, гранаты, глаукофан, турмалин и пироксен, преимущественно моноклинный; значительно реже попадают рутил, ставролит и силлиманит. В общем, круг минералов здесь такой же, как в илистых песках и песчаных илах.

Результаты подробных химических анализов илов сведены в табл. 24 и расположены слева направо в порядке последовательности от устья р. Или на север до района г. Балхаш и далее на восток. Кроме того, были проведены массовые анализы 1,5%-ной солянокислой вытяжки (карбонатные анализы) серых илов с 57 станций, взятых преимущественно в западной части бассейна, и ряд определений органического углерода, железа и меди.

По химическому составу серые илы отличаются от илистых песков и песчаных илов главным образом содержанием карбонатов. Они в большей степени карбонатны, чем песчаные илы и, особенно, илистые пески.

тяжелой фракции серых илов (в %)

Группа гра- нага	Другие ус- тойчивые минералы	Турмалин	Ставролит	Хлорит	Титанит	Группа эпидота	Андалузит	Силлиманит	Слюды
5,8	8,2	—	—	×	4,1	—	—	0,7	—
7,4	0,5	×	—	7,1	3,2	22,1	—	—	1,3
0,5	2,0	—	—	—	1,0	—	—	—	—
0,4	×	—	×	—	0,4	0,8	—	—	—
0,6	0,6	—	—	1,0	1,6	—	—	—	—
×	—	×	—	—	—	×	—	—	—
8,2	1,9	—	—	5,2	3,9	28,2	—	—	0,4
1,9	×	×	—	—	1,9	—	—	—	—
4,5	1,7	0,6	—	1,1	6,2	34,5	—	—	×
2,7	0,4	×	—	5,4	0,9	12,6	—	—	3,4
—	×	3,3	—	×	—	13,2	—	—	—
6,0	4,9	1,5	—	—	3,6	4,3	—	—	×
8,2	8,2	×	—	—	×	8,2	—	—	—
×	3,7	—	—	—	2,5	5,0	—	—	—

Из табл. 24 следует, что силикатная часть илов со всех пяти станций имеет близкий состав, хотя незначительные отличия все же наблюдаются.

Результаты анализов солянокислой вытяжки илов сведены в табл. 25, где, помимо содержания отдельных соединений, приведены также результаты пересчета их на углекислый кальций и углекислый магний и затем на кальцит и доломит. Следует оговорить, что доломит выделяется в таблице условно, так как у нас не во всех случаях имеются достоверные данные, указывающие на наличие именно этого минерала в осадках западного плеса, где преимущественно распространены серые илы. Сопоставляя данные, приведенные в табл. 25, с данными анализов 1,5%-ной солянокислой вытяжки, проделанных Э. С. Залманзон для пяти образцов ила (см. табл. 24), приходим к заключению, что в общем получаются сходящиеся и однозначные результаты.

Данные химического и механического анализов показывают, что среди серых илов существуют две разности, внешне сходные, но отличающиеся по соотношению между карбонатным веществом и минеральной нерастворимой частью осадка. Во-первых, выделяются глинисто-известковые илы, характеризующиеся значительным и удивительно постоянным количеством карбонатного материала, содержание которого колеблется в этом осадке в пределах от 45 до 50% (анализы с 7 по 20 в табл. 25), и, во-вторых, известково-глинистые илы, отличающиеся большим содержанием терригенной части, представленной, как и в первом случае, преимущественно глинистым материалом. Серые илы известково-глинистого состава содержат карбонатную часть в количестве от 24 до 33%. Количество минеральной нерастворимой части здесь примерно в 2 раза превышает содержание углекислых соединений и колеблется в пределах от 53 до 64% (анализы 1—6). В составе минеральной части лишь незначительный процент приходится на долю песка, главная же масса складывается из глинистого материала. Представление о составе

Химический состав серых илов (в %)

По данным Э. С. Залманзон

Компоненты	Образец 1	Образец 2	Образец 3	Образец 4	Образец 5
	Западный плес				Средний плес
	южная часть, район устья р. Или	южная часть	средняя часть	северная часть	западная часть

Валовой анализ

SiO ₂	25,71	27,50	29,23	34,11	35,51
TiO ₂	0,34	0,39	0,34	0,39	0,53
Al ₂ O ₃	7,82	8,29	7,70	9,30	8,40
Fe ₂ O ₃	2,55	3,76	2,63	3,01	0,99
FeO	1,34	1,04	1,10	1,57	2,72
MnO	0,07	0,08	0,05	0,05	0,06
CaO	27,70	25,81	26,34	21,33	21,14
MgO	3,56	3,55	3,29	3,54	3,03
Na ₂ O	0,77	0,74	0,99	1,04	1,15
K ₂ O	1,62	1,90	1,70	2,23	1,89
P ₂ O ₅	0,14	0,15	0,17	0,12	0,22
S	0,25	0,21	0,27	0,29	0,23
SO ₃	0,05	0,05	0,12	0,12	0,24
CO ₂	23,40	21,45	21,90	18,25	17,88
Cl	0,01	0,03	0,04	0,03	0,06
H ₂ O +	3,10	3,51	3,03	3,07	3,40
H ₂ O -	1,05	1,05	0,80	0,92	1,66
С органический	0,51	0,47	0,44	0,62	1,10
Элементы органическо- го вещества	0,37	0,34	0,32	0,45	0,80

Анализ 1,5%-ной солянокислой вытяжки

Минеральный нерастворимый остаток	37,29	41,38	39,66	49,19	49,22
Al ₂ O ₃	2,86	2,61	2,85	2,20	2,15
Fe ₂ O ₃	1,13	0,96	1,02	0,96	1,13
CaO	27,55	25,59	25,75	21,21	20,93
MgO	2,63	2,37	2,55	2,36	1,91
CO ₂	23,40	21,45	21,90	18,25	17,88
CaCO ₃	49,15	45,67	45,95	37,85	37,35
MgCO ₃	3,45	2,62	3,26	3,08	2,80
MgO разрушенных силикатов	0,97	1,11	0,96	0,86	0,50
MgO сернокислой соли	0,01	0,01	0,03	0,03	0,06
Кальцит	45,06	42,57	42,08	34,19	34,03
Доломит (условно)	7,54	5,72	7,13	6,74	6,12
Карбонатность	52,60	48,29	49,18	40,93	40,15
Доломит, % от суммы карбонатов	14,33	11,85	14,50	16,45	15,25

Солевая часть ила

NaCl	0,02	0,05	0,06	0,05	0,10
Na ₂ SO ₄	0,05	0,05	0,11	0,11	0,21
MgSO ₄	0,03	0,03	0,09	0,09	0,18
CaCO ₃	49,16	45,67	45,95	37,85	37,35
MgCO ₃	3,45	2,62	3,26	3,08	2,80
Ca ₃ (PO ₄) ₂	0,31	0,32	0,37	0,26	0,48
FeS ₂	0,47	0,39	0,50	0,54	0,43
Сумма	53,49	49,13	50,34	41,98	41,55

Компоненты	Образец 1	Образец 2	Образец 3	Образец 4	Образец 5
	Западный плес				Средний плес
	южная часть, район устья р. Или	южная часть	средняя часть	северная часть	западная часть

Силикатная часть ила

SiO ₂	61,51	60,08	64,29	63,84	67,67
TiO ₂	0,81	0,85	0,75	0,73	1,01
Al ₂ O ₃	18,71	18,12	16,94	17,53	16,01
Fe ₂ O ₃	6,10	8,22	5,79	5,64	1,89
FeO	2,54	1,77	1,76	2,34	4,69
MnO	0,17	0,17	0,11	0,09	0,10
CaO	—	0,17	0,86	—	—
MgO	4,52	4,94	3,75	3,82	3,11
Na ₂ O	1,77	1,53	2,00	1,83	1,92
K ₂ O	3,87	4,15	3,75	4,18	3,60
FeO : Fe ₂ O ₃	0,42	0,21	0,30	0,41	2,48
SiO ₂ : Al ₂ O ₃	3,29	3,32	3,80	3,67	4,23

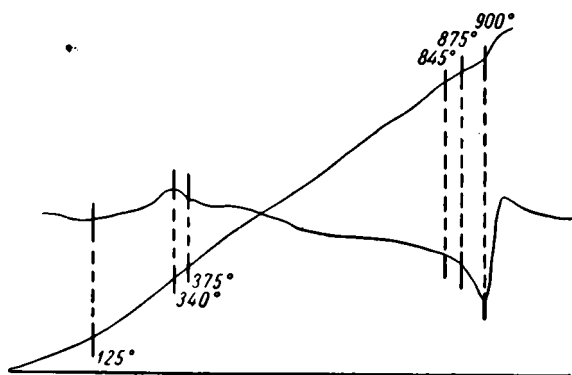
этой разновидности описываемого осадка дают анализы с 1 по 6-й (табл. 25).

Вопрос о минералогической природе карбонатов, входящих в состав серых илов, относится к числу наиболее сложных. Присутствие углекислого кальция в сером иле в форме кальцита доказывается, помимо расчетных данных, кривыми нагревания.

На фиг. 11—13 приведены кривые нагревания серых илов, взятых из разных частей области распространения этих осадков. На кривых виден отчетливый эндотермический эффект, отражающий процесс диссоциации кальция.

Кривые нагревания не дают материала для положительного ответа на вопрос о возможности нахождения доломита в серых илах. Наоборот, на них не видно каких-либо термических эффектов, которые можно было бы истолковать как указание на наличие доломита или магнезита. С другой стороны, расчет данных анализа указывает на наличие в серых илах заметного количества углекислого магния, который, казалось бы, логично связать в молекулу доломита.

В дополнение к материалу, характеризующему содержание железа в сером иле (табл. 24), можно привести еще ряд анализов (табл. 26).

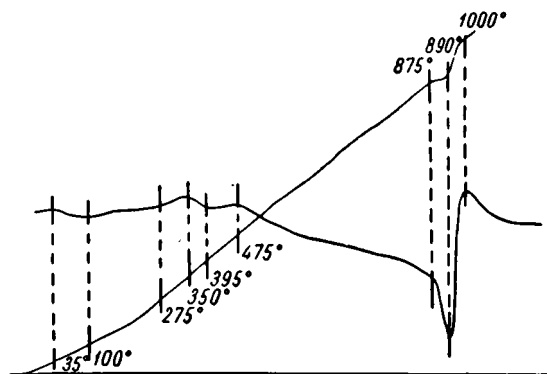


Фиг. 11. Кривая нагревания серого ила из южной части Западного плеса.

Аналитический материал, относящийся к серым илам, взятым из различных частей бассейна, показывает, что содержание железа колеблется в них в широких пределах — от 2,25 до 7,83%; среднее содержание железа в серых жилах составляет 3,42%.

В дополнение к цифрам, приведенным в табл. 24, в нашем распоряжении имеется еще несколько определений содержания органического углерода в серых илах (табл. 26). Данные обеих таблиц близко совпадают и указывают на то, что в составе серых илов органический углерод присутствует в среднем в количестве 0,66%. В отдельных случаях наблюдаются небольшие отклонения, однако они не изменяют общей картины.

Рассматривая материал, приведенный в табл. 26, можно заметить, что наиболее высокие содержания углерода, измеряющиеся величинами порядка 1% и более, приходится преимущественно на станции, взятые из восточной части области распространения серых илов; наименьшие значения при-



Фиг. 12. Кривая нагревания серого ила из северной части Западного плеса.

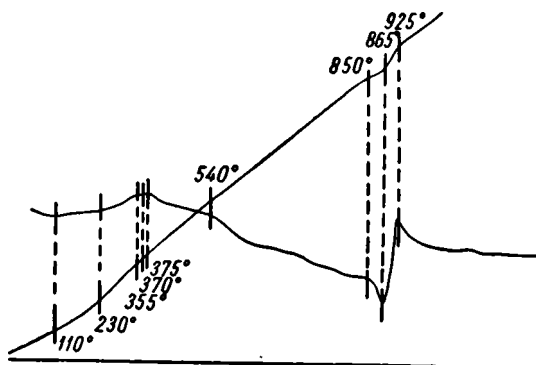
Анализы солянокислой вытяжки серых

№ п/п.	Местонахождение (последовательно с юго-запада на северо-восток)	Минеральный нерастворимый остаток	Полуторные окислы	CaO	MgO
1	Западный плес, район Бурубайтала	60,46	6,68	13,72	1,85
2	Западный плес, район устья р. Или	61,71	5,79	13,00	1,83
3		63,20	3,72	14,64	0,81
4		53,21	6,16	17,76	2,12
5		58,31	6,08	15,89	2,09
6		54,19	6,77	17,59	2,31
7	Западный плес, южная часть . .	43,28	3,15	24,42	2,36
8		42,02	4,16	24,21	2,53
9		37,36	7,76	25,12	3,14
10		37,60	3,69	27,12	2,51
11		38,51	3,88	24,57	2,41
12	Западный плес, средняя часть . .	39,26	3,40	25,25	2,29
13		36,50	4,34	25,99	2,61
14		35,41	4,36	27,10	2,71
15	Западный плес, северная часть . .	39,00	5,96	25,12	3,12
16		37,02	5,52	27,26	3,32
17		42,23	3,70	24,65	2,55
18		40,29	2,86	26,67	2,56
19		41,81	3,78	25,10	2,66
20	Средний плес, западная часть . .	40,49	3,69	26,08	2,10

ходятся на южную часть Западного плеса, тяготеющую к устью р. Или. Отсюда можно сделать вывод, пока еще предварительный, о том, что количество органического углерода в серых илах растет по мере удаления от устья р. Или. Обращает на себя внимание тот факт, что в серых илах содержится примерно столько же органического углерода, сколько и в песчаных илах.

Заканчивая на этом характеристику серых илов, остановимся кратко на их распространении (см. карту осадков, фиг. 6). Серые илы представляют типичный осадок открытой части западных плесов озера. Наиболее широкого распространения эти осадки, содержащие более 70% частиц размером менее 0,01 мм, включая глинистое и карбонатное вещество, достигают в южной

части Западного плеса, в районе, заключенном между устьем р. Или, островами Аяк-арал и Бас-арал и полуостровом Кос-агач на севере. Вторая значительная площадь распространения этих илов находится в



Фиг. 13. Кривая нагревания серого ила из западной части Среднего плеса.

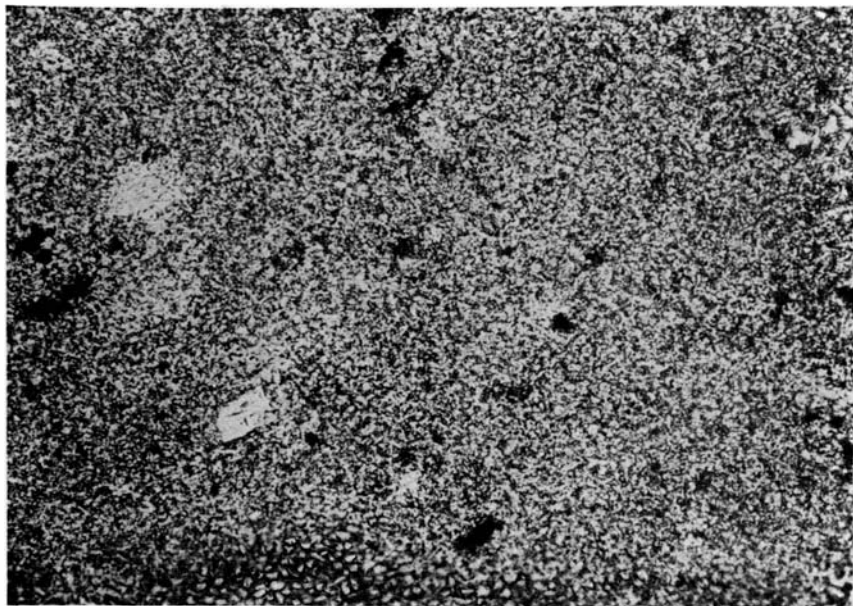
Таблица 25

илы (содержание в %)

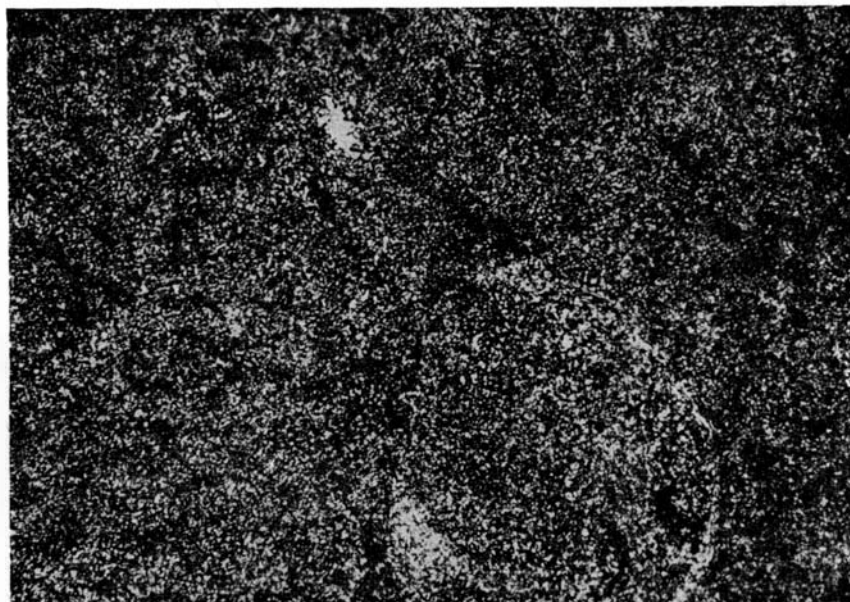
CO ₂	CaCO ₃	MgCO ₃	MgO разрушенных силикатов	Кальцит	Доломит (условно)	Сумма карбонатов	Доломит в % от суммы карбонатов
10,93	24,49	0,35	1,70	24,07	0,77	24,84	3,1
10,53	23,20	0,63	1,53	22,45	1,38	23,83	5,8
11,79	26,13	0,58	0,53	25,44	1,27	26,71	4,8
15,04	32,25	0,97	1,69	31,10	2,12	33,22	6,4
12,75	28,36	0,54	1,83	27,72	1,18	28,90	4,1
14,05	31,59	0,54	2,02	30,95	1,18	32,13	3,7
20,41	43,58	2,40	1,22	40,73	5,25	45,98	11,4
20,17	43,20	2,24	1,46	40,34	4,90	45,44	10,8
21,40	44,83	3,24	1,59	40,98	7,09	48,07	14,8
22,80	48,40	2,91	1,12	44,95	6,36	51,31	12,4
21,52	43,85	4,29	0,36	38,76	9,38	48,14	19,5
21,14	45,06	2,55	1,07	42,03	5,58	47,61	11,7
22,24	46,38	3,55	0,91	42,17	7,76	49,93	15,6
22,22	48,36	1,84	1,83	46,17	4,03	50,20	8,1
20,80	44,83	2,15	2,06	42,28	4,70	46,98	10,0
22,05	48,65	1,26	2,72	47,16	2,75	49,91	5,5
20,66	43,99	2,53	1,34	40,99	5,53	46,52	11,8
22,37	47,59	2,78	1,33	44,30	6,07	50,37	12,1
21,05	44,79	2,61	1,41	41,69	5,71	47,40	12,0
21,65	46,54	2,28	1,01	43,83	4,99	48,82	10,2

Содержание железа и органического углерода в серых илах (в %)

№ анализа	Местонахождение (последовательно с юго-запада на северо-восток)	Минеральный нерастворимый остаток	Железо	Органический углерод
1	Западный плес, южная часть . .	54,18	4,23	—
2		53,36	3,58	—
3		57,95	3,77	—
4		60,46	4,46	0,60
5		59,60	—	0,63
6	Западный плес, район устья р. Или	61,71	7,83	—
7		62,26	3,57	—
8		63,20	3,50	0,53
9		58,31	—	0,47
10		54,19	3,66	0,65
11	Западный плес, к северу от устья р. Или	55,11	3,38	—
12		54,59	3,57	—
13		52,38	3,05	—
14		43,28	2,82	0,60
15		—	2,52	—
16		42,19	—	0,56
17		42,02	5,25	0,66
18		37,30	2,82	0,57
19		38,38	—	0,77
20		48,70	2,48	—
21		42,12	—	0,64
22		39,54	2,62	—
23		37,60	2,51	—
24	Западный плес, средняя часть . .	46,23	3,11	—
25		37,29	2,96	—
26		40,24	3,00	—
27		37,60	—	0,64
28		41,40	3,44	0,47
29		44,79	3,14	—
30		37,60	—	0,64
31		38,51	—	0,54
32		39,26	—	0,61
33		36,13	2,37	—
34		34,73	2,25	—
35		39,70	2,69	0,44
36		36,50	—	0,65
37		35,41	—	0,78
38	Западный плес, северная часть .	41,28	2,25	—
39		38,17	—	0,66
40		49,20	3,34	0,62
41		42,23	5,83	—
42		40,29	2,81	—
43	Пролив Узкость	61,01	3,76	0,76
44	Восточная половина озера, западная часть	49,20	2,80	1,10
45		—	—	1,20
46	Восточная половина озера, район устья р. Каратал	41,80	—	0,73
	Среднее для серых илов	—	3,42	0,66



Фиг. 14. Ил известково-доломитовый белый глинисто-карбонатный с отдельными песчаными зернами. Лепсинский плес. Ув. 450, николи ||.



Фиг. 15. Ил известково-доломитовый белый. В нижней части справа полуразрушившаяся раковинка остракоды. Бурлю-тюбинский плес. Ув. 450, николи ||.

северной части Западного плеса, в районе г. Балхаш, где они протягиваются сплошной полосой от района пос. Уч-тюбек до района урочища Дересин.

Восточнее полуострова Узун-арал в западной части Среднего плеса большие площади дна слагаются серым илом. Отдельные небольшие пятна серых илов встречаются и восточнее — к западу от острова Алгазы и в районе, лежащем между этим островом и устьем р. Каратал.

Характерно, что площади, сложенные серыми илами, всегда занимают не среднюю часть бассейна, а смещены в сторону западного и северного берегов, покрывая участки дна в наиболее глубоких частях. От низменных — восточного и южного — берегов они обычно отделяются широкими полосами илистого песка и песчаного ила (см. карту осадков, фиг. 6).

Известково-доломитовый (белый) ил

Белый ил распространен в восточном Бурлю-тюбинском и соседнем с ним Лепсинском плесах оз. Балхаш и далее к западу не встречается. В свежем состоянии, только что вынутый из воды, ил представляет собой полужидкий светлосерый, почти белый осадок, совершенно однородный и резко пахнущий сероводородом. Содержание влаги в нем доходит до 65—69%. Животные организмы, встречающиеся в белом иле и видимые макроскопически, представлены почти исключительно раковинками остракод и личинками хирономид. Остатки растений попадают редко.

При высыхании ил почти не изменяет окраски и переходит в уплотненную землистую массу, внешне напоминающую глинистые разности мела или мелоподобные мергели. Он истирается между пальцами, слабо мажет руки и обладает светлосерой, почти белой с зеленоватым оттенком окраской. Естественная влажность таких сухих разностей ила составляет 2—3%.

Внимательное макроскопическое изучение колонок белого ила показывает, что он представляет собой весьма однородное образование. Слоистость в нем не наблюдается, включения неправильных по форме и различных по величине обломков ила не встречены, в чем можно усмотреть его отличие от серого ила, богатого ими.

Из других включений обращают на себя внимание мельчайшие таблички слюд, встречающиеся в значительных количествах в илах, взятых из разных частей бассейна, а также скорлупки остракод и мелкие обуглившиеся остатки растений, выделяющиеся темным цветом на фоне белого ила.

При изучении под микроскопом видно, что белый ил состоит преимущественно из глинисто-карбонатной массы и содержащихся в ней включений. Основная масса слагается тонкодисперсным карбонатным веществом, состоящим из зерен величиной в среднем от 0,001 до 0,003 мм (фиг. 14 и 15). Наряду с этим значительную роль играют зерна карбонатов, величина которых не достигает 0,001 мм. Ил содержит значительное количество тончайшего терригенного материала, большая часть которого облекается со всех сторон зернами карбоната, маскируется им и под микроскопом непосредственно не различима. Более крупный материал, доступный для изучения, величиной от 0,005 до 0,01 мм, представлен преимущественно мелкими табличками гидрослюды, чешуйками хлоритов, зернами кварца, минералами глин и мелкими частицами других минералов.

Основная масса, сложенная тонким глинисто-карбонатным материалом, содержит включения, среди которых главную роль играют песчаные зерна, остатки животных организмов и растений, а также зерна рудных минералов.

Механический состав белых илов

№ анализа	Местонахождение (последовательно с юго-запада на северо- восток)	Минеральный нерастворимый осадок	Содержание фракций (размеры в мм) в % от нерастворимого остатка						
			— 1	1—0,5	0,5—0,25	0,25—0,1	0,1—0,05	0,05—0,01	< 0,01
1	Лепсинский плес	43,10	—	—	0,18	0,09	2,04	13,27	84,42
2		43,78	—	0,44 *	—	0,44	24,28	17,74	57,10
3	Бурлю-тюбинский плес	35,11	—	—	0,29	0,59	28,89	14,82	55,41
4		28,48	—	—	0,37	Следы	14,04	13,10	72,49
5		24,76	—	0,26 *	—	0,26	5,72	24,93	68,83
6		36,62	1,21	8,58	11,20	41,03	10,46	1,77	25,75

* Сумма трех фракций.

Зерна песчаного материала величиной в среднем от 0,1 до 0,15 мм имеют различную форму, чаще всего полуугловатую; встречаются также полуокатанные и окатанные зерна. Содержание песчаного материала обычно составляет лишь десятые доли процента от общей массы осадка. В то же время алевритовая фракция содержится в илах в значительно большем количестве — до 10—15% от веса натурального осадка, или в количестве 12—44% от минеральной нерастворимой части.

Остатки организмов, обнаруженные при микроскопическом изучении илов, представлены преимущественно раковинками остракод величиной до 0,3 мм, остатками растений, обуглившимися, но сохранившими строение клеточной ткани, и скелетиками диатомовых водорослей. В отдельных случаях встречены вытянутые, внешне сходные с волосом образования, сложенные карбонатным веществом и представляющие скелетные части известковых водорослей. Обнаружены также обломки игольчатых известковых образований длиной до 0,25 мм при диаметре около 0,01 мм. В центральной части их проходит тонкий канал, ширина которого несколько превышает 0,005 мм. Эти образования сходны со спикулами губок.

Из данных табл. 27 следует, что терригенная часть белых илов складывается в основном глинистым материалом, на долю которого приходится 55—69% от ее веса. Для глинистых разностей белого ила эта величина возрастает до 72 и даже до 84%.

Такое высокое содержание глины легко объясняется тем, что белые илы развиты на дне наиболее глубоких частей бассейна, заметно удаленных от берегов. В тех частях озера, которые находятся в сфере влияния берега, особенно южного, содержание терригенного материала возрастает (анализ 6). При этом в осадке также заметно увеличивается примесь алевритового и песчаного материала и сокращается содержание глинистой фракции. Средний диаметр обломочного материала, слагающего белые илы, менее 0,01 мм.

Минералогический состав белых илов отличается значительным разнообразием. Минералы легкой фракции представлены кварцем, полевым шпатом, слюдой (мусковит и биотит) и обломками различных пород. Особо следует отметить, что в терригенной части ила встречены мелкие таблочки каолинита. Как видно из табл. 28, главную часть ми-

нералов тяжелой фракции составляют здесь, как и в случае других осадков озера, рудные минералы, на долю которых приходится от 40 до 86%.

Зерна рудных минералов обычно имеют размеры 0,01—0,05 мм; среди них преобладают правильные шарообразные выделения пирита диаметром, близким к 0,01 мм. Часто встречаются бесформенные скопления темногобурого железистого минерала, вероятнее всего лимонита, образовавшегося вследствие окисления сульфидов железа.

На втором месте находятся минералы из группы роговых обманок (до 37%). Далее следуют циркон и гранаты, содержание которых примерно одного порядка. Наконец, заметную роль играют также минералы из группы эпидота, содержащиеся в количестве 2—4% и лишь в образце 1 (табл. 28) достигающие 14,6% от веса тяжелой фракции. Реже встречается титанит и — в единичных зернах — шпинель, рутил, пироксен, турмалин, турмалин, хлорит.

Химический состав белых илов представляет чрезвычайный интерес, поскольку данные анализа показали весьма высокое содержание в них магния, совершенно необычное для отложений современных пресноводных водоемов. Для характеристики состава белых илов в настоящее время имеются данные подробного химического исследования, которому были подвергнуты два образца осадка. Кроме того, проведены анализы солянокислой вытяжки и определено содержание железа и органического углерода в образцах белых илов, взятых из разных частей восточных плесов бассейна.

В табл. 29 приведены данные полных анализов белого ила из Лепсинского (образец 1) и из Бурлю-тюбинского плесов (образец 2), почерпнутые из работы Э. С. Залманзон (1951). Сравнение данных этих анализов показывает, что образцы заметно отличаются друг от друга по содержанию почти всех компонентов и особенно кремнезема, окиси алюминия, окиси кальция и окиси магния. Главная причина этого отличия заключается в том, что осадок Бурлю-тюбинского плеса содержит большее количество карбонатов, представленных преимущественно доломитом, чем белый ил (образец 1).

Содержание аморфной кремнекислоты в этих же образцах следующее:

	Образец 1	Образец 2
SiO ₂ в % на воздушно-сухой ил	0,42	0,44
SiO ₂ в % на силикатную часть ила	1,24	1,88

Если же пересчитать данные валового анализа на силикатную часть белых илов, то окажется, что некоторые элементы содержатся в обоих образцах в близких количествах. Так, на долю окиси кремния приходится 61—62%, а на долю окиси титана 0,86 и 1,04% от силикатной части и т. д.

Из табл. 30 следует, что содержание железа в белых илах колеблется в широких пределах — от 0,97 до 3,15%. Среднее содержание этого элемента в белых илах составляет 2,13%. Указанная величина ниже, чем для всех других типов осадков оз. Балхаш, включая и илистые пески.

Кальций и магний содержатся в белых илах в весьма значительных количествах, причем, как видно из анализа 1,5%-ной солянокислой вытяжки, большая часть этих элементов входит в состав углекислых соединений.

Значительное содержание карбоната кальция в белых илах не представляет само по себе особого интереса, поскольку известковые осадки

Количественно-минералогический состав

№ анализа	Местонахождение (последовательно с юго-запада на северо-восток)	Рудные минералы	Шпинель	Рутил	Пироксен
1	Лепсинский плес	{ 40,0	—	—	—
2		{ 49,0	×*	—	×
3	Бурлю-тюбинский плес	{ 74,9	—	—	—
4		{ 86,3	—	—	—
5		{ 58,2	—	×	×
6		{ 41,9	—	—	—
7		{ 49,5	1,9	—	—

* × — единичные зерна.

Таблица 29

Результаты химических анализов белых илов (в %)

По данным Э. С. Залманзон

Валовой анализ

Анализ 1,5%-ной солянокислой
вытяжки

Компоненты	Образец № 1	Образец № 2	Компоненты	Образец № 1	Образец № 2
SiO ₂	20,96	14,41	Минеральный нерастворимый остаток	28,32	17,93
TiO ₂	0,29	0,24	Al ₂ O ₃	2,36	3,09
Al ₂ O ₃	5,28	2,77	Fe ₂ O ₃	0,84	0,74
Fe ₂ O ₃	1,46	1,31	CaO	29,37	27,05
FeO	1,96	1,40	MgO	4,31	11,50
MnO	0,05	0,02	CO ₂	26,23	31,52
CaO	29,42	26,95	CaCO ₃	52,41	48,27
MgO	4,98	11,61	MgCO ₃	6,11	19,74
Na ₂ O	0,89	0,82	MgO разрушенных силикатов	1,30	1,93
K ₂ O	1,23	0,77	MgO сернокислой соли	0,09	0,13
P ₂ O ₅	0,16	0,13	Кальцит	45,16	24,93
S	0,12	0,11	Доломит	13,36	43,18
SO ₃	0,36	0,51	Карбонатность	58,52	68,11
CO ₂	26,23	31,52	Доломит, % от суммы карбонатов	22,8	63,35
Cl	0,11	0,14	SiO ₂ разрушенных силикатов	—	3,71
H ₂ O ⁺	3,32	3,46			
H ₂ O ⁻	1,78	1,72			
С органический	1,24	1,84			
Элементы органического вещества	0,90	1,33			

Солевая часть ила

Силикатная часть ила

NaCl	0,18	0,23	SiO ₂	62,12	61,71
Na ₂ SO ₄	0,32	0,44	TiO ₂	0,86	1,04
MgSO ₄	0,27	0,39	Al ₂ O ₃	15,65	11,86
CaCO ₃	52,41	48,27	Fe ₂ O ₃	4,34	5,61
MgCO ₃	6,11	19,74	FeO	5,43	5,48
Ca ₃ (PO ₄) ₂	0,35	0,28	MnO	0,15	0,09
FeS ₂	0,22	0,20	MgO	5,84	8,74
Сумма	59,86	69,55	Na ₂ O	1,96	2,17
			K ₂ O	3,65	3,30
			FeO : Fe ₂ O ₃	1,25	0,98
			SiO ₂ : Al ₂ O ₃	3,97	5,20

тяжелой фракции белых илов (в %)

Тремолит	Роговые обманки	Глауко- фан	Минералы из группы граната	Другие устойчи- вые мине- ралы	Турмалин	Хлорит	Титанит	Минералы из группы эпидота
—	25,4	×	8,0	10,0	—	—	2,0	14,6
—	34,1	×	12,1	—	—	—	×	4,8
—	14,2	—	8,3	1,3	—	—	1,3	—
—	3,3	—	4,9	2,2	—	—	3,3	—
—	26,0	—	5,5	6,2	—	—	1,7	2,4
—	36,8	×	5,9	13,1	×	—	×	2,3
1,9	27,4	—	11,6	5,8	—	×	—	1,9

широко распространены среди современных отложений, давно описаны и во многих бассейнах хорошо изучены.

Наоборот, заметное содержание магния в современных отложениях представляет редкое явление. Количество окиси магния (табл. 29 и 31) составляет для белых илов Лепсинского плеса 3—4% от веса натурального осадка, а в илах Бурлю-тюбинского плеса значительно возрастает — до 9—11%. По содержанию магния белые илы оз. Балхаш заметно выделяются не только среди его осадков, но и среди современных отложений большинства водоемов.

Вопрос о форме нахождения магния в белых илах был выяснен работами Н. М. Страхова, который показал, что главная масса данного элемента связана с карбонатной частью осадка. При этом в белых илах

Таблица 30

Содержание железа и органического углерода в белых илах (в %)

№ анализа	Местонахождение (последовательно с юго-запада на северо-восток)	Минеральный нераствори- мый остаток	Железо	Органиче- ский углерод
Лепсинский плес				
1	Западная часть	41,38	2,52	1,51
2	В 5 км от северного берега	33,42	3,15	1,41
3	Средняя часть	28,30	2,56	1,24
4	Южная часть	34,57	1,86	1,61
5	Восточная часть	30,75	1,84	—
Бурлю-тюбинский плес				
6	Северо-западная часть	18,46	0,97	2,61
7	У берега Аулиэ-тас	26,28	1,90	2,62
8	Там же	—	—	2,74
9	У острова Кашкан-тюбек	19,78	2,35	2,14
10	Средняя часть	17,90	2,01	1,84
Среднее для белых илов . . .			2,13	1,97

№ анализа	Местонахождение (последовательно с юго-запада на северо-запад)	Минеральный нерастворимый осадок	Полуторные окислы	CaO	MgO
1	Лепсинский плес, средняя часть .	{ 33,42	5,06	26,56	3,11
2		{ 34,57	4,16	25,89	4,04
3	Лепсинский плес, восточная часть	{ 32,10	4,06	28,50	3,65
4		{ 30,75	3,31	28,10	3,90
5	Бурлю-тюбинский плес, западная часть	{ 20,61	2,77	26,59	9,50
6		{ 18,46	2,57	26,62	10,78
7		{ 18,16	2,13	27,44	10,76
8	Бурлю-тюбинский плес, средняя часть	{ 20,43	2,09	26,65	9,85
9		{ 19,23	2,24	27,17	11,30
10	Бурлю-тюбинский плес, восточная часть	{ 28,44	3,68	23,56	9,87
11		{ 22,06	4,35	26,01	10,43
12		{ 22,73	3,41	23,53	11,43
13		{ 29,49	2,04	27,91	6,42

одновременно присутствуют два минерала из группы карбонатов — кальцит и доломит.

Работы, проведенные Н. М. Страховым, подробно описаны в его статье (1945₁), где приведены также весьма показательные кривые нагревания белого ила и другой интересный материал.

Присутствие доломита было доказано и для других осадков восточных плесов оз. Балхаш — для песчаных илов и илестых песков, о чем уже упоминалось при описании этих осадков.

Таким образом, все осадки восточных — Лепсинского и Бурлю-тюбинского — плесов независимо от механического состава содержат доломит, который, однако, присутствует в них обычно в разных количествах, причем наиболее богаты доломитом белые илы.

В составе белых илов на долю карбонатов приходится 46—65% от веса натурального осадка (табл. 31). Количество кальцита в них заметно изменяется, причем наибольших значений оно достигает в осадках Лепсинского плеса (44—48%) и сокращается (до 28—37%) в илах Бурлю-тюбинского плеса. Лишь в осадках с одной станции в анализе 12 количество кальцита снижается до 19,94%, а в образце 13 возрастает до 41,55%.

Доломит, напротив, достигает наибольшего количества в илах Бурлю-тюбинского плеса, где он составляет в среднем 29—33% от веса натурального осадка, в то время как в илах Лепсинского плеса количество его не превышает 9,64%. Соответственно с этим степень доломитности карбонатной части описываемых осадков доходит максимум до 19% в белых илах Лепсинского плеса и колеблется в среднем от 48 до 67% в аналогичных отложениях Бурлю-тюбинского плеса.

Нельзя не обратить внимания на то, что кальций, в отличие от магния, присутствует в белых илах почти исключительно в карбонатной форме, причем на долю других, главным образом силикатных соединений кальция, здесь приходится всего 0,05—0,1%. В то же время в белых илах присутствует большое количество магния (до 3,9% MgO), который не связан с углекислотой и, надо полагать, входит в молекулу силикатных соединений.

белых илов (содержание в %)

CO ₂	CaCO ₃	MgCO ₃	MgO разрушенных силикатов	Кальцит	Доломит	Сумма карбона- тов	Доломит в % от суммы карбонатов
22,11	47,40	2,43	1,95	44,51	5,32	49,83	10,7
22,61	46,20	4,41	1,93	40,97	9,64	50,61	19,1
23,65	50,86	2,47	2,47	47,93	5,40	53,33	10,1
23,70	50,15	3,16	2,39	46,40	6,61	53,01	12,5
28,55	47,45	14,74	2,45	29,94	32,25	62,19	51,9
28,40	47,51	14,39	3,90	30,42	31,48	61,90	51,9
30,55	48,93	17,28	2,50	28,41	37,80	66,21	57,2
28,87	47,55	15,27	2,55	29,42	33,40	62,82	53,2
30,25	48,44	17,21	3,07	28,00	37,67	65,67	57,4
26,00	42,05	14,34	3,04	31,37	25,02	56,39	44,5
27,80	46,40	14,21	3,64	31,08	29,53	60,61	48,7
28,15	41,99	18,57	2,55	19,94	40,62	60,56	67,1
25,53	49,81	6,96	3,09	41,55	15,22	56,77	26,8

Среднее содержание органического углерода составляет в белых илах Лепсинского плеса 1,44%, Бурлю-тюбинского плеса 2,39% и в белых илах, взятых в целом, 1,97% (табл. 30).

Белые илы развиты в восточной части бассейна, в пределах Лепсинского и Бурлю-тюбинского плесов, где они лежат на дне в наиболее глубоких частях. В Бурлю-тюбинском плесе, наиболее глубоком, белые илы более распространены, причем они отделяются от берегов узкой полосой других осадков, ширина которой в пределах плеса более или менее постоянна, достигает обычно 3—4 км и только местами расширяется или сходит почти на-нет. В соответствии с этим белые илы в отдельных частях плеса отходят от берега.

В южной части плеса белые илы подходят почти вплотную к берегу Аулие-тас, так же как и в северо-восточной части плеса, в районе полуострова Коржун-тюбек, где они обнаружены всего в 700 м от берега.

В пределах Лепсинского плеса белые илы слагают участок дна, расположенный в наиболее глубокой части озера и вытянутый в общем параллельно его берегам. Область распространения ила здесь, как и в более западных плесах, смещена в сторону северного берега.

Доломит, известково-диатомовый ил и другие илы

Кроме описанных осадков, занимающих господствующее положение среди современных отложений озера, в колонках, добытых с помощью трубки Экмана, встречены прослойки иных образований: доломита, известководиатомового ила и известкового (белого) ила, которые не обнаружены на поверхности дна озера.

Доломит, встреченный в колонке донных отложений из средней части Бурлю-тюбинского плеса, представляет собой довольно однородную карбонатную породу, в составе которой содержится 77,07% доломитового

вещества, 8,02% нерастворимого остатка, а на долю кальцита приходится всего 5,84% от веса ила (табл. 39).

Внешне доломит весьма сходен с белыми известково-доломитовыми илами, развитыми на дне в восточной части бассейна, и отличается от них заметной сцементированностью: в момент взятия образца он обладал плотностью, близкой к плотности писчего белого мела. Под микроскопом доломит практически не отличается от типичных разновидностей белого ила. Он также сложен мелкозернистым карбонатным веществом, величина зерна которого колеблется в среднем от 0,001 до 0,003 мм (фиг. 16) и содержит незначительную примесь глинистого материала. Песчаные зерна здесь, как правило, отсутствуют.

Значительный интерес представляет также известково-диатомовый слоистый ил, залегающий в средней части колонки (слои 4 и 6). Слоистость этого осадка хорошо различима макроскопически, так как она обозначается чередованием тонких, толщиной 0,5—1,5 мм, прослоев, окрашенных в белый цвет, с такими же серыми прослоями (фиг. 17).

Под микроскопом видно, что прослои, окрашенные в белый цвет, состоят из карбонатного мелкозернистого вещества, величина частиц которого не превышает 0,001—0,003 мм. Эти прослои часто содержат скорлупки остракод (фиг. 18) и скелетики диатомовых. Прослои, окрашенные в серый цвет, переполнены скелетными частями диатомовых, составляющими здесь главную часть осадка, и почти лишены примеси карбонатов (фиг. 19).

Такие тонкослоистые известковые осадки, богатые диатомовыми, обладают малой мощностью (до 1,5—3 см) и чередуются в разрезе с прослоями чистого известкового состава. В связи с этим слоистые илы, по данным химического анализа (табл. 32), представляются как карбонатное образование, содержащее всего 22—31% минерального нерастворимого остатка. Можно полагать, что значительная часть последнего складывается в свою очередь, кремнеземом скелетных частиц диатомей.

Обращает внимание тот факт, что диатомовые водоросли, встречающиеся, как правило, среди известковистых осадков, не были встречены в доломите.

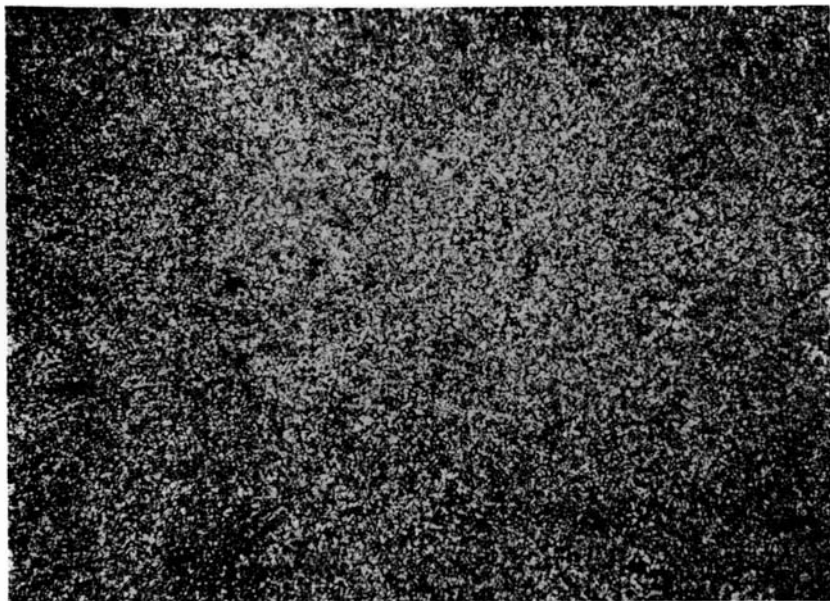
Остракодовый ил — синевато-серый осадок, сложенный основной глинисто-известковой тонкозернистой массой, переполненной скорлупками остракод. Ил неоднороден, содержит примесь песчаных зерен, остатки раковинок гастропод и обуглившиеся остатки растений. В одном образце обнаружен остаток хорошо сохранившейся жаберной крышки рыбы. Осадок местами (в северной части западного плеса) содержит включения мелких (размером 1—5 мм) обломков белого известковистого ила, залегающего ниже по колонке.

Известковый ил (белый), встреченный на нескольких станциях, преимущественно в северной части западного плеса, представляет собой белый осадок, обладающий иногда розоватым оттенком. Он однороден и складывается известковистым веществом, содержащим незначительную примесь глинистого материала (табл. 33).

Встречаются две разновидности ила: землистая, относительно рыхлая, содержащая скорлупки остракод и обломки раковин гастропод, и более плотная, однородная, только со скорлупками остракод.

Скопления органического вещества (балхашита и торфа)

Помимо перечисленных осадков, среди современных отложений оз. Балхаш привлекают внимание скопления органических веществ, образующие балхашит и торф.



Фиг. 16. Доломит. Бурлю-тюбинский плес. Ув. 450, николи +.



Фиг. 17. Ил тонкослоистый в верхней и нижней частях. Бурлю-тюбинский плес, образец из точки 2 (см. колонки на фиг. 20).



Фиг. 18. Ил слоистый тот же, что и на фиг. 17. Прослой известнистой разности ила с раковинками остракод и скорлупками диатомовых. Ув. 145, николи ||.



Фиг. 19. Ил слоистый тот же, что и на фиг. 17. Прослой богатый скорлупками диатомовых. Ув. 145, николи ||.

Балхашит залегает прямо на песке в виде тонкой растрескавшейся корочки, распадающейся на неправильные плоские кусочки, размером до 5×10 и 8×12 см. Толщина корки изменяется от долей сантиметра, до 2—3 см.

Балхашит — коричневато-бурая резиноподобная масса, обычно слабо эластичная и обладающая характерным запахом, отдаленно напоминающим запах олифы. Верхняя поверхность корки ровная, окрашена в черно-бурый с синеватым оттенком цвет и расцелена многочисленными трещинами. Нижняя поверхность, обращенная в сторону песка, резко неровная, ноздреватая; само образование здесь коричневого цвета с буроватым оттенком, содержит многочисленные включения — остатки растений, песок и мелкую гальку.

Балхашит располагается обычно там, где в свое время находился бичевник пересохшего ныне залива Ала-куль. Скопления его можно наблюдать также на бичевнике мелких озер, отделившихся в свое время песчаными перемычками от Ала-куля и пересохших в настоящее время.

Особый интерес представляет факт нахождения балхашита на берегу, где он местами залегает под слоем песка, из-под которого в котловинах выдувания, между барханами, проступают отдельные куски или сплошная корочка этого образования.

Балхашит встречается почти исключительно по западному берегу Ала-куля, а на восточном обнаружен всего в одном месте.

В тех местах, где балхашит сохранился в нетронутом состоянии, он залегает на бичевнике полосами длиной до 10 м и шириной 1—1,5 м.

Первое упоминание о балхашите имеется у Г. Д. Романовского (1882); в дальнейшем его наблюдали И. Н. Глушков, Б. Ф. Мефферт (1912) и другие.

В настоящее время имеется обширная литература, посвященная этому образованию, поэтому подробная характеристика его здесь не приводится. Наиболее подробное описание балхашита мы находим у Л. Д. Штурм (1934), которая свела обширный материал, собранный ею в результате двухлетней работы на Ала-куле.

Химическое исследование балхашита, проведенное Тейхом, Н. В. Соколовым и другими, и особенно подробно Н. Д. Зелинским (1926), показывает, что он состоит из смеси различных органических соединений, в составе которых главную роль играют кислоты жирного ряда, сложные углеводороды из группы парафинов и воскообразные эфиры. Все эти, главным образом твердые вещества, дают при сухой перегонке жидкую «смолу».

М. Д. Залесский (1914) впервые обнаружил в составе балхашита водоросли *Botryococcus braunii* K t z., причем в некоторых образцах они составляют главную массу его. По мнению М. Д. Залесского, балхашит образуется в результате скопления этой водоросли, которая пышно развивалась в заливе Ала-куль, где она была в свое время главнейшей планктонной формой. Большие массы водорослей *Botryococcus braunii* прибывали ветром к берегу и выбрасывались волной на бичевник, где и давали заметные скопления, превращавшиеся в балхашит в результате глубокого перерождения вещества, слагающего водоросли.

Л. Д. Штурм (1934) придерживается иного взгляда на происхождение балхашита. По ее мнению, он образовался из водорослей разного видового состава на дне залива под слоем воды при участии микроорганизмов. Сохранение балхашита возможно, согласно Л. Д. Штурм, лишь в том случае, если он непосредственно в воде будет перекрыт песками, наступающими на озеро.

Анализы солянокислой вытяжки осадков по колонке из средней

Глубина взятия образца и характер осадка	Нераствори- мый остаток	Полутор- ные окислы	CaO	MgO	CO ₂
Слой 1 5—10 см известково-доломитовый ил (белый)	19,23	2,24	27,17	11,30	30,25
Слой 2 31—33 см глинисто-известковый ил	16,68	2,70	37,51	4,12	30,35
Слой 4 45—47 см известково-диатомовый ил	30,95	6,24	20,53	4,88	15,56
Слой 6 59—61 см известково-диатомовый ил	22,55	3,12	30,56	2,13	23,20
Слой 7 66—68 см доломит	8,02	1,01	26,71	19,19	39,35

Анализы солянокислой вытяжки осадков по колонке, взятой в северной

Глубина взятия образцов и характер осадка	Нераствори- мый остаток	Полуторные окислы	CaO	MgO
Слой 1 (верх) 0—4 см ил глинисто-известковый	38,17	3,78	26,89	2,75
Слой 3 (верх) 67—69 см ил известковый	9,13	0,19	45,03	1,57
Слой 3 (низ) 74—77 см ил известковый (белый)	10,74	0,12	43,56	1,92

В моем распоряжении нет дополнительного материала для построения гипотезы образования балхашита, однако мнение Штурм мне кажется мало обоснованным, поскольку в воде ни в одном месте не наблюдалось образований, хотя бы отдаленно напоминающих балхашит. В то же

части Бурлю-тюбинского плеса (точка 2) (содержание в %)

SO ₂	CaCO ₃	MgCO ₃	MgO силикат- ная	Кальцит	Доломит	Сумма карбона- тов	Доломит в % от суммы карбона- тов
—	48,44	17,21	3,07	28,00	37,67	65,67	57,4
—	66,94	1,76	3,28	64,85	3,85	68,70	5,6
—	35,37	CaO силикатная 0,72	4,88	35,37	—	35,37	—
1,96	51,88	MgCO ₃ —1,05 CaSO ₄ —3,39	1,63	50,99	1,94	52,93	—
—	47,67	35,24	2,34	5,84	77,07	82,91	93,1

Таблица 33

части Западного плеса (точка 7) (содержание в %)

CO ₂	CaCO ₃	MgCO ₃	MgO силикатная	Кальцит	Доломит	Сумма карбона- тов	Доломит в % от суммы карбонатов
21,85	47,99	1,44	2,06	46,28	3,15	49,43	6,4
35,45	80,36	0,42	1,37	79,85	0,93	80,78	1,2
34,67	77,74	0,94	1,47	76,62	2,06	78,68	2,6

время точка зрения М. Д. Залесского хорошо согласуется с имеющимся фактическим материалом.

Балхашит представляет чрезвычайно большой научный интерес. Количество его, развитые на поверхности, незначительны и все время умень-

шаются вследствие сборов его различными организациями. Вопрос же о запасах его, скрытых под песками и залегающих, возможно, на глубине, остается открытым. Однако то, что известно о балхашите, развитом на поверхности, не дает оснований для оптимистической оценки запасов этого ископаемого.

Прослой торфа толщиной в несколько сантиметров обнаружен в составе донных отложений оз. Балхаш в северной части западного плеса, в средней зоне.

Наибольшая толщина прослоя торфа в колонке достигает 10 см. Торф лежит здесь (см. фиг. 26) на глубине 15 см от поверхности дна и покрыт слоем илистого песка мощностью 10 см, который сверху переходит в песчаный ил. В другой колонке торф залегает в самом основании вскрытых отложений, причем пройденная мощность его достигает 7 см. Он покрывается илистым песком (7 см), выше которого залегает песчаный ил (3,5 см), развитый на поверхности дна. Наименьшую мощность (2 см) имеет торф в третьей колонке, где он покрывается маломощным слоем песка (2—3 см), сменяющимся вверх серым илом (55—57 см). Описание этой колонки приведено ниже (стр. 100).

Все три станции, в колонках которых был обнаружен торф, располагаются в средней части озера к юго-западу от г. Балхаш. В других частях озера торф в составе донных отложений нигде не встречен.

Интересно отметить, что торф на дне оз. Балхаш повсюду залегает среди известковистых осадков — серых и песчаных илов, от которых он отделяется маломощным прослоем илистого песка, тоже в заметной степени карбонатного.

Значительно большего развития достигает торф местами на берегу оз. Балхаш. Например, в районе с. Бурубайтал он лежит сплошным слоем на поверхности озерной террасы. Торфяник расположен здесь прямо к югу от поселка и занимает площадь в несколько гектаров. Торф добывается и используется местным населением для отопления. Для других пунктов также имеются указания на наличие торфа, развитого на поверхности.

Наряду с этим известны маломощные прослои торфа в составе нижней озерной террасы. Такие прослои наблюдались нами у с. Бурубайтал и в районе бухты Бертыс. Торф представлен здесь сильно песчанистой разностью и сложен стеблями камыша, частью лишь в слабой степени обуглившимися.

Коренные породы на дне оз. Балхаш

К числу коренных пород следует прежде всего отнести отдельные выходы палеозойских образований, слагающих ничтожные по площади подводные камни и скалы, обычно лишенные покрова современных озерных отложений. Они распространены в пределах узкой полосы, примыкающей непосредственно к северному или западному берегам бассейна, относительно крутым и местами скалистым. В составе палеозойских пород здесь преобладают осадочные, главным образом терригенные образования и кислые эффузивы; реже встречаются кислые интрузивные породы.

Коренные породы представлены также разноцветными глинами третичного возраста, которые наблюдались нами на бичевнике залива Бертыс и, что значительно существеннее, местами на дне озера. Эти глины, принесенные дночерпателем с одной станции с глубины 3 м, представлены красно-бурой с серыми пятнами разностью, сложенной тонким пелитовым материалом с примесью песчаных зерен и гравийных частиц

(табл. 34). По внешнему виду эта порода совершенно сходна с глинами, которые все исследователи Прибалхашья единодушно относят к отложениям третичной системы.

Таблица 34

Механический анализ глины из пролива Узкость

Растворимая часть	Нерастворимый остаток	Содержание фракций (размеры в мм) в % от нерастворимого остатка						
		> 2	2-1	1-0,5	0,5-0,25	0,25-0,1	0,1-0,05	0,05-0,01
17,12	82,88	33,91	0,73	1,35	1,36	0,76	17,93	2,33
								41,63

На дне озера третичные глины распространены ограниченно. С поверхности глина зачастую покрыта здесь тонким, порядка нескольких миллиметров, слоем песчаного ила.

Стратификация и состав донных отложений по колонкам

Описанные выше основные типы современных отложений Балхаша широко распространены на дне его и слагают верхние горизонты толщи осадков, накопившихся в бассейне.

Во время летних работ 1940 г., когда приходилось пользоваться трубкой Экмана малой модели, имевшей длину 1,5 м, обычно не удавалось выйти за пределы слоя осадков, развитых на поверхности дна. Исключением явились лишь несколько станций, где в колонках под слоем современного ила на малой глубине были встречены более древние образования.

Позднее, в 1941 г., когда была применена изготовленная нами четырехметровая трубка Экмана, донные отложения удалось вскрыть на более значительную глубину. При этом во многих местах, главным образом в восточной части бассейна, были обнаружены слои различных осадков, соответствующих по возрасту более ранним стадиям в жизни бассейна. В результате работ 1940 и 1941 гг. древние озерные отложения были обнаружены в колонках, взятых с 10 различных станций.

Слой современных донных отложений, под которым расположены более древние образования, весьма различен по мощности. Наименьшая толщина его отмечена для проливов, отделяющих друг от друга различные плесы озера. Так, в проливе Узкость, отделяющем полуостров Узун-арал от северного берега, озерные отложения представлены слоем серого глинисто-известкового ила, обогащенного в нижней части песчаным материалом и имеющего толщину всего 2—3 см. Под слоем ила залегает вязкая пятнистая глина, которой, по аналогии с глиной соседних частей Прибалхашья, можно приписать палеогеновый возраст. На участках, расположенных в проливе в непосредственной близости от северного берега, здесь прямо на поверхность дна выходят третичные глины, лишенные какого-либо покрова более молодых образований.

Подобные же отложения имеются в проливе, отделяющем остров Алгазы от северного берега озера. Здесь под слоем илистого песка мощностью около 30 см залегает серая глина, вязкая, пластичная, содержащая

угловатые обломки и относимая также, в значительной мере условно, к палеогену.

В Лепсинском плесе близ северного берега под слоем современных илистых песков, достигающим толщины 7 см, была встречена песчаная красно-бурая глина, содержащая примесь гравия и щебня и очень сходная с палеогеновыми породами северного Прибалхашья.

Во всех остальных местах озерные отложения имеют значительную мощность, причем третичных или каких-либо более древних пород под ними вскрыть не удалось.

Мощности озерных отложений, вскрытых при работах на Балхаше, сильно изменяются в зависимости от характера осадка. Песчаные осадки, как правило, пробиваются трубкой Экмана на глубину не более 0,5 м, тогда как в илы она погружается целиком. Длина полученной колонки донных отложений всегда меньше глубины погружения трубки в осадок. Это можно объяснить тем, что трубка Экмана, входя в полужидкий ил, спрессовывает и значительно уменьшает его в объеме. В результате мы столкнулись с тем фактом, что трубка Экмана длиной 4 м, погружаемая в ил на всю длину, нигде не принесла колонки донных отложений длиной более 1—1,2 м. Отсюда ясно, что в условиях оз. Балхаш по длине колонки можно судить об истинной мощности осадков только приблизительно.

Можно утверждать, что мощность отложений на некоторых станциях не менее 4 м, так как во всех этих пунктах трубка Экмана длиной в 4 м погружалась в ил полностью и нигде не вышла из толщи озерных отложений.

Истинная мощность современных озерных отложений в западной части бассейна, повидимому, значительно больше этой цифры, так как бурение со льда, проведенное нами, показало, что озерные отложения типа серых илов прослеживаются местами на глубину 7 м от поверхности дна, причем скважина не дошла до их подошвы. В северной части Лепсинского плеса на одной из станций удалось пробить слой донных отложений четырехметровой трубкой Экмана, причем под слоем рыхлых современных отложений обнаружены вязкие глины, сходные с глинами палеогенового возраста. Таким образом, мощность озерных осадков здесь не велика.

Озеро Балхаш можно разделить на несколько частей, каждая из которых характеризуется своими особыми чертами строения донных отложений. Эти части следующие: 1) восточная, включающая Бурлю-тюбинский и Лепсинский плесы, 2) Бертысская, расположенная в северной части Западного плеса к западу от полуострова Узун-арал и 3) южная, включающая южную часть Западного плеса — к северу от устья р. Или и до полуострова Кос-агач.

Донные отложения в восточной части Балхаша вскрыты на наибольшую глубину в трех местах: 1) в северной части Лепсинского плеса, 2) в средней части Бурлю-тюбинского плеса и 3) в восточной части этого плеса.

В восточной части озера осадки построены наиболее сложно. На колонках фиг. 20 указана последовательность напластования озерных отложений по данным, полученным с помощью трубки Экмана. Здесь можно видеть, что донные отложения отчетливо разбиваются на две части — верхнюю, сложенную белым известково-доломитовым илом, сходную для всех трех станций восточной части, и нижнюю, состоящую из чередующихся пластов осадков различного состава. Среди последних выделяются илистые пески, песчаные илы, кремнистые илы, глины и доломитовые илы.

Ниже приведено описание колонки из точки 2 (средняя часть Бурлю-тюбинского плеса) (фиг. 20) для того, чтобы познакомиться с главнейшими особенностями осадков.

Слой 1. Ил белый известково-доломитовый (микрофотография на фиг. 21)	29
Слой 2. Ил белый глинисто-известковый, внешне сходный с осадком слоя 1, но отличающийся меньшей примесью доломитового вещества (см. табл. 32) и более однородный	6—6,5
Слой 3. Ил светлосерый глинисто-известковый, слоистый, сложенный чередованием едва намечающихся прослоев светлосерой и несколько более темной разностей осадка. Толщина прослоев 5—10 см	9
Слой 4. Ил зеленовато-серый, известково-диатомовый, тонкослоистый. Осадок сложен прослоями известкового ила, богатого раковинками остракод и скорлупками диатомей, и окрашенного в светлосерый цвет (см. фиг. 18). С ним чередуются прослои известково-глинистого ила, окрашенного в более темный цвет и переполненного скорлупками диатомовых водорослей (см. фиг. 19). Толщина прослоев обеих разностей ила 0,5—1,5 мм. . .	3
Слой 5. Ил белый, известково-глинистый, однородный, богатый раковинками остракод. Осадок местами содержит округлые включения той же породы, окрашенные в коричневатый цвет (микрофотография на фиг. 22) .	6—7
Слой 6. Ил светлосерый, известково-диатомовый, в верхней части слоистый, ниже тонкослоистый, сходный с осадком слоя 4 (микрофотография на фиг. 23 и 24)	13
Слой 7. Доломит белый, слабо известковый, неплотный, богатый скорлупками остракод, легкий, однородный, содержащий незначительную примесь терригенного материала (шлиф на фиг. 16)	3

Изменение состава осадков вниз по колонке можно хорошо проследить, сопоставляя микрофотографии.

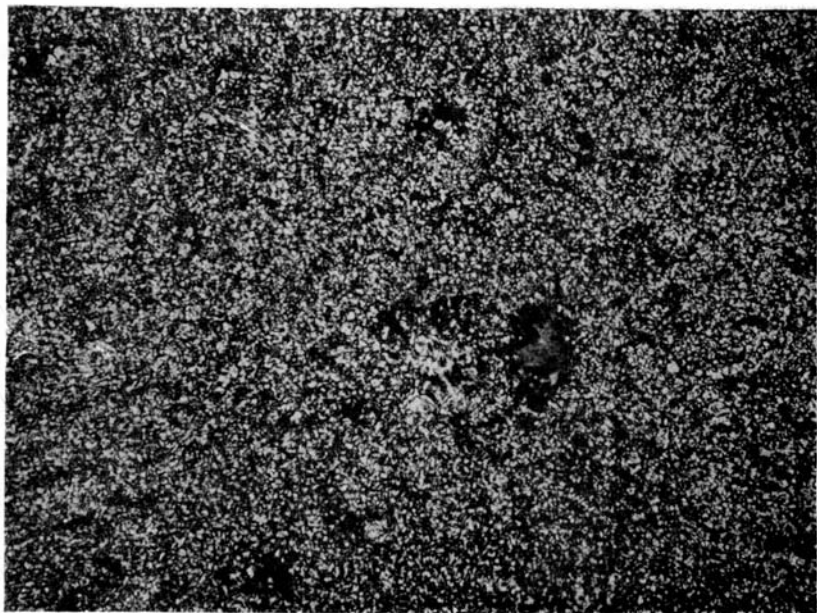
Данные химического анализа также отчетливо выявляют в колонке разницу осадков, часто внешне весьма сходных между собой (см. табл. 32).

Из рассмотрения этих материалов видно, что в составе донных отложений в точке 2 принимают участие своеобразные осадки, не встреченные на поверхности дна озера. Прежде всего к ним относятся белый доломит, залегающий в основании колонки (слой 7), и известково-диатомовые илы.

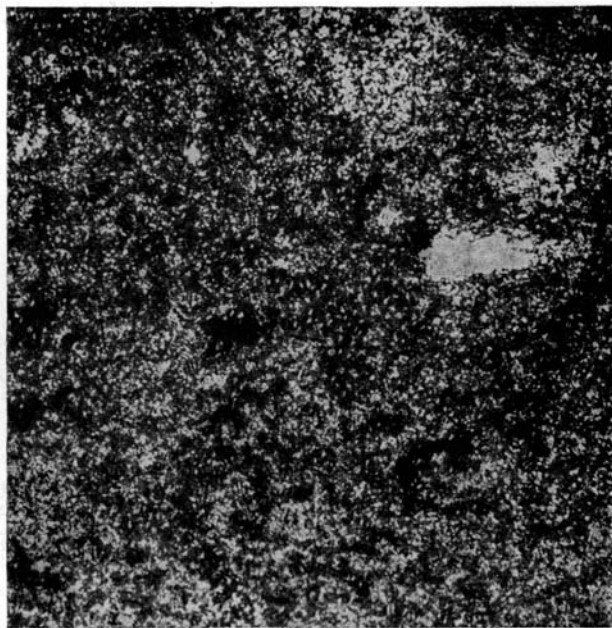
Озерные отложения крайней северо-восточной части Бурлю-тюбинского плеса, вскрытые в точке 3, сходны с описанными выше осадками. В нижней части колонки здесь залегают песчаные и илистые осадки (слои 7, 8 и 9а), содержащие прослой доломитового осадка (слой 9б с глубины 105—108 см, табл. 35 и фиг. 20). Выше по колонке, примерно на таком же (как и в случае точки 2) расстоянии от поверхности, залегают известково-доломитовые илы (слой 6), сменяющиеся вверх известковистыми образованиями (слой с 5-го по 2-й). Последние содержат два пластика тонкослоистых известковых осадков, богатых диатомовыми (слои 2 и 5), а также тонкий прослой илистых песков. Наконец, выше, как и в точке 2, лежит пласт белого известково-доломитового ила. Анализы осадков по колонке из точки 3 приведены в табл. 36.

Переходя к рассмотрению колонки, взятой в северной части Лепсинского плеса в точке 1, и сравнению ее с колонками двух других, охарактеризованных выше станций, можно и здесь подметить элементы сходства: разрез озерных отложений имеет значительно меньшую мощность, чем на двух других станциях. В основании колонки (см. фиг. 20) залегают глины, отличные от типичных озерных отложений и сходные с палеогеновыми отложениями Прибалхашья. Над ними располагаются слои известковистых осадков (сл. 1а, 1б и 3), в которых можно видеть аналогов известковой части колонок с точек 2 и 3. Здесь только нет прослоев тонкослоистых илов, богатых диатомовыми, и, кроме того, присутствуют прослои, богатые песчаным материалом (слои 2 и 4). Анализы осадков из точки 1 приведены в табл. 37, колонка представлена на фиг. 20.

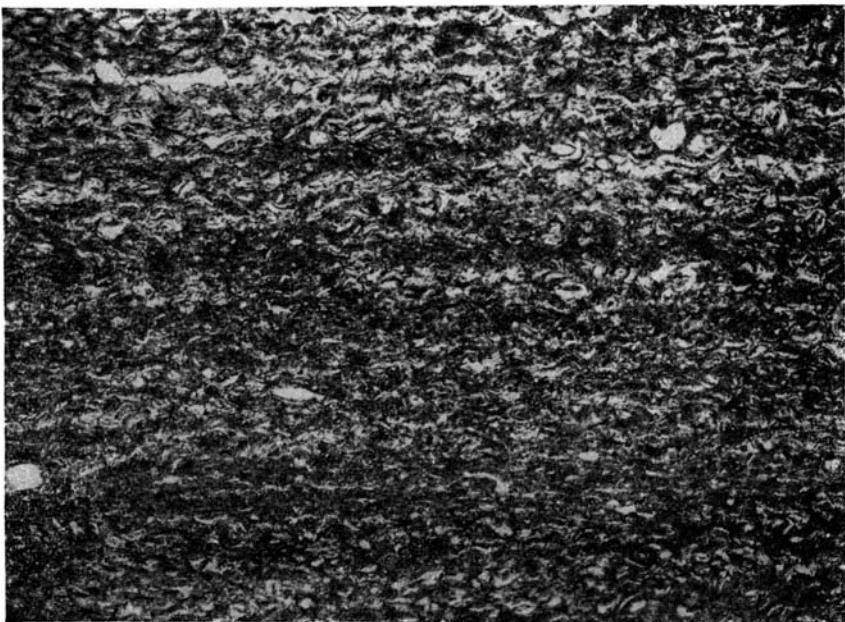
Из приведенного материала следует, что для Лепсинского и Бурлю-тюбинского плесов в настоящее время нельзя еще предложить достаточно обоснованной стратиграфической схемы. С другой стороны,



Фиг. 21. Ил известково-доломитовый белый. Бурлю-тюбинский плес, точка 2, сл. 1, глуб. 6—7 см. Ув. 450, николи +.



Фиг. 22. Ил известково-глинистый белый. Бурлю-тюбинский плес, точка 2, сл. 5. Ув. 450, николи +.



Фиг. 23. Ил известково-диатомовый слоистый. Бурлю-тюбинский плес, точка 2, сл. 6. Ув. 20, николи ||.



Фиг. 24. Ил известково-диатомовый тот же, что и на фиг. 23. Прослой, богатый диатомовыми. Ув. 145, николи ||.

Анализы солянокислой вытяжки из точки 3 (в %)
Северо-восточная часть Бурлю-тюбинского плеса

Глубина вытяжка образца	Минеральный нерастворимый остаток	Полугорные окислы	CaO	MgO	CO ₂	CaCO ₃	MgCO ₃	MgO силикат- ная	Кальцит	Доломит	Сумма карбо- натов	Доломит в % от суммы кар- бонатов
Слой 1 0—15 см	22,73	3,41	23,53	11,43	28,15	41,99	18,57	2,55	19,94	40,62	60,56	67,1
Слой 2 48,5—50 см	27,27	2,95	28,82	2,34	22,42	51,43	нехват. 0,19% CO ₂	2,34	51,43	—	51,43	—
Слой 6 67—69 см	25,82	2,92	24,64	10,98	27,37	43,97	15,41	3,61	25,67	33,71	59,38	56,8
Слой 96 105—108 см	61,41	4,24	10,55	4,73	11,35	18,83	5,88	1,92	11,85	12,86	24,71	52,0

Содержание растворимой SiO₂

Образец из слоя	Глубина, см	SiO ₂ , %
1	0,5—1,5	0,17
2	48,5—50,0	1,95
5	59,5—61,0	0,21

Таблица 36

Механические анализы по колонке в точке 3 (в %)

Слой и глубина вытяжка образца	Растворимая часть	Нерастворимый остаток	Данные отмучивания и просеивания			
			фракции в % от нерастворимого осадка			
			>0,25 мм	0,25— —0,1 мм	0,1— —0,01 мм	<0,01 мм
Слой 1 (18—25 см) . .	74,00	26,00	0,19	0,77	6,15	92,89
Слой 76 (76—79 см) . .	55,00	45,00	3,66	21,44	36,44	38,46
Слой 96 (105—108 см) .	30,50	69,50	0,36	31,70	24,26	43,68

Таблица 37

Анализы солянокислой вытяжки по колонке в точке 1 (в %)
Северная часть Лепсинского плеса

Глубина вытяжка образца	Нераствори- мый остаток	Полугорные окислы	CaO	MgO	CO ₂	CaCO ₃	MgCO ₃	MgO сили- катная	Кальцит	Доломит	Сумма кар- бонатов	Доломит в % от суммы кар- бонатов
Слой 1 12—17 см	32,10	4,06	28,50	3,65	23,65	50,86	2,47	2,47	47,93	5,41	53,34	10,3
Слой 3 53—56 см	61,86	4,44	14,29	1,56	11,60	25,50	0,75	1,20	24,61	1,64	26,25	6,2
Слой 5 91—93 см	67,57	3,56	13,06	1,20	9,86	23,31	—	1,20	23,31	—	23,31	—

несомненно сходство в строении осадков, развитых в районе точек 1, 2 и 3. В них выделяются близкие по составу слои. Наиболее древними осадками, вскрытыми в Бурлю-тюбинском плесе, являются песчаные илы и другие отложения, выделенные в слои 7—9 колонки из точки 3. Они включают маломощный прослой известково-доломитового ила, лежащего на глубине 105 см от поверхности дна (слой 9б). Выше залегают известково-доломитовые осадки (слой 6, колонки точки 3 и слой 7, колонки точки 2). Далее вверх вновь появляются известковистые осадки, представленные слоями 5, 4, 3 и 2 точки 3 и слоями 6, 5, 4, 3 и 2 точки 2. Важно отметить, что в этом интервале в обеих колонках присутствуют слоистые отложения, богатые диатомеями.

В Лепсинском плесе (точка 1) этим осадкам соответствуют пески (слои 4 и 2) с прослоями известковистых илов (слои 3, 1б, 1а), залегающие на глинах, относимых предположительно к палеогену.

Наконец, в верхней части всех трех колонок вновь появляются доломитовые осадки.

В средней части оз. Балхаш, примыкающей к бухте Бертыс, озерные отложения, залегающие под слоем серого ила, отличаются другим составом и меньшим разнообразием, чем в восточных плесах озера. Осадки, залегающие здесь под отложениями, развитыми с поверхности, вскрыты в колонках из точек 4, 5, 6, 7 и 8 и в некоторых других колонках. Наиболее глубокие горизонты озерных отложений обнаружены в колонках точки 5, расположенной в западной части Среднего плеса, и точки 4, находящейся в северной части Западного плеса, в восточной зоне ее.

Разрез донных отложений в точке 5:

Мощность, см

Слой 1. Ил серый глинисто-известковый, однородный, местами содержащий скорлупки остракод	15
Слой 2. Ил серый, сходный с осадком слоя 1, обладающий лишь несколько более темной окраской. Осадок неоднороден и содержит мелкие, величиной в несколько миллиметров неправильные включения белого ила. В нижней части (сл. 2а) отдельные тонкие, едва заметные прослои сложены темносерой разностью осадка	25—26
Слой 3. Остракодовый ил, сложенный глинисто-карбонатным материалом, переполненный скорлупками остракод и содержащий примесь песка. Осадок залегают в колонке наклонно (под $\angle 7-10^\circ$).	1,2
Слой 4. Известковистый ил, в свежем состоянии розовато-серый, содержащий незначительную примесь терригенного материала	15—15,5
Слой 5. Ил глинисто-известковый светлосерый	18
Слой 6. Песок илистый светлосерый, содержащий скорлупки остракод и обломки раковин брюхоногих моллюсков	7

Химический состав описанных осадков иллюстрируется данными, приведенными в табл. 38.

Строение толщи осадков в колонке из точки 7 (фиг. 20 и 25) в сущности такое же, как и в точке 5; здесь отсутствуют лишь самые нижние горизонты, соответствующие слоям 5 и 6 точки 5.

Разрез донных отложений в точке 7 (северная часть Западного плеса, р-н г. Балхаш):

Мощность, см

Слой 1. Ил серый глинисто-известковый. Ил слоя 1 совершенно постепенно на коротком расстоянии переходит в слой 2	63
Слой 2. Ил остракодовый синевато-серый. Близ кровли слоя обнаружен хорошо сохранившийся обломок жаберной крышки рыбы	1,8—2
Слой 3. Ил белый известковистый, содержащий незначительную примесь глинистого материала	11

Представление о составе осадков, слагающих колонку из точки 7, дают анализы, приведенные в табл. 33.

Анализы солянокислой вытяжки по колонке, взятой из точки 5 (в %)
Западная часть Среднего плеса

Слой и глубина взятия образца	Нерастворимый остаток	Полутвердые окислы	CaO	MgO	CO ₂	CaCO ₃	MgCO ₃	MgO силикатная	Кальцит	Доломит	Сумма карбонатов	Доломит в % от суммы карбонатов
Слой 1 2—4 см	41,81	3,78	25,10	2,66	21,05	44,79	2,61	1,41	41,69	5,71	47,40	12,1
Слой 2а 36—38 см	50,17	4,13	20,27	2,56	15,80	36,17	—	2,56	36,17	—	36,17	—
Слой 4 46—48 см	9,34	0,06	44,73	1,76	35,73	79,82	1,22	1,18	78,37	2,67	81,04	3,3
Слой 5 72—73 см	15,17	0,46	41,17	2,26	31,95	73,47	—	2,26	73,47	—	73,47	—

Стратиграфия донных отложений в районе других станций этой части бассейна практически такая же, как и в точке 7. Таким образом, в северной части Западного плеса, в районе, прилегающем в бухте Бертыс, выделяется обширный участок, в пределах которого под серым илом на незначительной глубине залегает белый известковистый ил. Этот ил характеризуется высоким содержанием кальцита (до 79%) и незначительным количеством углекислого магния, на долю которого приходится десятки доли процента и только в одном случае (точка 5, слой 4) — 1,22%.

Количество минерального нерастворимого остатка здесь также очень невелико и колеблется в пределах 9—15%. Этот, относительно чистый известковистый осадок к югу и к западу переходит в осадки песчаной фации, содержащие прослой торфа (см. фиг. 20 колонки точек 6 и 8).

Выше уже упоминалось, что осадки из точек 6, 8, расположенных по западной окраине северной части плеса и некоторых других, отличаются иной стратиграфией. Так, в колонке из точки 6 наблюдается такое чередование слоев:

Мощность, см

Слой 1. Ил серый глинисто-известковый, в нижней части обогащающийся песчаным материалом	55—57
Слой 2. Песок илистый, серый, среднезернистый, известковистый, сложенный окатанными зернами обломочного материала. В осадке встречаются остатки растений, скорлупки остракод и раковины гастропод	2—3
Слой 3. Торфообразная масса, темносерая, со слабым кирпичеватым оттенком, содержащая хорошо сохранившиеся остатки растений, отдельные раковинки гастропод и примесь глинистого вещества	2

Близкую последовательность напластования можно видеть в колонке точки 8 (фиг. 26). Здесь сверху залегает ил, который вниз переходит в илистый песок, сменяющийся бурой торфообразной массой. Мощность осадков в колонке точки 8 всего 25 см.

Сопоставляя данные, характеризующие стратиграфию донных отложений в южной и западной частях Бертысского района, со строением озерных отложений в северной его части, можно прийти к выводу, что в эпоху, непосредственно предшествующую современной, на севере (район точки 7) отлагались преимущественно чистые известковые иглы, а в южной и западной частях (точки 6 и 8) происходило накопление торфа, сменившееся затем отложением илистого песка и песчаного ила.

Для суждения об условиях, господствовавших в районе во время, предшествовавшее отложению известковых илов, в нашем распоряжении имеется только материал из колонки, взятой в точке 5, где в основании колонки, под известковыми илами залегает илистый песок, содержащий значительную примесь мелкообломочного материала.

В пределах южного участка строение донных отложений крайне однообразно. С поверхности здесь, как правило, залегает серый ил, который прослеживается почти на всю глубину осадка, вскрытую в колонке, и только в низах сменяется прослоями песчаного ила и илистого песка.

Такое строение донных отложений можно иллюстрировать колонкой точки 10, взятой в районе устья р. Или:

	Мощность, см
Слой 1. Ил серый глинисто-известковый	76
Слой 2. Песчаный ил серый, с синеватым оттенком, содержащий значительную примесь глинистого и известкового материала, скорлупки остракод и присыпки серого мелкозернистого песка	2
Слой 3. Ил глинисто-известковый светлосерый, сходный с осадком слоя 1	30
Слой 4. Ил глинисто-известковый светлосерый, содержащий мелкие неправильной формы включения темносерого песчаного ила	16
Слой 5. Песчаный ил серый, содержащий значительную примесь тонкого глинистого материала	1

Химический состав описанных выше донных отложений приведен в табл. 39.

Таблица 39

Анализы солянокислой вытяжки по колонке из точки 10 (в %)

Южная часть Западного плеса

Глубина вытяжки образца	Нераствори- мый остаток	R ₂ O ₃	CaO	MgO	CO ₂	CaCO ₃	MgCO ₃	MgO solu- ционная	Кальцит	Доломит (условно)	Сумма кар- бонатов	Доломити- зация карбо- натов, %
Слой 1 5—10 см	38,38	3,97	27,20	2,72	21,90	48,54	1,07	2,21	47,27	2,34	49,61	4,8
Слой 4 121—124 см	31,51	2,86	29,64	2,77	23,60	52,90	0,64	2,46	52,12	1,42	53,54	2,66

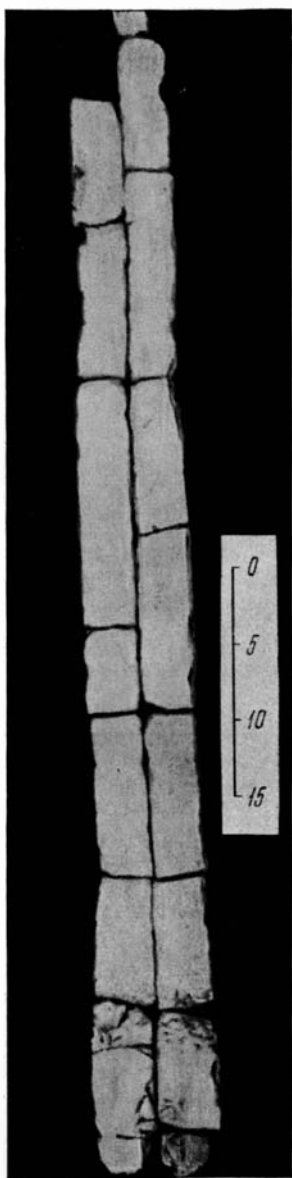
Содержание растворимой SiO₂

Образец из слоя	Глубина, см	SiO ₂ , %
1	0—10	0,54
4	121—124	0,44

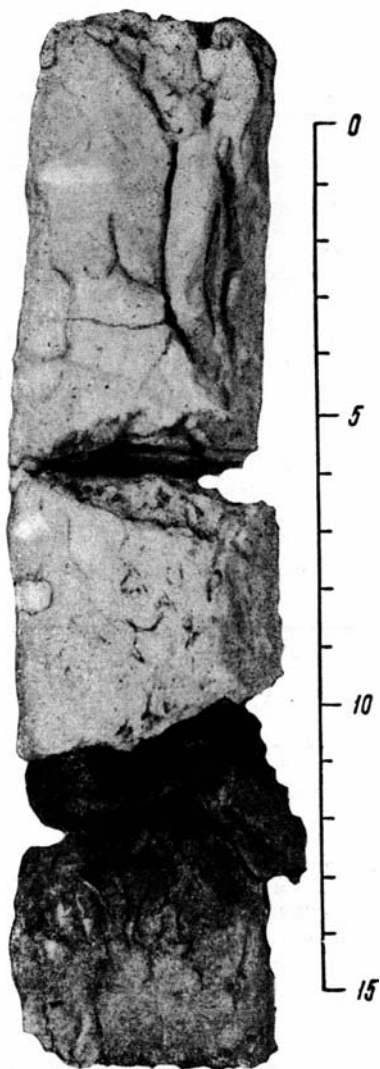
Чрезвычайное однообразие осадков в колонке точки 10 хорошо иллюстрируется данными анализа, приведенными в табл. 39, которые показывают, что илы из основания колонки (слой 4) и из верхних слоев ее (слой 1) по составу карбонатной части практически неотличимы.

Строение донных отложений, подобное приведенному для точки 10, типично для всей южной части бассейна и указывает на сходные условия, господствовавшие здесь всюду в недавнем прошлом.

В районе, примыкающем непосредственно к устью р. Или, донные отложения вскрыты всего на глубину 20—30 см. Колонки соседних станций здесь практически несопоставимы, и обнаружить какую-либо стра-



Фиг. 25. Колонка донных отложений. Западный плес, северная часть, точка 7.



Фиг. 26. Колонка донных отложений. В верхней части — ил, ниже — илистый песок, в основании — черная торфообразная порода. Западный плес, северная часть, южная половина, точка 8.



Фиг. 27. Неправильные прослои и включения илистого песка (темносерый) в песчаном иле Западный плес, южная часть.



Фиг. 28. Песчаный ил (светлый) с включением илистого песка. Западный плес, южная часть.

тификацию озерных отложений в этой части бассейна не удалось. В районе устья р. Или под верхним маломощным слоем ила залегает осадок, сложенный неправильным чередованием прослоев илистого песка, песчаного ила и серого ила. Особенно часто встречаются выклинивающиеся и как бы разорванные прослои илистого песка в песчаном иле (фиг. 27), а также включения неправильной формы первого во втором (фиг. 28).

Переходя к выводам, которые можно сделать из краткого рассмотрения приведенного материала, отметим, что в южной части бассейна намечается заметное поглубение осадков в низах колонки. Там серые илы, развитые с поверхности, сменяются песчаными илами и илистыми песками. Исключением является лишь район, примыкающий к устью р. Или, где не удается заметить закономерных изменений состава осадков с глубиной.

В связи с наметившейся стратификацией донных отложений в восточных плесах озера, была предпринята попытка определить их возраст, руководствуясь пылью, фауной остракод и диатомовыми водорослями. Определение диатомовых водорослей, проведенное А. П. Жузе, дало следующие результаты (табл. 40).

Приведенный в табл. 40 материал согласуется с данными о распространении диатомей в колонке донных отложений, полученными в результате просмотра шлифов. Однако бедность и однообразие состава

Таблица 40

Результаты определения диатомовых водорослей из точки 2
Средняя часть Бурлю-тюбинского плеса

№ слоев	Характер осадка	Видовой состав
Слой 1 у поверхности . . . на глубине 10—15 см » » 23—29 см	Ил белый известково- доломитовый То же » »	Диатомовых нет
Слой 3	Ил светлосерый извест- ковый	Диатомовых очень много, преоб- ладают солоноводные 1) <i>Anomeoneis sphaerophora</i> var. <i>polygranema</i> (Ehr.) O. Müll. 2) <i>Navicula digitoradiata</i> (Greg.) Schm. 3) <i>Campylodiscus clypeus</i> Ehr.
Слой 4	Ил слоистый зелено- вато-серый известко- во-диатомовый	Мелкие обломки диатомовых, главным образом солоноводного <i>Campylodiscus clypeus</i> Ehr.
Слой 5	Ил белый известковый	Диатомовых нет
Слой 6	Ил слоистый светло- серый	Диатомовых много. Преобладают: 1) <i>Campylodiscus clypeus</i> Ehr. 2) <i>Navicula digitoradiata</i> (Greg.) Schm. Обе формы солоноводные

диатомей, представленных во всех трех слоях одними и теми же видами, не позволяют сделать каких-либо выводов относительно точного возраста вмещающих отложений.

Интересен тот факт, что диатомовые не были встречены в слоях известково-доломитового ила на дне близ точки 2 (слой 1) в Бурлю-тубинском плесе. В то же время они обнаружены в воде этого плеса озера, откуда А. П. Жузе определила представителей рода *Campylodiscus*. Вислоух (1923) также указывает для воды Балхаша ряд форм.

Состав фауны остракод по колонке из точки 2 не обнаруживает отчетливой изменчивости. Сотрудник Зоологического института Академии Наук СССР Н. А. Акатова, любезно просмотревшая наши образцы, определила в них *Limnocythere dubios* D a d a y, *Candona neglecta* S a r s и *Cyprideis litoralis* (B r a d y). Они встречены в слое 3, а также в осадках из других частей колонки.

Образцы илов, взятые из колонки в точке 3, были переданы в Лабораторию пылецевого анализа Института геологических наук, где они исследовались Е. Д. Заклинской.

Анализ пыльцы растений, обнаруженной в илах со станции из точки 2, дали различный результат. Прежде всего оказалось, что в двух из пяти исследованных образцов, расположенных в нижней части колонки на глубине 82—84 и 99—100 см, пыльца почти полностью отсутствует и представлена всего двумя-четырьмя зернами. Выше количество пыльцы возрастает и на глубине 58—60 см достигает 135 зерен, а на глубине 44—46 см зерен насчитывается 173. Наконец, близ поверхности слоя донных отложений (на глубине 20—26 см) встречено наибольшее количество пыльцы — 202 зерна.

Верхние три образца, пыльца которых достаточно обильна, приходятся на известково-доломитовый осадок, залегающий на поверхности (слой 1), и на известковые илы, включающие пропластки слоистого осадка, богатого диатомовыми.

Е. Д. Заклинская, характеризуя пыльцу, пишет: «Во всех илах, содержащих пыльцу, комплекс растений явно степной: с большим количеством травянистой пыльцы и подчиненным количеством древесной пыльцы. Споры иногда попадают отдельными зернами. Травянистая пыльца представлена в основном *Artemisia* и *Chenopodiaceae*, злаков и осок нет или они попадают единичными зернами. Довольно много разнотравья».

Если судить по характеру пыльцы травянистых растений, то условия во все время отложения верхней части колонки были постоянными и никаких климатических изменений не наблюдалось. Комплекс лесных растений несколько изменяется. Наличие пыльцы *Tilia* (липа) в образце, взятом с глубины 20—26 см, и отсутствие ее в более глубоких горизонтах, где встречены только *Pinus* (сосна) и *Picea* (ель), свидетельствует о том, что климат во время отложения этих осадков был более холодным, чем в настоящее время.

Следует отметить, что состав пыльцы в осадке из нижнего слоя известково-доломитовых илов этой колонки (слой 2) не охарактеризован.

Аллювиальные отложения Прибалхашья

Для понимания процессов седиментации, происходящих в оз. Балхаш, наибольшее значение из современных отложений Прибалхашья имеют два типа осадков. К первому типу относятся аллювиальные отложения рек, впадающих в озеро. Они входят в состав осадков, развитых на дне озера, как один из главных компонентов и с осадками оз. Балхаш связаны постепенным переходом.

Ко второму типу относятся осадки многочисленных соленых и сульфатных озер, которые возникли в заключительную фазу развития бассейна балхашского типа, предшествующую полному высыханию водоема.

Реки, впадающие в оз. Балхаш и доносящие до него свои воды, транспортируют огромное количество обломочного материала; часть его переносится водой во взвешенном состоянии, другая часть перекатывается по дну, слагая современные русловые отложения его, и, наконец, третья часть входит в состав пойменных отложений. Из них осадки, переносимые в виде взвеси, а частью и русловые отложения, рано или поздно поступают в озеро и принимают участие в процессах осадкообразования на дне его.

Приводимый ниже материал, характеризующий аллювиальные отложения, собран в долинах р. Лепсы и главным образом р. Или.

Современный аллювий р. Или, включая русловые отложения, взятые со дна, и отложения пойменной террасы, был собран в четырех пунктах, отстоящих друг от друга на расстоянии не менее 100 км (см. карту, фиг. 29). Наиболее удаленным от устья пунктом является с. Илийское, расположенное в месте пересечения р. Или линией Туркестано-Сибирской железной дороги. Второй пункт находится вблизи с. Баканас. Наконец, образцы современных русловых и пойменных отложений были взяты еще у Биологического пункта Союзпушнины, расположенного в 140 км от устья реки, и у с. Куйган, всего в 4—5 км от озера. В последнем месте была также взята проба взвешенного вещества из воды р. Или.

По р. Лепсе собран значительно более скудный материал. Здесь в нашем распоряжении имеются только отложения, взятые из русла у станции Лепса.

Среди современных аллювиальных отложений господствующим типом осадков являются илистые пески. Гораздо реже встречаются суглинистые породы, которые по составу могут быть сопоставлены с песчаными илами оз. Балхаш. Наконец, весьма редко встречаются глинистые или карбонатно-глинистые осадки, которые можно было бы отнести к группе илов. Крупнообломочные породы — гравий, галечники и валуны — среди современных отложений юго-восточного Прибалхашья нами не встречены. В связи с этим, в дальнейшем внимание будет сосредоточено преимущественно на илистых песках и, в первую очередь, на тех из них, которые входят в состав русловых отложений.

Следует отметить, что при выделении того или иного типа аллювиальных отложений использовались те же критерии, что и в случае озерных осадков.

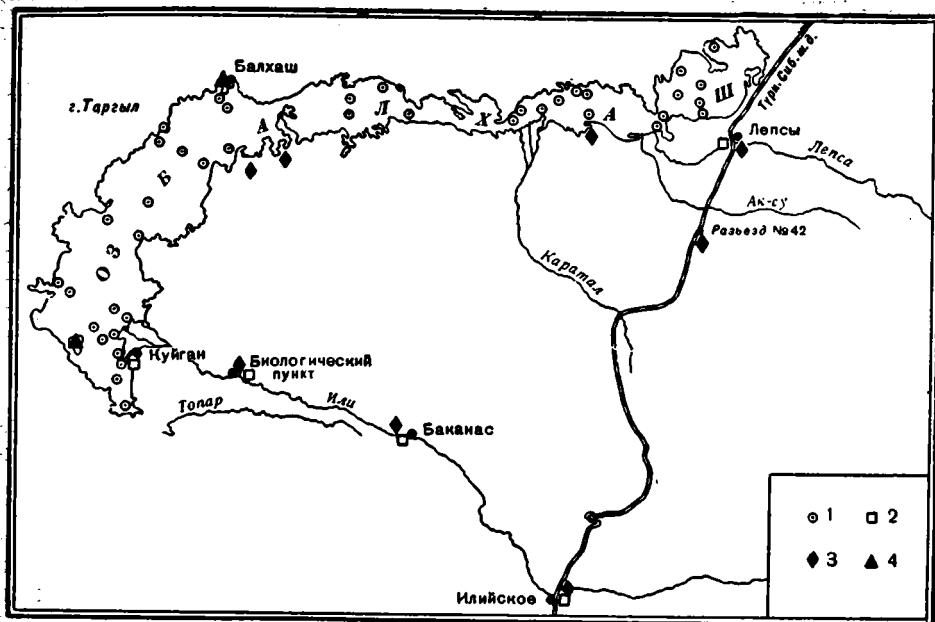
Илистые пески представляют собой рыхлую породу, окрашенную в серый цвет и сложенную полимиктовым материалом. Зерна ее обладают обычно полуугловатой и полуокатанной формой; средняя величина 0,1—0,25 мм. Изредка встречаются здесь угловатые зерна.

Песчаный материал, слагающий в основном эту породу, содержит примесь мелкозема, а также глинистой и растворимой части.

Данные механического анализа показывают, что в составе илистых песков главную роль играют алевритовая и песчаная фракции, на долю которых, как правило, приходится 65—80% от веса осадка. Зерна размером более 0,25 мм содержатся в количестве, обычно не превышающем 2—3%. Содержание глинистой части колеблется в пределах 1,5—6,3% и только в одном случае достигло 12,8% в расчете на натуральный осадок. Средний диаметр частиц в илистых песках изменяется в значительных пределах — от 0,05 до 0,15 мм. В отдельных образцах величина среднего диаметра несколько выходит за указанные предельные значения. Коэффициент сортировки илистых песков изменяется от 1,3 до 2,1. Это

свидетельствует о том, что они сложены хорошо отсортированным материалом.

По данным химического анализа, количество углекислых солей в илистых песках достигает 18%, содержание минерального нерастворимого остатка колеблется в пределах от 69 до 78%, а в р. Лепсе — и до 87%. Полуторные окислы содержатся здесь в количестве от 3,64 до 6,4%. Обращает на себя внимание полное отсутствие карбонатного магния при заметном содержании магния силикатного, присутствующего в осадке в количестве до 1,78 и 1,87%.



Фиг. 29. Схема распределения материала, использованного для минералогического анализа:

Места взятия образцов: 1 — озерных отложений, 2 — аллювиальных отложений, 3 — бугристых песков, 4 — третичных глин.

Интересно отметить, что илистые пески содержат заметное количество силикатного кальция.

Песчаные илы, встречающиеся крайне редко, обычно представлены пепельно-серыми, серыми и желтовато-серыми разностями, сложенными алевритом, содержащим примесь глинистого, известкового и песчаного материала. В сухом состоянии это — рыхлое образование пылеватого сложения, легко истирающееся в тонкий порошок, бурно вскипающее с соляной кислотой и содержащее иногда остатки растений.

При макроскопическом изучении в составе песчаных илов можно различить песчаные зерна, обладающие обычно угловато-округлой, реже округлой формой. Наряду с этим в значительном количестве встречаются угловатые разности. Песчаный материал по своему составу полимиктовый. Обращает внимание большая примесь слюды, вследствие чего поверхность образцов осадка бывает покрыта множеством мелких блесток.

Песчаные илы встречаются среди современных аллювиальных отложений Прибалхашья относительно очень редко. К ним относятся отдельные разности осадков р. Или, наименее богатые песчаным материалом

и отлагающиеся там, где течение становится наиболее медленным. Характерно, что среди аллювиальных отложений р. Лепсы песчаные илы нигде не были встречены, что обусловлено значительной скоростью течения этой реки.

Сравнивая данные химического анализа солянокислой вытяжки илистых песков, отлагающихся в р. Или, с соответствующими данными для илистых песков западной части оз. Балхаш, нельзя не прийти к выводу о том, что они весьма сходны между собой. В самом деле, карбонаты содержатся в них в почти одинаковых количествах и представлены углекислым кальцием, а весь магний, переходящий в солянокислую вытяжку, образуется в результате разрушения силикатов.

Интересно отметить, что содержание силикатной окиси кальция в речных отложениях заметно изменяется: в русловых отложениях р. Лепсы оно составляет в одном случае 0,67, а в другом 1,48%. В осадках р. Или содержание окиси кальция колеблется в пределах от нуля до 2,03%.

Характерно, что количество силикатной окиси кальция в русловых отложениях р. Или непостоянно и сокращается по мере движения вниз по реке. Так, в илах, взятых у с. Илийского (пункт, наиболее удаленный от устья), содержание силикатного кальция достигает 2,03%, ниже по реке содержание его сокращается до 0,66—0,64%, а в приустьевой части падает до нуля.

В результате выявляется отчетливая картина падения содержания силикатного кальция в осадках вниз по реке, которая может служить указанием на то, что в русловых отложениях р. Или идет процесс разрушения силикатов кальция и кальций переходит в форму углекислого соединения. Этот процесс протекает под влиянием агрессивной углекислоты, которой богата вода р. Или в зимнее время.

Можно полагать, что указанным процессом растворения в притоках обусловлено то, что озерные отложения Балхаша либо совершенно не содержат кальция, связанного с силикатной частью осадка, либо содержат лишь незначительное количество его, измеряемое десятymi долями процента.

В заключение следует сказать несколько слов о минералогическом составе аллювиальных отложений, дав предварительно краткую характеристику бугристых песков, поскольку нами использованы данные по минералогическому составу и этих образований.

Пески, широко распространенные во всем юго-восточном Прибалхашье и слагающие бугры, гряды, дюны и другие формы рельефа, возникшие в результате эоловой деятельности, повсюду чрезвычайно однообразны. Это, как правило, желтовато-серые, местами зеленоватые, иногда буроватые мелкозернистые пески, обычно полимиктовые и слюдястые, сложенные угловато-округлыми зернами. Они произошли в результате перевевания озерных и речных отложений юго-восточного Прибалхашья.

Образцы из бугристых песков, взятые из разных пунктов (см. карту, фиг. 29), чрезвычайно однообразны и слагаются повсюду преимущественно зернами величиной от 0,05 до 0,25 мм. На долю этих зерен приходится не менее 80—85% от веса осадка. Интересно отметить, что они содержат (округленно) от 5 до 10% растворимой части, вследствие чего некоторые из них нужно отнести к группе илистых песков.

Описываемые пески, так же как песчаные илы и илистые пески аллювиальных отложений, отличаются чрезвычайным однообразием минералов тяжелой фракции. По данным табл. 41, где сведены данные количественно-минералогического состава главнейших типов современных отложений Прибалхашья, нельзя заметить какой-либо

Количественно-минералогический состав аллю

Отложения	Местонахождение	Характер осадка	Роговая обманка	Группа апидота	Хлорит	Глаукофан
Русловые	р. Или	Илистый песок	34,2	11,6	15,3	7,0
	Там же	Песчаный ил	35,5	16,2	13,9	4,3
	» »	Илистый песок	34,5	25,5	13,3	2,5
	» »	» »	41,4	17,7	16,8	2,1
	» »	» »	34,9	17,7	11,2	0,5
	» »	Песчаный ил	33,2	19,2	11,1	1,3
Пойменные	Пойма р. Или, у с. Илийского	Илистый песок	36,8	16,8	16,3	3,2
	Там же	Ил	31,1	24,1	9,9	×
	Сухое русло Баканас	Илистый песок	35,0	17,1	7,8	3,2
	р. Или	» »	29,4	14,3	1,4	1,4
	Там же	» »	27,1	18,2	5,4	1,4
	» »	» »	33,8	21,0	14,7	2,7
Русло- вые	» »	Песчаный ил	42,7	21,6	9,9	0,6
	р. Лепса, у с. Антоновское . .	Илистый песок	46,5	9,1	9,1	2,6
	р. Лепса, у ст. Лепсы	» »	42,3	22,8	5,2	3,1
	Там же	» »	40,3	18,2	11,9	1,8
Бугристые пески	Южный берег оз. Балхаш, район Лепсинского плеса	Илистый песок	43,6	28,3	6,6	4,3
	Южный берег оз. Балхаш, район п-ва Узун-арал	» »	38,0	19,9	7,7	2,5
	Там же	Песок	35,2	19,3	8,0	4,0
	Берег р. Или	» »	38,6	20,6	6,6	4,7
	Берег р. Или, бугристые пески	» »	32,6	20,0	4,0	2,9
	Берег р. Или, грядовые пески .	» »	34,8	14,4	9,1	3,4
	Левый берег р. Лепсы	» »	37,8	18,0	3,2	2,5
	Предгорья Джунгарского Алатау	Илистый песок	47,3	20,8	9,4	3,5

* × — единичные зерна.

разницы между осадками бассейнов рек Лепсы и Или. Кроме того, нет ни одного минерала, специфичного для того или иного типа отложений. Повсюду наблюдается практически одинаковый состав минералов тяжелой фракции.

Помимо наших материалов, для характеристики минералогического состава аллювиальных и эоловых отложений можно воспользоваться данными Н. Н. Костенко, проводившего большие работы в юго-восточном Прибалхашье. Этот автор дает краткую характеристику минералогического состава пород по данным двух скважин, заложенных в районе между восточной частью оз. Балхаш на севере и долиной р. Или — на юге.

Сравнение результатов минералогического анализа, произведенного Н. Н. Костенко, с соответствующими материалами настоящей работы показывает, что списки минералов в обоих случаях почти одинаковы. Разницу составляют некоторые второстепенные минералы, число которых в работе Н. Н. Костенко несколько меньше. Главные же минералы,

ВИАЛЬНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ И БУГРИСТЫХ ПЕСКОВ (в %)

Другие устойчивые минералы	Гранат	Мусковит	Биотит	Турмалин	Сфен	Рудные	Карбонаты	Рутил	Пироксен мол. нсклин.	Ставролит	Пироксен ромбич.	Дистен
1,4	5,3	4,9	1,2	×	1,9	15,1	2,1	×	×			
0,8	6,7	4,0	×	0,5	1,3	15,7	1,1					
×	6,1	2,3	0,7	0,9	2,5	11,7	—	×	—			
0,5	4,8	3,7	×	×	2,1	10,9	—	×	—			
1,1	6,5	6,5	×	×	4,4	17,2	—	×	—			
0,6	7,8	1,3	×	×	3,3	22,2	—	×	—			
×	8,0	—	×	×	2,4	15,6	—	—	0,9			
×	8,0	3,9	0,5	×	2,2	20,3	—	×	—			
1,4	14,7	×	—	—	2,8	18,0	—	—	—			
1,4	13,8	0,7	0,7	—	2,7	32,5	×	—	1,7	×		
×	13,7	0,9	0,5	—	3,1	27,1	—	—	2,6	×		
×	5,0	0,9	0,9	—	1,8	17,4	—	—	1,8	×	×	
0,9	5,4	9,9	1,2	0,9	1,8	5,1	—	—	×			
0,8	0,8	—	12,7	—	1,0	17,4	—	—	—			
×	7,6	—	—	×	4,5	14,5	—	—	×			×
1,0	4,6	2,5	3,8	×	1,5	13,9	0,5	—	—			
—	3,1	—	×	×	3,6	9,2	1,3	—	—			
0,5	7,7	×	×	×	1,6	19,1	2,5	—	0,5			
1,1	9,4	—	0,8	—	5,6	11,0	5,6	—	×			
0,5	6,4	×	1,7	×	2,4	16,4	0,9	—	1,2			
×	6,8	×	×	—	2,9	29,7	×	—	1,1			
1,0	14,4	×	×	0,5	2,3	17,5	2,1	—	0,5			
0,5	9,2	×	—	—	4,8	23,3	—	—	0,7			
×	4,4	0,9	—	×	2,9	10,8	—	×	—			

слагающие подавляющую часть тяжелой фракции, идентичны. Обращает внимание и тот факт, что и речные отложения (русловые или пойменные) и золотые имеют совершенно одинаковый качественный состав. Это хорошо согласуется с нашим выводом об одинаковом минералогическом составе всех основных типов осадков Прибалхашья.

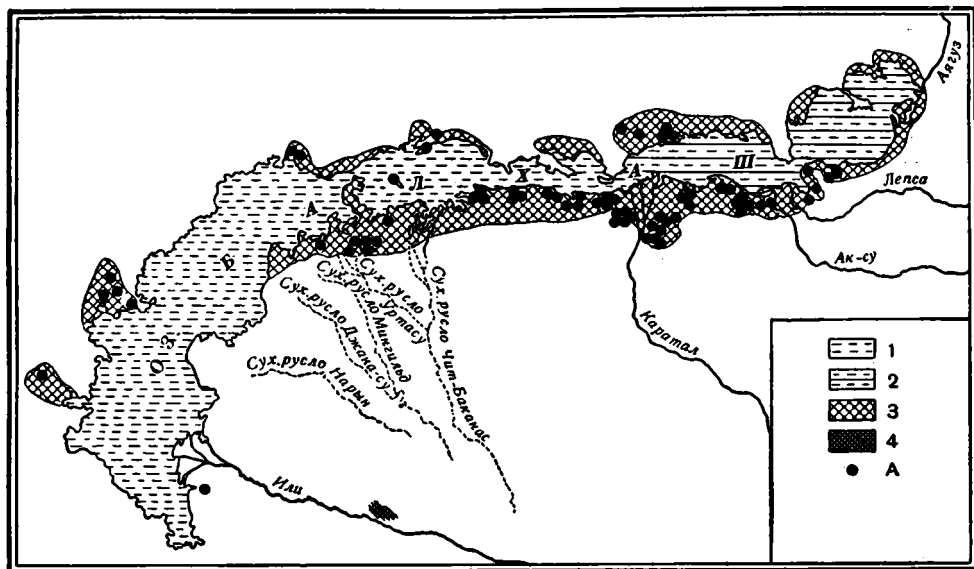
Отложения соленых озер

Соленые озера весьма широко распространены в Прибалхашье. Особенно часто они встречаются в полосе, вытянутой вдоль южного берега оз. Балхаш на участке между полуостровом Узун-арал и восточной оконечностью бассейна. Помимо этого, они встречаются в долинах рек, впадающих в озеро с юга и юго-востока, и преимущественно в долинах рек Каратал и Или. Значительно меньше распространены соленые

озера в северном Прибалхашье, где они известны только на участках, близко примыкающих к побережью оз. Балхаш (см. карту, фиг. 30).

Строго говоря, большинство из них не является озерами в полном смысле этого слова. Обычно это плоские котловины, дно которых в течение большей части года остается сухим и покрытым более или менее мощным слоем солей. Только осенью и зимой или на короткий срок в весеннее время дно озерных впадин покрывается водой.

Несмотря на широкое распространение соленых озер в Прибалхашье, они изучены еще мало: Подробные исследования проводили только Д. М. Корф и Л. В. Еловская (1936), обследовавшие в 1930 и 1931 годах 48 соленых озер юго-восточного Прибалхашья. Отдельные точки были осмотрены автором и другими исследователями в 1940 году. В последнее время много внимания соленым озерам Прибалхашья уделяет Е. В. Посохов, работающий в Академии наук Казахской ССР.



Фиг. 30. Схема распределения главных типов хемогенных осадков в Прибалхашье:

1 — известковистые осадки; 2 — известково-доломитовые осадки; 3 — область распространения сульфатных и хлоридно-сульфатных; 4 — район развития содовых солончаков.

А — соленые озера и месторождения солей разного состава.

Аналитический материал, полученный при исследовании озерных отложений различными авторами, освещает только состав солевой массы. Илы соленых озер и нерастворимый в воде материал, содержащийся в солях, совершенно не изучались.

В настоящее время проведены анализы солевой массы по 50 озерам. Кроме того, нами исследованы девять образцов солей и нерастворимых в воде остатков, взятых с пяти озер, расположенных в различных частях Прибалхашья. Имеющиеся данные позволяют наметить типы соленых озер и прийти к некоторым выводам относительно состава солевой массы и карбонатной части их осадков.

Прежде всего следует отметить, что среди соленых озер Прибалхашья, известных в настоящее время, можно выделить три основных типа: содовые озера, собственно соленые озера, отлагающие поваренную соль, и сульфатные озера, отлагающие мирабилит и тенардит. Это деление в достаточной степени условно, так как солевая масса большинства озер

отличается смешанным составом, причем наряду с главным компонентом солевой массы здесь присутствуют и второстепенные. Так, например, большая часть сульфатных озер содержит значительную примесь хлористого натрия, а хлоридные озера обычно богаты сульфатом натрия.

Соленые озера разного состава приурочиваются к определенным физико-географическим районам Прибалхашья. Так, сульфатные озера распространены преимущественно в восточном Прибалхашье и в полосе южного берега между устьем р. Каратал на западе и районом берега Аулие-тас на востоке.

Отложения соленых озер часто отделяются от основного водоема песчаными косами, береговыми валами или же более или менее широкими перемычками, допускающими фильтрацию воды. Иногда они, несомненно, представляли собой заливы Балхаша, отделившиеся от него и с течением времени пересохшие. Все это позволяет рассматривать осадки соленых озер как своеобразную фацию, тесно связанную с современными отложениями оз. Балхаш. Действительно, те и другие часто непосредственно связаны между собой. В весеннее время воды просачиваются через береговые валы и перемычки и поступают из соленых озер в Балхаш, а летом, когда уровень воды в озерах резко понижается или они совершенно пересыхают, — в обратном направлении.

Здесь уместно напомнить, что осадки соленых озер можно встретить и на островах, расположенных в открытой части оз. Балхаш и окруженных пресной или солоноватой водой. Нетрудно себе представить, что будет, если современные соотношения сохранятся и весь комплекс осадков Прибалхашья перейдет в ископаемое состояние. При этом озерные отложения Балхаша будут не только в краевой части переходить в соленосную фацию, но и в центральной части будут содержать линзы солей и горизонты соленосных образований (здесь имеются в виду отложения соленых озер, расположенных на островах в открытой части озера).

Большой интерес приобретает вопрос о том, какой состав имеют соли, связанные с отложениями балхашского типа, и чем представлены другие осадки соленых озер. Имеющийся к настоящему времени литературный материал (Корф и Еловская, 1936; Посохов, 1946) содержит данные по анализу солевой массы и рапы и ни в какой степени не освещает состав нерастворимой в воде части донных отложений соленых озер. В связи с этим здесь будет использован только наш материал, собранный преимущественно в 1941 г. и относящийся к донным отложениям всего нескольких озер. К сожалению, отсутствуют данные, характеризующие состав рапы и воды. Это объясняется тем, что соленые озера были обследованы в летнее время, когда рапа отсутствовала.

Для характеристики отложений соленых озер в нашем распоряжении имеется материал по озеру, находящемуся на западном берегу Западного плеса. Это озеро, обозначенное в табл. 42 цифрой I, отделено от берега береговым валом высотой 3—4 м и шириной около 100 м, сложенным песком и частью гравием. Озеро имеет неправильно округлую форму, вытянуто параллельно берегу. Длина его 1,5 км, ширина до 1 км, глубина 60—80 см. Верхний слой донных отложений представлен рыхлым илистым осадком мощностью до 0,2—0,25 м. Ниже залегает синевато-серый глинистый ил, пройденный на глубину до 0,3 м. Обе разности осадка имеют резкий запах сероводорода. Данные, характеризующие состав этих отложений, приведены в табл. 42 (анализы 1 и 2).

Второе озерко (цифра II), донные отложения которого охарактеризованы в табл. 42 (анализы 3 и 4), находится на острове в Среднем плесе и расположено в неглубокой котловине между песчаными буграми.

Химические анализы солей и осадков соленых озер (в %)

И о н ы	I*. Озеро с западного берега Западного плеса. Донные отложения		II. Пересохшее озеро на острове в Среднем плесе		III. Пересохшее озеро. Бурлю-тюбинский плес. Ил с кристаллической солью	IV. Пересохшее озеро. Бурлю-тюбинский плес			V. Пересохшее озеро к востоку от пос. Кара-чаган	
	верхнего слоя	нижнего слоя	соль	соль загрязненная		ил	кристаллы тенардита	рапаз	тенардит с поверхности дна	кристаллы тенардита
№ а н а л и з а										
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	

K ⁺ Na ⁺ Ca ⁺⁺ Mg ⁺⁺ Cl ⁻ SO ₄ '' HCO ₃ '	Сделан анализ нерастворимой в воде части осадка (см. табл. 43)	Состав растворимой в воде части осадка								
		0,91	—	1,47	—	2,07	0,48	—	0,28	—
		23,01	36,98	35,39	24,34	30,60	31,14	28,57	29,28	30,98
		7,31	0,80	0,41	1,80	0,73	1,15	1,62	0,99	0,56
		2,19	0,77	0,99	4,86	0,26	0,17	0,82	0,86	0,51
		8,04	57,85	55,17	18,77	3,12	1,37	1,69	5,03	1,82
		49,59	1,31	2,42	47,47	57,96	64,46	61,58	59,37	61,41
		8,95	2,29	4,15	2,76	5,26	1,23	5,72	4,19	4,72
		100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
		Соли		Примерный солевой состав растворимой в воде части осадка						
1,29	—			2,24	—	3,74	0,89	—	0,60	—
14,84	93,93			89,12	33,85	2,65	1,79	3,29	9,23	3,61
45,16	—			2,74	34,85	87,37	92,13	86,33	81,84	90,88
—	2,21			—	—	—	—	—	—	—
12,91	1,51			1,91	25,52	—	1,07	3,79	3,57	—
15,48	0,14			—	2,89	—	2,69	—	—	—
—	—			—	—	2,03	—	—	—	0,69
—	—			2,83	—	1,56	—	0,99	1,34	2,93
10,32	2,21			1,16	2,89	2,65	1,43	5,60	3,42	1,89
100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00		

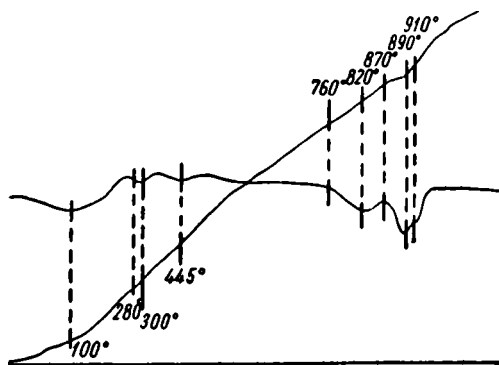
* Римские цифры соответствуют номерам озер в тексте.

Озерко во время его посещения оказалось пересохшим, причем на поверхности дна лежал слой влажной, сильно загрязненной соли.

На побережье Бурлю-тюбинского плеса изучались образцы солей из трех различных озер; в двух из них отлагается сульфат натрия. Осадки третьего озера (цифра III) отличаются смешанным хлоридно-сульфатным составом (анализ 5).

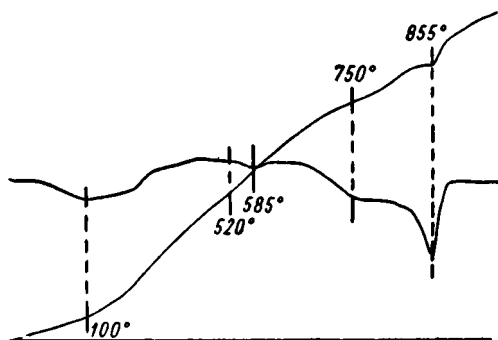
Другое озеро обозначено цифрой IV. Отсюда были взяты для исследования образец ила, залегающего под слоем солей, и кристаллы тенардита (анализы 6 и 7). Это озеро расположено на дне небольшой котловины в 1 км от оз. Балхаш, от которого она отделяется двумя береговыми валами высотой 11 и 5,5 м. Более низкий береговой вал располагается ближе к оз. Балхаш и сложен песчаным материалом, к которому в нижней части присоединяется щебень. Высокий береговой вал отстоит на большем расстоянии от Балхаша и сложен преимущественно мелкой

и 32). На первой из них можно видеть широкое провисание кривой в интервале от 760 до 910°, осложненное в средней части воздыманием и перегибом при 870°. Эти эффекты приходится на интервал температур, в пределах которого обычно происходит разрушение доломита и диссоциация слагающих его углекислых соединений.



Фиг. 31. Кривая нагревания карбонатной части, выделенной из осадков соленых озер. Озеро I, анализ 1.

Можно предполагать, что в данном случае (верхний слой донных отложений) на кривой фиг. 31 нашел отражение слабо выраженный эффект, получающийся при нагревании доломита, присутствующего в малых количествах в осадке. Более отчетливо выраженное провисание кривой в интервале от 870 до 910° обусловлено диссоциацией кальцита, получившегося при разрушении доломитовых молекул, и кальцита, первоначально находившегося в осадке.



Фиг. 32. Кривая нагревания карбонатной части, выделенной из осадков соленых озер. Озеро I, анализ 2.

На фиг. 32 хорошо виден эндотермический эффект, получающийся при диссоциации кальцита. Это вполне соответствует данным анализа, указывающим на то, что в составе нижнего слоя донных отложений, к которому относится кривая нагревания, из карбонатов присутствует только кальцит.

Рассмотрение данных по озеру I, связанному с той частью Балхаша, которая отличается пресной¹ водой, показывает, таким образом, что здесь в составе растворимой части осадка накапливаются сульфаты и хлориды натрия. Карбонатная часть осадка обогащается в подобных случаях кальцитом и доломитом и характеризуется почти полным тождеством с современными отложениями восточных плесов оз. Балхаш. Обращает на себя внимание заметное количество сернокислого кальция — соединения, редко встречающегося в современных отложениях Балхаша.

Фиг. 33. Кривая нагревания карбонатной части, выделенной из осадков соленых озер. Озеро III, анализ 5.

Состав осадков озера II несколько отличается от описан-

¹ По составу близкой к воде из южной части Западного плеса.

ных выше отложений. Здесь (табл. 42 и 43, анализы 3 и 4) в составе растворимой части в качестве главного компонента отчетливо выделяется хлористый натрий, содержание которого в обоих образцах почти одинаково (89,12 и 93,93%). Значительный интерес представляет факт присутствия хлористого калия, количество которого в одном образце достигает 2,24%.

Из растворимых карбонатов наблюдается только кислый углекислый кальций в незначительном количестве (1—3%) и в анализе 3 — кислый углекислый магний (2,83%).

Нерастворимая часть очень бедна углекислым кальцием при огромном содержании углекислого магния, количество которого составляет 55,92 и 63,30%. Такое высокое содержание углекислого магния может быть объяснено присутствием в исследуемых образованиях магнезита; из других карбонатов в осадке имеется небольшое количество кальцита (5,84% и 7,39%).

Осадки этого озера представляют значительный интерес, поскольку здесь исключается возможность грунтового питания и все они обязаны своим происхождением воде оз. Балхаш.

Состав солей и ила из озера III иллюстрируется данными анализа 5. В этом случае растворимая часть солей складывается хлористым натрием и сернокислым натрием, присутствующими в почти равных количествах (33,85 — 34,85%). Значительную роль играет здесь также сернокислый магний, содержание которого доходит до 25,5%.

Нерастворимая в воде часть осадка характеризуется высоким содержанием терригенного материала (69,70%) и полуторных окислов (5,19%) и незначительным количеством карбонатов. Последние представлены почти исключительно углекислым кальцием (11,99%) и в меньшей степени углекислым магнием (0,92%). Углекислые соединения рассчитаны на кальцит (10,9%) и, в значительной степени условно, на доломит (2,01%). С этим расчетом данных анализа хорошо согласуется кривая нагревания (фиг. 33), на которой можно заметить остановку при 820°, что указывает на заметное содержание кальцита.

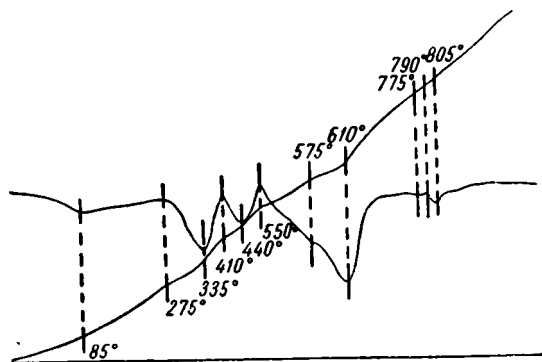
Интересно отметить, что по составу солей и нерастворимой в воде части осадков это озеро близко к озеру I. Подобное сходство объясняется тем, что озеро III, возможно, в известной части питается водами, присутствующими в аллювии речной долины.

Все остальные анализы солевой части образцов 6—10 в основном однотипны. Здесь преобладает сернокислый натрий, содержание которого колеблется в пределах от 82 до 92%. Хлористый натрий составляет от 1,79 до 3,61% и только в одном случае 9,23% (анализ 9). Интересно отметить значительное содержание хлористого калия (3,74%) в илах одного из озер (анализ 6). Во всех проанализированных образцах присутствует в небольшом количестве кислый углекислый кальций. В двух образцах обращает внимание наличие углекислого натрия, содержащегося в иле одного из озер в количестве 2,03% (анализ 6) и в виде примеси в кристаллах тенардита (анализ 10) — 0,69%.

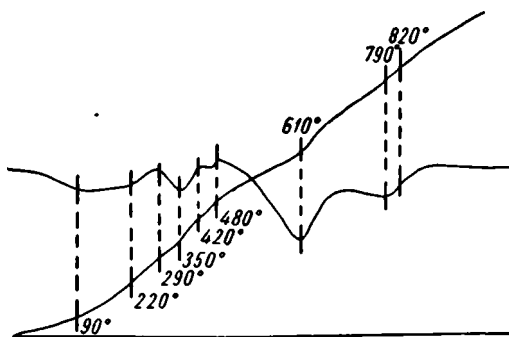
Нерастворимая в воде часть осадка, составляющая эти образования, имеет в своем составе, по данным анализа солянокислой вытяжки, кроме терригенного материала, углекислый кальций (от 12,38 до 24,29%) и углекислый магний (от 42 до 50% и только в анализе 7, в кристаллах тенардита, до 57,47%).

Вопрос о минералогическом составе карбонатной части этих осадков может быть легко разрешен для ила, взятого из озера IV (анализ 6), для нерастворимой части, выделенной из тенардита (анализ 9) и из кристаллов тенардита (анализ 10). Для них в нашем распоряжении имеются кривые нагревания (см. соответственно фиг. 34—36).

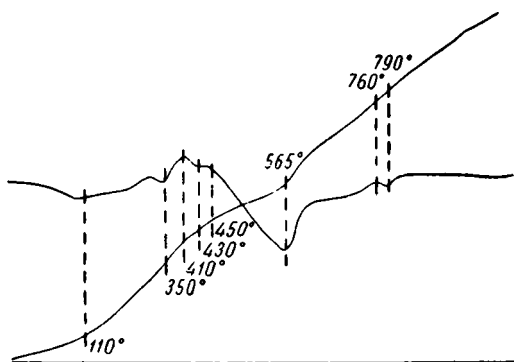
В низкотемпературной части на всех трех кривых нагревания наблюдаются сходные термические эффекты: при температуре 335—350° повсюду проявляется резкий эндотермический эффект. На всех трех кривых хорошо виден экзотермический эффект при температуре 410—420°, который сменяется менее четко выраженным эффектом при температуре около 430—440°. Наконец, низкотемпературная часть кривых фиг. 34 и 35 заканчивается четким экзотермическим эффектом при температурах 480 и 550°. Такой характер низкотемпературной части кривой указывает на наличие в осадках озера IV и озера V основных углемагние-вых солей типа артенита. Кроме того, на первых двух кривых весьма отчетливо наблюдается характерный эффект при температуре 610°, что указывает на присутствие в осадке магнетита.



Фиг. 34. Кривая нагревания карбонатной части, выделенной из осадков соленых озер. Озеро IV, анализ 6.



Фиг. 35. Кривая нагревания карбонатной части, выделенной из осадков соленых озер. Озеро V, анализ 9.



Фиг. 36. Кривая нагревания карбонатной части, выделенной из осадков соленых озер. Озеро V, анализ 10.

На фиг. 36 наблюдается глубокое провисание кривой нагревания при температуре 565°. Можно полагать, что присутствие примесей значительно снижает здесь температуру диссоциации магнетита — с 610°, как это бывает для чистых разностей, до 565° в нашем случае. Определить присутствие в этих образцах других карбонатов много сложнее. Можно лишь предполагать, что небольшие изгибы кривой нагревания фиг. 34 (осадок 6) при температурах 775, 790 и 805° обусловлены распадом доломита.

На кривой нагревания фиг. 36 хорошо виден небольшой эффект при температурах 760—790°, который можно истолковать как указание на присутствие (в осадке 10) кальцита наряду с магнезитом, о котором упоминалось выше. Наконец, на фиг. 35 эффект при температурах 790—820° тоже можно истолковать как указание на наличие в осадке 9 кальцита. Соответственно с этими данными

эффект при температурах 790—820° тоже можно истолковать как указание на наличие в осадке 9 кальцита. Соответственно с этими данными

результаты анализов 9 и 10 рассчитаны нами на кальцит и магнезит. Состав карбонатной части анализа 7 дается условно ввиду отсутствия кривой нагревания, необходимой для его расшифровки.

Приведенный материал можно толковать следующим образом. Испарение воды Балхаша в отпущенных бассейнах дает различные продукты в зависимости от того, в какой части озера этот процесс происходит. В западной части Балхаша, при испарении в замкнутом водоеме отлагаются соли смешанного хлоридно-сульфатного состава. При этом в составе растворимой части осадка может присутствовать значительное количество карбоната натрия и магния (анализ 1), а в нерастворимой части содержится значительное количество карбонатов, представленных кальцитом и доломитом. Магнезит здесь, по видимому, отсутствует. Следует отметить, что в озерко, отлагающее эти осадки, несомненно поступают подземные воды, которые в условиях северного и западного Прибалхашья богаты сульфатами. Они налагают отпечаток на идущие здесь процессы, обуславливая, в частности, значительную примесь сернокислого натрия в составе солей, отложившихся в этом бассейне.

В тех местах, где возможность подтока грунтовых вод исключена, например в соленом озерко, расположенном на острове отлагается поваренная соль, содержащаяся здесь в количестве до 90% от суммы всех растворимых в воде соединений. Сернокислый натрий, хлористый и сернокислый магний в сумме не превышают 5%. Другие соединения играют еще меньшую роль. В составе ила, отлагающегося здесь и примешанного к солям, обращает на себя внимание наличие большого количества углекислого магния, присутствующего в форме магнезита, и незначительных количеств кальцита.

В восточной части бассейна, обладающей наиболее измененной и концентрированной водой, процессы испарения последней в замкнутых котловинах при условии постоянного подтока со стороны Балхаша, дают сульфатные озера.

В составе растворимой части здесь, кроме этой соли, присутствуют в незначительном количестве также углекислый кальций и магний. Карбонаты, входящие в состав нерастворимой в воде части осадка, представляют собой в главной части магнезит. Термограммы дают указание на наличие незначительных количеств кальцита и доломита, причем в одних случаях присутствует доломит, а в других кальцит. Об этом же свидетельствуют расчеты данных анализа.

Большой интерес представляет отсутствие среди отложений соленых озер такого распространенного минерала, как гипс. Этот факт можно легко объяснить, если вспомнить, что в составе воды восточной части бассейна ион кальция содержится в ничтожном количестве — порядка 14—15 мг/л. В то же время другие катионы представлены в несравненно больших количествах. Так, содержание иона магния доходит в восточном плесе до 289 мг/л, а щелочных металлов — до 1300 мг/л. Понятно, что соединения кальция, который содержится в воде восточных плесов в количествах, в 20 раз меньших, чем магний, и почти в 90 раз меньших, чем катионы щелочных металлов, находятся лишь в ничтожных количествах в осадках, возникающих при дальнейшем увеличении концентрации воды оз. Балхаш и полном ее испарении.

Подводя итог приведенному выше материалу, можно сказать, что основные особенности осадков фаций соленых озер, связанных с бассейном типа оз. Балхаш, состоят в следующем:

- 1) солевая масса их складывается преимущественно сульфатом натрия и в меньшей степени хлористым натрием;

- 2) в составе нерастворимой в воде части накапливаются кальцит и доломит на низких стадиях осолонения и магнезит — на высоких стадиях

(в последнем случае обычно присутствуют малые количества доломита и кальцита);

3) в составе нерастворимой в воде части практически отсутствует гипс — весьма распространенный в отложениях засушливой зоны минерал.

Эти особенности и другие, более мелкие, характеризуют осадки соленых озер, связанные с водоемами балхашского типа. Если соли такого состава будут встречены где-либо в другом месте среди современных отложений или в ископаемом состоянии, то наличие их послужит указанием на отложение в условиях, близких к современным условиям Прибалхашья, и даст основание ожидать встретить породы, сходные по генезису с современными осадками Балхаша. Наоборот, обнаружение этих пород может свидетельствовать о близких залежах солей.

Сода залегает на поверхности солончаков слоем от 0,5 до 1 см и подстилается тонким слоем сернокислого натрия. Иногда здесь встречается и хлористый натрий. Кроме того, сода обнаружена во временных водоемах, расположенных на дне неглубоких котловин между барханами.

И солончаки, и водоемы находятся на пойменной террасе р. Или на близком, порядка 0,5—2 км, расстоянии от ее русла. Уровень воды в водоемах зависит от стояния воды в р. Или: в паводок он повышается (вследствие просачивания воды из русла). При понижении уровня воды в реке водоемы пересыхают и на дне их отлагается маломощный слой соды.

Интересное наблюдение сделано Б. К. Штегманом. Оказывается, если водоем, отлагающий соду, хотя на время заполняется водами р. Или, то садка соды прекращается и при высыхании отлагается лишь сульфат натрия.

Вся совокупность приведенных кратких данных показывает, что вода поступает за счет подтока грунтовых вод из толщи аллювиальных отложений.

Сода по данным анализов, загрязнена здесь примесью сернокислого натрия, минерального терригенного материала и поваренной соли. В отдельных образцах сульфат натрия начинает преобладать, и сода отходит на задний план.

Содовые озера, находятся в отдельных местах выше по р. Или.

Из приведенного краткого обзора видно, что содовые озера расположены на значительном расстоянии от оз. Балхаш, но приуроченность их к долине р. Или — главному притоку этого водоема — вызвала необходимость упоминания о них в настоящей работе. В самом деле, содовые воды, попадая в воду р. Или, могут обусловить садку из нее карбонатов, в том числе и доломита. Эти карбонаты будут подхвачены течением и внесены рекой в оз. Балхаш, где они рано или поздно осядут на дно и войдут в состав осадков водоема. Весьма вероятно в связи с этим, что некоторая часть карбонатов, выносимых р. Или в оз. Балхаш, образуется в результате выпадения углекислых соединений из воды р. Или при смешении ее с водой, поступающей из содовых озер и источников.

С другой стороны, карбонаты, входящие в состав донных отложений содовых озер, могут попасть в воду р. Или как терригенный материал, возникший при размывании поймы.

Заслуживает внимания территориальное положение месторождений соды среди современных осадков юго-восточного Казахстана: они отчетливо тяготеют к аллювиальным отложениям р. Или и не встречаются среди других фациальных типов.

Общая схема распространения осадков в Прибалхашье

Главные массы современных отложений накапливаются в водосборном бассейне оз. Балхаш в пределах Балхашской впадины, которая представляет собой особую структурно-тектоническую единицу, испытывавшую прогибание в недавнем прошлом и частично продолжающую прогибаться в настоящее время. Современные осадки наиболее интенсивно накапливаются в пониженных частях впадины, прежде всего в котловине оз. Балхаш и на территориях, непосредственно примыкающих к этой котловине.

В пределах Прибалхашья и оз. Балхаш главнейшие типы современных осадков распределены вполне закономерно.

Речные (русловые и пойменные) отложения широко развиты по долинам Или, Каратала, Ак-су, Лепсы и других рек района. Они накапливаются также в больших массах в устьевых частях перенесенных рек и захватывают все новые и новые части водоема, продвигаясь в глубь его.

Аллювиальные отложения слагаются преимущественно илистыми песками и песчаными илами, содержащими незначительную примесь известковистого вещества. В районе устьев рек аллювий постепенно переходит в осадки оз. Балхаш.

За пределами озерной котловины и участков, непосредственно примыкающих к ней или к водным артериям, питающим озеро, процессы современного осадконакопления идут очень слабо. Здесь преобладает перевевание уже отложившихся осадков, сопровождающееся образованием бугристых песков, широко развитых по всей впадине и поднимающихся местами на склоны, а в отдельных случаях и на вершину горных сооружений (горы Уч-кара), ограничивающих Балхашскую впадину.

Содовые озера и их осадки, как и содовые солончаки, известны в настоящее время в долине р. Или, где они встречаются среди пойменных отложений на более или менее значительном расстоянии от русла реки.

Отложения соленых озер связаны также преимущественно с поймами рек, причем наиболее крупная группа их известна в долине нижнего течения р. Каратал. Имеются многочисленные указания на наличие соленых озер и в долине р. Или, однако они точно не фиксированы и не обозначены на карте. Тем не менее, факт присутствия их и связь их с поймой р. Или не может оспариваться.

Месторождения солей смешанного состава и сульфатно-хлоридные озера, а равно месторождения сульфата натрия и сульфатные озера располагаются обычно вдоль побережий оз. Балхаш, что свидетельствует об их связи с ним.

Озера тяготеют главным образом к побережьям его восточной части, где известно множество озер и месторождений, находящихся в прибрежной области и среди бугристых песков на значительном расстоянии от самого водоема. Обращает на себя внимание тот факт, что значительная часть месторождений сульфата натрия содержит в себе примесь поваренной соли; следовательно, чистые месторождения сульфата, как правило, здесь распространены незначительно.

Отложения Балхаша приурочены к наиболее глубоко прогнутым частям Балхашской впадины — к озерной котловине. Здесь накапливается обломочный, главным образом тонкозернистый материал и (что представляет главный интерес) карбонаты, среди которых выделяется как кальцит — в западных частях бассейна, так и доломит — в двух восточных плесах его.

Если попытаться обобщить все сказанное в той части, которая представляет наибольший интерес для нас, то получится отчетливая схема распределения осадков. В оз. Балхаш идет накопление тонкого обломочного и карбонатного материала, а за пределами его, в прибрежной полосе, за счет вод, поступающих из водоема и свободных от обломочного материала и главной массы карбонатов, осадившихся еще в пределах озера, происходит садка сульфатов и смешанных сульфатно-хлоридных солей. Месторождения относительно чистой поваренной соли, а также содовых озер и солончаков обнаруживают отчетливую связь с поймой рек и образуются, повидимому, за счет их вод после некоторых изменений, далеких, однако, от того своеобразного круга изменений, которым подвергаются воды оз. Балхаш. Особенности размещения хемогенных осадков в Прибалхашье иллюстрируются схемой фиг. 30.

Об изменениях осадкообразовательного процесса в оз. Балхаш в недавнем прошлом

Современные отложения Балхаша, залегающие в открытой части водоема непосредственно на дне и в верхней части слоя озерных отложений, различны для восточной и западной частей бассейна: в первой из них они представлены белыми известково-доломитовыми илами, а во второй — серыми глинисто-известковыми.

Вниз по колонкам осадки как в северной части западного плеса, так и в восточной части бассейна изменяются, причем на глубине в несколько десятков сантиметров от поверхности дна они в обоих случаях переходят в белый известковый ил, сложенный в основном кальцитом с незначительной примесью обломочного материала.

В восточной части бассейна известковистые осадки появляются с глубины 50 и 30 см (точки 2 и 3), тогда как в более западных частях они установлены на глубине 40 (точка 5), 65 (точка 7) и 86 см (точка 4) от поверхности дна.

Такое сходство осадков, отличающихся для отдельных станций только примесью терригенного материала к известковым илам, прослоями илистого песка или значительным содержанием скелетиков диатомовых (что особенно характерно для станций восточных плесов озера), позволяет считать, что на большей части площади бассейна в эпоху, непосредственно предшествовавшую современной, господствовали одинаковые условия. Отсюда можно сделать вывод о том, что на всей территории озера, расположенной между районом точки 8 на западе и бухтой Бурлюк-тубе на востоке, были одинаковые условия единого водного бассейна. Этот бассейн отличался от современного Балхаша более пресной водой, с одинаковым содержанием солей для всего озера. Обломочный материал приносился сюда в относительно небольшом количестве, о чем свидетельствует малый процент минеральной нерастворимой части в илах.

Бассейн, вероятно, обладал большими размерами, вследствие чего обломочный материал, вносимый реками, не достигал крайней северной части озера, откуда известны только известковые илы.

Аналогов белых известковых илов в южной части бассейна (южная часть Западного плеса) до сих пор встретить не удалось. Возможно, что они имеются, но залегают здесь на большей глубине, чем та, на которую погружается в осадки трубка Экмана.

Следует отметить, что Н. М. Страхов (1945₁), на основании изучения данных анализов осадков из разных частей слоя серого и белого ила, еще раньше пришел к заключению о том, что процесс образования доломитовых илов начался относительно недавно и по мере приближения к современной эпохе все более развивался. Эти данные полностью

совпадают с нашим выводом, основанным на изучении более глубоких слоев осадков озера; они указывают на то, что в недавнем прошлом оз. Балхаш представляло собой более пресноводный бассейн.

Выше мы уже упоминали, что для выяснения более древних этапов в развитии западной части бассейна данных не имеется. Для восточной же части озера, как было указано выше, можно выделить еще один, более древний, этап отложения доломитовых илов, отделенный от современной эпохи периодом, в течение которого накапливались известковые илы и тонкослойные илы, богатые диатомеями.

Таким образом, в истории восточной части оз. Балхаш можно различать три этапа, характеризующиеся закономерной сменой одного типа осадка другим.

В настоящее время нет данных, которые позволили бы сделать достаточно обоснованное заключение о причинах, обусловивших подобную смену осадков. Смена осадков может быть вызвана разными причинами, среди которых главными представляются изменение климата района и изменение места впадения основной водной артерии, питающей водоем.

Если принять, что доломитовые осадки отложились в условиях сухого и жаркого климата, а известковые илы и другие осадки, богатые кальцитом, отлагаются в условиях более холодного и влажного климата, то можно наметить такую последовательность в изменениях климата в районе Балхаша. История водоема, как она запечатлелась в доступной части осадков оз. Балхаш, началась с сухого и жаркого климата, близкого к современному, о чем свидетельствует отложение нижнего слоя доломитовых осадков. Позднее наступила эпоха более холодного и влажного климата, сопровождавшаяся и в восточной и в западной частях водоема отложением известковистого ила. Этот ил залегает в восточной части водоема между слоями доломитового ила, а в западной лежит под серым илом.

Наконец, в настоящее время вернулись условия засушливого климата, как о том свидетельствуют современные доломитовые илы, отлагающиеся в озере.

Особого рассмотрения заслуживает вопрос о соотношениях описанных отложений, развитых на дне оз. Балхаш с более древними образованиями, распространенными в районе бухты Бурлю-тубе, которые Б. К. Терлецкий выделил под названием балхашской свиты. Слои балхашской свиты, относящиеся по возрасту к верхнему плиоцену, встречаются на высоте 14—18 м над уровнем оз. Балхаш и пройдены скважиной на глубину порядка 20 м. Таким образом, нижние горизонты, доступные изучению, располагаются на уровне воды в оз. Балхаш и лежат выше слоя его донных отложений. Отсюда ясно, что оз. Балхаш врезано на востоке в верхнеплиоценовые отложения и, следовательно, все осадки, в том числе и наиболее древние, обнаруженные нами на дне озера, моложе балхашской свиты.

Современная поверхность накопления осадков в оз. Балхаш расположена значительно ниже плиоценового седиментационного уровня.

Глава 4

ОТЛОЖЕНИЕ ОБЛОМОЧНОГО МАТЕРИАЛА В ОЗ. БАЛХАШ

Давая характеристику донных отложений озера, мы неоднократно подчеркивали, что в составе их существенную роль играет обломочный материал, количества которого колеблются, как правило, в пределах от 25 до 90%. Только в отложениях соленых озер, связанных с Балхашем,

количество обломочного материала резко сокращается, доходя в отдельных случаях до единичных процентов. Среди современных аллювиальных отложений наблюдаются такие разности, которые богаче обломочным материалом, чем отложения Балхаша. В аллювии содержание терригенной части, представленной преимущественно песчаными зернами, доходит до 92—93%.

Если учесть, какую важную роль в составе отложений оз. Балхаш играет их терригенная часть, то станет ясным тот значительный интерес, который представляет всестороннее изучение обломочного материала при попытке расшифровать основные закономерности, определяющие ход осадконакопления в этом водоеме.

Задавшись этой целью, мы прежде всего постараемся выяснить, как распределяются на дне озера различные фракции обломочного материала, как изменяется в пространстве его средний диаметр, коэффициент сортировки, минералогический состав и т. д. Далее мы попытаемся связать наметившиеся особенности в распределении обломочного материала по крупности зерна, минералогическому составу и другие, с морфометрией озерной котловины, гидродинамическим режимом и другими факторами и выделить те из них, которые влияют на процесс накопления обломочного материала. Наконец, сделаем попытку установить общие закономерности, определяющие процесс терригенной седиментации в оз. Балхаш.

Распределение фракций обломочного материала в составе осадков оз. Балхаш

Осадки оз. Балхаш обладают различным механическим составом, который колеблется в заметных пределах, причем изменения состава далеко не во всех случаях находят свое отражение в изменении величины среднего диаметра части. Это вынуждает более подробно рассмотреть поведение терригенной части осадка, и с этой целью проследить распределение в донных отложениях песчаной, алевритовой и глинистой фракций обломочного материала, взятых по отдельности.

Распределение песчаного материала в осадках оз. Балхаш показано на карте фиг. 37. При составлении ее количество песчаного материала было вычислено в процентах от нерастворимого остатка. Соответствующие данные нанесены на карту, на которой, кроме того, проведены линии равных содержаний песчаной фракции в составе донных отложений и выделены площади распространения осадков с равным содержанием песчаного материала.

Рассмотрение прилагаемой карты показывает, что распределение песчаной фракции в составе донных отложений оз. Балхаш подчинено определенным закономерностям. Выясняется, что меньше всего песчаного материала содержат осадки центральных частей всех крупных плесов. Там количество его снижается до десятых долей процента, а в отдельных случаях равно нулю. В самом деле, на дне Западного плеса и особенно его южной части, равно как в плесе, лежащем к востоку от пролива Узкость, а также в Лепсинском и Бурлю-тюбинском плесах выделяются огромные площади, сложенные сплошь осадками, содержащими не более 1% песка.

Такие же количества песчаного материала находятся в донных отложениях южной половины Западного плеса, где почти вся территория складывается осадками, содержащими менее 1% песчаного материала. Интересно отметить, что осадки с ничтожным содержанием песчаной фракции местами подходят здесь вплотную к берегу. Это наблюдается близ устья р. Или, — к северу от него у восточного берега и против устья р. Или — у запад-

ного. Лишь местами у берега четко выделяется полоса донных отложений с более высоким содержанием песчаного материала, например к югу от устья р. Или, у западного и восточного берегов озера.

В Бурлю-тюбинском и Лепсинском плесах, а также и в плесе, лежащем к востоку от пролива Узкость, распределение песчаного материала подчинено одним и тем же закономерностям. В этих плесах осадки, наиболее бедные песчаным материалом, составляют значительные площади в центральной части, причем по мере приближения к берегу количество его повсеместно растет. Несколько иначе обстоит дело в северной части Западного плеса, где участки развития современных осадков, наиболее бедных песчаным материалом, не занимают центрального положения, а резко смещены к северному берегу. Кроме того, здесь обнаружена вторая интересная особенность, заключающаяся в том, что в центральной части плеса протягивается полоса осадков (см. карту фиг. 37), наиболее богатых песчаным материалом, количество которого достигает 63 и 79%.

Два других участка, сложенных осадками, богатыми песчаным материалом, находятся неподалеку от указанной полосы. Из них больший по площади участок донных отложений, содержащих более 50% песчаных зерен, расположен к западу, а меньший, отстоящий далее, к юго-западу от нее.

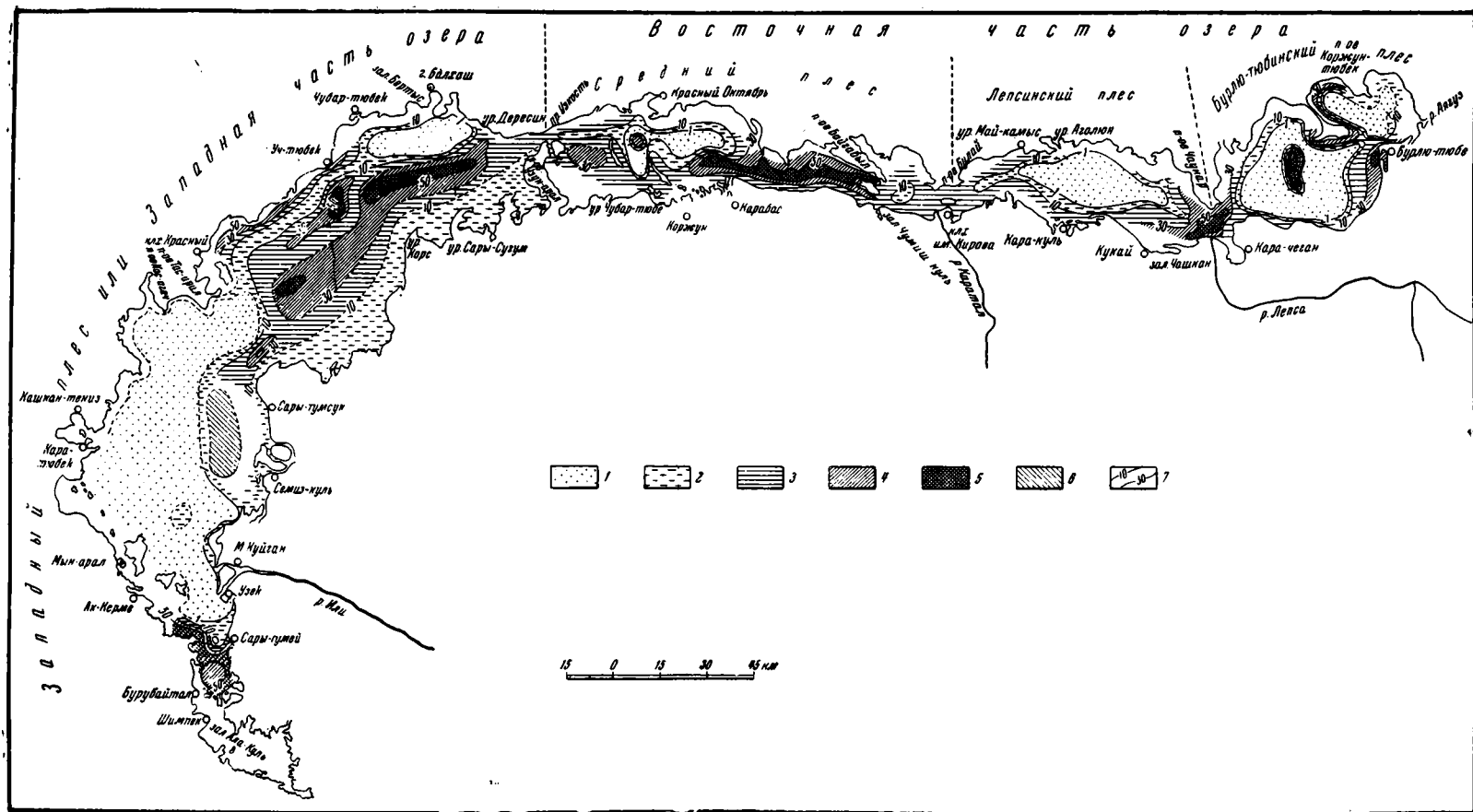
Повышенное содержание песчаного материала в осадках следует поставить в связь с течениями и малыми глубинами озера в этих местах.

При прослеживании особенностей распределения песчаного материала в донных отложениях по пересечению через среднюю часть Западного плеса интересен тот факт, что у северо-западного берега плеса количество песчаного материала в осадках значительно больше (78,3%), чем у юго-восточного (4%). Здесь, следовательно, в осадках озера намечается совсем не симметричное распределение песчаной фракции.

В связи с этим надо сопоставить содержание песчаного материала в донных отложениях, взятых со станций, расположенных близ берегов, сложенных палеозойскими породами (северный и западный берега), с осадками станций, находящихся близ низменных восточного и южного берегов, сложенных рыхлыми четвертичными образованиями. Такое сравнение показывает, что содержание песка в осадках, развитых вдоль северного берега, в относительно глубоководной зоне составляет в среднем 35%, тогда как среднее содержание песка в осадках, развитых вдоль южного берега, в более мелководной зоне, достигает всего 10%.

Таким образом, для осадков всего озера характерно повышенное содержание песчаного материала в северной прибрежной зоне, более глубоководной, чем южная. Это, на первый взгляд парадоксальное явление объясняется разницей в составе пород, слагающих северный и южный берега водоема. При разрушении палеозойских плотных коренных пород северного берега образуется большое количество песчаного материала. Рыхлые породы южного берега, в недавнем прошлом представлявшие дно оз. Балхаш, состоят из глинисто-алевритового материала с незначительной примесью песчаных зерен.

Продолжая обзор участков дна, богатых песчаным материалом, нельзя не отметить, что наибольшие скопления последнего наблюдаются в осадках, развитых на дне проливов, которые соединяют отдельные плесы, и в наиболее узких частях бассейна. В проливе, соединяющем Лепсинский и Бурлю-тюбинский плесы, к югу от полуострова Чаукар, протягивается полоса развития осадков, содержащих 55—62% песчаного материала. Подобное же явление наблюдается в проливе к северу от острова Алгазы и в пределах всей узкой части Среднего плеса. Здесь максимальные содержания песчаного материала доходят до 91—93%. Следует отметить, что в этой части озера происходит весьма интересная смена осадков



Фиг. 37. Распределение песчаного материала в осадках оз. Балхаш.

Содержание частиц размером более 0,1 мм в процентах от нерастворимого остатка: 1 — меньше 1; 2 — 1—10; 3 — 10—30; 4 — 30—50; 5 — больше 50; 6 — песчаная отмель, намытая в районе с. Сары-тумсу; 7 — линии равных содержаний.

в связи с изменениями глубины. Содержание песчаного материала, наименьшее в прибрежной части водоема, постепенно возрастает по мере движения к наиболее глубокой, срединной части, где количество песчаной фракции в осадках часто превышает 90%, а донные отложения представлены илистым песком, взамен песчаных илов прибрежной зоны.

Такая последовательность отложения осадков, обратная типичной для Балхаша, может быть поставлена в связь с постоянными течениями в проливах.

Отметим, что повышенные содержания песчаной фракции точно соответствуют областям, характеризующимся наиболее высоким значением среднего диаметра зерен обломочного материала, причем области высокого содержания песчаного материала и больших значений среднего диаметра почти полностью совпадают. Это совпадение особенно хорошо наблюдается в районе указанных участков распространения песчаных осадков в средней и северной частях Западного плеса.

Алевритовый материал играет весьма существенную роль в составе донных отложений оз. Балхаш, поскольку содержание его в осадках часто измеряется многими десятками процентов и он становится главным компонентом их.

В составе нерастворимого остатка алевритовая часть, к которой здесь относится фракция размером от 0,01 до 0,1 мм, обладает еще бóльшим удельным весом и составляет от 0,5 до 91,6%. В отличие от песка, алевритовый материал в заметном количестве присутствует во всех без исключения образцах донных отложений оз. Балхаш.

Напомним в связи с этим, что алевритовый материал имеет существенное значение в составе современного аллювия Прибалхашья. Так, в пойменных отложениях количества его составляют в среднем 13%, редко превосходя 30%. С другой стороны, русловые отложения р. Или значительно богаче алевритовым материалом, количество которого составляет здесь в среднем 65—66%, а в отдельных образцах доходит до 78—81%. Ниже 40% содержание алевритовой части в наших образцах не опускалось.

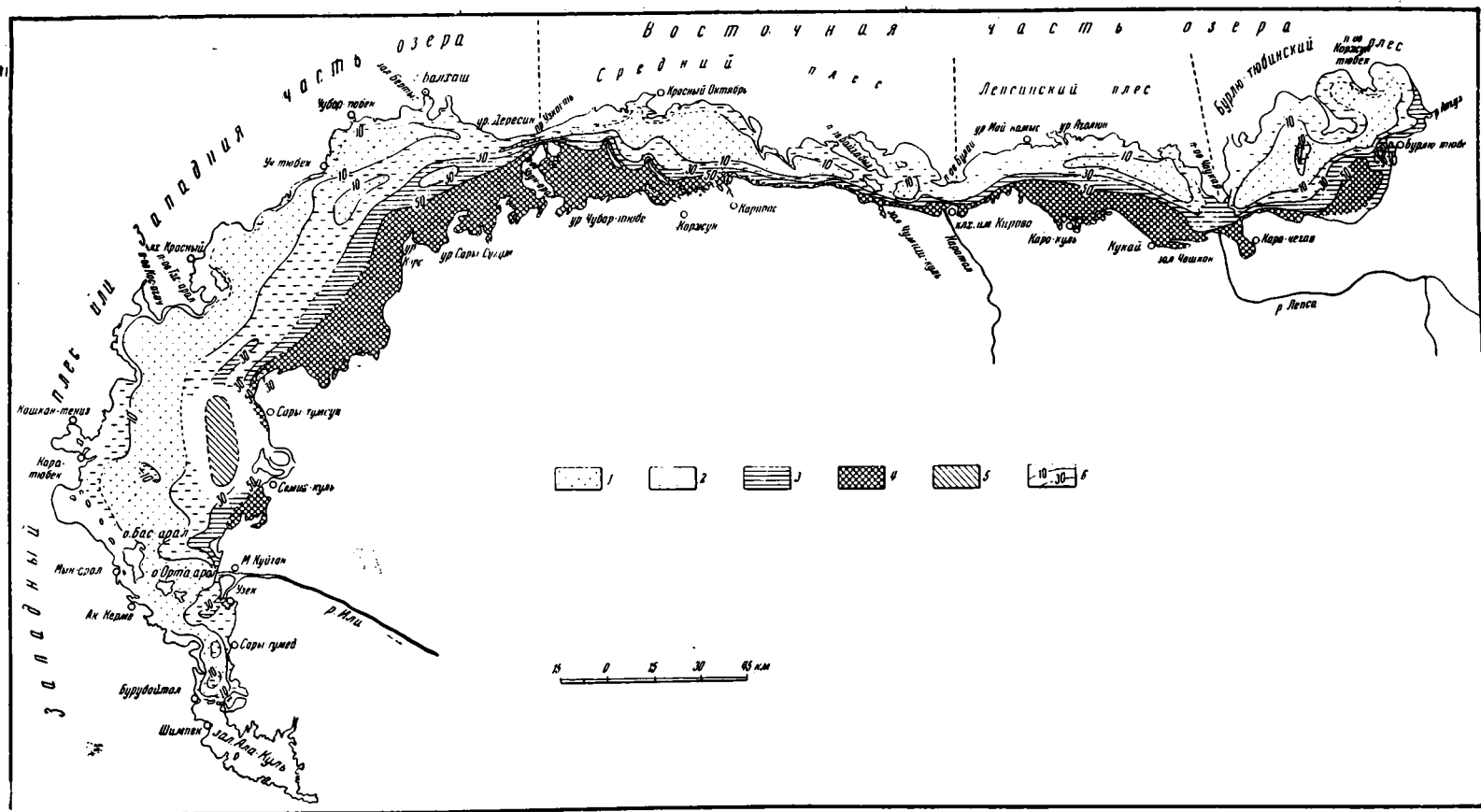
Особенности распределения частиц диаметром от 0,01 до 0,1 мм хорошо видны на карте фиг. 38. На ней нанесены материалы по всем станциям, для которых имеются механические анализы осадков. Содержания интересующей нас фракции, выражены в процентах от веса нерастворимого остатка. На карте изолиниями выделены области развития осадков с равным содержанием алевритового материала.

Из рассмотрения карты фиг. 38 следует, что алевритовая фракция распределяется в осадках оз. Балхаш закономерно. Наибольшее количество ее приурочено к донным отложениям близ южного и восточного побережий, сложенных рыхлыми четвертичными образованиями, в области малых глубин.

Содержание алевритового вещества в осадках этой зоны повсюду более 50%, а в некоторых точках возрастает до 87—91%. Отсюда следует, что алевритовая фракция слагает здесь большую часть минерального нерастворимого остатка донных отложений. Это связано с особенностями состава пород, слагающих южный и восточный берега водоема и отличающихся высоким содержанием алевритовой фракции.

При переходе из южной мелководной полосы в более глубокие части бассейна, количество алевритовой фракции в составе донных отложений все более и более сокращается. Осадки глубоких частей во всех плесах оказываются наиболее бедными алевритовой фракцией, количество которой, однако, не опускается ниже 3%.

В соответствии с этим на карте отчетливо выделяются значительные площади донных отложений, содержащих менее 10% алевритового



Фиг. 38. Распределение алевритового материала в осадках оз. Балхаш.

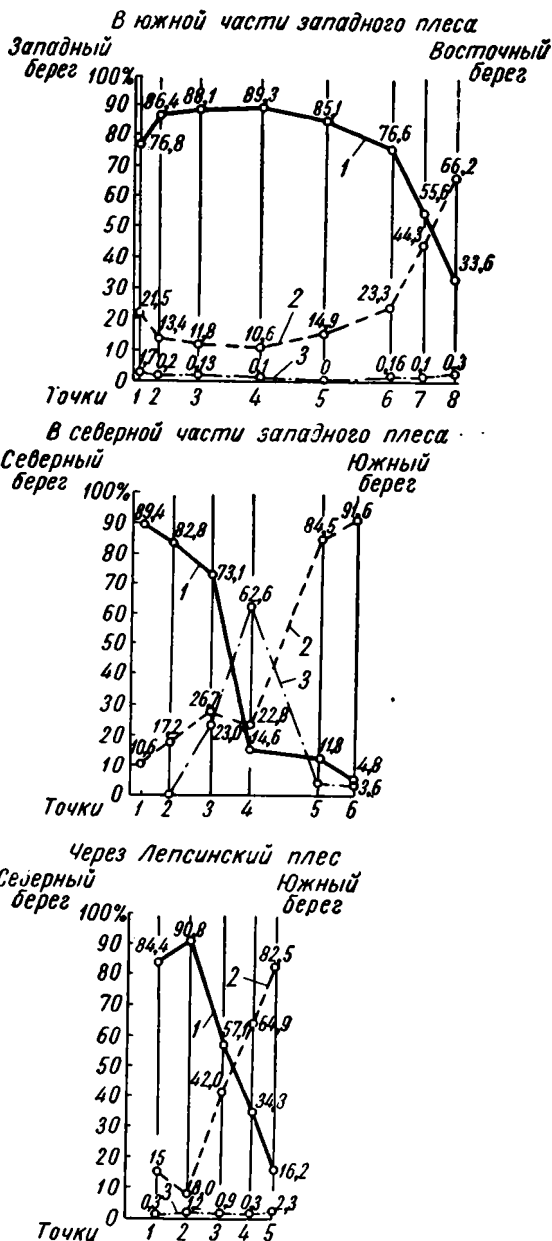
Содержание частиц размером от 0,01 до 0,1 мм, выраженное в процентах от нерастворимого остатка: 1— меньше 10; 2—10—30; 3—30—50; 4— больше 50; 5— песчаная отмель, памятая в районе с. Сары-тумсу; 6— линии равных содержаний.

материала. Указанные площади в некоторых плесах смещаются к северному и западному берегам бассейна, соответственно смещению областей наибольших глубин.

За область осадков, наименее обогащенных алевроитовым материалом, в сторону северного и западного берегов следуют донные отложения, отличающиеся большим содержанием этой фракции, не превосходящим, однако, 21,5—23,7%. Алевроитовая фракция обогащает, таким образом, прибрежные осадки и в наименьшем количестве встречается в отложениях центральных, наиболее глубоких частей бассейна. Все это наглядно видно при рассмотрении карты фиг. 38 и диаграммы фиг. 39. Характерно, что в отличие от песчаной фракции, алевроитовая фракция преобладает в осадках южной прибрежной зоны, тогда как в северной, более глубокой зоне, алевроитового материала в 2—2,5 раза меньше. Отсюда можно заключить, что в северной прибрежной зоне существуют условия, относительно более благоприятные для обогащения осадков песчаным и, как увидим из дальнейшего, глинистым материалом.

Распределение алевроитовой фракции в районе устьев рек легче всего можно проследить в южной части Западного плеса. Здесь хорошо видно, как от устья р. Или в область открытой части озера выходит полоса осадков, более богатых алевроитовым материалом, чем на соседних к северу и к югу участках. Эта полоса выделяется изолиниями содержания 30 и 10% алевроитовой фракции. Отсюда можно заключить, что р. Или вносит в озеро значительное количество интересующей нас фракции, которая резко обогащает осадок неподалеку от устья.

Иная картина наблюдается в районе устья р. Лепсы, впадающей в озеро в узком проливе против полуострова Чаукар. Содержание алевро-



Фиг. 39. Изменение содержания фракций в осадках оз. Балхаш по пересечениям:

— глинистая фракция; --- алевроитовая фракция; -.-.- песчаная фракция; цифры на кривых — содержание фракций в процентах от нерастворимого остатка.

товой части в осадке здесь заметно снижено. В проливе вследствие сильных движений воды, перетекающей из плеса в плес, тонкий алевроитовый материал не садится в значительных количествах на дно, и в осадках накапливается главным образом песчаная фракция.

На фоне общего закономерного размещения алевроитовой фракции местами выделяются отдельные участки с пониженным содержанием ее в осадках. Одно из таких мест расположено в северной части Западного плеса, где алевроитового материала менее 10%. Следует отметить, что в этом районе в осадках наблюдалось повышенное содержание песчаных зерен.

С другой стороны, в южной части Западного плеса, к северу от устья р. Или осадки несколько более обогащены алевроитовой фракцией, что может быть связано с движением масс воды, перемешаемых в Западном плесе круговым течением. Восточная часть этого течения, несущая воды из района полуострова Узун-арал вдоль восточного берега на юго-запад и на юг, поворачивает здесь к западу, в сторону острова Бас-арал, и вливается вновь в ток воды, идущий от устья р. Или вдоль западного побережья озера. Площадь распространения осадков с повышенным содержанием алевроитового материала лежит как раз в той части плеса, где против острова Бас-арал восточная часть течения отходит от берега. Это позволяет считать, что обогащение осадков алевроитовой фракцией обусловлено в данном месте движением воды, вызванным течением.

Если в заключение попытаться сопоставить полученные данные по распространению алевроитового материала с данными по распространению песчаного, то окажется, что оба они ведут себя при изменении глубины в основном совершенно одинаково. Действительно, как песчаная, так и алевроитовая фракции в наименьшем количестве встречаются в глубоких и открытых частях озера, где огромные площади покрыты осадками, содержащими не более 1% песчаного и 10% алевроитового материала, считая от веса нерастворимой части. Далее оказывается, что и алевроитовая и песчаная части обогащают осадки в более мелководной, прибрежной зоне бассейна, где содержание их возрастает до многих десятков процентов. Здесь начинаются различия, причем оказывается, что песчаный материал тяготеет преимущественно к северному берегу, тогда как алевроитовый обнаруживает совершенно отчетливую повышенную приуроченность к южному.

Точно так же отлично ведет себя этот материал на дне узких частей озера и проливов, где вследствие постоянного движения воды отлагается преимущественно песчаная фракция. Существенные отличия обнаружены также на приподнятых участках дна, где из-за взмучивания алевроитовая фракция скорее выносится, чем в соседних, более глубоких участках и, как следствие этого, песчаный материал постепенно начинает обогащать осадок.

Современные русловые и пойменные отложения рек, впадающих в оз. Балхаш, небогаты глинистым материалом, количество которого обычно не превышает в них 20—25% и только в отдельных случаях доходит до 50%, а иногда и более. Нередко в них содержится всего 3—4% глинистой фракции. Среднее содержание глинистой части для аллювиальных отложений р. Или составляет 25,5% и для р. Лепсы 10,5%.

В отличие от этого, осадки оз. Балхаш значительно богаче глинистым материалом, содержание которого здесь, как правило, не бывает ниже 5—6%; в среднем оно составляет 40—50%, а иногда доходит до 90—93% (от веса нерастворимого остатка). Можно предполагать, что причина этого заключается в том, что главная масса глинистого материала выносится рекой в виде взвеси непосредственно в бассейн, минуя пойменные и русловые отложения.

Распределение глинистого материала на площади дна бассейна отчетливо видно на карте фиг. 40, построенной по тому же принципу, что и карты распределения песчаной и алевроитовой частей осадка.

Глинистый материал в наибольшей степени обогащает осадки глубоких и открытых частей озера, где в соответствии с этим содержание его достигает 70% и более. Такие площади выделяются в центральных частях всех плесов озера и наибольшей величины достигают в Западном плесе, особенно в его южной части. Здесь, начиная от широты острова Бас-арал и на север до полуострова Тас-арал, расположена обширная область распространения богатых глинистым материалом осадков. Она отчетливо приурочена к наиболее глубокой части плеса, смещенной в сторону западного берега.

Точно такая же картина наблюдается в северной части Западного плеса, в районе бухты Бертис, а также в Лепсинском плесе. Здесь повсюду область распространения осадков, богатых глинистым материалом, приуроченная к наиболее глубоким частям, отчетливо смещена в сторону северного берега, сложенного коренными породами. Интересно отметить, что во всех плесах осадки наиболее глубоких частей содержат примерно одинаковое количество глинистой фракции, доходящее до 80—90%, а в западном плесе даже до 95%.

Донные отложения с наибольшим количеством глинистого материала большей частью характеризуются наименьшей величиной среднего диаметра зерен терригенной части (см. на карте фиг. 41 область, оконтуренную изолинией 0,01 мм). Это совпадение становится особенно наглядным при сравнении карт фиг. 40 и 41.

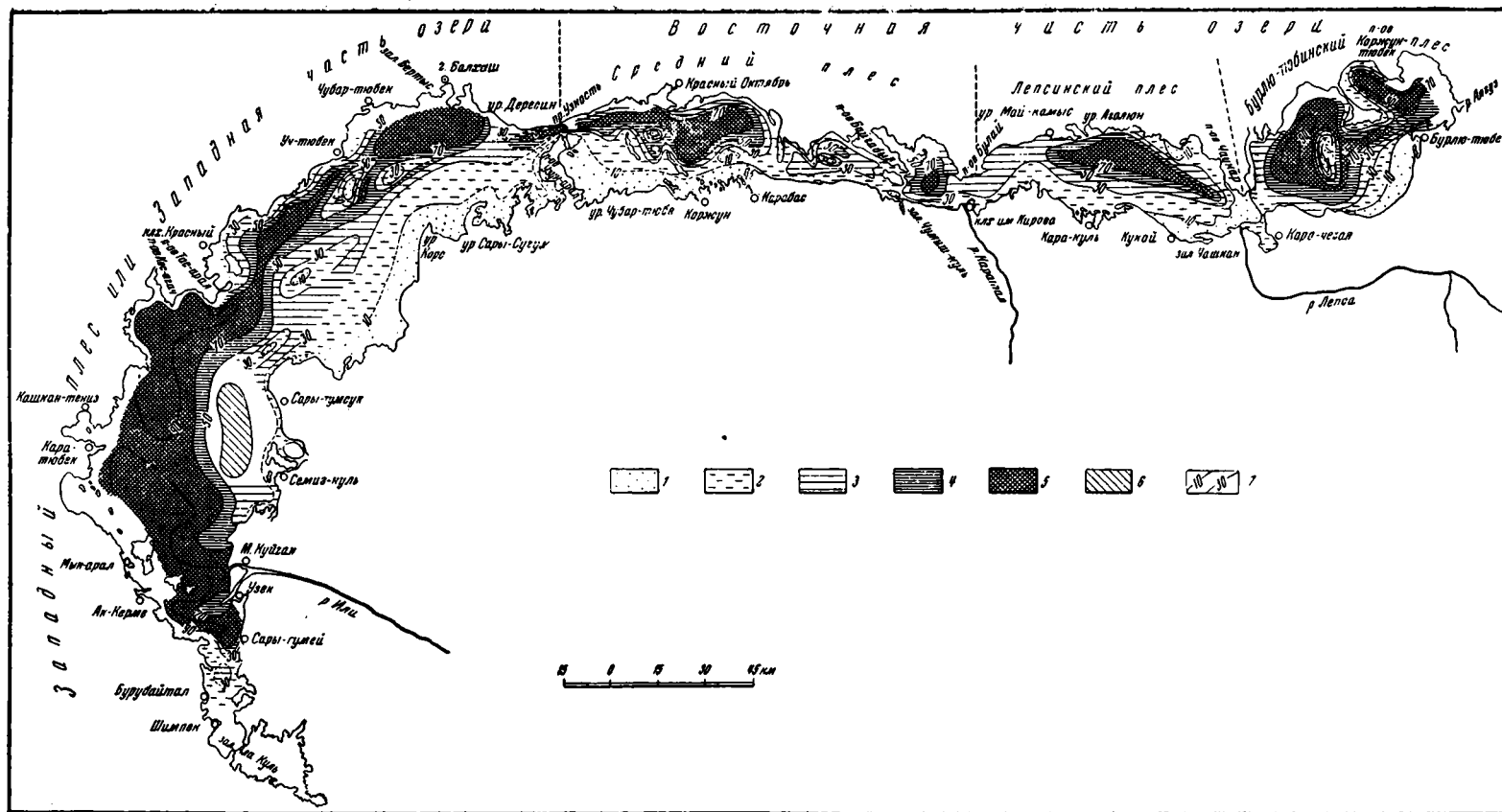
По направлению к берегу озера наблюдается постепенное уменьшение содержания глинистой фракции в осадке; в прибрежной зоне количество ее снижается до 10—12%, а в отдельных случаях и до 5%. При этом важно отметить, что в осадках, развитых близ восточного и южного берегов, количество глинистой фракции, как правило, меньше, чем в осадках, развитых вдоль северного и западного берегов. Так, по линии пересечения озера, севернее устья р. Или, в зоне, примыкающей к восточному берегу, осадки содержат на отдельных станциях 34 и 56% глинистого материала, в то время как у западного берега это количество составляет 77—86%.

То же наблюдается при прослеживании изменения глинистого материала в осадках по пересечению—урочище Корс — гора Таргыл, а также в других местах.

Наряду с закономерным уменьшением содержания глинистого материала от центральных частей больших плесов к берегам их, наблюдается снижение содержания глинистого материала в осадках, развитых на дне узких частей бассейна и в проливах, разделяющих отдельные плесы. Здесь количество глинистой фракции сокращается до 20%, а в отдельных случаях (пролив к югу от полуострова Чаукар) опускается до 10% и менее.

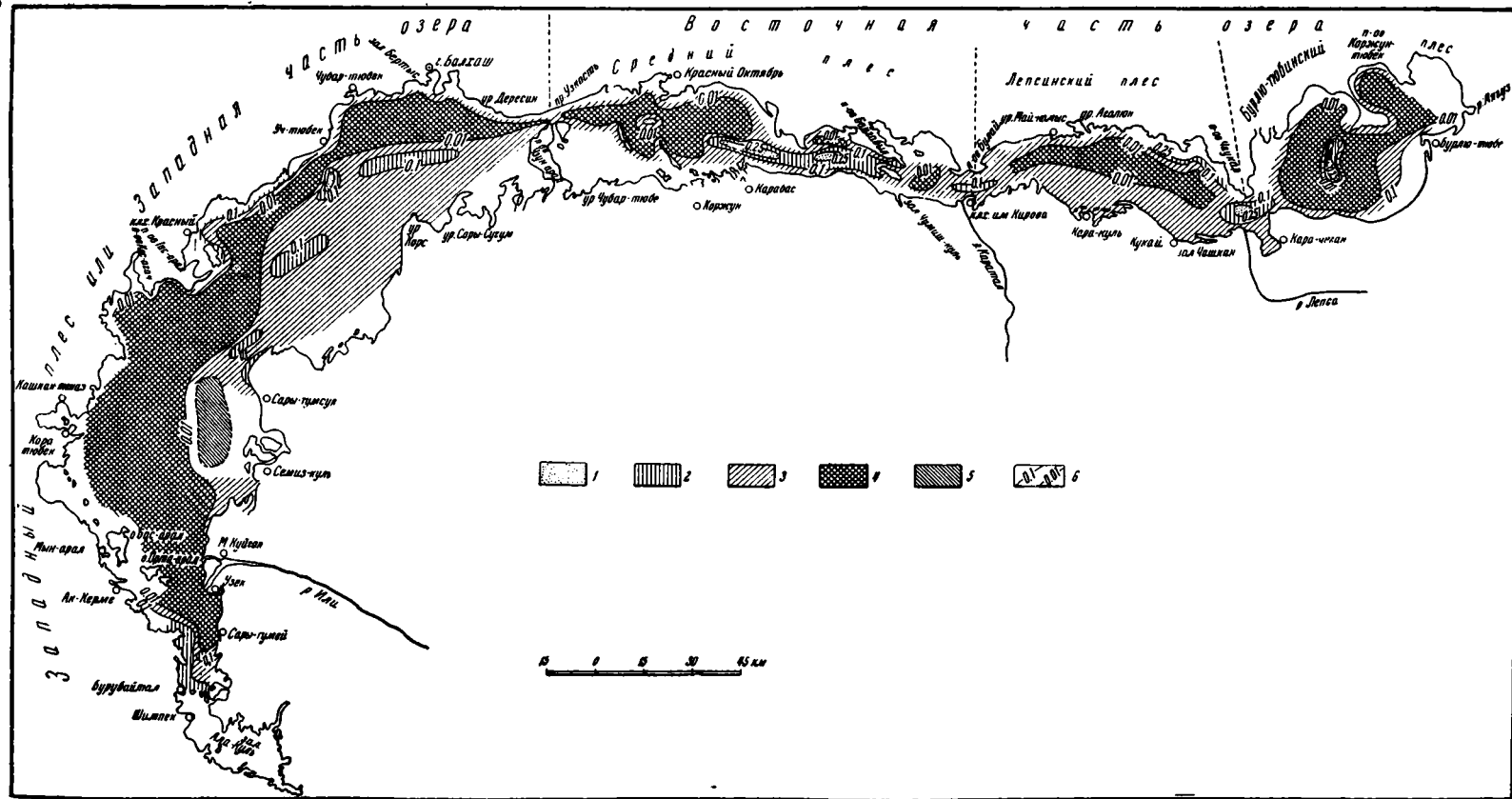
Малые количества глинистого материала наблюдаются также в пределах участков распространения илистого песка в северной части Западного плеса. Во всех этих случаях незначительное количество глинистой фракции содержится в донных отложениях, расположенных на небольшой глубине в пределах поднятий, имеющих на дне центральных частей плеса. Следует напомнить, что именно здесь отмечены также малые содержания алевроитового материала в осадке. Можно полагать, что донные отложения в районе упомянутых участков обогащены песчаным материалом вследствие приноса его течениями и вымывания глинистой и алевроитовой частей осадка.

В районе устьев рек, впадающих в озеро, донные отложения заметно обеднены глинистым материалом. Это видно по изгибанию линий равных



Фиг. 40. Распределение глинистого материала в осадках оз. Балхаш.

Содержание частиц размером меньше 0,01 мм в процентах от нерастворимого остатка: 1 — меньше 10; 2—10—30; 3—30—50; 4—50—70; 5 — больше 70; 6 — песчаная отмель, намытая в районе с. Сары-тумеук; 7 — линии равных содержаний.



Фиг. 41. Изменение величины среднего диаметра зерен обломочного материала в осадках оз. Балхаш.
 Средний диаметр (в мм): 1 — более 0,25; 2—0,25—0,1; 3—0,1—0,01; 4 — меньше 0,01; 5 — песчаная отмель, намытая в районе с. Сары-тумсу; 6 — линии равных значений среднего диаметра.

содержаний глинистого материала в районе устья р. Или, где осадки, богатые глинистым материалом, далеко отступают в глубь озера. Отсюда можно заключить, что в приустьевой части р. Или, как правило, отлагается преимущественно алевритовый материал, в то время как глинистый выносится несколько дальше.

Общая характеристика обломочного материала

Подавляющая часть обломочного материала, переносимого реками, впадающими в оз. Балхаш, и отлагаемого ими в составе аллювиальных образований, сложена из частиц, диаметр которых не превышает 0,5 мм. Роль крупных фракций, составляющих не более 1—2% от веса терригенной части осадков, ничтожна. Средний же диаметр частиц, слагающих современные отложения рек Или и Лепсы, изменяется в пределах от 0,02 до 0,16 мм и ни в одном случае не превышает последнюю величину.

В составе терригенной части осадков оз. Балхаш главное значение имеет мелкозернистый материал. Однако наряду с этим выделяются небольшие участки дна, где заметную роль играют крупный песок, гравий, щебенка и галечник.

Значения среднего диаметра для разных типов осадков оз. Балхаш были даны выше (гл. 3). Это позволяет перейти непосредственно к рассмотрению изменений величины среднего диаметра зерен обломочного материала в осадках в разных частях бассейна. Для выяснения этого вопроса составлена карта изменений величины среднего диаметра зерен терригенной части осадков (см. фиг. 41). На карту нанесены материалы по всем станциям, для которых удалось вычислить величину среднего диаметра. Кроме того, на ней проведены линии равных величин среднего диаметра, благодаря чему выделились области, отличающиеся друг от друга различной величиной среднего диаметра зерен терригенной части осадка. Всего выделилось четыре области распространения осадков, содержащих терригенную часть со средним диаметром зерен менее 0,01 мм, от 0,01 до 0,1 мм, от 0,1 до 0,25 мм и более 0,25 мм.

При рассмотрении карты видно, что осадки с наименьшим средним диаметром (не превышающим 0,01 мм) занимают центральные и наиболее глубокие части плесов. Это особенно хорошо прослеживается в Бурлютюбинском плесе, где вся наиболее глубокая центральная часть сложена именно такими осадками. Подобная картина наблюдается также в плесе, лежащем к востоку от полуострова Узун-арал, и в небольшом плесе, расположенном между островом Алгазы и устьем р. Каратал.

В Лепсинском районе область развития осадков с зернами наименьшего диаметра заметно смещена к северному берегу, следуя и здесь за наибольшими глубинами, которые также не занимают центрального положения, а лежат в северной части плеса.

В наибольшем, Западном плесе картина несколько иная. Здесь в южной части, начиная от устья р. Или и вплоть до полуострова Тас-арал, протягивается обширная область, сложенная осадками, зерна терригенной части которых обладают средним диаметром менее 0,01 мм. Эта область захватывает всю южную часть Западного плеса, причем осадки со средним диаметром менее 0,01 мм начинаются непосредственно от восточного берега и прослеживаются непрерывно через все озеро до западного берега, у которого значения среднего диаметра остаются теми же.

В отличие от указанного, в северной части Западного плеса осадки, сложенные наиболее тонкозернистым материалом, отчетливо смещаются к западному и северному берегам, причем наибольшую площадь они слагают в районе бухты Бертыс.

Начиная от упомянутых центральных и наиболее глубоких частей плесов, в пределах которых развиты глинистые осадки, величина зерен обломочного материала постепенно увеличивается и наибольших значений достигает у берегов. Тем не менее в прибрежной части средний диаметр зерен, как правило, не превышает 0,1 мм, и только в отдельных случаях превосходит этот размер на совершенно ничтожную величину.

Области распространения осадков с наименьшим средним диаметром зерен почти точно совпадают с областями наибольших глубин, и с уменьшением глубин начинается постепенный рост среднего диаметра зерен терригенного материала, входящего в состав донных отложений. Следовательно, средний диаметр зерен терригенного материала в условиях больших и открытых частей водоема является в значительной степени функцией глубины, на которой накапливается осадок. В связи с этим следует отметить, что упоминавшиеся ранее участки, расположенные в северной части западного плеса и отличающиеся большим содержанием крупнозернистого материала в осадках и большим средним диаметром, также приурочены к зонам несколько меньших глубин.

При рассмотрении карты, кроме того, видно, что наибольшая величина среднего диаметра зерен свойственна осадкам, развитым в проливах, соединяющих между собой плесы озера, или в других узких частях водоема. В самом деле, величина среднего диаметра зерен в проливе, соединяющем Бурлю-тюбинский и Лепсинский плесы, достигает 0,25 мм, в проливе к западу от Лепсинского плеса — 0,23 мм, к северу от острова Алгазы — 0,25 мм. В пределах узкой части среднего плеса средний диаметр зерен вдали от берегов не бывает ниже 0,1 мм, а во многих местах возрастает до 0,25 мм и более. Большого интереса заслуживает тот факт, что в краевой части этой области ближе к ее северному и южному берегам средний диаметр зерен равен 0,1 мм и менее.

Такую особенность в распределении величины среднего диаметра зерен в суженных частях озера следует поставить в связь с течениями, которые постоянно проносят здесь огромные массы воды и обуславливают заметное движение ее в этих частях бассейна. В результате движения водных масс тонкий материал не выпадает из воды на дно и не переходит здесь в осадок.

Можно думать, что течениями, выходящими из проливов, обусловлены повышенные значения среднего диаметра в осадках, приуроченных к узкой части Среднего плеса (см. карту, фиг. 44). В северной части Западного плеса, в его середине также располагается узкая полоса осадков, отличающихся повышенными значениями среднего диаметра зерен. Наличие указанной полосы в этой части озера можно объяснить наложением на постоянное круговое течение, идущее здесь с северо-востока на юго-запад, временных течений, выходящих через пролив из Среднего плеса. Как раз в этом районе водные массы, переносимые обоими течениями, перемешиваются, причем скорость их возрастает, что препятствует выпадению на дно тонкого глинистого и алевритового материала.

Минеральные зерна, поступающие в оз. Балхаш, проходят длинный путь в реках, где они, частью перекатываясь по дну, частью во взвешенном состоянии, переносятся из различных частей водосборного бассейна.

Степень окатанности зерен, входящих в состав аллювиальных отложений, в районе нижнего течения рек может быть охарактеризована следующим образом. Зерна величиной более 0,01 мм, как правило, в той или иной степени окатаны, тогда как на частицах пелитового материала имеются только следы обработки — они окатаны весьма слабо и представлены преимущественно угловатыми зернышками. При этом песчаным зернам свойственна преимущественно полуокатанная форма, наряду с

которой встречаются также окатанные и угловатые песчинки. Последние преобладают среди мелкой фракции песчаного материала. Алевритовый же материал слагается в главной части полуугловатыми зернами, к которым примешиваются угловатые и полуокатанные частицы.

Такая степень окатанности свойственна зернам обломочного материала, слагающего аллювиальные отложения в низовьях р. Или. Для других рек бассейна меньшей длины, зерна обломочного материала характеризуются меньшей степенью окатанности. Это особенно хорошо видно при сравнении современных русловых отложений рек Или и Лепсы. По мере движения к верховьям рек окатанность обломочного материала резко снижается.

Степень окатанности обломочного материала, входящего в состав донных отложений оз. Балхаш, весьма различна: здесь встречаются все переходы — от окатанных зерен до угловатых частиц, совершенно не затронутых обработкой. Глинистые частицы ничем не отличаются по степени окатанности от материала глинистой фракции из современного аллювия р. Или, поэтому мы не будем задерживаться здесь на характеристике их. Зерна алевритового и особенно песчаного материала окатаны несколько лучше, чем в аллювиальных отложениях нижнего течения р. Или. Тем не менее песчаный материал в составе донных отложений озера характеризуется разной степенью окатанности для разных частей водоема. Так, песчаные зерна, встречающиеся в небольшом проценте в составе илов и песчаных илов, обычно почти не отличаются по степени обработки от аллювиальных отложений. В них главную роль играют полуугловатые и, особенно, полуокатанные песчинки. В северной прибрежной зоне степень окатанности песчаного материала несколько снижается. Если же обратиться к рассмотрению песчаной фракции осадков, развитых на дне проливов, соединяющих отдельные плесы, то окажется, что в состав ее здесь входят хорошо обработанные зерна, форма которых может быть охарактеризована как окатанная и частью полуокатанная.

Интересно отметить, что и более крупный обломочный материал, встреченный на дне проливов, несет в себе ясные следы воздействия движущихся водных масс. Алевритовый материал в своей крупной фракции близок к пескам и относительно хорошо окатан. Алевриты же мелкой фракции приближаются к глинистому материалу, и зерна их практически остаются такими же, как в составе аллювиальных отложений р. Или.

Таким образом, процесс седиментации в озере налагает заметный отпечаток только на степень окатанности относительно крупных зерен, почти не затрагивая более мелкие зерна.

В настоящее время разработан метод получения объективного показателя степени сортировки обломочного материала — так называемого коэффициента сортировки (S_0). Этот коэффициент был вычислен во всех возможных случаях для образцов донных отложений оз. Балхаш. Полученный цифровой материал, приведенный в табл. 44, характеризует степень сортировки крупнозернистых разностей осадка, преимущественно илистых песков и песчаных илов. Это обусловлено тем, что глинистая часть илов, слагающая их на 50% и более, при производстве анализа по методу Осборна осталась не разделенной на фракции.

Переходя к рассмотрению цифрового материала, приведенного в табл. 44, легко заметить, что подавляющая масса илистых песков и песчаных илов оз. Балхаш слагается хорошо отсортированным материалом¹, коэффициент S_0 которого только в пяти образцах превышает 2,5

¹ Мы принимаем здесь, что хорошо отсортированный материал обладает коэффициентом сортировки, не превышающим 2,5.

Коэффициент сортировки осадков оз. Балхаш

№ анализа	Характер осадка	Коэффициент сортировки	№ анализа	Характер осадка	Коэффициент сортировки
1	Илистый песок	1,9	15	Илистый песок	2,2
2		1,9	16		1,5
3		1,1	17		2,5
4		1,4	18		3,2
5		1,2	19		2,8
6		1,5	20		3,0
7		1,8	21		3,1
8		1,3			
9		1,8	22	Песчаный ил	1,8
10		1,2	23		2,5
11		1,2	24		1,6
12		1,2	25		1,3
13		2,2	26		1,4
14		1,3	27		3,0

(образцы 18—21 и 27). Иногда донные осадки слагаются очень хорошо отсортированным материалом, причем коэффициент S_0 в этих случаях близок к единице и составляет всего 1,1—1,3.

Интересно отметить, что хуже всего отсортированы мелкозернистые разности илистых песков, взятые близ южного берега Восточного плеса озера. Возможно, что малую степень сортировки осадков в этом районе надо рассматривать как результат поступления эолового материала с берегов.

Обращает внимание относительно слабая степень сортировки обломочного материала в крупнозернистом осадке северной части Западного плеса (коэффициент $S_0 = 2,2$). Там господствуют особые условия седиментации, о чем подробнее сказано ниже.

В заключение отметим, что степень сортировки современного аллювия притоков и осадков оз. Балхаш сходна.

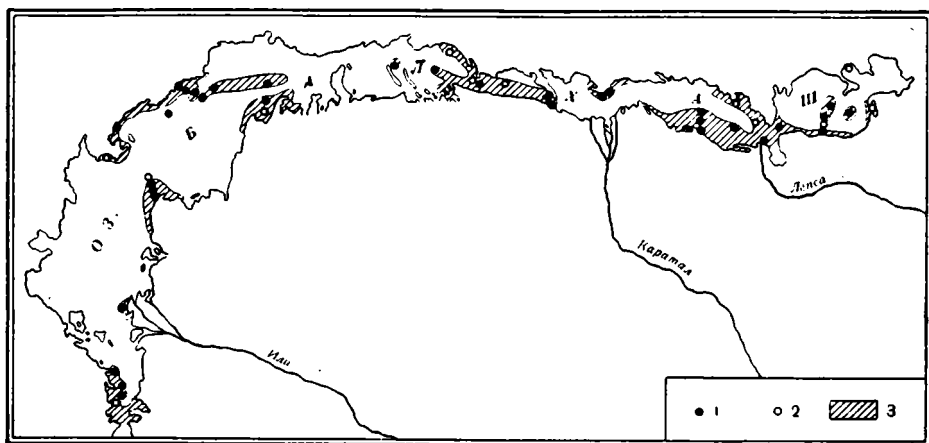
Принято считать, что различные количественные соотношения фракций терригенной части могут быть использованы при выяснении генезиса осадков. Если указанные количества изобразить графически, то получится кривая, характеризующая соотношения между отдельными фракциями осадка. Эта кривая названа Н. М. Страховым, терминологии которого мы придерживаемся, гранулометрическим профилем осадка.

Характер кривой (гранулометрического профиля) и, в частности, наличие на ней вершин, соответствующих двум фракциям, содержащимся в осадке в максимальных количествах, различными авторами истолковывается по-разному. По мнению М. В. Кленовой (1947), такие двухвершинные кривые свидетельствуют о процессе размывания, идущем на дне водоема. Н. М. Страхов, напротив, ставит их в связь с поступлением различного материала в водоем.

Рассмотрение данных механического анализа осадков оз. Балхаш показывает, что из общего числа 105 станций, для которых имеется аналитический материал, осадки с 60 станций (57%) характеризуются одновершинным гранулометрическим профилем. В то же время донные отложения с 45 станций (43%) обладают двухвершинным профилем. У осадков с 34 станций (32,5%) эта особенность достаточно резко выражена, в то время как в других 11 случаях она едва намечается и обусловлена

лишь незначительными изменениями содержания фракций, выражающимися в единицах процентов.

Из общего числа 60 образцов донных отложений, для которых установлен одновершинный гранулометрический профиль, 44 образца (74%) приходятся на долю илов, девять образцов (15%) — на долю илистых песков и семь образцов (11%) составляют песчаные илы. Из 34 образцов, гранулометрический профиль которых обладает двумя явными максимумами, 14 образцов (41%) составляют илистые пески и 12 образцов (35%) — песчаные илы, тогда как илы представлены в этой группе лишь восемью образцами, что составляет 24%.



Фиг. 42. Схематическая карта распространения осадков с двухвершинным гранулометрическим профилем:

1 — осадки с резко выраженным двухвершинным профилем; 2 — осадки со слабо выраженным двухвершинным профилем; 3 — зоны распространения осадков с двухвершинным профилем.

Эти величины оправдывают вывод, что главная масса современных отложений, характеризующаяся нормальным профилем, приходится на долю илов и, наоборот, что илистый песок представляет собой такой осадок, для которого характерен двухвершинный гранулометрический профиль.

Для того, чтобы проследить на площади озера, как размещаются в пространстве осадки, обладающие двухвершинным профилем, на карту оз. Балхаш нанесены все те станции, для которых это свойство осадка проявляется в любой, хотя бы малой степени. Кроме того, была сделана попытка выделить на карте зоны, сложенные осадками этого типа. Из рассмотрения этой карты (фиг. 42) легко убедиться в том, что донные отложения, развитые на большей части площади водоема, обладают одновершинным профилем. Площадь распространения этих осадков совпадает в основном с областями развития донных отложений, наиболее богатых глинистым материалом и отличающихся наименьшим значением среднего диаметра. Это сразу же бросается в глаза при сравнении карты фиг. 42 с картами фиг. 40 и 41.

Далее можно заметить, что материал, взятый в районе устьевых частей рек Или, Каратала и Лепсы, характеризуется одновершинным гранулометрическим профилем. Надо отметить, что это качество свойственно почти всем аллювиальным отложениям Прибалхашья. Поэтому имеются все основания ожидать, что озерные осадки, расположенные в приустьевой зоне и находящиеся под непосредственным воздействием речного выноса, также будут иметь одновершинный гранулометрический профиль.

С другой стороны, в пределах оз. Балхаш выделяется ряд зон, где преобладают осадки с двухвершинным гранулометрическим профилем. Эти зоны размещаются в прибрежной полосе, чаще всего вдоль южного берега. Одна из таких зон расположена в южной части Лепсинского плеса, другая — в Западном плесе против города Балхаш, в полосе, тянотеющей к южному берегу.

В пределах узкостей и проливов также преобладают осадки этого типа. Например, в узкой части Среднего плеса, начиная от острова Алгазы на востоке, выделяется полоса подобных осадков.

Осадки описываемого типа встречаются и в других частях водоема, как правило, там, где в области развития одних отложений появляются осадки, отличающиеся своим составом (как, например, в северной части Западного плеса).

Широкое распространение осадков, обладающих двухвершинным гранулометрическим профилем, наряду с размещением их в различных частях водоема (в прибрежной зоне, в проливах и в средней части плесов), позволяет считать, что это свойство донных отложений может быть вызвано различными причинами. В южной прибрежной зоне наличие двухвершинного гранулометрического профиля обусловлено, вероятно, приносом эолового материала, накладывающимся на процесс озерной аккумуляции. В районах, примыкающих к северному берегу и острову Кашкан-тюбек, а также в проливах это обусловлено другими особенностями седиментации, на рассмотрении которых мы подробно остановимся в дальнейшем.

Распределение минералов тяжелой фракции в осадках оз. Балхаш и некоторых других отложениях Прибалхашья

Изучение минералогического состава современных отложений оз. Балхаш представляет значительный интерес, поскольку качественный состав минералов позволяет сделать выводы об источниках питания, а закономерности распределения минералов дают дополнительный материал для характеристики происходящих в бассейне процессов отложения осадков. В связи с этим было предпринято изучение минералов тяжелой фракции различных типов донных отложений. Образцы были взяты из проб, принесенных дночерпателем с 43 станций, разбросанных по всей площади бассейна. Кроме того, для сравнения был использован материал по минералогическому составу русловых отложений рек Или и Лепсы, а также пойменных отложений р. Или и бугристых песков юго-восточного Прибалхашья.

Расположение станций и отдельных точек, из которых были взяты материалы для этой части работы, показано на карте фиг. 29.

При проведении анализа за исходный материал бралась фракция осадков от 0,25 до 0,01 мм, которая делилась тяжелой жидкостью (бромформ, уд. вес 2,9) на тяжелую и легкую фракции.

Выход минералов тяжелой фракции для осадков различного типа обычно колеблется в широких пределах: от 1 до 5% для аллювиальных отложений и от 4 до 17% для озерных осадков. В одном из образцов последних содержание минералов тяжелой фракции доходит до 37%. Такое значительное изменение процентного содержания тяжелой фракции в озерных отложениях, как и общее возрастание веса ее, происходит главным образом вследствие наличия рудных минералов (особенно пирита), присутствующих здесь в относительно большом количестве.

Состав легкой фракции подробно не изучался. Беглый просмотр показал, что в нее входят преимущественно кварц, ортоклаз, микроклин,

плагиоклаз, мелкие обломки различных пород, а также разложенные минералы, распознать которые не представилось возможным.

В озерных отложениях в состав легкой фракции входят еще опал и скелетные частицы кремнистых организмов. Помимо этого, в легкой фракции встречаются таблички слюды, всплывающие в тяжелой жидкости.

Минералы тяжелой фракции были подвергнуты подробному анализу, который проводили сотрудники Института геологических наук Н. Д. Покровская и Л. В. Токарев. Результаты этого анализа были приведены при описании типов осадков (глава 3).

Данные, характеризующие средний количественно-минералогический состав всех изучаемых образований, приведены ниже. Некоторый дополнительный материал, используемый нами при проводимых сопоставлениях, почерпнут из работы Э. С. Залманзон.

Сравнивая качественный состав минералов тяжелой фракции различных типов осадков оз. Балхаш между собой и с составом минералов тяжелой фракции других отложений Прибалхашья (аллювиальные отложения и бугристые пески), можно заметить их чрезвычайное сходство.

В составе тяжелой фракции каждого типа этих образований присутствует, в сущности, один и тот же комплекс минералов, который представлен: рудными минералами, роговой обманкой, пироксенами, глаукофаном, актинолитом, слюдами (биотит, мусковит и некоторые другие), минералами группы эпидота, хлоритом, минералами из группы граната, турмалином, титанитом и другими устойчивыми минералами. Кроме того, в малых количествах, в единичных зернах и далеко не во всех исследованных образцах того или иного типа, встречаются такие минералы, как рутил, апатит, силлиманит, андалузит и некоторые другие.

В состав группы рудных минералов входят: пирит-марказит, магнетит, бурые окислы железа, ильменит и лейкоксен. Первый из этих минералов резко преобладает над всеми другими в составе озерных отложений и отсутствует в аллювиальных и эоловых образованиях.

Из других рудных минералов наибольшая роль приходится на долю магнетита и бурых окислов железа. Ильменит и лейкоксен обычно содержатся в подчиненных количествах. Из пироксенов встречаются преимущественно моноклинные разновидности; значительно реже можно наблюдать ромбические пироксены. Минералы группы граната представлены преимущественно альмандином, реже встречаютсяgrossуляр и уваровит. Наконец, в группу эпидота входит сам эпидот, а также цоизит и клиноцоизит.

Согласно Л. В. Пустовалову (1940), приведенный выше перечень минералов указывает на то, что современные отложения Прибалхашья возникли в результате накопления обломочного материала, образовавшегося при разрушении пород различного состава. Здесь присутствуют такие минералы, как сфен и апатит, которые переходят в осадок при разрушении изверженных пород кислого и среднего состава. Наряду с этим, наличие значительных количеств эпидота, граната, слюды и хлорита свидетельствует о том, что в формировании описываемых осадков существенная роль принадлежит материалу, образующемуся при разрушении метаморфических горных пород. Присутствие в тяжелой фракции описываемых отложений таких минералов, как анатаз, ильменит и лейкоксен, может служить указанием на то, что в бассейне Балхаша и питающих его рек размываются основные и ультраосновные породы.

Особого внимания заслуживает тот факт, что качественный состав минералов тяжелой фракции из аллювиальных отложений р. Лепсы, стекающей с северного склона хребта Джунгарский Алатау, и р. Или, в бассейн которой входят ряд хребтов Северного Тянь-Шаня и южный

склон Джунгарского Алатау, практически один и тот же. В связи с этим можно предполагать, что обломочный материал, поступающий из различных частей активного водосборного бассейна, обнимающего палеозойскую складчатую область Джунгарского Алатау и Северного Тянь-Шаня, образуется вследствие разрушения самых различных развитых здесь пород. Получающийся при этом обломочный материал обладает различным составом для каждой отдельной точки, взятой в пределах бассейна. Однако он постоянно перемешивается речными водами и, по мере движения вниз по реке, приобретает все более и более однородный характер. Этим можно объяснить значительное сходство минералогического состава аллювиальных отложений различных рек Прибалхашья. В этом же кроется и основная причина постоянства минералогического состава озерных, аллювиальных и эоловых отложений Прибалхашья, развитых в различных районах этой огромной области, а также донных отложений озера, взятых со станций, отстоящих друг от друга на сотни километров.

В заключение качественной характеристики состава минералов тяжелой фракции можно сделать следующий основной вывод.

Современные отложения Прибалхашья, которые во всех своих фациях характеризуются одним, совершенно определенным минералогическим составом, не зависящим от характера осадков и выдерживающимся в пределах огромной территории, можно выделить в качестве особой терригенно-минералогической провинции, которую мы назовем Прибалхашской. В эту провинцию входят все современные осадки оз. Балхаш, а также аллювиальные отложения рек, впадающих в это озеро, и породы, слагающие бугристые пески Прибалхашья.

Из рассмотрения таблиц количественно-минералогического состава, приведенных в главе 3, ясно, что главнейшие минералы, характеризующие Прибалхашскую терригенно-минералогическую провинцию, входят в состав осадков всех станций, разбросанных более или менее равномерно по длине озера. Количественные же соотношения между отдельными минералами для осадков, взятых с разных станций, различны.

Имеющийся материал позволяет сделать попытку вскрыть существующие закономерности в распределении минералов тяжелой фракции. При этом мы будем оперировать средними содержаниями их в составе главнейших типов современных отложений.

Средние содержания, вычисленные для восьми главных минералов и минеральных групп, слагающих в основном тяжелую фракцию и встречающихся в осадках всех типов, приведены в табл. 45. Изменения, которым подвергается содержание отдельных минералов в составе различных типов современных отложений, хорошо видны на диаграмме фиг. 43.

Из табл. 45 следует, что хотя качественная характеристика минералов тяжелой фракции всех современных отложений Прибалхашья и одинакова, однако количественные соотношения их непостоянны. Прежде всего можно видеть, что озерные отложения отличаются от всех прочих типов современных образований значительным содержанием рудных минералов. Среднее содержание последних в составе тяжелой фракции озерных осадков колеблется от 34,3 до 56,6%, тогда как в аллювиальных и русловых отложениях оно примерно в 2—2,5 раза меньше и изменяется в пределах от 15,46 до 19,42%. Одно такое значительное различие в содержании рудных минералов приведет к тому, что озерные осадки будут отличаться от аллювиальных и эоловых образований несколько иным процентом остальных минералов тяжелой фракции даже в том случае, если абсолютные количества их будут одинаковы. Таким образом, присутствие в озерных отложениях большого количества рудных минералов затрудняет сопоставление количественного состава минералов тяжелой фракции осадков различного типа.

Среднее содержание главнейших минералов (в %) в составе тяжелой фракции осадков разного типа

Наименование	Рудные минералы	Роговая обманка	Глаукофан	Минералы группы граната	Титанит	Другие устойчивые минералы	Минералы группы эпидота	Хлорит
Бугристые пески	17,12	38,48	3,47	7,67	3,26	0,45	20,16	6,82
Пойменные отложения р. Или	19,42	33,70	1,78	9,80	2,40	0,53	19,01	9,34
Русловые отложения р. Или	15,46	35,61	2,95	6,20	2,58	0,73	17,98	13,60
Русловые отложения р. Лепсы	15,26	43,03	2,50	4,33	2,33	0,60	16,70	8,73
Среднее для аллювиальных отложений	16,71	37,44	2,41	6,77	2,44	0,62	17,89	10,55
Илистые пески оз. Балхаш	34,30	30,60	1,30	7,60	3,00	4,00	16,6	1,00
Песчаные илы оз. Балхаш	44,90	24,40	0,63	9,90	4,10	7,70	7,20	×
Серый ил оз. Балхаш	53,30	23,60	1,20	3,61	2,60	2,60	9,70	1,20
Белый ил оз. Балхаш	56,60	23,80	×	8,00	2,00	5,40	3,70	×
Среднее для осадков оз. Балхаш	47,27	25,60	0,78	7,28	2,92	4,92	9,30	0,58

* × — единичные зерна.

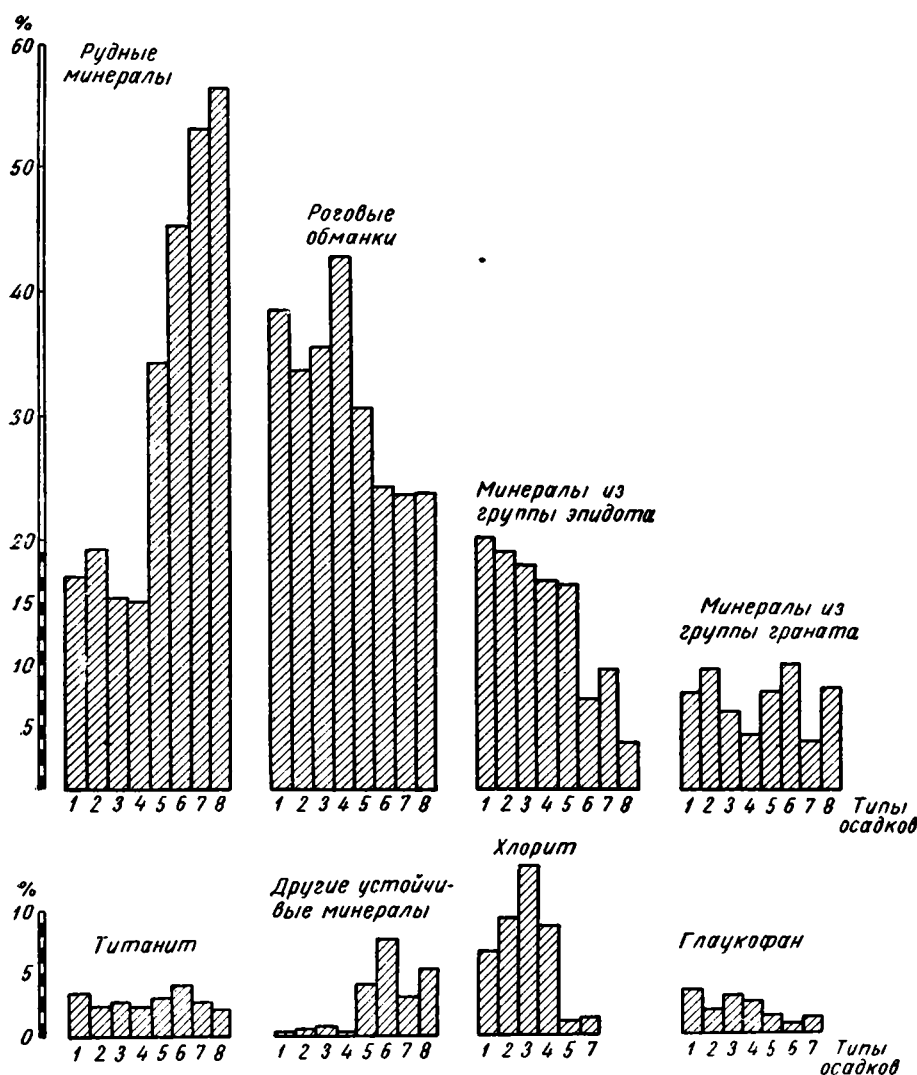
В связи с этим можно полагать, что снижение среднего содержания роговых обманок в донных отложениях Балхаша до 25,6%, по сравнению с 37,4% в аллювиальных и эоловых отложениях, обусловлено в основном увеличением роли рудных минералов в составе тяжелой фракции. В этом же отчасти заключается и причина снижения количества минералов из группы эпидота в озерных осадках до 9,3%, в то время как в аллювиальных отложениях они содержатся в количестве 17,89%, а в эоловых достигают 20,16%.

Наряду с этим глаукофан и особенно хлорит в озерных отложениях настолько значительно сокращаются, по сравнению с аллювиальными, что это сокращение не может быть обусловлено возросшей ролью рудных минералов и вызывается какими-то другими причинами. В самом деле, глаукофан содержится в озерных отложениях в количестве 0,78%, а в аллювиальных достигает 2,4%, что свидетельствует о снижении содержания его более чем в 3 раза. Еще больше уменьшается содержание хлорита в озерных отложениях, где оно составляет 0,58% против 10,55% в аллювиальных, что соответствует уменьшению содержания в 18 раз.

С другой стороны, минералы из группы граната и титанит сохраняют в озерных отложениях примерно то же процентное содержание, что в аллювиальных и эоловых образованиях. Отсюда можно заключить, что в абсолютном выражении они несколько обогащаются в осадках оз. Балхаш, поскольку значительно возросшая роль рудных минералов не приводит к сколько-нибудь заметному снижению их. Наконец, следует обратить особое внимание на группу других устойчивых минералов, которая выделяется из всех остальных минералов тяжелой фракции

тем, что количество ее в озерных отложениях достигает 4,92%, что почти в восемь раз превышает содержание в аллювиальных отложениях (0,62%) и в 11 раз — в эоловых песках.

Подводя итог сказанному, можно заключить, что озерные отложения, помимо обогащения рудными минералами, обусловленного появлением



Фиг. 43. Изменение содержания минералов тяжелой фракции в составе современных отложений Прибалхашья:

1 — бугристые пески; 2 — пойменные отложения р. Или; 3 — русловые отложения р. Или; 4 — русловые отложения р. Лепсы; 5 — илистый песок; 6 — песчаный ил; 7 — известковый (серый) ил; 8 — известково-доломитовый (белый) ил.

аутигенного пирита, также несколько обогащены минералами группы граната и титанитом и отличаются резко возросшим количеством других устойчивых минералов.

Из рассмотрения табл. 45 и диаграммы (фиг. 43) видно, что в осадках оз. Балхаш количественный состав минералов несколько различен,

причем каких-либо закономерных изменений при сравнении между собой преимущественно прибрежных осадков — илистых песков и песчаных илов, с одной стороны, с осадками открытой части озера — илами, с другой, подметить не удастся. Наряду с этим отчетливо видно, что серые илы, развитые в Западном плесе озера близ устья р. Или, отличаются большим количеством минералов, чем белые илы, развитые в крайней восточной части водоема. Последние включают только единичные зерна хлорита и глаукофана, в то время как оба эти минерала содержатся в серых илах в количестве 1,2% от веса тяжелой фракции. Значительно больше в серых илах минералов из группы эпидота — 9,7%, тогда как в белых илах это количество достигает всего 3,7%.

С другой стороны, минералы из группы граната, а также группа других устойчивых минералов несколько обогащают белые илы. Количество первых растёт от серых илов к белым с 3,61 до 8,0% и вторых с 2,6 до 5,4%.

Для того, чтобы лучше проследить изменения количественного минералогического состава осадков оз. Балхаш и наметить выявляющиеся при этом закономерности, вся территория водоема разделена нами на пять районов, достаточно обособленных друг от друга, для которых вычислены средние содержания минералов тяжелой фракции в составе донных отложений. При этом в каждом районе взяты не все станции, а преимущественно те из них, которые относительно свободны от непосредственного влияния берега и материала, приносимого реками. Первый из выделенных районов включает южную часть Западного плеса между устьем р. Или и полуостровом Тас-арал; второй район захватывает северную часть Западного плеса: Средний плес выделяется в третий район; наконец, четвертый и пятый районы представляют собой, соответственно, Лепсинский и Бурлю-тюбинский плесы.

Средние содержания восьми главных минералов по всем этим районам приведены в табл. 46; на основании тех же данных построены графики фиг. 44 для шести минералов.

Таблица 46

Средние содержания (в %) главнейших минералов тяжелой фракции в осадках оз. Балхаш (по отдельным районам)

Р а й о н	Рудные минералы	Роговые обманки	Глаукофан	Минералы группы граната	Титанит	Другие устойчивые минералы	Минералы группы эпидота	Хлорит
I район — южная часть Западного плеса	58,2	19,5	1,9	4,7	2,5	1,3	9,2	1,8
II район — северная часть Западного плеса	35,7	31,3	2,4	5,3	1,8	0,6	13,4	1,6
III район — Средний плес	43,9	39,5	0,6	3,9	2,6	4,7	6,5	—
IV район — Лепсинский плес	41,4	27,6	0,4	9,2	2,2	7,1	11,0	0,7
V район — Бурлю-тюбинский плес	54,3	21,3	×*	9,7	2,1	8,0	3,8	×

*× — единичные зерна.

Сопоставляя между собой приведенные в табл. 46 величины, можно видеть, что содержание рудных минералов, наибольшее в крайних за-

падной и восточной частях озера (I и V районы), несколько спадает к средним частям водоема (районы II—IV). Соответственно с этим заметно изменяется содержание роговых обманок, количество которых, наоборот, больше всего в средних плесах (районы II—IV) и относительно меньше в краевых. Содержание всех остальных минералов, за исключением, пожалуй, минералов из группы эпидота, закономерно изменяется.

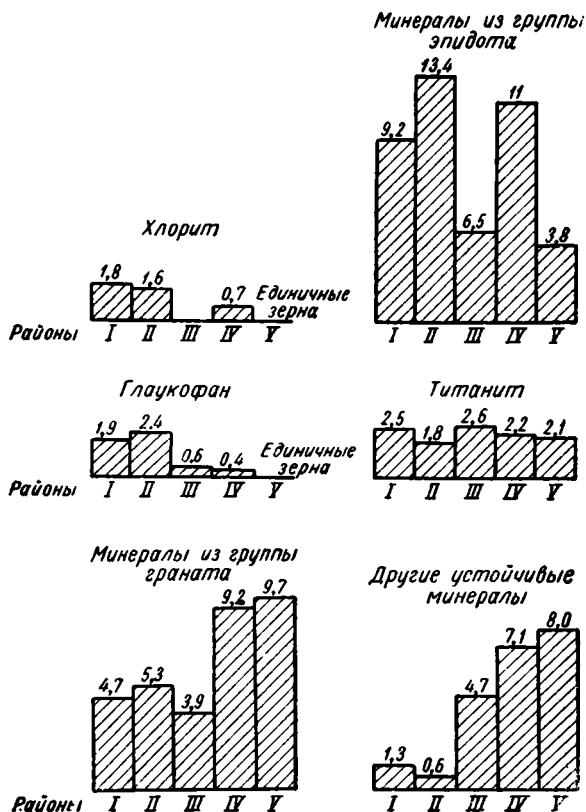
Прежде всего отметим, что содержание хлорита и глаукофана сокращается в пределах водоема от устья р. Или до Бурлю-тюбинского плеса с 1,8—1,9% до единичных зерен (см. фиг. 44). Совершенно по-другому ведут себя минералы из группы граната и группы других устойчивых минералов: количество последних возрастает на том же протяжении с 1,3 до 8%, а количество минералов из группы граната — с 4,7 до 9,7%.

Количество титанита, выраженное в процентах, существенно не изменяется.

Если сопоставить эти изменения с приведенным выше материалом, то получится весьма отчетливая картина некоторого минералогического отбора среди современных отложений Прибалхашья.

В самом деле, факт присутствия хлорита в аллювиальных отложениях и бугристых песках в большом количестве, чем в озерных отложениях, указывает на то, что этот мало устойчивый материал во время выноса из гор подвергался интенсивному механическому разрушению. В результате он в наибольшем количестве присутствует в аллювиальных отложениях и в материале, слагающем бугристые пески, и в наименьшем количестве — в осадках озера, далеко отстоящего от области сноса.

Те же рассуждения в значительной мере приложимы и к глаукофану. Правда, этот минерал встречается в аллювиальных отложениях в значительно меньшем количестве, чем хлорит. Однако содержание его при переходе от аллювиальных отложений к озерным все же сокращается в 3 раза. Повидимому, это обусловлено тем, что глаукофан значительно лучше противостоит агентам разрушения, чем хлориты. Сокращение содержания глаукофана и хлорита по мере удаления от источника питания продолжается и в пределах озера — с 1,8—1,9% в первом районе до единичных зерен в белых илах Бурлю-тюбинского плеса.



Фиг. 44. Содержание (в процентах) минералов тяжелой фракции в осадках различных частей оз. Балхаш.

Большой интерес представляет группа некоторых устойчивых минералов, содержание которых в озерных отложениях заметно больше (см. диаграмму, фиг. 43), чем в речных. Кроме того, количество их заметно растет в пределах оз. Балхаш и достигает максимальной величины в осадках Восточного плеса, наиболее удаленного от устья р. Или. Такое поведение указанных минералов объясняется их чрезвычайной устойчивостью. Вследствие этого они сохраняются до самой конечной точки отложения, обогащая осадок после того, как многие минералы уже разрушились.

Не исключено также, что некоторое количество видов из группы устойчивых минералов попадает в озерные отложения не только из водных артерий, но и вследствие разрушения кислых изверженных пород, развитых по побережью бассейна. В результате содержание группы устойчивых минералов в осадках восточной части Балхаша возрастает по сравнению с западной частью в 5—10 раз. Гранат ведет себя в отложениях Прибалхашья в общих чертах так же. Содержание его несколько больше в озерных отложениях, чем в аллювиальных и эоловых. Кроме того, отчетливо проявляется обогащение гранатом самих осадков озера по мере удаления от устья р. Или к восточному Бурлю-тюбинскому плесу (см. табл. 46). Другие минералы тяжелой фракции изменяются менее четко, поэтому нельзя наметить столь ясных закономерностей роста или снижения их содержания при переходе от одного типа современных отложений к другому. Это понятно, если учесть, что факт минералогического отбора материала наиболее отчетливо наблюдается на примере или самых устойчивых минералов, способных к заметному обогащению, или мало устойчивых, таких, как хлорит, которые быстро разрушаются, что и обуславливает заметное изменение их содержания.

До сих пор излагались данные, характеризующие минералогический состав фракций от 0,01 до 0,25 мм. Интересно сопоставить их с характеристикой тяжелых минералов субколлоидной фракции. Некоторый материал для этого имеется в работе Э. С. Залманзон, где приведены определения П. П. Авдусина.

Ниже мы воспроизводим, по Э. С. Залманзон, минералогический состав фракции удельного веса более 2,75 (табл. 47). Сравнивая данные, приведенные в этой таблице, с изложенными выше материалами (глава 3), нельзя не прийти к заключению, что качественный состав тяжелых минералов, выделенных из фракций 0,25—0,01 мм и 0,01—0,001 мм, почти одинаков. В самом деле, если отбросить карбонаты кальция и магния, а также слюды и минералы глин, оказавшиеся здесь в основном в результате разделения жидкостью малого удельного веса (2,75), то в списке минералов субколлоидной фракции окажутся излишними только глауконит, ферригаллуазит и феррибейделлит.

Так как изучение минералогического состава дало возможность выделить в юго-восточном Казахстане Прибалхашскую терригенно-минералогическую провинцию, отличающуюся определенным комплексом минералов, то интересно выяснить, чем отличается этот комплекс от минеральных ассоциаций более древних геологических отложений Прибалхашья.

Для выяснения этого вопроса Л. В. Токаревым были просмотрены тяжелые фракции двух образцов третичных глин. Один из этих образцов взят в районе г. Балхаш, другой — с острова Тас-арал, в южной части Западного плеса озера. Состав тяжелой фракции обоих образцов глин оказался близким и резко отличным от состава современных образований.

В третичных глинах подавляющая часть тяжелой фракции представлена бурыми окислами железа, на долю которых в одном образце при-

**Минералогический состав тяжелой фракции, выделенный из
субколлоидальной части (0,01—0,001 мм) осадков оз. Балхаш**

Западный плес		Бурлю-тюбинский плес
Южная часть, район устья р. Или*	Северная часть	
образец 1	образец 2	образец 3
<i>Преобладают:</i> Слюды зеленые и бесцветные Карбонаты кальция и магния <i>Находятся в значительных количествах:</i> Минералы группы эпидота и цоизита Амфиболы <i>Встречаются в единичных зернах:</i> Рутил Другие устойчивые минералы Пирит Рудные черные минералы Турмалин Бурые окислы железа Непрозрачные неопределимые минералы Феррибейделлит	<i>Преобладают:</i> Слюды зеленые и бесцветные Карбонаты кальция и магния <i>Находятся в значительных количествах:</i> Амфиболы Минералы группы эпидота и цоизита Рудные Непрозрачные бурые окислы железа <i>Встречаются в единичных зернах:</i> Апатит Пироксен Рутил Титанит Другие устойчивые минералы Анализ Глауконит	<i>Преобладают:</i> Слюды зеленые и бесцветные <i>Находятся в значительных количествах:</i> Амфиболы Минералы группы эпидота и цоизита Карбонат кальция и магния Минералы группы ферригаллуазита Рудные и нерудные непрозрачные зерна <i>Встречаются в единичных зернах:</i> Апатит Турмалин Титанит Другие устойчивые минералы

ходится 88,7%, а в другом 99,2%. В единичных зернах встречаются магнетит, лейкоксен, ильменит. В тяжелой фракции образца, содержащего 88,7% бурых окислов железа, содержится, кроме того, 2,5% роговой обманки, 2,2% минералов из группы эпидота, 0,7% хлорита, 1,6% граната, 1,8% турмалина и 2,5% других устойчивых минералов.

Как видим, качественный состав минералов тяжелой фракции третичных глин сходен с составом современных осадков. Количественный же состав их резко отличен. Главное отличие заключается в преобладающей роли бурых окислов железа и незначительном количестве роговой обманки и эпидота; роль и процентное содержание стойких минералов по сравнению с нестойкими минералами настолько значительно возросла, что они встречаются в третичных глинах в равном количестве с роговой обманкой.

Таким образом, можно сказать, что современная Прибалхашская терригенно-минералогическая провинция с ее характерным комплексом

минералов и определенными соотношениями их между собой заметно отличается от более древних, третичных отложений. Она возникла в результате геологических процессов, протекавших в иной физико-географической обстановке, на фоне поднятий древних палеозойских складчатых структур и размыва слагающих их образований.

Некоторые изменения химического состава терригенной части осадков

Остановимся кратко на вопросе о химическом составе терригенной части осадков описываемого водоема. При этом воспользуемся данными анализа силикатной части, которые достаточно полно отражают состав терригенного материала донных отложений.

В связи с задачей, которую мы здесь ставим, необходимо сопоставить химический состав силикатной части осадков, взятых из разных плесов водоема, и попытаться подметить выявляющиеся при этом различия.

Такого рода сопоставление мы проведем для осадков одного типа, в частности для илов, по которым имеется наибольшее число данных. Для этой цели мы используем семь анализов донных отложений, взятых со станций, расположенных в разных частях водоема. Образец 1 (табл. 48 и 49) взят в районе устья р. Или, образец 2 — из южной части Западного плеса, образец 3 — из средней его части, образец 4 — из северной части; образец 5 — из западной части Среднего плеса, образец 6 — из Лепсинского плеса, а образец 7 — из Бурлю-тюбинского плеса.

Из дальнейшего будет видно, что содержание главных компонентов силикатной части осадков (окиси кремния, окисного и закисного железа и некоторых других) значительно изменяется при переходе из одного плеса озера в другой.

Окись кремния, являющаяся главнейшим компонентом силикатной части осадка, содержится повсюду примерно в одинаковом количестве, изменяющемся незначительно. Некоторый рост содержания окиси кремния отмечается в образцах 3 и 4, взятых из средней и северной частей Западного плеса озера, и в образце 5 — из западной части Среднего плеса. Там содержание окиси кремния не спускается ниже 63,94% (от силикатной части), в то время как в южной части Западного плеса (образцы 1 и 2) соответствующие величины составляют 61,51 и 60,08%. Примерно такое же количество окиси кремния (62,12 и 61,71%) находится в белых илах (образцы 6 и 7).

Окись алюминия заметно уменьшается в составе силикатной части ила в восточных районах озера. Это хорошо видно из сопоставления между собой данных, приведенных в табл. 48. Содержание окиси алюминия, достигающее в западной части озера, в районе взятия образца 1, 18,71%, снижается до 11,86% в образце 7, взятом из крайнего Восточного плеса.

Окисное железо содержится в илах Восточного плеса озера в количествах, несколько меньших, чем в сером иле, взятом из Западного плеса. Действительно, как следует из табл. 49, содержание окиси железа снижается с 8,22 и 6,10% (образцы 2 и 1) до 5,61 и 4,34% (образцы 7 и 6).

Закисное железо, наоборот, содержится в большем количестве в илах Восточного плеса бассейна, где количество его в белых илах (образцы 6 и 7) достигает 5,43 и 5,48%.

В серых илах, взятых из южной части Западного плеса озера (образцы 1 и 2), содержание закисного железа значительно меньше и составляет соответственно 2,54 и 1,77%.

Содержание окиси алюминия (в % от силикатной части ила)

С е р ы й и л					Б е л ы й и л		
З а п а д н ы й п л е с					Лепсинский плес	Бурлю-тюбинский плес	
южная часть, район устья р. Или	южная часть	средняя часть	северная часть	Средний плес			
№ образца	1	2	3	4	5	6	7
Al ₂ O ₃	18,71	18,12	16,94	17,43	16,01	15,65	11,86

Количество окиси магния, содержащейся в илах, заметно возрастает от западной части озера к восточной. Это соединение содержится в составе силикатной части илов, взятых из западного и среднего плесов бассейна в количестве 3,11—4,94%. В осадках же восточных плесов содержание окиси магния составляет 5,84 и 8,74% от силикатной части и, таким образом, возрастает в 1,5—2 раза (табл. 49).

По мере увеличения содержания силикатного магния растет также количество окиси магния, переходящей в солянокислую вытяжку при разрушении малоустойчивых силикатов этого элемента: с 0,50—1,11% в осадках западного плеса до 1,30—1,93% — в белых илах восточных плесов бассейна.

Таблица 49

Содержание железа и магния (в % от силикатной части ила)

С е р ы й и л						Белый ил	
Компоненты	1*	2	3	4	5	6	7
Fe ₂ O ₃	6,10	8,22	5,79	5,64	1,89	4,34	5,61
FeO	2,54	1,77	1,76	2,34	4,69	5,43	5,48
MgO силикатная	4,52	4,94	3,75	3,82	3,11	5,84	8,74
MgO силикатов, разрушаемых слабой HCl	0,97	1,11	0,96	0,86	0,50	1,30	1,93

* См. табл. 48.

Количества других соединений, входящих в состав силикатной части илов, остаются либо постоянными, либо изменяются весьма незначительно. Так, содержание окиси титана колеблется в пределах от 0,7 до 1,0%; при этом каких-либо закономерных изменений количества ее в осадках наметить не удалось.

Окись марганца находится в составе силикатной части илов в количествах от 0,09 до 0,17%, причем повышенные содержания этого соединения наблюдаются в южной части западного плеса, неподалеку от устья р. Или. Взятые отсюда осадки содержат 0,17% (образцы 1 и 2), тогда как в илах восточного плеса бассейна содержание окиси марганца составляет всего 0,09—0,1%.

Мы предполагаем, что относительно высокое содержание (0,15%) окиси марганца (см. табл. 29) в образце 6, взятом из восточного плеса, обусловлено, вероятно, случайными причинами.

Окись кальция, как правило, не участвует в силикатной части осадка. Как следует из сравнения данных валового анализа с данными анализа солянокислой вытяжки, большая часть кальция или весь он находится в осадках в форме карбоната.

Из приведенного материала видно, что силикатная часть ила обладает различным составом в западной и восточной частях бассейна. При этом в илах восточной части бассейна содержится больше окиси магния, закисного железа и окиси кремния и, наоборот, эти илы беднее окисью алюминия и окисным железом. Такая разница химического состава свидетельствует о том, что минералогический состав терригенного материала, слагающего осадки, непостоянен. Разница может быть объяснена некоторым различием минералогического состава нерастворимой части осадков, которая в основном обусловлена минералогическим отбором, подобно описанному выше.

Следует указать на то, что Э. С. Залманзон допускает новообразование магнезиальных силикатов в осадках восточных плесов оз. Балхаш.

Механизм процесса отложения обломочного материала

Приведенные данные, характеризующие терригенную часть современных осадков, взятую отдельно от других компонентов донных отложений, позволяют наметить в общих чертах механизм накопления терригенного материала в оз. Балхаш.

Распределение материала, вносимого реками в оз. Балхаш, начинается непосредственно у их устьев, где отлагается практически весь песчаный материал. Последний слагает здесь отмели, косы, бары и постоянно наращивает берег, который в устье р. Или продвигается ежегодно в сторону озера примерно на 150—200 м. Факт отложения главной массы песчаного материала у устьев подтверждается данными механического анализа осадка, взятого в 2—3 км от устья главной протоки р. Или. Содержание песчаного материала составляет здесь всего 0,7%, в то время как в русловых отложениях количество его достигает 12%. Напомним также, что осадки со всех станций, расположенных далее, в открытой части озера, не содержат, как правило, более 1% песчаного материала.

В приустьевой части, начиная от берега, намечается некоторое обогащение донных отложений алевритовым материалом. Здесь сначала крупные, а затем и мелкие алевритовые частицы выпадают из воды р. Или, продолжающей свое движение уже в пределах озера. Осадки, заметно обогащенные алевритовой фракцией, прослеживаются полосой на расстоянии в 10—15 км от устья р. Или. Далее содержание ее в донных отложениях остается постоянным, и механический состав осадков остается одним и тем же для огромных площадей центральной, наиболее глубокой части водоема. При этом в составе осадков повсюду преобладает глинистая фракция, на долю которой приходится, как правило, около 90%; на втором месте находится алевритовая фракция, количество которой не превышает 10%, и наконец количество песчаного материала составляет максимум до 1%.

Дифференциация обломочного материала, начавшаяся в районе устья главной водной артерии, питающей озеро, под влиянием резкого падения скорости воды и живой силы ее, как было показано, прослеживается на незначительном расстоянии в глубь озера. Далее на смену ей приходит своеобразный и сложный процесс, обуславливающий усреднение механического состава донных отложений. Этот сложный процесс мы будем называть процессом разноса. Главнейшими элементами разноса в мелко-

водном Балхашском озере являются: 1) взмучивание осадков, отложившихся ранее на дне водоема, 2) перенос материала, перешедшего во взвешенное состояние в результате взмучивания, и 3) отложение этого материала в новом месте.

Основным фактором, вызывающим взмучивание, является волнение, которое, как было показано выше (глава 2), иногда доходит до дна повсюду в пределах оз. Балхаш. При этом в Западном, наиболее мелководном плесе волнение очень часто доходит до дна, и так же часто происходит взмучивание развитых здесь осадков.

Под действием движения воды, вызванного волнением, частицы обломочного материала и другие компоненты осадка, о которых речь будет дальше, вначале переходят в придонный слой воды, а затем подхватываются колебательными движениями и более или менее равномерно распределяются во всей толще воды.

Вторым важным элементом процесса разноса является собственно перенос материала. Обычно слой озерной воды с находящимся в ней во взвешенном состоянии обломочным материалом перемещается течениями, причем частицы глинистой и алевроитовой фракции сносятся в сторону от того места, где они были подхвачены волнением. В главе 2 было указано, что в оз. Балхаш, помимо постоянного кругового течения, известного в Западном плесе, наблюдаются временные ветровые течения, как сгонные, так и нагонные. Кроме того, здесь известны компенсационные течения, наилучшим примером которых может служить постоянный ток воды из западных плесов в восточные, обусловленный испарением больших масс воды. Таким образом, в Балхаше нет недостатка в течениях (особенно временных — ветровых), которые постоянно перемещают здесь массы воды с находящимся в них во взвешенном состоянии обломочным материалом. Следовательно, перенос минеральных веществ в виде взвеси может осуществляться здесь в широких масштабах.

Обломочный материал, взмученный волнами и переносимый течением, скорость, а следовательно, и живая сила которого весьма невелики, остается во взвешенном состоянии в своей главной части только до тех пор, пока продолжается волнение. Как только начинает ослабевать ветер и уменьшаться интенсивность колебательных движений, обусловленных волнением, тотчас же начинают выпадать на дно наиболее крупные частицы. По мере утихания волнения, из воды отлагаются все более и более мелкозернистые фракции и, наконец, при полном штиле откладывается главная часть глинистой фракции, находящейся во взвешенном состоянии. В слое воды при этом еще долгое время будут находиться только наиболее тонкие, коллоидные частицы. Таким образом, при ослабевании волнения осуществляется последний, третий элемент процесса разноса — осаждение.

Новые ветры и волнения вызывают повторение процесса, и осевшие было частицы вновь подхватываются волной и попадают в слой воды, который вновь переносит их на некоторое расстояние. При затихании ветра они еще раз откладываются на дне водоема с тем, чтобы в дальнейшем опять неоднократно проделать тот же процесс или быть перекрытыми значительным количеством осадка, прежде чем перейти окончательно в состав донных отложений. Для подобного захоронения частицы в осадке в этих условиях нужно стечение благоприятных обстоятельств, из которых главным является наличие длительного периода штиля после шторма. В этих условиях на дне сразу откладывается относительно мощный слой материала, который во время предшествующего сильного ветра был взмучен со дна. При большом количестве мут и длительности периода относительноного покоя озерной воды можно рассчитывать на то, что частицы, упавшие первыми, будут настолько глубоко захоронены,

что последующие волнения не смогут смыть весь перекрывающий их материал.

Захоронение материала может происходить и тогда, когда более слабые ветры следуют за более сильными и за штормами, а также в том случае, если в месте, откуда поступают водные массы, будет более интенсивное волнение, чем в том районе, куда водные массы поступают и где, следовательно, из них выпадает терригенный материал.

Такой сложный разнос характерен для Балхаша и других мелководных водоемов, а также для прибрежной зоны глубоких морей и океанов. Его следует отличать от простого разноса, осуществляемого только течениями, без элемента переотложения. Простой разнос осуществляется в глубоководных бассейнах везде там, где есть течения, а волнение не доходит до дна. Он известен и на Балхаше в тех местах, где течения непосредственно подхватывают материал, выносимый реками, и влекут его в открытую часть озера. Такой процесс, несомненно, происходит в зимнее время под слоем льда в районе устья р. Или и других более мелких притоков. Идет он и в другое время года всегда, когда нет размыва донных отложений. Однако как только возникает размыв донных отложений, простой разнос превращается в сложный.

Разнос материала, протекающий при течениях, охватывающих весь мелководный бассейн, и при равной глубине водоема, сам по себе должен был бы обусловить полное единообразие механического состава осадков: одинаковое распределение фракций обломочного материала в осадке, равную величину среднего диаметра и одинаковую степень сортировки его.

Однако в условиях оз. Балхаш процесс разноса протекает не в этих идеальных условиях, а в конкретной обстановке, при изменяющейся глубине водоема и различных течениях. Возьмем, для примера, Западный плес озера и постараемся уяснить себе, в какой обстановке осуществляется здесь процесс разноса. В нем постоянное круговое течение движет по часовой стрелке массы воды из южной части плеса, от устья р. Или, вначале на северо-запад, к району залива Кашкан-тениз, а затем вдоль западного берега водоема (над наиболее глубокой зоной) к району г. Балхаш и к полуострову Узун-арал. Здесь оно поворачивает и вдоль южного и восточного берегов водоема направляется к устью р. Или.

Таким образом, в процесс разноса, идущий в этой части оз. Балхаш, в качестве главного фактора переноса включается постоянное круговое течение. Вследствие этого тонкий обломочный материал, взмученный волнами, двигается здесь преимущественно в одну сторону, следуя течению, и каждое волнение неизменно приводит к тому, что определенная порция обломочного материала перемещается на некоторое расстояние по часовой стрелке. Процесс разноса приобретает здесь, как видим, определенную направленность и обуславливает постоянное движение значительных масс тонкого обломочного материала от устья р. Или все дальше и дальше к полуострову Узун-арал, минуя наиболее глубокую зону, которая смещена к западному берегу.

Начиная от полуострова Узун-арал, течение, поворачивая обратно, следует в зоне, тяготеющей к южному и восточному берегам, причем массы воды протекают над более мелководной восточной зоной плеса.

На картах распределения обломочного материала в осадках оз. Балхаш (см. фиг. 37, 38, 40 и 41) видно, что состав донных отложений в западной, относительно глубоководной зоне иной, чем в восточной, более мелководной: в осадках первой зоны глинистого вещества содержится до 90% и более, тогда как содержание алевритового материала не превышает здесь 10%, а песчаного материала — 1%. В то же время в восточной зоне значительную роль играет алевритовый материал, коли-

чество которого все увеличивается, и в прибрежной полосе достигает 80 и 90%.

Такие особенности состава, несомненно, связаны с изменениями глубины, поскольку процесс разноса в равной степени распространен в пределах всего западного плеса.

Значительное преобладание глинистого материала в осадках западной зоны указывает на то, что в пределах всей этой зоны, а также в южной части плеса, на средних глубинах откладывается преимущественно тонкая глинистая фракция осадка, алевроитовый материал сюда заносится в небольшом количестве, песчаный практически совсем не поступает.

Отсюда ясно, что процесс разноса дифференцирует обломочный материал и, оставляя песчаную и алевроитовую фракции на меньших глубинах, относит в глубокие части водоема преимущественно глинистый материал.

На средних глубинах волнение вызывает, как правило, движения воды, достаточные только для того, чтобы взмучивать глинистую часть осадка. Алевроитовая же часть, попав в осадок на такую глубину, в условиях Западного плеса, как правило, не взмучивается. Только в сильные бури алевроитовый материал захватывается со дна и включается в процесс разноса. Незначительные количества песчаной фракции в осадках этой части бассейна могут быть занесены либо с помощью процессов разноса — в самые сильные бури, или же, что более вероятно, под влиянием каких-либо случайных причин (принос со льдом с берега и др.).

В восточной зоне на малых глубинах и далее к берегу наблюдается возрастание алевроитовой фракции осадка, которая постепенно вытесняет глинистую фракцию и выходит на первое место. Здесь в процессе разноса активно участвует алевроитовый материал, который на малых глубинах может взмучиваться, переотлагаться и испытывать перемещения на далекие расстояния. Глинистые частицы также постоянно взмучиваются, однако движения воды в условиях малой глубины озера не позволяют им осесть в данной зоне. В связи с этим глинистая фракция мало-помалу выносится из восточной прибрежной полосы в пределы более глубоководной части бассейна, на дне которой она и отлагается.

В условиях обширной мелководной части озера, окаймляющей восточный и южный берега плеса, песчаный материал и осадки, обогащенные песчаной фракцией, не накапливаются. Можно думать, в связи с этим, что процессы разноса, в частности взмучивание, не достигают в пределах широкого мелководного пляжа интенсивности, необходимой для того, чтобы достаточно полно отсортировать материал и разделить песчаный от алевроитового.

Существенным источником обломочного материала в осадках рассматриваемой зоны является также эоловое питание, в результате которого в состав донных отложений поступают дополнительные количества обломочного материала. В связи с этим интересно отметить, что донные отложения из отдельных точек, расположенных вдоль южного побережья, характеризуются двухвершинным гранулометрическим профилем, что, вероятно, вызвано наложением процесса эолового питания на процессы озерной седиментации, идущие в этой части водоема.

В западной прибрежной полосе, протягивающейся от полуострова Тас-арал до района г. Балхаш и примыкающей непосредственно к коренному берегу, на небольших глубинах накапливаются осадки, сложенные преимущественно песчаным материалом со значительной примесью глинистой фракции. Эти отложения характеризуются малым содержанием алевроитового материала, количество которого меньше, чем глинистой и песчаной частей, взятых по отдельности. Следовательно, в данном

случае в береговой полосе накапливаются осадки с двухвершинным гранулометрическим профилем.

Осадки этого типа возникают здесь вследствие того, что материал для их образования вызывает, с одной стороны, процесс разрушения коренных пород берега, поставляющий преимущественно песчаную фракцию, а с другой стороны, сюда приносится значительное количество глинистого материала, поставляемого процессом разноса. Алевритовая же фракция поступает в небольшом количестве только в результате размыва берегов. Принос алевритового материала из других частей бассейна исключается, поскольку этому препятствуют большие глубины, отделяющие эту полосу с востока и юга от открытой части плеса. Таким образом, в западной прибрежной полосе создались особые условия седиментации, в которых отлагаются осадки с двухвершинным гранулометрическим профилем.

Помимо кругового течения, проявляющегося в западном плесе в качестве постоянно действующего фактора, в пределах оз. Балхаш имеются еще местные стонные, нагонные и компенсационные течения, периодически возникающие и прекращающиеся. Эти течения в большинстве случаев изучены еще недостаточно, однако наличие их не вызывает сомнения, и все они принимают деятельное участие в разносе обломочного материала.

Охарактеризованный выше процесс разноса проявляется не только в Западном плесе бассейна; он протекает по тому же плану, но, правда, с меньшей интенсивностью, и во всех других частях оз. Балхаш.

В настоящее время наличие течений устанавливается в проливах, соединяющих между собой отдельные плесы озера, и в узкой части бассейна, расположенной к западу от острова Алгазы. Здесь повсюду при ветрах разных направлений водные массы текут то на восток, то, наоборот, на запад. Однако ввиду того, что в восточных плесах испарение резко преобладает над поступлением воды из притоков, преобладают, как правило, течения, несущие массы воды с запада на восток. В связи с этим тонкий терригенный материал, который вследствие взмучивания оказывается в слое воды перед проливом, рано или поздно будет вынесен через него в более восточный плес. При этом не исключено, что одна и та же частица пройдет пролив с запада на восток, затем вновь будет вынесена на запад вследствие восточных ветров, вызывающих встречные течения, и не один раз еще пройдет пролив в том или другом направлении. Но в результате она, как правило, окажется перемещенной на восток.

Таким образом, глинистый и алевритовый материал, постепенно переходя из плеса в плес, распространяется по всей площади озера. Вследствие этого материал, внесенный первоначально р. Или благодаря неоднократным процессам взмучивания и переотложения, проходит весь Западный плес, пролив Узкость, а также другие проливы и плесы и попадает, наконец, в наиболее восточный Бурлю-тюбинский плес. Заметим, что в случае простого разноса мы имели бы в оз. Балхаш по направлению от устья р. Или на север и восток постепенную смену песчаного материала алевритовым, а затем глинистым, чего в действительности не наблюдается.

Влияние разноса на характер современных отложений оз. Балхаш огромно. Постоянные взмучивания и переотложения приводят к полному отсутствию среди современных осадков Балхаша слоистости, а также следов животных, населяющих дно водоема.

С другой стороны, процесс сложного разноса ведет к равномерному распределению обломочного материала на огромных площадях дна озера. Это происходит потому, что механический состав илов в южной части западного плеса, в районе г. Балхаша, а также в более восточных плесах

примерно одинаков. Отсюда как следствие можно вывести заключение, что постоянство величины среднего диаметра и высокая степень сортировки материала, свойственные донным отложениям, развитым на большей части дна оз. Балхаш, обусловлены в основном процессами разнosa.

Этим же процессом объясняется, с одной стороны, чрезвычайное однообразие качественного минералогического состава тяжелой фракции в пределах всего озера, а с другой стороны, — своеобразный отбор минералов, к которому приводят бесчисленные взмучивания и переотложения. На это уже указывалось выше.

При разнose материала в сферу влияния гидродинамических факторов, действующих в оз. Балхаш, попадают почти исключительно глинистый и алевритовый материал, поскольку песок весь отлагается в приустьевых частях рек и далеко в озеро не выносится. Понятно, что двумя главными компонентами терригенной части осадка являются алевритовая и глинистая фракции, а песчаная фракция играет строго подчиненную роль. В связи с этим алевритовый и глинистый материал ведут себя как антагонисты, и всякое увеличение глинистой фракции терригенной части осадка влечет за собой, как правило, снижение содержания алевритовой. Такая зависимость очень хорошо видна на всех трех профилях диаграммы фиг. 39.

Течения, помимо участия в процессе разнosa, существенно влияют на осадкообразовательный процесс, препятствуя при достаточной скорости движения воды отложению тонкого обломочного материала и размывая, при еще больших скоростях, донные отложения. Эта сторона деятельности течений проявляется по преимуществу в проливах и узких частях бассейна, где скорость движения водных масс, переносимых ими, достигает значительных величин. Здесь, как правило, отлагается лишь небольшое количество тонкого глинистого и алевритового материала, главная часть которого проносится по проливу в соседние плесы. Как следствие этого, осадки на дне проливов, независимо от их глубины, состоящие преимущественно из песчаного материала, который содержит незначительную примесь глинистой и алевритовой фракции. В отдельных же местах, где течения достигают наибольшей скорости, даже часть песчаного материала остается на дне, и здесь осадки бывают представлены преимущественно гравием и галечником.

К этому следует добавить, что в проливе Узкость выходят красные глины третичного возраста, покрытые тонким (до нескольких миллиметров толщиной) слоем илистого песка. Здесь, повидимому, донные отложения размываются массами воды, проходящими через пролив.

Интересно отметить, что алевритовая фракция содержится в осадках на дне проливов примерно в таких же количествах, как и в донных отложениях наиболее глубоких частей плесов. Отсюда можно заключить, что движение воды в проливах и относительно большие глубины в плесах являются в равной степени неблагоприятными факторами для накопления алевритовой фракции, частицы которой в первом случае сопровождают песчаный, а во втором — глинистый материал и играют роль второстепенной части осадка. Первостепенную роль алевритовая фракция начинает играть в осадках неглубокой прибрежной полосы, примером чего может служить южное побережье северо-восточной части Западного плеса.

За пределами проливов влияние собственно размывающей деятельности течений почти не сказывается на ходе процессов образования осадков. Известны лишь отдельные небольшие участки дна, лежащие в средней части западного плеса и сложенные песчанистыми осадками, образование которых связано с течениями. Один из таких участков находится в середине северной части западного плеса, где вследствие суммирования постоянного кругового течения, идущего на этом отрезке к юго-западу,

и масс воды, выходящих во время восточных ветров из пролива Узкость и устремляющихся в том же направлении, возникает ток воды, скорость которого в ряде случаев достигает значительных величин. Это не только препятствует осаждению глинистых и алевритовых частиц, но может даже обусловить вымывание их из осадка.

Развитие илистых песков на дне водоема в средней части западного плеса объясняется также действием течений. Здесь, в месте крутого коленообразного изгиба озера в результате нагона воды, обусловленного сильными ветрами, и отражения водных масс от выступов берега, местами могут возникать отдельные струи, которые выходят далеко в открытую часть озера и отлагают песчаный материал, захваченный в прибрежной области. В открытой части водоема накапливаются значительные массы песчаных осадков, вследствие чего глубина озера в таких местах значительно уменьшается. Это приводит, в свою очередь, к тому, что более тонкие фракции отлагаются здесь в меньшем количестве или вымываются из осадка.

Интересно отметить, что почти везде там, где накопление песчаного материала идет в средних частях плеса или в проливах, донные отложения обладают двухвершинным гранулометрическим профилем. Подобное же явление обусловлено весьма малым содержанием алевритовой фракции, вследствие чего возникают два максимума: один — в песчаной, а другой — в глинистой частях гранулометрического профиля. Это должно быть поставлено в связь с накоплением осадков под влиянием двух гидродинамических факторов. С одной стороны, несомненно, что крупный песчаный материал во всех этих пунктах отлагается течениями, несущими, кроме того, незначительное количество алевритовой и глинистой фракций, которые при благоприятных обстоятельствах также обогащают осадок. С другой стороны, когда упомянутые течения ослабевают (а они все относятся к группе временных течений), начинается разнос, в результате которого осадок дополнительно обогащается глинистым материалом и возникает второй максимум в поле глинистой фракции.

Таким образом, сложный разнос и самостоятельная деятельность течений в сочетании с различной глубиной бассейна обуславливают особенности размещения песчаной, алевритовой и глинистой частей осадка. В итоге размывающей деятельности течений на дне сохраняется преимущественно песчаный материал (проливы и узкости), разнос же приводит к отложению глинистой фракции — в относительно глубоководных участках, и алевритовой — в области мелководья.

Там, где суммируется деятельность разноса и течений, отлагаются осадки с двухвершинным гранулометрическим профилем, которые, кроме того, накапливаются у берегов под влиянием особенностей прибрежной аккумуляции или приноса ветрового материала.

Следовательно, главнейшей особенностью процесса седиментации в оз. Балхаш и в других мелководных бассейнах нужно считать чрезвычайно широкое развитие разноса. Разнос проявляется повсеместно в пределах водоема и обуславливает однообразие терригенной части осадков оз. Балхаш. Это можно заметить при изучении как механического, так и минералогического состава слагающего их обломочного материала.

Второй существенной особенностью седиментации в оз. Балхаш является специфическая роль течений, также весьма широко распространенных в бассейне.

В проливах и узкостях, где течения наиболее интенсивны, они являются главным фактором седиментации. Накапливающиеся здесь осадки отличаются тем, что в них наиболее грубозернистый материал отлагается на значительном расстоянии от берега, в средней части пролива, там,

где скорость течения максимальна. Отсюда в сторону берегов на некотором расстоянии величина зерен терригенного материала уменьшается.

Таким образом, в середине узких частей водоема величина зерен обломочного материала изменяется в обратном порядке по сравнению с обычным. В прибрежной полосе, в проливах положение изменяется, и здесь устанавливается обычная последовательность распределения типов осадков.

В открытых частях больших плесов озера течения зачастую намыывают песчаные отмели, возникающие без какой-либо видимой закономерности вдали от берегов. Они связаны с выходом в открытую часть озера токов воды, перемещающих от берега песчаный материал и отлагающих его в том месте, где живая сила воды ослабевает. Этим объясняется появление среди илистой фации открытой части озера песчаных отложений.

Важной особенностью процесса отложения осадков в Балхаше являются относительно слабые движения воды и малые скорости ее, в связи с чем в водоеме песчаная фракция не отделяется достаточно полно от примеси алевритовых и глинистых частиц. Этим обусловлено отсутствие среди донных отложений озера чистых песков и заметная примесь алевритовой и глинистой фракций в песчаных осадках, благодаря чему они должны быть отнесены к илистым пескам.

Глава 5

ОТЛОЖЕНИЕ КАРБОНАТОВ В ОЗ. БАЛХАШ

Карбонаты играют весьма существенную роль в составе донных отложений оз. Балхаш, где они входят как важнейшая составная часть во все осадки без исключения. Особенно велико их содержание в илах — наиболее широко развитых донных отложениях. В состав илов входит до 40—50%, а иногда и более углекислых солей, представленных кальцитом и доломитом.

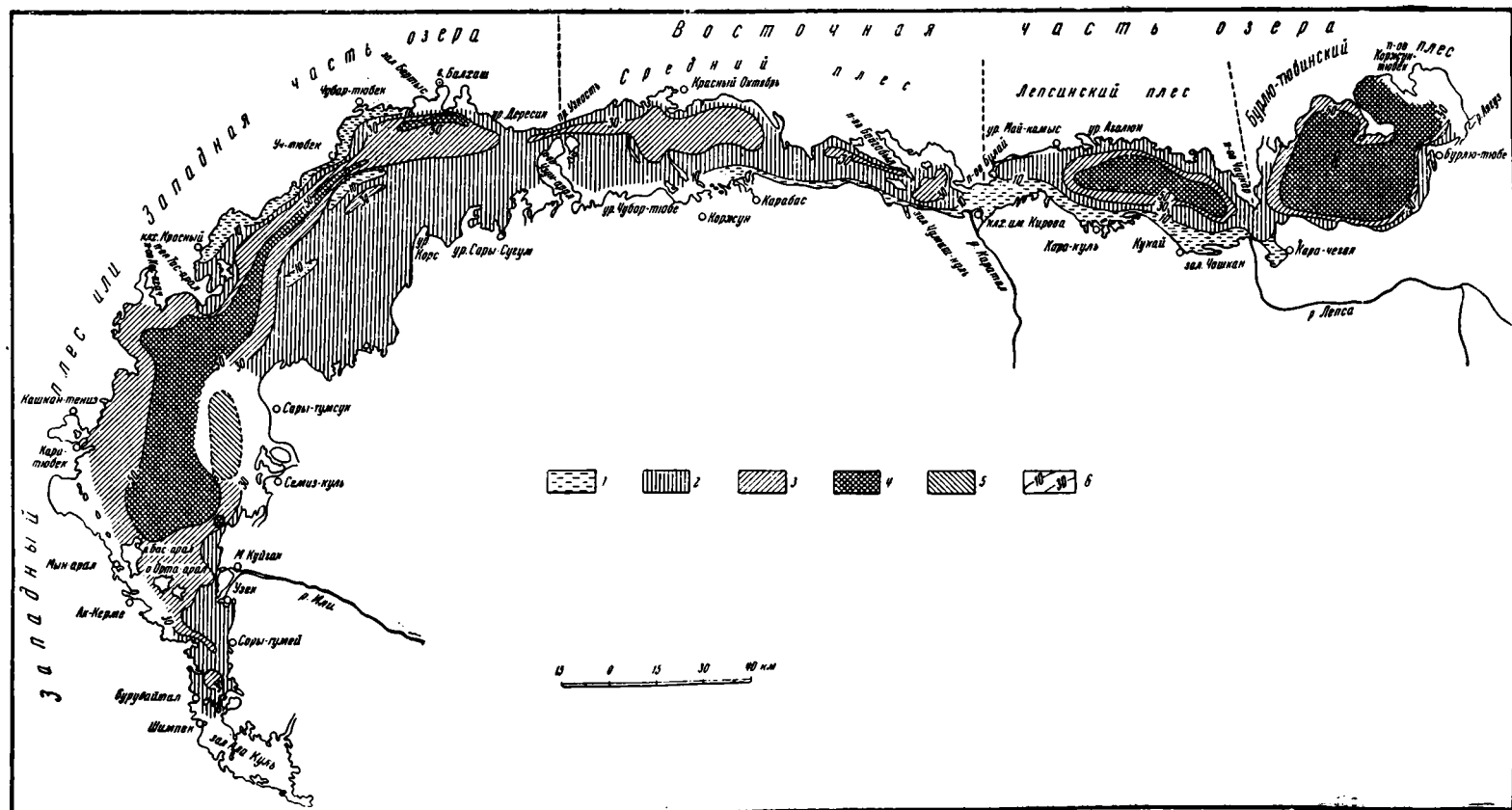
В связи с этим изучение процесса отложения карбонатов и закономерностей, определяющих распространение их в осадках, вызывает особый интерес.

Кроме того, в восточных плесах оз. Балхаш отлагаются своеобразные известково-доломитовые илы (см. Сапожников, 1942), аналоги которых среди современных отложений, описанных в литературе, неизвестны. Таким образом, оз. Балхаш представляет своеобразный, единственный в мире современный бассейн, в котором в больших масштабах идет садка доломита. Это, несомненно, вызывает еще больший интерес к процессам отложения карбонатов в оз. Балхаш и заставляет подробно остановиться на их рассмотрении.

Не касаясь вопроса о поступлении карбонатов в оз. Балхаш, о чем сказано в главе 2, перейдем непосредственно к выяснению того, как распределяются карбонаты в осадках данного бассейна.

Распространение карбонатов на площади дна водоема

Для того, чтобы легче проследить особенности распространения углекислых солей на площади дна, была составлена карта карбонатности осадков оз. Балхаш (см. фиг. 45). При составлении этой карты количества углекислых соединений были вычислены в процентах от натурального осадка. Полученные цифры суммарного содержания углекислых соединений в осадках отдельных станций нанесены на карту и на основе их



•Фиг. 45. Распределение карбонатов в осадках оз. Балхаш.

Содержание карбонатов в процентах от натурального осадка: 1—меньше 10; 2—10—30; 3—30—50; 4—больше 50; 5—песчаная отмель, намытая в районе с. Сары-тумсу; 6—линии равных содержаний.

проведены линии равных содержаний углекислых соединений в составе донных отложений.

Рассмотрение карты показывает прежде всего, что все осадки оз. Балхаш карбонатны и количество углекислых солей в них обычно превышает 10%. Только в узкой прибрежной полосе развиты отложения, состоящие в основном из песчаного материала и содержащие менее 10% карбонатов. Полоса их прослеживается вдоль южного берега озера, от устья р. Лепсы до устья р. Каратал и далее на запад, до меридиана 76°. Другая подобная полоса выделяется вдоль северо-западного берега водоема, от полуострова Тас-арал на юго-западе до района залива Бертыс на северо-востоке.

Особенности распределения карбонатов можно хорошо проследить в обширном Западном плесе. Осадки, характеризующиеся большим содержанием карбонатов, отчетливо приурочиваются к более глубоким частям водоема и смещены вслед за ними в сторону северного и западного берегов озера. В соответствии с этим наибольшие содержания карбонатов в составе донных отложений констатированы в пределах узкой полосы, протягивающейся в зоне западного берега и только к югу от полуострова Тас-арал выходящей в центральную часть плеса. Здесь количество карбонатов достигает 50% и более (от веса натурального осадка). Полоса этих отложений, наиболее обогащенных карбонатами, заканчивается на юге примерно на широте острова Бас-арал и не доходит до устья р. Или на 15—20 км. Характерно, что от центральной части Западного плеса в сторону устья р. Или содержание карбонатного материала постепенно снижается; у устья количество его равно 18%.

Рассматривая распределение карбонатов на дне водоема, нельзя не отметить, что содержание их в составе осадков больших плесов заметно повышается с запада на восток и в наиболее восточном, Бурлю-тюбинском плесе достигает максимальных значений — 60—65%, а в отдельных случаях 70% от веса натурального осадка.

Донные отложения, наиболее богатые карбонатами, совпадают в своем распространении с областями развития илов, что хорошо можно видеть при сопоставлении карты осадков (фиг. 6) с картой карбонатности (фиг. 45). Карбонаты обнаруживают в основном те же особенности распространения на дне озера, что и глинистый материал. Это хорошо видно из сопоставления карт фиг. 40 и 45. Действительно, почти все области наибольшего содержания глинистого материала, с одной стороны, и карбонатного, с другой, совпадают.

Илы, развитые на дне озера, слагаются в основном только этими двумя составными частями, которые содержатся в них в количестве от 30 до 60% каждая. В итоге в илах устанавливаются определенные соотношения между содержанием глинистого и карбонатного материала: увеличение количества одного из этих компонентов, например глинистой части, всегда вызывает относительное снижение содержания другого.

В осадках, богатых обломочным материалом, например в песчаных илах и илистых песках, подобной зависимости не наблюдается и, как правило, по мере роста содержания одного из этих компонентов увеличивается содержание второго.

Таким образом, карбонатный материал в отложениях оз. Балхаш сопутствует глинистому и накапливается на дне водоема в таких же условиях. Это вызвано тем, что оба они слагаются тонкими частицами, входящими в основном во фракцию от 0,001 до 0,01 мм. Благодаря этому, и глинистый и карбонатный материалы одинаково ведут себя в процессе разноса, определяющем отложение осадков на дне описываемого водоема.

Рассмотрим теперь вопрос о том, как ведут себя в составе донных отложений Балхаша кальцит и доломит, взятые по отдельности. Следует

учесть, что картина распространения карбонатов в осадках всего озера, за исключением Лепсинского и Бурлю-тюбинского плесов, отражает, в сущности, особенности распространения кальцита. Это позволяет сосредоточить все внимание на выяснении закономерностей распределения доломита в составе донных отложений и избавляет от необходимости специально рассматривать особенности распределения кальцита.

Процентное содержание углекислого магния в донных отложениях оз. Балхаш подвержено закономерным изменениям, ознакомление с которыми лучше всего начать с рассмотрения карты доломитности осадков (фиг. 48). На карте показаны содержания доломита, вычисленные в процентах от суммы карбонатов, находящихся в осадке. При этом весь углекислый магний повсюду перечислен на доломит, наличие которого доказано для осадков восточных (Лепсинского и Бурлю-тюбинского) плесов озера и с достаточной степенью вероятности предполагается в составе отложений, развитых на отдельных участках дна Западного плеса.

При рассмотрении карты видно, что наибольшее количество углекислого магния наблюдается в восточных — Лепсинском и Бурлю-тюбинском плесах озера. При этом доломит неравномерно распределяется здесь на дне. В наибольшей степени он обогащает осадки глубоких частей водоема и в значительно меньшем количестве содержится в прибрежной зоне. Средние содержания доломита в осадках Бурлю-тюбинского плеса составляют: в илистых песках 26%, песчаных илах 35%, а в белых илах — свыше 50% от суммы карбонатов. Из приведенных данных следует, что донные отложения глубоководной части плеса (илы) вдвое богаче доломитовой молекулой, чем осадки прибрежной зоны (илистые пески).

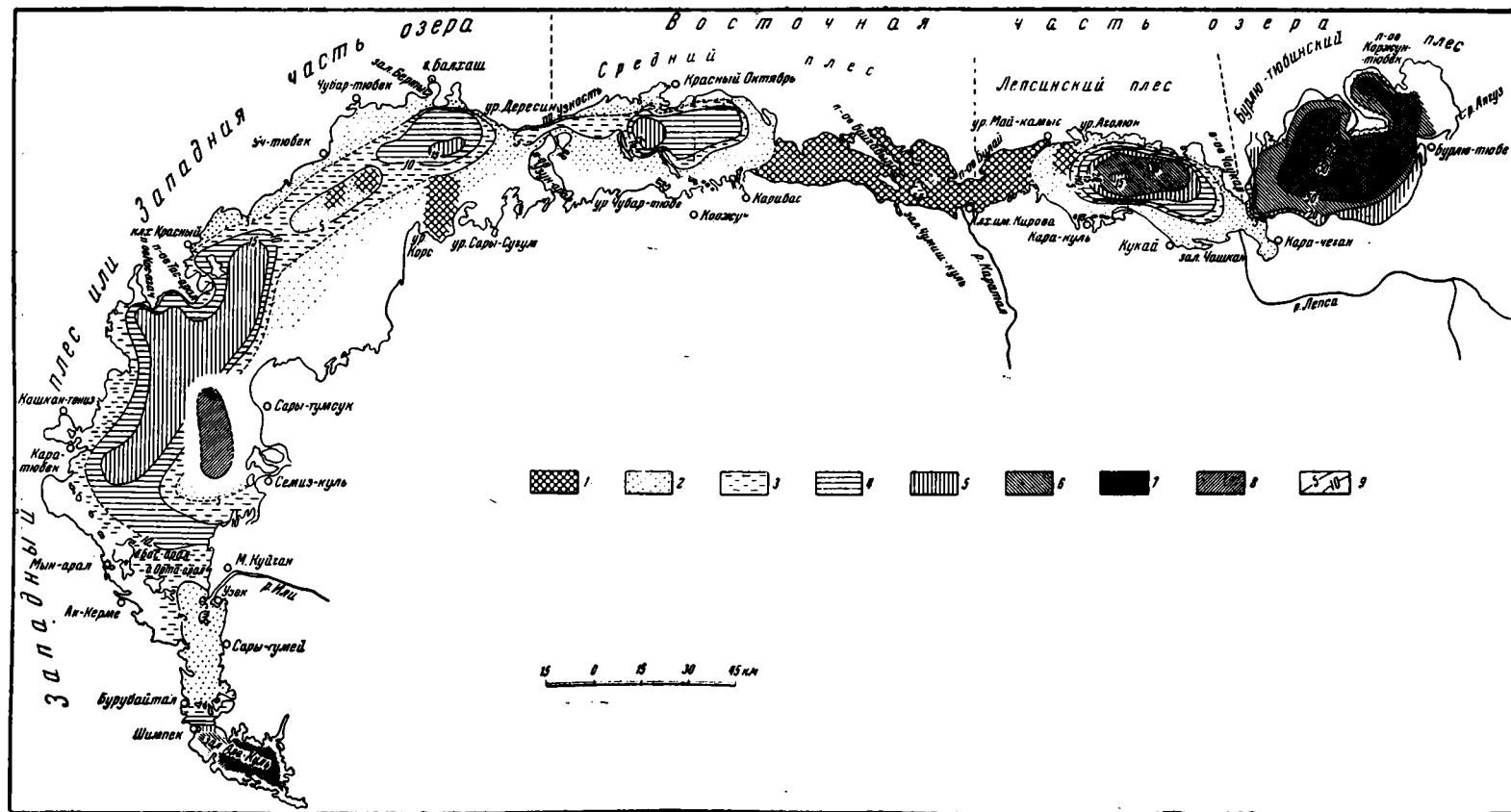
В осадках Лепсинского плеса доломит содержится в значительно меньших количествах, не превышающих 28—30% от суммы карбонатов и составляющих в среднем около 15%. Здесь, так же как и в Бурлю-тюбинском плесе, наибольшие содержания доломита установлены в осадках со станций, расположенных в средней глубоководной части плеса (см. фиг. 46). В прибрежной полосе содержание доломита резко снижается и доходит до нескольких процентов, а местами равно нулю.

В районе устья р. Лепсы, впадающей в водоем против полуострова Чаукар, осадки также лишены доломита и карбонатная часть их представлена исключительно кальцитом.

Далее к западу, в пределах восточной части Среднего плеса, донные отложения, представленные илистыми песками, лишены примеси доломита. В западной части Среднего плеса вновь появляются осадки, хотя в слабой степени, но все же обогащенные доломитом. Это — разновидности серых илов, развитые на дне наиболее глубоких частей водоема. Осадки, обогащенные доломитом, количество которого достигает здесь 10—15% от карбонатной части, слагают три обособленных участка, из которых два расположены в Западном плесе озера, а одно в плесе, лежащем к востоку от полуострова Узун-арал. В последнем месте серые илы, обогащенные доломитовым веществом, залегают в глубоководной части плеса к северу от островов Ультарахты и Коржун. Количество доломита в донных отложениях этой части водоема достигает 15%.

Площадь распространения илов, содержащих 12—16% доломитового вещества, находится в северной, наиболее глубоководной части Западного плеса, к югу от г. Балхаш. Подобные же осадки, содержащие от 15 до 19% доломита, слагают широкую полосу в районе южной части Западного плеса. Эта полоса отчетливо тяготеет к глубокой части плеса и вслед за нею смещается в сторону западного берега.

Повсюду за пределами упомянутых площадей содержание доломита резко убывает, причем обычно оно составляет всего 2—3%, что ставит под сомнение самый факт наличия этого соединения в осадках.



Фиг. 46. Распределение доломита в осадках оз. Балхаш.

Содержание доломита в процентах от карбонатной части осадков: 1 — доломит отсутствует; 2 — 1—5; 3 — 5—10; 4 — 10—15; 5 — 15—20; 6 — 20—50; 7 — более 50; 8 — песчаная отмель, намытая в районе с. Сары-тумсу; 9 — линии равных содержаний.

В южной части Западного плеса, в осадках залива Ала-куль, ныне пересохшего, Н. М. Страхов (1945₁) установил значительное содержание доломита, причем он исходил из данных анализов, произведенных Л. Д. Штурм (1934) во время работ в 1931—1932 годах, когда залив был еще заполнен водой.

Пространственное распределение доломита в оз. Балхаш в общем совпадает с распределением глинистого материала. Это доказывается наибольшим содержанием их в составе илов, слагающих дно глубоководных частей, а также минимальным содержанием их в осадках, развитых на дне узких частей водоема и проливов.

Кроме того, бросается в глаза обратная зависимость между степенью обогащения осадка песчаным материалом, с одной стороны, и доломитом, с другой. Действительно, почти все илистые пески, развитые в озере в плесах, лежащих к западу от Лепсинского плеса, не доломитны. Это установлено для песчаных осадков, развитых в северной и средней частях Западного плеса, а также для песчаных отложений узкой восточной части Среднего плеса.

Доломитность илистых песков в восточных плесах вдвое меньше, чем илов. Отсюда можно сделать вывод, что доломитовое вещество в значительно большей степени, чем кальцит, ассоциируется с глинистой частью осадка. Это, равно как и рассмотрение карты фиг. 46 и сравнение ее с картой фиг. 40, убеждает нас в том, что доломитовое вещество накапливается в тех же частях плесов и в таких же условиях, что и глинистый материал.

Генезис карбонатов в осадках оз. Балхаш

Вопрос об условиях образования карбонатов и особенно доломита в осадках оз. Балхаш подробно разобран Н. М. Страховым, который посвятил ему специальное исследование (Страхов, 1945₁). Кроме того, Н. М. Страхов неоднократно возвращался к этому вопросу в своих публичных выступлениях и работах (Страхов, 1945₂) в связи с различными сторонами проблемы образования карбонатных осадков и пород.

В этих своих работах Н. М. Страхов, помимо общей физико-географической характеристики района оз. Балхаш, разбирает гидрохимию этого водоема, основываясь преимущественно на данных, собранных экспедицией Всесоюзного научно-исследовательского института озерного рыбного хозяйства в 1928—1931 гг. Он приводит доказательства того, что в осадках восточных плесов оз. Балхаш присутствует доломит, а не какой-либо другой карбонат магния. Наконец, Н. М. Страхов исчерпывающе доказывает, что доломит представляет собой хемогенное образование и выпадает из воды, а не возникает в самом осадке в результате процессов диагенеза.

Охарактеризовав таким образом физико-географические условия, господствующие в районе, и основные фактические данные, относящиеся к процессу отложения карбонатов, Н. М. Страхов переходит к рассмотрению самого этого процесса. Сосредоточивая внимание на вопросах насыщения воды углекислым кальцием и углекислым магнием, Н. М. Страхов пишет:

«...Если считать, что растворимость CaCO_3 в оз. Балхаш мало отличается от растворимости этой соли в морской воде (а так именно это и есть), то при $\text{pH} = 8,0$ и температуре 20°C (средняя температура конца лета) уже $72\text{--}73\text{ мг Са (HCO}_3)_2$ на литр должно создавать насыщение. Это значит, что уже в западной, наименее щелочной, части озера CaCO_3 летом находится в состоянии не только насыщения, но и перенасыщения (до 170% нормы). На востоке, с возрастанием pH воды, перенасыщение,

естественно, возрастет. То же получится, если исходить из экспериментальных данных, собранных Ю. Пиа (1933) из различных источников (Камерон, Джонстон и др.) по растворимости CaCO_3 в воде с разной концентрацией NaCl и Na_2SO_4 (главных компонентов балхашской воды). При давлении (p) $\text{CO}_2 = 3 \times 10^{-4}$ (т. е. равном давлению CO_2 в атмосфере) насыщение углекислым кальцием при 20°C наступает при 80—95 мг $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ на литр; с уменьшением p CO_2 растворимость падает. К сожалению, точных данных о растворимости магнезита в условиях, приближающихся к балхашским, мне в литературе найти не удалось; имеющиеся цифры противоречивы и, по мнению Ваттенберга и Тиммермана, до сих пор вообще еще не удавалось получить экспериментально растворов, находящихся в действительном равновесии с магнезитом в качестве твердой фазы. По отношению к тригидрату углекислого магния ($\text{MgCO}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$) такие данные указанными авторами получены. Оказывается, что растворимость этой соли при $t = 25^\circ$ и $\text{pH} = 8,0-8,6-9,05$ соответственно равна 57—24,2—13,0 миллимолям, что в переводе на $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ составляет 8414—3532—1846 мг/л $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$. Все цифры, как видим, далеко превосходят то, что имеется в балхашской воде, и потому, если даже MgCO_3 растворим несколько меньше сравнительно с $\text{MgCO}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$, невозможно говорить о насыщении этой солью воды в крайнем восточном плесе озера.

Такое заключение полностью совпадает с общей картиной концентрации $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ и $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ в балхашской воде. Как и следовало ожидать, содержание $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$, как недосыщающего раствор, во всех районах непрерывно растет.

Итак, углекислый кальций повсеместно в озере не только насыщает, но и резко пересыщает озерную воду, а карбонат магния нигде не насыщает ее. Отсюда ясно, почему в осадок повсеместно уходит CaCO_3 , а углекислый магний как самостоятельное тело остается в растворе».

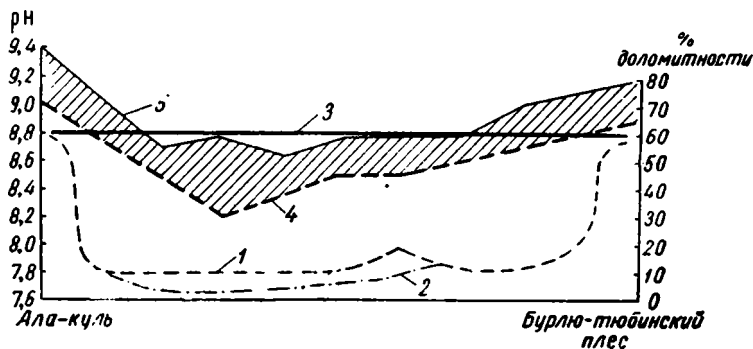
Переходя далее к условиям образования доломита, Страхов пишет: «Значительно труднее дать оценку состояния в озерной воде доломитного вещества, ибо растворимость его экспериментально не установлена и нужных для расчета цифр нет. За неимением прямого пути можно, однако, идти следующим косвенным путем.

Основным законом водных растворов CaCO_3 , MgCO_3 и других карбонатов является падение их растворимости с возрастанием pH . Это значит, что в оз. Балхаш растворимость доломитного вещества с запада на восток, от устья р. Или к восточному плесу должна значительно уменьшаться, ибо pH в этом направлении растет от 8,0 до 8,8—8,9 и выше. Теоретически вполне допустимо, что в какой-то момент с достижением определенного pH при наличии щелочном резерве доломитное вещество может насытить озерную воду. Уловить этот момент можно, как и в лабораторном эксперименте, контролируя состав донной фазы: момент насыщения воды доломитным веществом при некотором pH и щелочном резерве должен обозначиться массовым появлением в данном районе доломита в осадке.

Для выяснения этого вопроса применительно к Балхашу была построена диаграмма (фиг. 47), на которой даны: 1) средние летние значения pH на разных участках озера по многочисленным определениям Всесоюзного научно-исследовательского института озерного рыбного хозяйства; 2) пределы отклонений pH от средних значений; 3) области массового развития доломита в донных осадках. Из этой диаграммы видно, что как только на крайнем востоке средние значения pH за лето достигнут 8,8—8,9, доломит массами появляется в осадке.

Очевидно, на крайнем востоке, при pH около 8,8—8,9 (и выше) концентрация доломита в озерной воде превышает его возможную при данных

условиях растворимость, доломит становится пересыщающим раствор и потому уходит в осадок. То же происходит и на юго-западе, в Алакульском заливе с его $pH = 9,4-9,6$. В центральной, большей части озера средние значения pH в летний промежуток времени не достигают $8,8-8,9$ и потому массового образования доломитов здесь не происходит. Однако целиком доломитообразование все же не прекращается и здесь, ибо, как показывает наша диаграмма, единичные значения $pH = 8,8-8,9$ продолжают встречаться и в средних частях озера вплоть до максимально опресненных районов у устья р. Или. Таким образом, хотя мы и не можем пока подойти к выяснению условий осаждения доломита из раствора путем эксперимента и расчета, все же вся совокупность гидрохимических данных и общая картина распределения доломита



Фиг. 47. Схема образования доломитов оз. Балхаш (по Н. М. Страхову).

1 — степень доломитности балхашских илов в процентах от карбонатной части; 2 — предполагаемая действительная доломитность илов центральной части Балхаша после исключения $FeCO_3$; 3 — значение pH , при котором происходит садка доломита из воды; 4 — средние значения pH для отдельных солевых районов оз. Балхаш за июль — сентябрь; 5 — максимальные значения pH в тех же районах и условиях.

в илах Балхаша убедительно свидетельствуют о том, что доломитное вещество при pH около $8,8$ действительно насыщает балхашскую озерную воду и потому естественно выпадает в осадок.

Как следует из приведенной цитаты, Н. М. Страхов создал стройную гипотезу образования доломитовых осадков оз. Балхаш, обоснованную фактическим материалом, имевшимся к моменту ее разработки, и логически безупречную. Эта гипотеза оказалась весьма плодотворной в применении к условиям образования карбонатных осадков и представляет значительный шаг вперед в деле познания генезиса карбонатных пород.¹

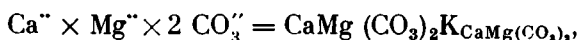
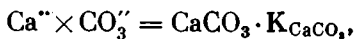
Однако приведенный выше материал по гидрохимии Балхаша, полученный в основном после проведения работ Н. М. Страхова, несколько дополняет наши знания физико-химических условий, господствующих в воде этого бассейна, и позволяет подойти к решению вопроса об образовании карбонатов, исходя из современной теории активности как одной из форм применения закона действующих масс.

Минерализация воды в оз. Балхаш определяется в основном присутствием ионов хлора, серной кислоты, монокарбонатной и бикарбонатной уголекислоты, кальция, магния и щелочных металлов.

¹ В работе, вышедшей в самое последнее время, Н. М. Страхов (1951) высказал мнение, что доломит образуется на дне оз. Балхаш в стадию диагенеза за счет гидрокарбонатов магния и уголекислого кальция, выделившихся из воды озера при ее испарении.

Понятно, что с точки зрения целей, которые мы здесь преследуем, не все эти ионы имеют одинаковое значение. Одни из них играют активную роль в процессе садки углекислых соединений — это ионы монокарбонатной углекислоты, а также кальция и магния. Другие ионы сами в процессе осаждения карбонатов непосредственно не участвуют и представляют собой в совокупности как бы фон, на котором протекает этот процесс.

Согласно теории электролитической диссоциации, соотношение между количествами ионов Ca^{++} , Mg^{++} и CO_3^{--} , растворенных в воде, и количеством недиссоциированных молекул CaCO_3 , MgCO_3 и $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$, находящихся в равновесии с ними, определяется следующими уравнениями:



где K повсюду означает константу диссоциаций той или иной соли. При этом насыщение раствора и возможность перехода в твердую фазу любой из упомянутых солей определяется произведением концентрации ионов, входящих в ее состав. Вообще говоря, если произведение концентрации ионов, входящих в состав данной соли, достигает величины произведения растворимости ее (L_p), то раствор вступает в фазу насыщения. В результате всякое дальнейшее поступление новых порций хотя бы одного из этих ионов приведет к выделению соли в осадок или к некоторому пересыщению ею раствора.

Выше было показано, что концентрация балхашской воды непрерывно растет по направлению от западных плесов на восток, что является следствием значительного превышения испарения над количеством осадков, выпадающих на поверхность озера. В результате наблюдается постепенный рост концентрации большинства ионов, находящихся в воде озера, причем по понятным причинам особенно резко возрастает произведение их концентраций.

Так как углекислый кальций, углекислый магний и двойная углекислая соль кальция и магния относятся к труднорастворимым соединениям, то произведения концентрации ионов кальция и CO_3^{--} могут быстро достигать величины произведения растворимости кальцита и доломита. В результате соответствующие соединения вначале насыщают и, быть может, пересыщают воду оз. Балхаш, а затем начнут переходить в твердую фазу и выпадать в осадок.

Ниже сделана попытка вычислить произведение концентраций ионов, входящих в состав молекул кальцита и доломита, и выяснить, не насыщают ли эти соединения воду в оз. Балхаш.

Для проведения расчета мы поступаем следующим образом: прежде всего содержания ионов Ca^{++} , Mg^{++} и CO_3^{--} , выраженные в миллиграммах на литр, переводим в молекулярные концентрации. Далее перемножаем концентрации ионов, входящих в состав того или другого соединения, и получаем произведения их концентраций. Однако концентрации ионов, взятые сами по себе, равно как и произведения концентраций, не дают правильного представления о тех количествах их, которые способны принять активное участие в реакциях. В связи с этим необходимо перевести молекулярные концентрации отдельных ионов в активные термодинамические концентрации их. Для этого прежде всего вычислим ионную силу раствора, которая, как известно, заметно отражается на

активности отдельных ионов. Ионную силу раствора (μ) находим из формулы:

$$\mu = \frac{1}{2} \sum c_i z_i^2,$$

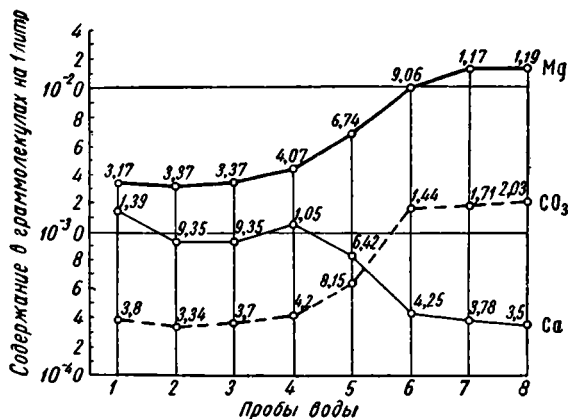
где c_i — концентрация каждого иона, находящегося в растворе, а z_i — валентность каждого иона. Ионная сила раствора представляет собой, таким образом, половину суммы произведений концентрации каждого иона на квадрат валентности его (Капустинский, 1943).

Вычислив величину ионной силы раствора, находим коэффициенты активностей интересующих нас ионов при соответствующих значениях μ [Льюис и Рендалл, 1936; P_{ia}, 1933]. Далее множим молекулярную концентрацию каждого иона на найденную величину коэффициента активности и в результате получаем активную концентрацию данного иона —

концентрацию его, которая фактически участвует в реакциях и часто заметно отличается от обычной аналитической концентрации.

Активные концентрации соответствующих ионов перемножаем друг на друга; получаем произведение их активности (Гортиков, 1934).

Попытаемся теперь выяснить, какие концентрации создаются для ионов кальция, магния и монокарбонатной углекислоты в различных частях бассейна, отличающихся друг от друга, как было показано выше, составом воды и степенью ее минерализации.



(те же, что и в табл. 50)

Фиг. 48. Молекулярные концентрации кальция, магния и CO_3 в воде оз. Балхаш.

Абсолютные содержания интересующих нас ионов в воде оз. Балхаш, равно как и относительные количества, выражающиеся в форме хлорных коэффициентов этих ионов, приведены в главе 2 (см. табл. 3 и 4). Исходя из этих данных, нетрудно определить молекулярные концентрации кальция, магния и монокарбонатной углекислоты, для чего нужно разделить абсолютные содержания их в воде, выраженные в граммах на литр, на молекулярный вес. В итоге по данным анализа восьми проб получен материал, который сведен в табл. 50 и графически изображен на диаграмме фиг. 48. Из таблицы и диаграммы следует, что молекулярная концентрация кальция в воде убывает с запада на восток: в Западном плесе она почти не уменьшается — $1,39 \cdot 10^{-3}$ (южная часть) и $1,05 \cdot 10^{-3}$ (северная часть). Весьма резко молекулярная концентрация сокращается в воде восточной половины озера. Этому соответствует резкое падение кривой.

В отличие от этого содержание монокарбонатной углекислоты резко возрастает на востоке, по сравнению с западными плесами. Так, в воде в южной части Западного плеса молекулярная концентрация CO_3 составляет $3,8 \cdot 10^{-4}$, а в Бурлю-тюбинском плесе доходит до $2,03 \cdot 10^{-3}$, т. е. возрастает примерно в пять раз. При этом кривая роста молекулярной концентрации углекислоты прямо противоположна соответствующей кривой для кальция, и там, где первая круто поднимается вверх, вторая так же круто падает. Это хорошо видно на диаграмме, где кривые молярности (молекулярной концентрации) кальция и углекислоты представляют

Молекулярные концентрации Ca^{++} , Mg^{++} и CO_3^{--} в воде оз. Балхаш

Пробы воды	Западный плес				Средний плес, за- падная часть	Лепсин- ский плес	Бурлю-тюбинский плес	
	южная часть, район устья р. Или	южная часть	средняя часть	северная часть			средняя часть	восточ- ная часть
Ионы	1	2	3	4	5	6	7	8
Ca^{++}	$1,39 \cdot 10^{-3}$	$9,35 \cdot 10^{-4}$	$9,35 \cdot 10^{-4}$	$1,05 \cdot 10^{-3}$	$6,42 \cdot 10^{-4}$	$4,25 \cdot 10^{-4}$	$3,78 \cdot 10^{-4}$	$3,5 \cdot 10^{-4}$
Mg^{++}	$3,17 \cdot 10^{-3}$	$3,37 \cdot 10^{-3}$	$3,37 \cdot 10^{-3}$	$4,07 \cdot 10^{-3}$	$6,74 \cdot 10^{-3}$	$9,86 \cdot 10^{-3}$	$1,17 \cdot 10^{-2}$	$1,19 \cdot 10^{-2}$
CO_3^{--}	$3,8 \cdot 10^{-4}$	$3,34 \cdot 10^{-4}$	$3,7 \cdot 10^{-4}$	$4,2 \cdot 10^{-4}$	$8,15 \cdot 10^{-4}$	$1,44 \cdot 10^{-3}$	$1,71 \cdot 10^{-3}$	$2,03 \cdot 10^{-3}$

Произведение молекулярных концентраций Ca^{++} и CO_3^{--} , а также Mg^{++} и CO_3^{--} в воде оз. Балхаш

Произве- дение концен- траций	П р о б ы в о д ы							
	1*	2	3	4	5	6	7	8
$\text{Ca}^{++} \cdot \text{CO}_3^{--}$	$5,28 \cdot 10^{-7}$	$3,12 \cdot 10^{-7}$	$3,46 \cdot 10^{-7}$	$4,41 \cdot 10^{-7}$	$5,22 \cdot 10^{-7}$	$6,12 \cdot 10^{-7}$	$6,46 \cdot 10^{-7}$	$7,2 \cdot 10^{-7}$
$\text{Mg}^{++} \cdot \text{CO}_3^{--}$	$1,2 \cdot 10^{-6}$	$1,13 \cdot 10^{-6}$	$1,25 \cdot 10^{-6}$	$1,71 \cdot 10^{-6}$	$5,5 \cdot 10^{-6}$	$1,4 \cdot 10^{-5}$	$2,0 \cdot 10^{-5}$	$2,42 \cdot 10^{-5}$

собой как бы зеркальное отражение друг друга и образуют своего рода «ножницы».

Такое поведение двух ионов, дающих при соединении углекислый кальций, становится понятным, если вычислить произведение их концентраций. Оказывается, что произведение концентрации изменяется в небольших пределах, поскольку резкое уменьшение содержания в воде одного иона (например, кальция) компенсируется увеличением содержания другого — монокарбонатной углекислоты.

Величина произведения концентрации Ca^{++} и CO_3^{--} , как видно из табл. 50, обнаруживает небольшую, но отчетливую тенденцию к росту по направлению к восточной части бассейна. В том же направлении происходит и общее увеличение солёности воды, отчего увеличивается и растворяющая способность ее, обуславливающая упомянутый рост произведения концентрации.

Таблица 51

Произведение активных концентраций ионов Ca^{++} и CO_3^{--} в воде оз. Балхаш

Пробы воды	2*	3	4	5	6	7	8
$a\text{Ca}^{++} \cdot a\text{CO}_3^{--}$	$7,8 \cdot 10^{-8}$	$8,3 \cdot 10^{-8}$	$9,97 \cdot 10^{-8}$	$8,25 \cdot 10^{-8}$	$6,87 \cdot 10^{-8}$	$6,8 \cdot 10^{-8}$	$7,0 \cdot 10^{-8}$

* См. табл. 50.

Однако, как следует из табл. 51, произведение активности для всех станций остается почти постоянным, изменяется весьма незначительно и заметно не увеличивается при продвижении на восток. Это свидетельствует о насыщении озерной воды углекислым кальцием и выпадении его в осадок, поскольку увеличение общей минерализации воды не сопровождается увеличением произведения активностей $aCa^{++} \cdot aCO_3^{--}$.

В создавшейся равновесной системе

$$\frac{aCa^{++} \cdot aCO_3^{--}}{aCaCO_3} = K'$$

константа K' равна произведению активности (L_a), и каждому увеличению содержания иона кальция соответствует уменьшение содержания иона монокарбонатной углекислоты; наоборот, падение содержания иона кальция сопровождается ростом содержания иона CO_3^{--} .

В свете высказанных соображений становится понятным уменьшение содержания иона Ca^{++} с 55,7 (район устья р. Или) до 14,00 мг/л (Бурлю-тюбинский плес) по направлению из Западного плеса в восточные. Сокращение содержания кальция в равновесной системе компенсируется значительным ростом содержания иона CO_3^{--} . В результате произведение их остается постоянным.

Выпадение $CaCO_3$ в осадок в этих условиях может быть вызвано поступлением новых порций одного из ионов, например Ca^{++} или CO_3^{--} , или обоих их одновременно. Подобный же эффект дает любое увеличение концентрации воды вследствие испарения.

Произведение концентраций Ca^{++} и CO_3^{--} при насыщении воды углекислым кальцием равняется произведению растворимости этой соли и изменяется в зависимости от общей солености воды. Так, при солености в 1‰ она составляет $3,12 \cdot 10^{-7}$ (южная часть Западного плеса) и возрастает до $7,2 \cdot 10^{-7}$ при солености в 5‰ (в обоих случаях температура 25°).

Эти величины интересно сопоставить с произведениями растворимости (L_p) $CaCO_3$, найденными другими авторами:

А в т о р ы	L_p $CaCO_3$	Примечание
Фриер и Джонстон (1929)	$4,8 \cdot 10^{-9}$	При бесконечном разведении
Вода из Балхаша (Бурлю-тюбинский плес)	$7,2 \cdot 10^{-7}$	Солоноватая вода; $S = 5\text{‰}$, $t = +25^\circ$
Ревелл и Флеминг (1934)	$2,4 \cdot 10^{-6}$	Морская вода; $S = 35\text{‰}$, $t = +30^\circ$
Ваттенберг и Тиммерман (1936).	$0,52 \cdot 10^{-6}$	Морская вода; $Cl = 17-18\text{‰}$, $t = +25^\circ$
Смит (1941)	$1,16 \cdot 10^{-6}$	Морская вода в районе Багамской банки; $t = +30^\circ$

Приведенные данные показывают, что величины, полученные для произведения растворимости $CaCO_3$ в воде оз. Балхаш, ниже величин, полученных для морской воды, если их сравнить с данными Смита, а также Ревелла и Флеминга, и значительно выше, чем при бесконечном разведении. Это и понятно, поскольку соленость воды оз. Балхаш меньше солености морской воды.

Таблица 52

Произведение активных концентраций ионов Mg^{++} и CO_3^{--} в воде оз. Балхаш

Пробы воды	2*	3	4	5	6	7	8
Произведение активных концентраций	$2,8 \cdot 10^{-7}$	$3,10 \cdot 10^{-7}$	$3,86 \cdot 10^{-7}$	$8,71 \cdot 10^{-7}$	$1,59 \cdot 10^{-6}$	$2,11 \cdot 10^{-6}$	$2,39 \cdot 10^{-6}$

* См. табл. 50.

Таблица 53

Произведение молекулярных концентраций и произведение активных концентраций Ca^{++} , Mg^{++} и CO_3^{--} в воде оз. Балхаш

Пробы воды	2*	3	4	5	6	7	8
Произведение концентраций	$3,48 \cdot 10^{-13}$	$4,33 \cdot 10^{-13}$	$7,55 \cdot 10^{-13}$	$2,89 \cdot 10^{-12}$	$8,57 \cdot 10^{-12}$	$1,29 \cdot 10^{-11}$	$1,74 \cdot 10^{-11}$
Произведение активных концентраций	$2,18 \cdot 10^{-14}$	$2,57 \cdot 10^{-14}$	$3,74 \cdot 10^{-14}$	$7,17 \cdot 10^{-14}$	$1,09 \cdot 10^{-13}$	$1,43 \cdot 10^{-13}$	$1,67 \cdot 10^{-13}$

* См. табл. 50.

Существенно иная картина получается при рассмотрении поведения иона магния, взятого вначале отдельно, а затем в комбинации с ионом монокарбонатной уголекислоты.

Концентрация магния, в отличие от концентрации кальция, в пределах оз. Балхаш растет все время от западной части водоема к его Восточным плесам. При этом вначале (в Западном плесе) этот рост идет относительно медленно, затем (на участке между северной частью Западного и Лепсинского плесов) темп его резко увеличивается и, наконец, в Бурлю-тюбинском плесе между средней и восточной частями последнего практически почти совсем прекращается (см. фиг. 48 и табл. 50). Вопрос о концентрации монокарбонатной уголекислоты подробно разобран выше (стр. 162).

Произведение молекулярных концентраций магния и монокарбонатной уголекислоты для воды, взятой с различных станций, приведено в табл. 52 (мы принимаем здесь, что присутствие гидрокарбонатов магния в балхашской воде, весьма мало концентрированной, но очень богатой уголекислотой, ничтожно). Из рассмотрения соответствующих данных видно, что произведение концентраций этих ионов не остается постоянным, а подвержено значительным изменениям. В Западном плесе эта величина остается практически на одном уровне и изменяется всего в пределах от $1,2 \cdot 10^{-6}$ до $1,7 \cdot 10^{-6}$. Далее, между северной частью Западного плеса и Лепсинским плесом, там, где значительно увеличивается содержание и магния и монокарбонатной уголекислоты, также наблюдается резкий рост произведения концентрации. Наконец, в Восточных плесах кривая роста произведения концентрации заметно выполаживается, причем величина его возрастает здесь всего с $1,4 \cdot 10^{-5}$ (Лепсинский плес) до $2,42 \cdot 10^{-5}$ (восточная часть Бурлю-тюбинского плеса).

Перейдя теперь к произведению активности ионов Mg^{++} и CO_3^{--} , мы убедимся, что оно не остается постоянным для всех частей озера, как это было в случае ионов Ca^{++} и CO_3^{--} , а изменяется в заметных пределах.

В Западном плесе наблюдается малый, но устойчивый рост произведения активности ионов магния и монокарбонатной уголекислоты. Далее на восток эта величина резко возрастает и, наконец, в Восточном плесе вновь обнаруживает ясно выраженную тенденцию к снижению темпа роста. Это хорошо видно из рассмотрения табл. 52, где соответствующие величины для проб воды из восточных плесов колеблются всего в пределах от $1,59 \cdot 10^{-6}$ до $2,39 \cdot 10^{-6}$. В то же время произведения активностей для воды западной части озера и западной части Среднего плеса не поднимаются выше $8,71 \cdot 10^{-7}$.

Близкая величина произведения активностей ионов монокарбонатной уголекислоты и магния, установленная для вод Лепсинского и Бурлю-тюбинского плесов, дает основание думать, что уголекислый магний в какой-то форме насыщает здесь воду и может переходить в осадок. Если это сопоставить с фактом насыщения воды восточных плесов также и уголекислым кальцием, то возможность выпадения обоих этих соединений в осадок станет очевидной. Однако наличие в твердой фазе доломита при отсутствии магнезита позволяет предположить, что воду Восточного плеса насыщают не молекулы уголекислого магния, а молекулы двойной уголекислой соли кальция и магния, т. е. доломита, который при малейшем смещении равновесия выпадает здесь в осадок.

Здесь уместно вспомнить, что произведение растворимости уголекислого магния в форме $MgCO_3 \cdot 3H_2O$, согласно экспериментальным данным Ваттенберга и Тиммермана (1937), составляет при бесконечном разведении $0,4 \cdot 10^{-4}$ и в морской воде $3 \cdot 10^{-4}$. Из сопоставления этих цифр с приведенными выше расчетными данными следует, что вода оз. Балхаш недосыщена карбонатом магния в форме тригидрата.

Можно полагать, что в воде восточных плесов оз. Балхаш устанавливаются такие соотношения между ионами, входящими в состав углекислых соединений, которые можно выразить уравнением:

$$\frac{\text{Ca}^{++} \cdot \text{Mg}^{++} \cdot 2\text{CO}_3^{--}}{\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2} = K''_{\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2}$$

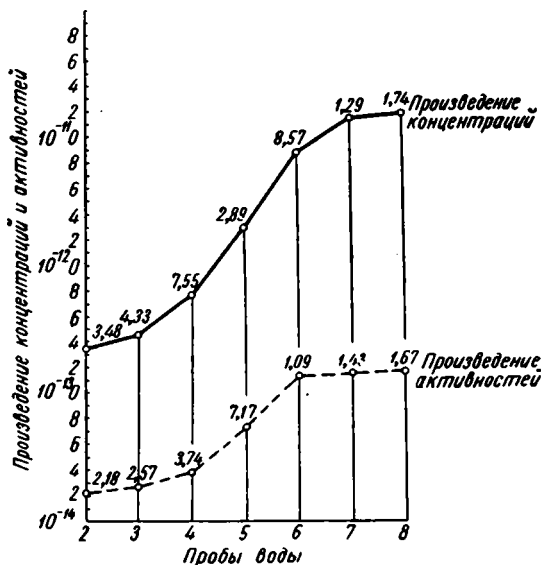
В связи с этим возникает необходимость рассчитать произведения концентраций и произведения активностей ионов, входящих в состав молекулы доломита, и проследить, какие изменения они испытывают в воде разных частей оз. Балхаш.

Выполненный расчет, как и следовало ожидать, показывает (табл. 53), что произведения молекулярных концентраций, а также произведения активных концентраций подвержены незначительным изменениям в Западном плесе озера — в областях малой солености. Далее на восток следует резкое возрастание обеих этих величин, и, наконец, в восточных плесах тенденция к росту произведения концентраций их убывает, а величина произведения активностей остается практически постоянной. Иными словами, в восточных плесах для ионов Ca^{++} , Mg^{++} и CO_3^{--} устанавливаются соотношения, подобные соотношениям для ионов Ca^{++} и CO_3^{--} во всем бассейне. Это хорошо иллюстрируют кривые диаграммы фиг. 49.

Анализ цифрового материала, относящегося к произведению активностей ионов щелочноземельных металлов и монокарбонатной углекислоты, подтверждает сделанный выше вывод о том, что вода западной части озера не насыщена двойной углекислой солью магния и кальция, о чем свидетельствует рост произведения активностей, и только в восточных плесах озера при возросшей общей минерализации вода вступает в фазу насыщения доломитом. Об этом свидетельствует факт постоянства произведения активностей в воде проб 6, 7 и 8 при продолжающемся росте минерализации воды в этой части бассейна. Такое положение будет понятно только в том случае, если допустить, что из воды восточных плесов идет садка доломита.

Таким образом, если принять, что вода Бурлю-тюбинского плеса была насыщена (или несколько пересыщена) доломитовой молекулой, то величину порядка $1,3 \cdot 10^{-11}$ — $1,8 \cdot 10^{-11}$ можно рассматривать как произведение концентраций магния, кальция и монокарбонатной углекислоты, достаточное для насыщения раствора доломитовой молекулой в условиях солености, существующей в восточных плесах озера и при температуре 25° .

Точно так же величина порядка $1,43$ — $1,67 \cdot 10^{-13}$ может быть принята равной произведению активностей доломита при той же температуре.



Фиг. 49. Произведение концентраций и произведение активностей кальция, магния и CO_3^{--} в воде оз. Балхаш.

Из изложенного можно сделать следующие выводы.

Углекислый кальций повсюду насыщает или несколько пересыщает воду оз. Балхаш. В западной части водоема он способен давать самостоятельное соединение — кальцит, которое при испарении воды или при поступлении новых порций кальция или CO_3'' извне выпадает в осадок.

Углекислый магний, взятый сам по себе, нигде не насыщает воды оз. Балхаш. Ее насыщает в восточных плесах двойная соль, в состав которой входит углекислый магний, а другим членом является углекислый кальций. Кроме того, здесь возможно насыщение воды углекислым кальцием. Если это так, то из воды Восточного плеса могут осажаться как кальцит, так и доломит, причем вопрос о том, какое из этих соединений будет переходить в осадок, решается не так просто. В Западном плесе вода насыщена только углекислым кальцием.

Заканчивая на этом вопрос о молекулярных концентрациях в воде оз. Балхаш, необходимо отметить, что почти постоянную величину произведения концентраций ионов Ca'' , Mg'' и CO_3'' и практически неизменную величину произведения активностей их в Западном плесе нельзя рассматривать как указание на насыщение воды этой части бассейна соединениями магния. Чтобы доказать это предположение, были произведены расчеты, которые наглядно показали, что количество магния, приведенное к количеству хлора, остается постоянным на всех четырех станциях, расположенных в Западном плесе. Если это так, то содержание магния изменяется здесь в тех же пределах, что и содержание хлора, который заведомо не выпадает в осадок.

Для того чтобы наглядно представить себе количественные соотношения, установившиеся между кальцием, магнием и углекислотой в отдельных плесах оз. Балхаш, и выяснить изменения, которые они претерпевают по мере роста минерализации, нами была предпринята попытка условно выразить эти соотношения в солевой форме. Некоторую работу в этом направлении проделал В. Д. Коншин (1945), который представил все монокарбонаты, находящиеся в воде озера, в форме углекислого кальция и углекислого магния. Величины, полученные нашим пересчетом, носящим сугубо условный характер, приведены в табл. 54 и показывают, что собственно углекислый кальций находится в воде западных плесов озера, тогда как в восточных плесах все количество этой соли или подавляющая часть ее входит в состав доломита, и кальцит как таковой из воды этой части бассейна не выделяется.

Таблица 54

Содержание (в мг/л) монокарбонатов, растворенных в воде оз. Балхаш

пробы воды	CaCO_3	$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$	MgCO_3	Сумма	Примечание
1	38,0	—	—	38,0	Весь MgCO_3 пересчитан на двойную соль Углекислый кальций выделен условно, поскольку весь он связывается в молекулу доломита
2	34,2	—	—	34,2	
3	37,0	—	—	37,0	
4	42,0	—	—	42,0	
5	51,9	26,9	—	78,8	
6	(42,5)	78,3	50,1	128,4	
7	(37,7)	69,5	80,9	150,4	
8	(35,0)	64,5	112,6	177,1	

* См. табл. 50.

Углекислый магний появляется в воде, начиная с западной части Среднего плеса. При этом он полностью соединяется с углекислым кальцием. В результате здесь возникает известное количество (26,9 мг/л) двойной соли, которая, однако, еще далеко не насыщает озерную воду. Далее количество двойной соли в растворе возрастает до 78 мг/л в Лепсинском плесе, а затем начинает убывать до 69,5 мг/л в средней части и до 64,5 мг/л в восточной части Бурлю-тубинского плеса (см. фиг. 50).

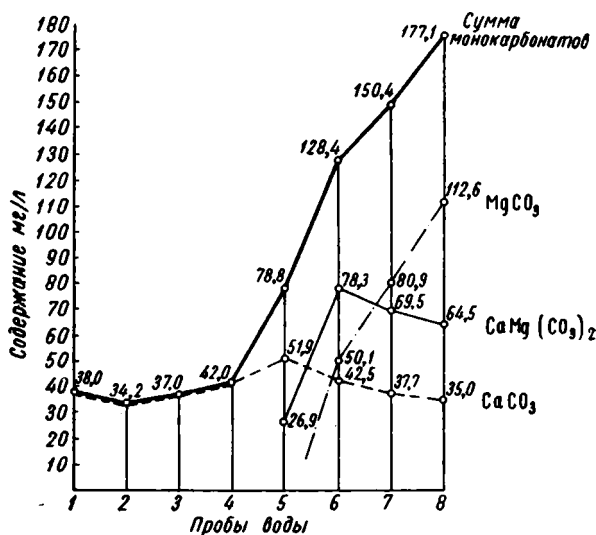
Можно полагать, что весь углекислый кальций или во всяком случае подавляющая часть его входит здесь в состав молекул доломита и только ничтожное количество может выпасть в виде кальцита. Об этом свидетельствует все более и более возрастающее количество углекислого магния к востоку (см. кривую углекислого магния на фиг. 50).

Абсолютные количества углекислого кальция, содержащегося в воде оз. Балхаш, подвержены заметным изменениям. Он обнаружен в наименьших (порядка 35 мг/л) количе-

ствах в Западном и крайнем Восточном плесах и достигает максимума (51,9 мг/л) в средней части водоема, в западной части Среднего плеса. При этом надо иметь в виду, что произведение активности $\text{Ca}^{++} \cdot \text{CO}_3^{--}$ остается в пределах озера повсюду постоянным. Такое изменение содержания углекислого кальция обусловлено тем, что в воде Западного плеса озера содержится весьма мало монокарбонатной углекислоты при относительно высоком содержании кальция. В восточных плесах, наоборот, вода содержит большое количество монокарбонатной углекислоты и весьма мало (14—17 мг/л) кальция. Понятно, что кальций, соединяясь с углекислотой, ни при каких условиях не может дать значительных количеств CaCO_3 . Однако, несмотря на малое содержание, данное соединение насыщает воду восточных плесов, поскольку необходимая для этого величина произведения активности достигается здесь за счет возросшего количества CO_3^{--} .

В средней части водоема (проба 5) ионы Ca^{++} и CO_3^{--} находятся одновременно в наибольшем количестве, и здесь, как следствие этого, наблюдается наибольшее количество CaCO_3 в растворе. В Западном же плесе меньшее содержание этого соединения лимитируется малым количеством иона CO_3^{--} , а в восточных — иона Ca^{++} .

Из табл. 54 видно, что содержание CaCO_3 уменьшается с 42,5 мг/л (проба 6, Лепсинский плес) до 37,7 и 35,0 мг/л (пробы 7 и 8, Бурлю-тубинский плес). Тем не менее вода на всех трех станциях, расположенных в восточной части озера, остается насыщенной углекислым кальцием, поскольку уменьшение абсолютного содержания иона Ca^{++} компенсирует



Фиг. 50. Содержание карбонатов в воде оз. Балхаш. (Содержание MgCO_3 и CaCO_3 вычислено условно).

возросшее количество иона монокарбонатной уголекислоты и производство их остается постоянным. Однако уменьшение количества кальция от станции к станции неизбежно вызывает снижение содержания уголекислой соли этого элемента¹.

Если кальций в условиях восточных плесов Балхаша лимитирует количество CaCO_3 , растворенного в воде, то посредством этого соединения он будет определять и количество двойной соли $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$, находящейся в растворе в воде восточной части бассейна².

Этим объясняется и тот факт, что количество двойной соли также убывает от Лепсинского плеса к восточной части Бурлю-тюбинского.

В заключение напомним, что в осадках Западного плеса содержание доломита во многих случаях доходит до 15 % и более (от веса карбонатной части). В то же время кальцит присутствует в значительных количествах в осадках Бурлю-тюбинского и Лепсинского плесов, где содержание его достигает 30—40 % от веса натурального осадка. Остается неясным, как увязать этот факт с тем, что в Западном плесе не идет хемогенной садки доломита, а в восточном плесе из воды озера не садится кальцит?

Можно предполагать, что доломит в Западном плесе обязан своим происхождением твердому стоку р. Или, в составе которого он содержится в количестве около 5,4 % от веса карбонатной части. Точно так же некоторые количества его могут быть занесены во взвешенном состоянии течениями из восточной части бассейна.

Присутствие кальцита в восточных плесах озера также в значительной степени обусловлено твердым стоком, в составе которого в Бурлю-тюбинский плес, например, поступает около 88 400 т кальцита. Несомненно также, что из западных плесов в восточные возможен занос кальцита, находящегося во взвешенном состоянии. Кроме того, известное значение имеет уголекислый кальций, растворенный в воде р. Лепсы и других притоков. Из этих источников поступает в основном то количество кальцита, которое отлагается на дне восточных плесов, входя в состав белых известково-доломитовых илов.

В свете изложенного становится понятным факт полного отсутствия доломитовых осадков в пределах всей восточной части Среднего плеса оз. Балхаш. В самом деле, в пределах ее не идет хемогенная садка доломита, поскольку вода здесь не насыщена двойной уголекислой солью кальция и магния, и, с другой стороны, сюда не заносится терригенный доломит, поступающий из р. Или, который весь садится в более западных плесах.

Остается сказать еще несколько слов о причинах, вызывающих неравномерное распределение карбонатов в составе донных отложений. Казалось бы, что уголекислые соединения, поступающие в основном вследствие выделения их из воды озера в твердую фазу, должны были бы повсеместно в равной степени обогащать осадки, поскольку этот процесс связан с испарением, идущим в общем равномерно со всего зеркала вод. В действительности же содержание кальцита и доломита, а также сумма их в осадках, растут по мере увеличения глубины водоема.

Такое поведение карбонатов обусловлено многими причинами, из которых мы укажем три, представляющие нам основными. Прежде всего значительную роль играет разбавление карбонатного вещества терригенным материалом, неравномерно поступающим в разные части озера. Далее существенное влияние оказывает терригенный карбонат, который

¹ Следует отметить, что в восточных плесах весь уголекислый кальций идет на построение молекул средней соли, так что он обособлен нами только условно. Однако это совершенно не влияет на ход рассуждений, а лишь упрощает его.

² Данные анализа показывают, что остальные два иона, необходимые для построения средней соли, находятся здесь в избытке.

неравномерно распределяется в пределах бассейна, чем и объясняется неодинаковое содержание углекислых солей в осадках. Однако главной причиной неравномерного распределения карбонатов следует считать процессы механической седиментации, прежде всего процесс разноса. Карбонаты, переходящие в твердую фазу, выделяются в виде мельчайших кристалликов, размеры которых того же порядка, что и глинистых частиц. Понятно поэтому, что при процессах разноса они накапливаются там же, где и глинистый материал, т. е. в относительно глубоководных частях, и вымываются из мелководных.

Однако, несмотря на то, что процессы механической седиментации определяют распределение карбонатов на площади дна отдельных плесов, основное в их размещении — накопление кальцита преимущественно в западной и доломита в восточной части водоема — определяется различным насыщением воды кальцием и магнием, т. е. физико-химическими факторами.

Приведенный разбор процесса отложения карбонатов в оз. Балхаш позволяет думать, что доломитовые осадки отлагаются непосредственно из воды в результате особенностей гидрохимического режима как бассейна в целом, так преимущественно и его восточных плесов. Однако вопрос об условиях образования доломитов не может считаться решенным окончательно. Генезис доломита будет выяснен лишь тогда, когда теоретические построения будут подтверждены экспериментом и когда удастся осадить доломит в лаборатории из воды такого же состава, как балхашская, и в условиях, максимально близких к естественной природной обстановке.

Глава 6

ЖЕЛЕЗО, РАССЕЯННОЕ ОРГАНИЧЕСКОЕ ВЕЩЕСТВО, МЕДЬ, МАЛЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ И МИНЕРАЛЫ КОЛЛОИДНОЙ ФРАКЦИИ В ОСАДКАХ ОЗ. БАЛХАШ

Для железа, органического вещества, меди, малых элементов и минералов коллоидной фракции в осадках оз. Балхаш в нашем распоряжении имеется значительно меньше данных, характеризующих эти второстепенные составные части. Однако на основании этих, подчас скудных, материалов можно сделать некоторые выводы и подметить закономерности, определяющие особенности распространения того или иного компонента на дне водоема.

Железо в осадках оз. Балхаш

В воде рек, впадающих в оз. Балхаш, содержится от 1,4 мг/л (реки Каратал и Ак-су) до 2,5 мг/л (р. Лепса) железа, находящегося в растворенном состоянии. По р. Или соответствующий аналитический материал неизвестен. Однако, исходя из приведенных цифр, можно принять, что среднее содержание растворенного железа в воде притоков оз. Балхаш и р. Или в том числе близко к 2 мг/л.

Эта цифра в общем одного порядка с величинами содержания железа в воде других рек, протекающих в зоне жаркого и сухого климата и берущих свое начало в горах — в зоне высокогорного климата.

В отличие от этого, в поверхностных водах зоны умеренного влажного и холодного климата содержание железа намного меньше. Так, реки Волжского бассейна, а также Днепр и Нева, по которым имеется

Содержание железа в воде рек

Р е к и	Содержание железа, мг/л	Примечание
Волга у Шоши	0,25	Среднее из анализов за 1914—1945 гг. (по С. А. Озерову)
Днепр	0,36	Среднее из наблюдений за 1929 г. (Гусинька, 1938)
Ока у Протопопова	0,18	Среднее из анализов за 1914—1945 гг. (по С. А. Озерову)
Ока в районе г. Калуги	0,24	Среднее из 24 определений (Бруевич и Скопинцев, 1935)
Приток р. Оки	0,32	Среднее из девяти притоков (Бруе- вич и Скопинцев, 1935)
Москва, Рублево	0,22	Среднее по анализам за 1914 и 1915 гг. (по С. А. Озерову)
Клязьма	1,20	Среднее из 13 анализов за 1914 г. (по С. А. Озерову)
Нева	Следы	(Эльманович, 1916)
Селенга	»	} (Верещагин, 1949)
Баргузин	0,03	
Делавар	0,07	} (Кларк, 1924)
Гудзон	0,14	
Юкон	0,03—0,11	
Сыр-Дарья	3	(Бродская, 1949)

наибольшее количество достоверного материала, характеризуются малым содержанием железа, количество которого обычно не превышает 0,3 мг/л (табл. 55). Еще меньше железа в воде некоторых сибирских рек, где зачастую присутствуют лишь следы или сотые доли миллиграмма на литр этого элемента (Селенга, Баргузин, не говоря уже об Ангаре). Особое положение занимает вода р. Оби, в которой содержится 3—6 мг/л растворенного железа.

Из приведенного материала следует, что в воде притоков оз. Балхаш находятся относительно большие количества растворенного железа. Однако, несмотря на это, абсолютные количества железа, вносимого в оз. Балхаш в растворенном состоянии, ничтожны. Так, согласно проведенному расчету, поверхностный сток в озеро дал в 1941 г. всего около 30 000 т растворенного железа.

Наряду с железом, поступающим в виде раствора, значительные массы этого элемента вносятся в оз. Балхаш во взвешенном состоянии. Количество железа в составе твердого стока достигает заметных величин. Так, взвесь, переносимая р. Или, содержит, по данным анализа, 3,11% железа, а соответствующая величина для твердого стока р. Лепсы несколько больше — 3,9%.

Примерно такие же количества этого элемента находятся в составе твердого стока водных артерий соседнего Аральского бассейна и бассейна Каспия (табл. 56). Сравнивая данные табл. 56 с приведенными выше, легко заметить, что все они одного порядка, колеблются от 2 до 5%, причем количество железа в твердом стоке рек Или и Лепсы близко к среднему содержанию этого элемента в других реках.

Расчет, произведенный на основе этих данных, показывает, что в составе твердого стока в оз. Балхаш ежегодно выносится около 310 000 т железа. Таким образом, в составе твердого стока в оз. Балхаш поступает примерно в 10 раз больше железа, чем в растворенном состоянии.

Железо, выносимое в больших массах в Балхаш, обогащает в основном его осадки. В то же время в воде железо находится в незначительном

Содержание железа в составе твердого стока

Р е к и	Содержание железа, %	Примечание
Днепр у Херсона	5,64	По Страхову (1947)
Дон	4,28	
Волга	2,4 (1,9)	
Самур	5,1 (3,81)	
Кура	5,15 (3,86)	
Аракс	4,9 (3,67)	По Бруевичу и Виноградовой (1946). (Содержание железа дано по расче- ту, исходя из содержания его в 10% солянокислой вытяжке — цифра в скобках)
Сыр-Дарья	2,1	По Л. С. Бергу (1909)
»	4,37	По Страхову (1947)
Аму-Дарья	2,6	По Шмидту (1877)
»	4,98	По Страхову (1947)
Или	3,11	
Лепса	3,9	

(порядка 1,2 мг/л) количестве. Эта цифра в 1,5 раза больше количества железа, определенного Шмидтом (1877) в воде Аральского моря (0,8 мг/л), и в 2 раза превышает содержание железа в воде Каспия (0,5 мг/л). Здесь следует напомнить, что в пресноводных водоемах зоны умеренного климата количество железа еще меньше. Так, например, в водах многих озер Австралии содержится всего 0,1 мг/л железа (Кларк, 1924). В воде Байкала оно не обнаружено (Верещагин, 1947). В весьма малых количествах — порядка сотых и, в более редких случаях, десятых долей миллиграмма на литр, этот элемент обнаружен в воде Великих озер Северной Америки (Кларк, 1924).

Таким образом, вода оз. Балхаш хотя и содержит весьма малые абсолютные количества железа, оказывается относительно обогащенной им по сравнению с водами озер, лежащих в зоне умеренного климата, особенно в северной части его. С другой стороны, относительно большие (порядка 1 мг/л) количества этого элемента не являются характерной особенностью только для Балхаша, а, вероятно, свойственны и водам других озер, лежащих в зоне сухого и жаркого климата, о чем можно заключить по примеру Аральского моря.

Железо, тем или иным путем поступившее в Балхаш, распределяется среди его донных отложений неравномерно. Максимальное количество этого элемента обнаружено в серых илах (3,42%). В песчаных илах и илистых песках количества его ниже и составляют соответственно 3,16 и 2,36%. Наименее богаты железом белые илы, содержащие его в среднем в количестве 2,13%.

Донные отложения оз. Балхаш в целом содержат, по данным 69 определений, в среднем 2,95% железа.

Эти цифры интересно сопоставить с кларком железа в различных осадочных породах, из которых, по Г. Бергу (1937), песчаники содержат 1%, сланцы 4,7% и известняки 0,4% железа. Из современных отложений Балхаша с песчаниками можно сопоставить илистые пески, а с известняками, в значительной степени условно, — серые и белые илы. При сравнении приведенных величин видно, что осадки оз. Балхаш — илистые пески и илы ¹ — относительно богаче железом, чем соответствующие им

¹ Повышенное по сравнению с известняками количество железа в илах обусловлено высоким содержанием терригенной части в этих осадках, которые по составу соответствуют мергелям.

по составу осадочные породы. Для сланцев же среди современных отложений озера аналогов не обнаружено.

Таблица 57

Содержание железа в осадках современных озер

Водоемы	Содержание железа, %	Примечание
Иссык-куль	3,17	Среднее из 10 анализов
Аральское море	} 1,2 Около 2	Среднее из пяти анализов грунтов Илистая часть осадка
Северный Каспий		
Аральское море	} 2,2 (1,68)* 0,55 (0,41) ¹	Илы Илистые пески и песчаные илы
Байкал		
Ладожское озеро	2,38	Среднее из анализа двух типичных образцов ила (Гильзен, 1911)
	5,9	Среднее из трех анализов ила
	4,64	Среднее из восьми анализов

¹ Первая цифра — общее содержание железа по расчету, полученное, исходя из данных анализа 10% солянокислой вытяжки. Цифра в скобках — содержание железа в солянокислой вытяжке.

Повышенное по сравнению с кларком содержание железа в осадках оз. Балхаш следует поставить в связь с тем, что пески здесь, как правило, полимиктовые, а илы весьма богаты обломочным материалом.

Полученный цифровой материал интересно сопоставить с содержанием железа в осадках соседних водоемов, а также некоторых других современных бассейнов (табл. 57).

Количество железа в осадках ближайшего к Балхашу озера — Иссык-куль — составляет, по нашим данным, 3,17%. В осадках северной части Аральского моря (Малое море) по анализам, приведенным в работе А. Л. Бенинг (1935), среднее количество железа составляет 1,2%.

По данным анализа, проведенного Шмидтом, илистые осадки этого водоема содержат около 2% железа. В илах северной части Каспия Бруевич и Виноградова обнаружили 1,68% железа, определенного из 10%-ной солянокислой вытяжки, что составляет около 2,2% валового содержания его в илах. Илистые пески и песчаные илы северного Каспия содержат, по данным тех же авторов (Бруевич и Виноградова, 1946), 0,41% железа, определенного из солянокислой вытяжки, что соответствует 0,55% общего количества этого элемента.

Все приведенные величины показывают, что современные отложения оз. Балхаш, как правило, несколько богаче железом, чем осадки соседних с ним озер. Правда, здесь нужно указать, что цифровой материал, имеющийся в настоящее время, весьма скуден и частью представляется недостаточно надежным.

В работе Н. М. Страхова (1948) собран полный и обстоятельный материал по содержанию железа в пересчете на бескарбонатное вещество в осадках Аральского моря, Каспия, Иссык-Куля (по нашим данным), Черного моря, Баренцова моря и экваториальной части Атлантики. Цифры, приведенные в этой работе, подтверждают наш вывод об относительно высоком содержании железа в осадках Балхаша. В донных отложениях всех перечисленных водоемов железа меньше, чем в соот-

ветствующих осадках Балхаша. Исключением являются только пелитовые осадки Черного моря, несколько более богатые железом, чем соответствующие отложения описываемого водоема.

Если попытаться расширить проводимые сопоставления и сравнить отложения оз. Балхаш по количеству железа с осадками озер умеренной климатической зоны, то окажется, что этот элемент содержится в них в значительно большем количестве. Так, в современных отложениях Байкала, по данным трех анализов, около 6%¹ железа, а в осадках Ладожского озера — 4,64%. Близкие значения дает материал по донным отложениям других водоемов.

Современные отложения озер области сухого и жаркого климата значительно беднее железом, чем отложения водоемов, лежащих в области умеренного и холодного климата, в то время как поверхностные воды в первой области, наоборот, заметно богаче железом, чем во второй. Весьма вероятно, что относительное обогащение железом осадков озер умеренной климатической зоны в значительной мере обусловлено отсутствием карбонатов. Примесь их не снижает содержания этого элемента в составе донных отложений, как это происходит в карбонатных осадках оз. Балхаш и других озер засушливой зоны.

Выше указывалось, что донные отложения Балхаша в разной степени обогащены железом, количество которого колеблется здесь в среднем от 2,13 до 3,42%. Для того чтобы лучше понять причины, обуславливающие неравномерное распределение железа в осадках, необходимо выяснить, с какой частью их связывается этот элемент и как он распределяется в составе отложений на дне озера.

Выше указывалось, что главная масса железа поступает в озеро в виде взвеси и, следовательно, неотделима от терригенного материала, слагающего подавляющую массу твердого стока, равно как и от терригенной части осадка на дне озера. Примесь углекислых солей в различной степени разбавляет терригенную часть осадков и приводит, наряду с другими особенностями, к различному процентному содержанию железа в них. Следовательно, одной из причин различного содержания железа в осадках может явиться неравномерное разбавление обломочного материала углекислыми солями, представленными в условиях Балхаша кальцитом и доломитом.

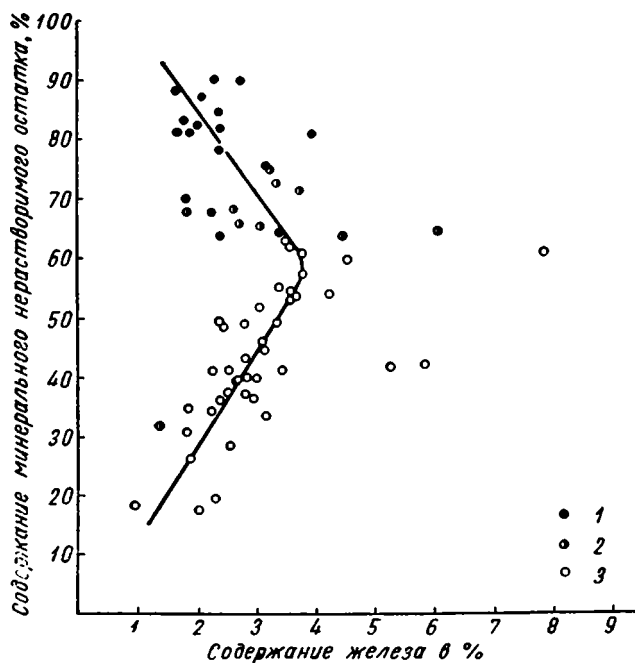
Соотношения между содержанием терригенной части (минеральный нерастворимый остаток) и железом в составе осадков оз. Балхаш можно видеть из диаграммы фиг. 51. По оси абсцисс здесь отложены содержания железа, а по оси ординат — содержания минерального нерастворимого остатка, причем все величины выражены в процентах от натурального осадка. Донные отложения из разных частей озера представлены на этой диаграмме точками. Около них поставлены цифры, означающие номер станции, с которой взят образец. Характер образца обозначается особым знаком. Соотношения между обломочным материалом и железом представлены в виде кривой, вычерченной в поле диаграммы.

Из общего характера кривой ясно следует, что для илов, сложенных в основном глинистым и карбонатным материалом, устанавливается прямая зависимость между количеством минерального нерастворимого остатка (в данном случае — глины) и содержанием железа. Всякому увеличению содержания нерастворимого остатка соответствует уменьшение содержания карбонатов и, следовательно, относительное обогащение донных отложений железом. Об этом свидетельствует та часть кривой, которая идет от начала координат до средней части диаграммы.

¹ Такого же порядка величина (5,1%) получается, если вычислить среднее содержание железа в осадках оз. Байкал, исходя из данных семи анализов М. А. Жиркевич.

Далее, в той части, где совершается переход от илов к песчаным илам и илистым пескам, кривая резко поворачивает и отклоняется к оси ординат. Для того чтобы понять это изменение характера кривой, напомним, что в составе песчаных илов и илистых песков выявляется и начинает играть главную роль песчаный материал, который значительно беднее железом, чем глинистая часть осадка¹. С другой стороны, сокращается примесь карбонатов.

В связи с этим устанавливаются гораздо более сложные соотношения, и всякое увеличение терригенной части в илистых песках и особенно в песчаных илах в условиях Балхаша приводит, как правило, к возрастанию роли песчаного материала и снижению содержания глинистой части, наиболее богатой железом. Наряду с этим снижается содержание карбонатного материала, разбавляющего терригенную часть осадка.



Фиг. 51. Изменение содержания железа в осадках оз. Балхаш:

1 — илистые пески, 2 — песчаные илы, 3 — илы.

Эти сложные соотношения, изменяющиеся при переходе от одного образца илистых песков и песчаных илов к другому, суммируясь, порождают обратную зависимость между содержанием минерального нерастворимого остатка и железа, о чем свидетельствует резкое изменение направления кривой.

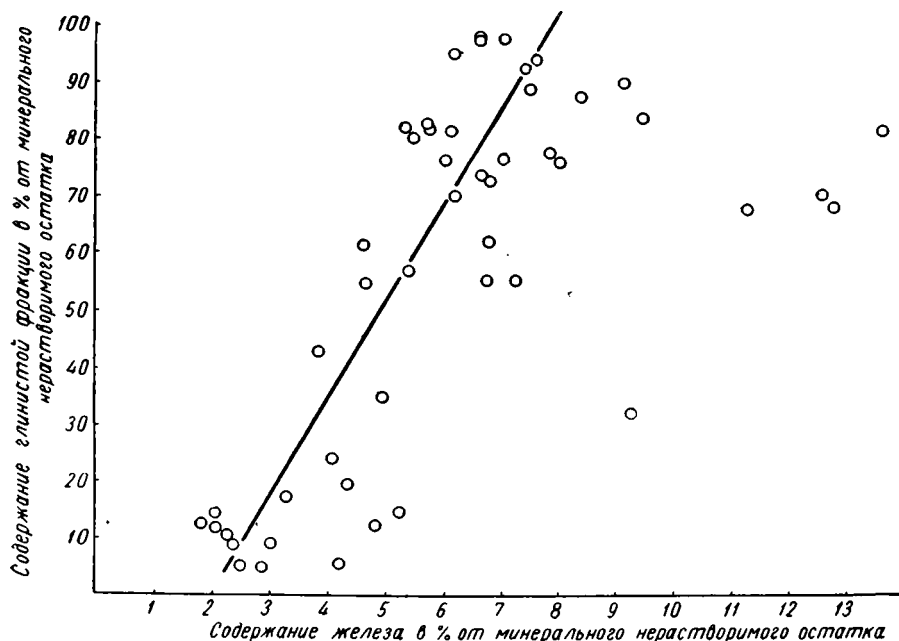
Для того чтобы избавиться от искажающего влияния углекислых солей, все данные по определению железа были пересчитаны и выражены в процентах от терригенной части донных отложений. Проведенные подсчеты показали, что наибольшее количество железа обнаружено в составе терригенной части серых и белых илов, которые содержат его 7,95 и 7,25%.

¹ Ниже приведены соображения в пользу того, что железо связывается в основном глинистой частью осадков.

В то же время в терригенной части песчаных илов и илистых песков содержится соответственно 4,99 и 2,89% железа.

Цифровой материал, полученный в результате пересчета, показывает, что содержание железа в составе нерастворимой части непостоянно и подвержено существенным изменениям.

В связи с этим уместно поставить вопрос о том, с чем именно или с какой фракцией обломочного материала, слагающего минеральную нерастворимую часть осадка, связывается главная масса железа. Такая попытка представляется тем более законной, что главная часть железа поступает в водоем в составе взвеси и, следовательно, еще в притоках находится в тесной связи с тонкими фракциями обломочного материала.



Фиг. 52. Изменение содержания железа в зависимости от количества глинистой фракции.

Для выяснения этого вопроса построена диаграмма фиг. 52, по оси абсцисс которой отложено содержание железа, выраженное в процентах от веса минерального нерастворимого остатка, а по оси ординат — содержание глинистой фракции, выраженное также в процентах от этой важнейшей части донных отложений. Точки, соответствующие содержанию железа и глинистого вещества в составе осадков, взятых с отдельных станций, располагаются на диаграмме закономерно, компактной полосой, и только пять точек из общего числа 49 отходят от этой полосы и попадают в другие части поля диаграммы.

Анализ диаграммы показывает, что по мере роста содержания глинистой части в составе минерального нерастворимого остатка увеличивается содержание железа. Таким образом, между содержанием железа и количеством глинистой фракции в составе терригенной части осадка устанавливается прямая зависимость, которая выражается в виде прямой линии.

На диаграмме можно заметить, что в части ее, ограниченной с одной стороны осью ординат, а с другой — линией содержания железа в 2%,

располагаются всего три точки. Главная масса точек, расположенных строго закономерно, находится за пределами указанной части диаграммы. Отсюда можно сделать вывод, что наметившаяся зависимость между содержанием глинистого материала и железа начинается примерно с 2% содержания железа в осадке. Меньшее количество железа содержится во всех, в том числе и в песчаных фракциях обломочного материала. Однако как только к осадку примешивается глинистая фракция, количество железа начинает увеличиваться в прямой зависимости от содержания глинистого материала в составе терригенной части донных отложений.

Рассмотрим теперь, как распределяется железо в составе осадков, развитых на дне оз. Балхаш. Прежде всего обращает внимание тот факт, что количество железа в осадках озера заметно снижается от южной части Западного плеса к востоку — к Лепсинскому и Бурлю-тюбинскому плесам. Это явление отчетливо заметно при сопоставлении содержания железа в серых и белых илах: выясняется, что белые илы, развитые в восточных плесах, примерно на 1—2% беднее им, чем серые илы Западного плеса озера. Однако снижение содержания железа к востоку хорошо проявляется только при сопоставлении илов и не обнаруживается в илистых песках и песчаных илах. Надо полагать, что это в основном является следствием увеличения содержания углекислых солей в осадках и не зависит от особенностей процесса накопления железа.

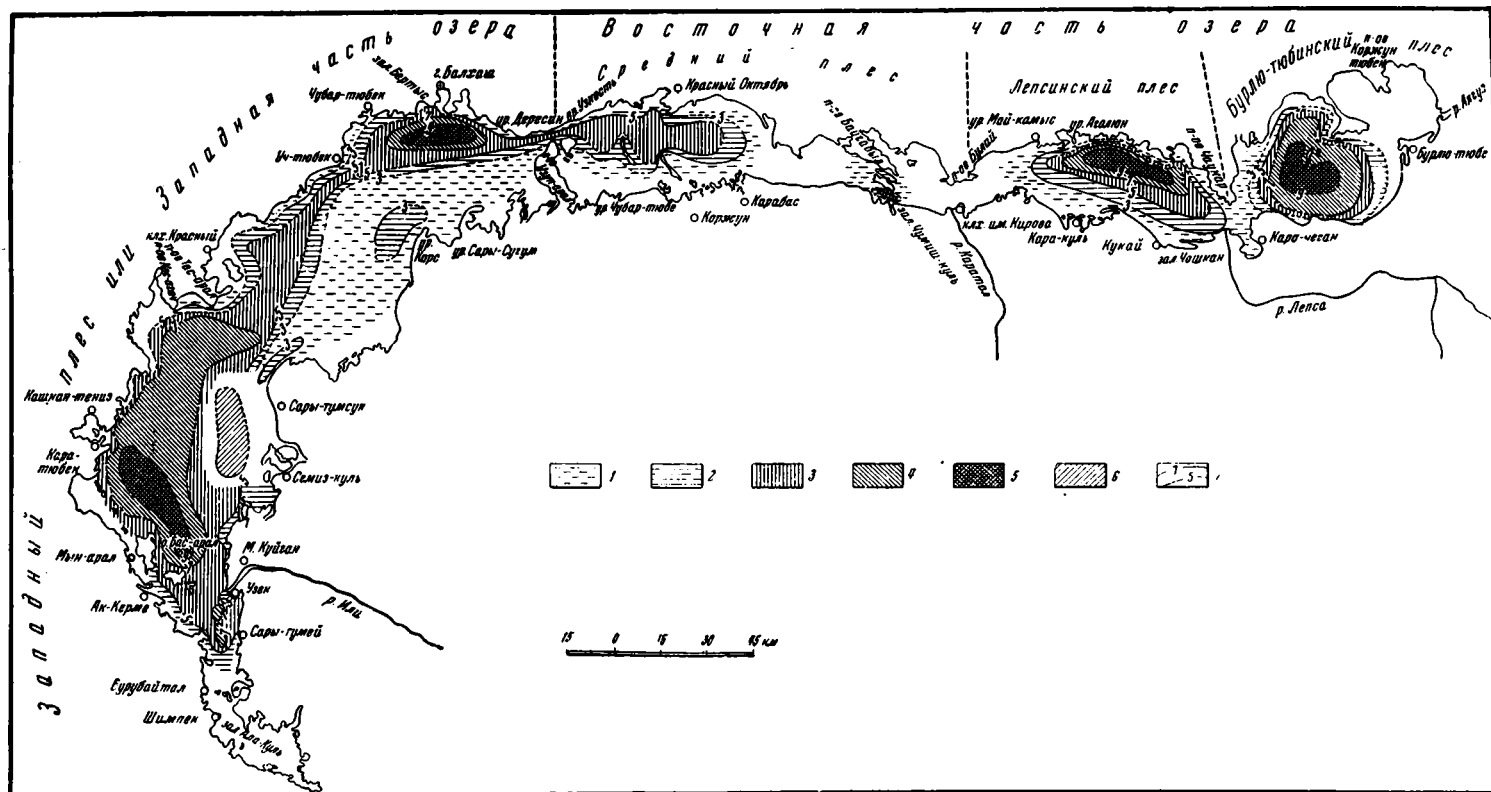
Для подробного изучения данного процесса была составлена карта распределения железа в составе терригенной части донных отложений (фиг. 53). При построении карты содержание этого элемента в осадках отдельных станций было вычислено в процентах от минерального нерастворимого остатка. На карте, кроме того, проведены линии равных содержаний железа, которые оконтуривают области развития осадков, характеризующихся одинаковым количеством железа.

Если проследить по карте изменение содержания этого элемента, начиная от устья р. Или, вносящей подавляющую часть его, то можно отчетливо наблюдать следующую картину. Вначале количества железа относительно невысоки и колеблются в среднем от 5 до 7%; только в районе, примыкающем непосредственно к устью р. Или, содержание его несколько меньше 5% и снижается для песчаных илов до наинизшей цифры — 4,6% от суммы нерастворимого остатка. В 10—15 км к северо-западу от устья р. Или содержание железа в осадках увеличивается до 7—9%, а в отдельных случаях оно еще выше. Полоса осадков, обогащенных этим элементом, протягивается отсюда на север и северо-восток, вплоть до полуострова Тас-арал, в районе которого содержание железа не более 6,5—6,8%.

В северной части Западного плеса, в районе г. Балхаш, располагается вторая область развития илов, относительно более обогащенных железом, количество которого возрастает здесь до 7%, а в отдельных точках и до 13%. Обращает на себя внимание тот факт, что осадки на дне озера в участках, прилегающих к восточному и южному побережьям Западного плеса, начиная от района полуострова Тас-арал на западе до полуострова Узун-арал на востоке, отличаются незначительным содержанием железа, которое лишь в редких случаях превышает здесь 3%.

К югу от устья р. Или количество железа заметно возрастает и достигает в одном случае даже до 12,7%.

В Среднем плесе, расположенном к востоку от полуострова Узун-арал, осадки, содержащие железа более 5% от нерастворимой части, протягиваются полосой до меридиана окончания широкой его части, будучи приурочены к наиболее глубокой полосе, и далее на восток, в пределы более узкой части бассейна не заходят. В пределах последней имеется



Фиг. 53. Распространение железа в составе донных отложений оз. Балхаш.

Содержание железа в процентах от нерастворимой части: 1 — меньше 3; 2—3—5; 3—5—7; 4—7—9; 5 — больше 9; 6 — песчаная отмель, намывная в районе с. Сары-тумсу; 7 — линии равных содержаний.

весьма скудный материал, по которому нельзя выделить осадки, в разной степени обогащенные этим элементом. На основании имеющихся данных можно считать, что донные отложения узкой части бассейна Среднего плеса, представленные илистыми песками и песчаными илами, содержат в основном не более 3% железа.

В восточных плесах озера наблюдается увеличение содержания железа от берегов к наиболее глубоким частям. Это отчетливо наблюдается в Лепсинском и Бурлю-тюбинском плесах, где осадки, содержащие железа 7—9% и более, приурочены к открытым и наиболее глубоким частям. В то же время в прибрежной полосе развиты осадки, содержащие всего 3—5% этого элемента.

Таким образом, как следует из карты, во всех более или менее крупных плесах озера железо отчетливо обогащает осадки наиболее глубоководной зоны. Здесь содержание его в составе терригенной части обычно достигает 9—10%, а в отдельных случаях возрастает до 12—13%. При продвижении от упомянутых центральных частей водоема в сторону берега содержание железа падает и составляет в осадках прибрежной полосы всего 2—3% от веса минерального нерастворимого остатка.

Эти данные полностью подтверждают вывод Н. М. Страхова (1947), который на примере осадков Черного моря продемонстрировал повышенную приуроченность железа к отложениям глубоководной зоны.

Примерно таким же образом распределяется в составе донных отложений и глинистый материал, количества которого достигают максимума в глубоководной части и снижаются до минимальных значений в прибрежной полосе. Сопоставляя карту распространения железа в составе донных отложений с картой распространения глинистого материала (фиг. 40), легко заметить, что это сходство идет далее и что площади донных отложений, наиболее богатых глинистой фракцией, с одной стороны, и железом, с другой, почти полностью совпадают.

Некоторые факты, в том числе поступление главной массы железа в составе твердого стока, прямая зависимость между содержаниями железа и глинистой фракции в составе терригенной части осадка и, наконец, сходные особенности распространения их на дне водоема дают основание считать, что железо в условиях Балхаша неразрывно связано с глинистой частью осадка. Можно полагать поэтому, что условия отложения глинистого материала в бассейне определяют накопление железа и степень обогащения им осадка.

В заключение интересно отметить, что максимальное содержание железа в осадках глубоких частей плесов, вычисленное в процентах от минерального нерастворимого остатка, обнаруживает некоторую тенденцию к снижению с запада на восток. Так, максимальное содержание железа в южной части Западного плеса наблюдается на незначительном расстоянии от устья р. Или, где количество его в составе терригенной части достигает соответственно 12,5 и 12,7%, тогда как в восточных — Лепсинском и Бурлю-тюбинском — плесах количество его не поднимается выше 9,4 и 11,4% соответственно.

Такое незначительное, но все же заметное повышение максимальных содержаний железа в Западном плесе можно объяснить наличием процесса хемогенного выделения этого элемента из воды, поступающей здесь в больших массах в озеро из р. Или. При этом, повидимому, железо начинает переходить в твердую фазу в районе устья р. Или, а захоронение его происходит в другом месте, на некотором расстоянии от устья.

Из сказанного не следует делать вывод о том, что в районе упомянутых станций садится все железо, вносимое в растворенном состоянии в водоем. В действительности, вероятно, большая часть его разносится и распределяется на значительной площади дна Западного плеса. В рай-

оне же, отстоящем на 10—15 км от устья р. Или, процесс выделения железа идет, повидимому, наиболее интенсивно, что и приводит к некоторому повышенному обогащению развитых здесь донных отложений.

Изложенные соображения относительно поведения железа в осадках Балхаша во многом совпадают с выводами Н. М. Страхова (1947), к которому он пришел ранее — при изучении условий накопления этого элемента в составе донных отложений Черного моря.

Рассеянное органическое вещество

Органическое вещество находится в составе осадков озера Балхаш, как правило, в рассеянном состоянии и только в редких случаях скапливается в заметном количестве в форме торфа и балхашита. Из них балхашит, пользующийся широкой известностью, распространен в южной части озера, по берегам пересохшего к настоящему времени залива Алакуль. Второй формой накопления органического вещества является торф, прослой которого обнаружены под верхним слоем донных отложений, о чем указано выше, и известны кое-где по берегам среди серии озерных отложений.

В главе 3 были приведены цифры содержания органического углерода в основных типах осадков оз. Балхаш. От этих цифр легко перейти к валовому содержанию органического вещества, которое, как показывают данные расчета, находится в среднем в количестве от 0,4 до 3,4%. При этом наиболее богаты органическим веществом белые илы, содержащие его в среднем около 3,4%; серые илы и илистые пески характеризуются близким количеством органического вещества, составляющим соответственно 1,14 и 1,31%. Наконец, в наименьшем количестве (всего около 0,41%) оно находится в илистых песках. Среднее содержание органического вещества в осадках оз. Балхаш составляет, по данным 48 определений, 1,4%.

Эти величины можно сравнить с содержанием органического вещества в осадках некоторых других озерных водоемов. Мы воспользуемся преимущественно данными К. К. Гильзена (1905, 1911 и 1915), который в течение нескольких лет проводил исследования различных озер, расположенных на территории СССР.

По данным Гильзена, осадки крупных озер содержат весьма различные количества органического вещества. Мы не будем приводить здесь всех цифр, имеющихся в работах этого автора, а приведем лишь средние содержания для отдельных бассейнов (см. табл. 58, где, кроме того, приведены данные определений органического вещества в осадках озер Балхаш и Иссык-куль).

Таблица 58

Средние содержания органического вещества в осадках озер

Водоемы	Содержание органического вещества, %	Примечание
Оз. Балхаш	1,4	Среднее из 56 определений
Оз. Иссык-куль	2,0	Среднее из 7 анализов
Аральское море	0,34	Среднее из 15 анализов
Оз. Байкал	2,3	Среднее из 7 анализов
Ладожское озеро, прибрежная часть	0,55	По данным 2 анализов
Ладожское озеро, глубоководная часть	4,2	Среднее из 5 анализов

Для того чтобы представить себе в наиболее ясной форме, как распределяется углерод в составе донных отложений, была составлена карта (фиг. 54), на которой нанесены данные более 50 определений содержания органического углерода в образцах, собранных в 1940 и 1941 гг. Кроме того, при составлении этой карты были использованы данные определений, проведенных А. И. Янковской. В работе А. И. Янковской (1933) приведено 40 анализов, выполненных, так же как и в нашем случае, по методу Кнопа. Таким образом, получается около 100 точек, разбросанных по всему озеру, осадки из которых проанализированы на содержание углерода. По этому материалу можно составить достаточно подробную карту распределения органического углерода.

Рассматривая карту, можно заключить, что органический углерод закономерно распределяется по площади бассейна, причем в наименьших количествах он присутствует в осадках Западного плеса в районе устья р. Или, а в наибольших количествах — в донных отложениях восточных плесов. Действительно, в районе устья р. Или количество органического углерода колеблется в пределах от 0,33 до 0,47% и не превышает 0,5%. Далее содержание этого элемента начинает несколько возрастать и достигает на расстоянии 8—10 км от устья 0,53—0,65%.

Содержания такого порядка удерживаются в пределах всей области развития илов в Западном плесе. На карте можно видеть, что осадки, содержащие более 0,5% органического углерода, протягиваются широкой полосой на север вплоть до района г. Балхаш. Повсюду здесь максимальные количества его не превышают 0,7%. Начиная примерно с широты 46°, эта полоса ограничивается с востока областью развития осадков, бедных органическим углеродом, которая доходит до восточного и южного берегов бассейна. Количество углерода в донных отложениях не превышает здесь 0,5%, а иногда снижается до 0,1%.

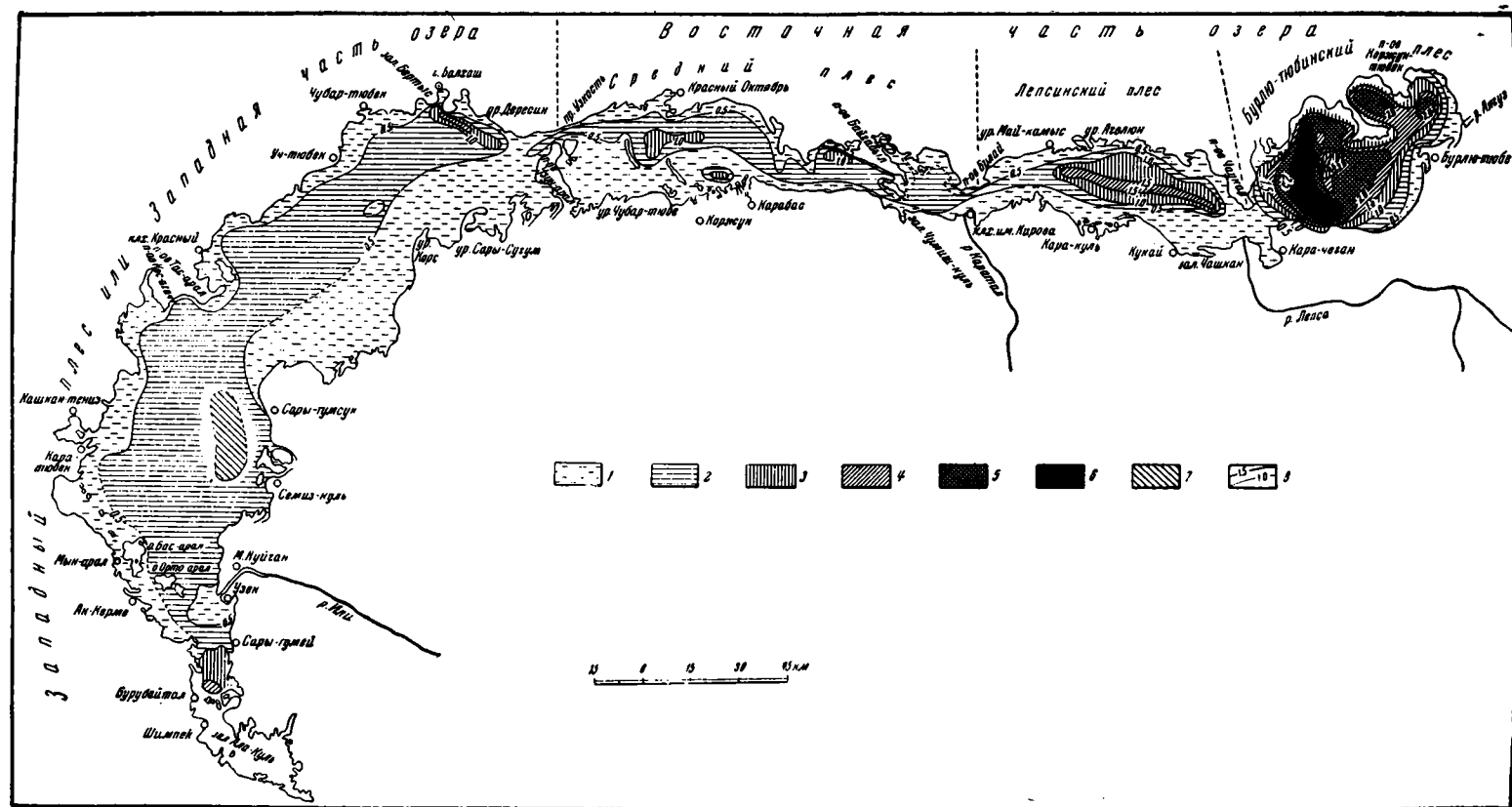
Узкая полоса осадков с малым содержанием органического углерода прослеживается также вдоль западного и северного побережий плеса, начиная от его южной оконечности до пролива Узкость на северо-востоке.

Таким образом, несмотря на то, что осадки Западного плеса весьма бедны органическим веществом, количества его здесь существенно изменяются. При этом отложения средней, наиболее глубокой части озера несколько богаче им, чем отложения мелководной прибрежной полосы.

Осадки, относительно богатые углеродом (содержащие более 1% этого элемента), распространены весьма ограниченно. Узкая полоса подобных отложений прослеживается в районе г. Балхаш в северной части Западного плеса. В южной части Западного плеса осадки, содержащие более 1% органического углерода, развиты относительно широко. Здесь же в одном месте количество органического углерода доходит до 5,45%. Однако такое высокое содержание его обусловлено, вероятно, случайными причинами и имеет чисто местный характер.

К востоку от пролива Узкость вплоть до Лепсинского плеса наблюдается примерно такая же картина размещения органического углерода. В средней части бассейна здесь находятся осадки, содержащие от 0,5 до 1% его, а вдоль южного и северного берегов протягиваются узкие полосы донных отложений, которые относительно беднее этим элементом.

Осадки Лепсинского плеса заметно более обогащены органическим углеродом, количество которого часто доходит до 1 и даже 1,5%. В прибрежной зоне здесь, так же как и в плесах, расположенных западнее, развиты донные отложения, содержащие наименьшие количества углерода (0,1—0,27%). Однако по мере перехода в среднюю, открытую часть озера количество углерода возрастает до 1,41—1,61%.



Фиг. 54. Распространение органического углерода в осадках оз. Балхаш.

Содержание органического углерода в процентах от веса сухого осадка: 1 — меньше 0,5; 2—0,5—1,0; 3—1,0—1,5; 4—1,5—2,0; 5—2,0—2,5; 6 — больше 2,5; 7 —песчаная отмель, намытая в районе с. Сары-гумус; 8 —линии равных содержаний.

Такая же картина наблюдается и в Бурлю-тюбинском плесе, но содержания углерода здесь больше и достигают в центральных частях 2%, а в осадках у отдельных станций — 2,62, 2,74 и 2,61%.

Карта рисует, таким образом, отчетливую картину обогащения углеродом осадков относительно глубоководных частей бассейна, по сравнению с мелководными прибрежными отложениями. Кроме того, наблюдается заметное обогащение углеродом осадков восточных плесов, по сравнению с западными.

Такая приуроченность отложений, обогащенных органическим веществом, к глубоким частям водоема, подмечена уже давно. Так, К. К. Гильзен еще в 1905 г. обратил внимание на то, что осадки центральных и наиболее глубоководных частей Ладожского озера во много раз богаче органическим веществом, чем отложения прибрежной зоны. Он хорошо показал это на схематической карте распределения органического вещества в осадках Ладожского озера, приложенной к его работе.

Позднее П. Траск (1932), подробно изучавший распределение органического вещества в современных отложениях и обобщивший огромный материал, выявил ряд закономерностей в размещении органического вещества в осадках. Он подметил повышенную приуроченность органического вещества к глинистым осадкам, более богатым им, чем иловатые. Последние в свою очередь характеризуются большим содержанием органического вещества чем, пески.

Н. М. Страхов (1947) отметил повышенную приуроченность органического вещества к осадкам глубоководной части Черного моря и подробно проанализировал это явление, основываясь как на процентных соотношениях, так и на данных абсолютных содержаний органического вещества в главных типах современных отложений описываемого бассейна.

Таким образом, закономерность, выявленная на примере оз. Балхаш, имеет, оказывается, общее значение, и этот мелководный и весьма своеобразный бассейн не отличается по особенностям накопления рассеянного органического вещества от многих других озерных и морских водоемов.

Можно полагать, что осадки мелководных частей бассейна находятся в условиях, мало благоприятных для обогащения органическим веществом. Действительно, малая глубина делает возможным здесь постоянное взмучивание и переотложение осадков, а с ними и органического вещества. Этот процесс достигает наибольшей интенсивности в пределах широких мелководных участков вдоль южного и восточного берегов Западного плеса, где даже незначительный ветер поднимает волны, достигающие до дна. В результате органическое вещество здесь многократно взмучивается, окисляется в слое воды и мало-помалу минерализуется.

С другой стороны, в глубоководных плесах волнение доходит до дна относительно редко. Тем самым донные отложения в меньшей степени подвержены размыванию и последующему переотложению. Как следствие этого, в глубоководной зоне создаются условия, более благоприятные для сохранения органического вещества.

Несомненно также, что в процессе разноса органическое вещество, обладающее весьма малым удельным весом, вымывается из прибрежной полосы и заносится в более глубоководную часть водоема, где вследствие этого оно в большей степени обогащает осадок. Кроме того, важнейшим фактором, обуславливающим различную степень обогащения осадков органическим веществом, является различная скорость седиментации и, в случае Балхаша — скорость отложения обломочного материала и хемогенных карбонатов. Там, где этот процесс идет относительно медленно (восточные плесы), осадки обладают повышенным содержанием углерода. В тех же местах, где отлагаются большие количества обломочного материала (Западный плес) или идет весьма напряженный процесс осадки

углекислых соединений, органическое вещество приходится на больший объем минеральной части и оно в меньшей степени обогащает донные отложения.

Таким образом, глубина отложения оказывает существенное влияние на степень обогащения осадков органическим веществом.

Из всего сказанного выше можно заключить, что количество органического вещества, содержащегося в том или ином типе донных отложений, определяется не только количеством его, первоначально выпавшим на дно. В действительности оно является функцией многих факторов, из которых скорость седиментации, глубина отложения, а также степень и условия сохранности являются важнейшими.

Интересно отметить, что донные отложения глубоководной части содержат также наибольшее количество глинистого вещества, связанного с ним железа и карбонатов. В связи с этим между содержанием всех указанных компонентов в осадке создается прямая зависимость, которая на первый взгляд может быть истолкована как указание на наличие генетической связи между всеми ними. Понятно, что в действительности такой связи нет.

Медь

В составе сухого остатка воды из Западного плеса оз. Балхаш содержится около 0,002% меди. Если принять, что минерализация воды составляет здесь около 1 г растворимых веществ на литр, то содержание меди в воде составит ничтожно малую величину, порядка $2 \cdot 10^{-6}\%$, или около 0,02 мг/л. Для сравнения заметим, что эта величина примерно в 60 раз меньше количества железа, находящегося в растворенном состоянии в воде оз. Балхаш, и в пять раз меньше среднего содержания меди в морской воде, составляющего, по данным В. И. Вернадского, $1 \cdot 10^{-5}\%$.

Такое малое содержание меди следует поставить в связь со щелочной реакцией воды Балхаша, рН которой составляет в Западном плесе 8,2—8,4, а на востоке 9 и 9,2.

В отличие от этого, в составе вещества, находящегося во взвешенном состоянии в воде оз. Балхаш, содержится примерно 0,002% меди. Эта величина почти совпадает со средним содержанием меди в доступной для изучения части земной коры, составляющим, согласно Г. Бергу (1937), 0,001%.

Для суждения о количестве меди, содержащемся в осадках оз. Балхаш, имеется очень небольшое количество аналитического материала. Из общего числа 17 определений большая часть приведена в работе Э. С. Залманзон (1954). Результаты этих определений сведены в табл. 61, где, кроме меди, приведено содержание глинистого вещества и карбонатов, вычисленное в процентах от натурального осадка.

Из табл. 61 следует, что илы оз. Балхаш содержат медь в количествах, заметно превышающих кларк этого элемента, а также, что наибольшее количество меди (0,006—0,007%) содержится, как правило, в илах и песчаных илах.

Значительно меньшее количество меди определено в илистых песках—0,001—0,0015%. Эти величины близки к среднему содержанию меди в составе доступной для исследования части земной коры. В то же время песчаные илы и илы содержат заметно большее количество меди и относительно обогащены ею.

При попытке расшифровать закономерности, которые обуславливают распределение меди в осадках оз. Балхаш, мы встречаемся с большими трудностями. Прежде всего имеющийся материал весьма скуден и недостаточен для того, чтобы сделать обоснованные выводы. Значительные трудности представляют также чрезвычайно малые содержания меди,

Содержание меди в осадках оз. Балхаш

№ анализа	Характер осадка	Содержание в % от натурального осадка		
		меди	карбонатов	глинистого вещества
1	Серый ил	0,007	24	44
2	Песчаный ил	0,006	18	51
3	Серый ил	0,003	45	30
4		0,005	53	45
5		0,005	48	43
6		0,004	49	29
7		0,003	41	43
8		0,004	46	42
9		0,006	40	49,5
10	Белый ил	0,007	59	24
11		0,007	36	21
12		0,002	63	21
13		0,006	68	17
14	Песчаный ил	0,007	55	10
15		—	—	—
16	Илистые пески	0,001—0,0015	—	—

причем не всегда можно уверенно сказать, чем обусловлено то или иное изменение ее количества.

Это позволяет лишь в самых общих чертах наметить особенности распространения меди в осадках.

Можно думать, что главной из этих особенностей является относительное обогащение медью осадков более глубоководной зоны — илов, по сравнению с более мелководными отложениями — илистыми песками и песчаными илами.

Можно было бы предполагать, что медь, по аналогии с железом, в главной своей части связана с глинистым материалом; однако из сопоставления цифр, приведенных в первой и третьей графах табл. 59, следует, что между ними нет прямой зависимости. Связь же меди с карбонатным веществом, которую допускает Э. С. Залманзон, представляется весьма мало вероятной. В самом деле, осадки 2, 9 и 13 (табл. 59) содержат соответственно 18, 40 и 68% карбонатов, но в то же время характеризуются одинаковым содержанием меди, равным 0,006%. Это относится и к осадкам 1, 10, 11 и 14, которые содержат 0,007% меди, тогда как количество карбонатов в них резко изменяется и составляет соответственно 24, 59, 36 и 55%.

Приведенные величины показывают, что между содержанием карбонатного материала и меди в осадках не обнаруживается прямой зависимости.

В связи с этим можно предполагать, что количество меди, содержащееся в осадках, зависит от каких-то других причин, для объяснения которых недостаточно материала, имеющегося в нашем распоряжении.

Малые элементы

Содержания малых элементов в осадках оз. Балхаш приведены в табл. 60, составленной на основе данных, позаимствованных из работы Э. С. Залманзон (1951).

Содержание малых элементов в осадках оз. Балхаш
по данным Э. С. Залманзон
(в тысячных долях процента).

	Западный плес				Средний плес	Лепсин-ский плес	Бурлю-тюбин-ский плес	Среднее содержание			
	южная часть, район устья р. Или	южная часть	средняя часть	северная часть							
Cr.	1,6	Нет	1,4	1,2	1,4	0,9	1,4	Нет	0,4	0,3	0,9
Cu	6	5	5	4	3	6	7	7	6	7	5,5
Ba	16	10	5	10	8	16	8	12	10	10	10,5
Sr	7	15	9	9	9	16	9	19	24	16	13,3
F	41	47	37	42	35	52	80	80	121	110	—
B	5	9	10	7	6	13	14	16	Не определяется	17	—

Малые элементы в осадках оз. Балхаш

Малые элементы в тысячных долях % на силикатную часть осадков

Cr	2	—	3	2,6	2,6	1,7	4,2	—	1,7	0,9	2,2
Cu	8	12	11	9	6	11	21	20	26	20	14,4
Ba	20	24	11	22	15	30	24	37	43	28	25,4
Sr	9	36	20	20	17	30	27	53	102	45	35,9

Приведенные цифры показывают, что среди малых элементов выделяется несколько групп, члены которых ведут себя по-разному. Прежде всего можно заметить, что содержание некоторых элементов закономерно возрастает от западных плесов к восточным. К таким элементам относятся стронций, фтор и бор. Они содержатся в осадках из района устья р. Или соответственно в количестве 0,007, 0,041 и 0,005%, в осадках же Восточного плеса количество их возрастает и составляет: для стронция 0,024, фтора 0,121 и бора 0,017%.

Указанное относительное обогащение осадков этими тремя элементами может быть объяснено различными причинами. Однако следует учесть, что количество всех их возрастает примерно в три раза, т. е. почти во столько же, во сколько раз увеличивается содержание карбонатного материала в осадках. Такое поведение этих элементов позволяет предположить, что они связаны в основном с карбонатной частью осадка. Подобная связь, легко понятная в случае стронция, карбонат которого, вероятно, насыщает воду оз. Балхаш и переходит в осадок, подобно карбонату кальция, представляется далеко не ясной в случае двух других элементов. Можно лишь предполагать, что соединения фтора и бора также насыщают воду оз. Балхаш и выпадают в осадок как хемогенные образования.

Иначе ведет себя хром, содержание которого в осадках убывает с запада на восток.

Из сопоставления материала, приведенного в табл. 60, можно видеть, что количество хрома уменьшается от района устья р. Или до восточной части Бурлю-тюбинского плеса с 0,0016 до 0,0003%. Так как этот элемент, согласно существующим представлениям, связан с глинистой частью,

то такое уменьшение количества его следует в основном объяснить уменьшением содержания глинистого материала в составе донных отложений, которое, как было показано, наблюдается в осадках восточных плесов и отличается их от западных.

Наконец, барий не обнаруживает ясно выраженной тенденции к накоплению или к сокращению содержания в осадках по мере перемещения из одной части водоема в другую. Содержание меди, выраженное в % от натурального осадка, также не испытывает закономерных изменений. Однако если пересчитать содержание этого элемента и выразить его в % от силикатной части осадка, то наметится заметное обогащение медью силикатной части осадков восточных плесов.

Для сопоставления количества малых элементов, содержащихся в донных отложениях Балхаша, с содержанием их в других современных отложениях или в осадочных породах, имеется весьма скудный материал. Принято считать, что содержание стронция в карбонатных породах колеблется для известняков в пределах от $0,4 \cdot 10^{-3}$ до $118 \cdot 10^{-3} \%$. В доломитах диапазон изменения содержания меньше — от $0,8 \cdot 10^{-3}$ до $17 \cdot 10^{-3}$. Средние значения этих цифр примерно совпадают с содержанием стронция в осадках оз. Балхаш.

Имеются указания, что в осадках Атлантики и Тихого океана содержится фтора от $43 \cdot 10^{-3}$ до $114 \cdot 10^{-3} \%$. Эти величины почти точно совпадают с пределами, в которых изменяется содержание фтора в осадках оз. Балхаш.

Бор находится в современных отложениях Атлантического океана в количествах от 0,002 до 0,016 %, что опять почти совпадает с содержанием этого элемента в осадках оз. Балхаш.

Барий содержится в илах Атлантического океана в количествах от 0,013 до 0,058 %. Первая из этих величин близка к содержанию этого элемента в осадках оз. Балхаш. Известняки содержат в среднем 0,009 % бария, что практически совпадает с содержанием его в донных отложениях оз. Балхаш (0,01 %). Согласно существующим воззрениям, барий, в отличие от стронция, связывается не с карбонатной, а с глинистой частью осадков.

Приведенные выше данные, основанные на материале Э. С. Залманзон и заимствованные из ее работы, определенно показывают, что большинство малых элементов находится в осадках оз. Балхаш в количествах, близких к среднему содержанию их в современных отложениях и в осадочных породах соответствующего состава.

Минералы коллоидной фракции

В составе илистых осадков оз. Балхаш, как и во всяких других образованиях, сложенных тонкодисперсным материалом, значительную роль играет коллоидная фракция, минералы которой изучены еще совершенно недостаточно.

Коллоидную фракцию изучала Э. С. Залманзон, которая выделила ее из осадков 10 станций. Из них наибольшее число (пять образцов) были представлены серым илом, три образца — песчаным и два образца — белым известково-доломитовым илом.

Анализы коллоидной фракции (табл. 61), пересчитанные на прокаленную навеску, показывают, что коллоидные фракции большинства образцов, независимо от того, из какой части водоема они взяты и к какому типу осадков относятся, обладают весьма близким химическим составом.

Заслуживает внимания то, что коллоидная фракция несколько богаче глиноземом, чем силикатная часть осадка, взятая в целом, и несколько

**Валовой анализ коллоидных фракций илов оз. Балхаш, рассчитанный
на навеску без воды и органического вещества
по данным Э. С. Залманзон**

	Западный плес					Средний плес, западная часть	Лепсинский плес		Бурлю- тюбинский плес	
	южная часть, район устья р. Или	южная часть	средняя часть		северная часть					
SiO ₂	63,83	59,54	54,13	60,79	59,87	57,08	54,40	59,45	58,04	64,97
Al ₂ O ₃	16,01	23,70	20,57	21,81	20,95	22,15	23,15	21,82	15,43	17,31
TiO ₂	0,40	0,44	0,30	0,38	0,49	0,64	0,43	0,43	0,57	0,19
Fe ₂ O ₃	10,39	8,11	11,40	6,73	10,61	9,89	12,17	9,40	11,19	9,74
FeO	2,79	2,46	2,51	2,54	2,87	1,84	не	не	не	не
MnO	0,01	0,01	0,02	0,01	следы	0,01	опред.	опред.	опред.	опред.
CaO	0,61	1,12	1,78	1,10	1,31	0,72	0,98	0,83	4,72	1,18
MgO	2,73	1,84	4,49	3,24	1,09	3,90	5,20	4,78	5,42	4,90
Na ₂ O	0,71	0,67	1,10	0,94	0,68	0,96	1,28	0,72	1,32	0,51
K ₂ O	2,52	2,11	3,70	2,46	2,13	2,81	2,38	2,57	3,29	1,18
SiO ₂ : Al ₂ O ₃	6,77	4,26	4,46	4,73	4,86	4,37	4,00	4,62	6,35	6,44
SiO ₂ : Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃	4,58	3,51	3,31	3,72	3,21	3,40	3,00	3,67	4,35	4,73

беднее ее кремнеземом. Суммарное содержание железа в составе коллоидной фракции значительно больше, чем в силикатной части осадка. Отсюда можно сделать вывод о повышенной приуроченности железа к коллоидной части ила.

По мнению Э. С. Залманзон, коллоидная часть осадков большей части озера, начиная от Лепсинского плеса и до западной оконечности водоема, в общем одинакова. Только осадкам наиболее восточного Бурлю-тюбинского плеса свойственны некоторые отличия. Они сводятся к тому, что коллоидная фракция осадков этой части водоема несколько обогащена кремнеземом и окисью магния. Обращает на себя внимание также высокое содержание органического вещества в коллоидной фракции белых илов Бурлю-тюбинского плеса, где содержание его доходит до 14,5%.

По минералогическому составу коллоидной фракции Э. С. Залманзон противопоставляет осадки западной части озера осадкам Бурлю-тюбинского плеса. Исходя из данных химического и рентгенографического анализов, она считает, что в коллоидной фракции серых илов, как и вообще всех осадков западной части бассейна, содержатся: иллит, каолинит, кварц и какой-то магниевый силикат, состав которого точно не установлен.

Вопрос о минералогическом составе коллоидной фракции осадков Восточного плеса оз. Балхаш также был разобран в работе Э. С. Залманзон, которая использовала при этом данные химического анализа и рентгенографические определения, проведенные А. Н. Ляминой во Всесоюзном институте минерального сырья. По данным А. Н. Ляминой, в коллоидной фракции осадков, взятых из Восточного плеса, присутствуют иллит, галлуазит, серицитоподобная слюда, кварц и еще какой-то неизвестный силикатный минерал.

Расчет данных анализа, произведенный Э. С. Залманзон, показывает, что в составе коллоидной фракции осадка из Бурлю-тюбинского плеса — иллита 26% и галлуазита 33%. Кроме того, остается значительное количество излишней окиси кремния и окиси магния, которые входят в состав неизвестного магниезиального силиката.

Состав коллоидной фракции белых илов, взятых из Лепсинского плеса, оказывается отличным от белых илов Бурлю-тюбинского плеса и сходным с составом коллоидной фракции всех станций, расположенных в более западных — более опресненных частях озера. Из минералов в составе коллоидной фракции Лепсинского плеса определены иллит, каолинит и кварц.

Таким образом, намечается некоторое различие в минералогическом составе коллоидной фракции осадков, взятых из Бурлю-тюбинского плеса, от осадков остальной части озера. Это различие, установленное Э. С. Залманзон, обусловлено, по нашему мнению, тем, что в наиболее восточный, Бурлю-тюбинский плес обломочный материал поступает в основном из рек Лепсы и Аягуза и вследствие размывания берегов, которые здесь на значительном протяжении сложены глинистыми породами третичного возраста. В то же время в западную часть бассейна обломочный материал поступает в основном из р. Или и в меньшей степени из р. Каратала, а по берегам здесь несравненно меньше развиты третичные отложения. В связи с этим устанавливается разница в питании водоема обломочным материалом, которая, несомненно, отражается на составе минералов коллоидной фракции.

В настоящее время нет фактов, свидетельствующих о том, что минералы коллоидной фракции возникают в самом оз. Балхаш. Наоборот, там, где эти минералы доступны оптическому исследованию, можно наблюдать особенности структуры, указывающие на образование их на суше. Это подтверждают, например, особенности структуры каолинита, свойственные разностям этого минерала, образовавшимся при выветривании.

Общий ход процессов седиментации в оз. Балхаш

В предыдущих главах был приведен материал, характеризующий донные отложения оз. Балхаш и протекающие в нем процессы седиментации. Здесь мы попытаемся сравнить эти процессы с теми, которые идут в других озерных и морских водоемах.

Закономерности в изменении механического состава осадков на дне водоемов можно проследить по работам многих исследователей — Мэррея и Ренара, Андрэ, Корренса, М. В. Кленовой (1936, 1938, 1947, 1948), А. Д. Архангельского и Н. М. Страхова (1938) и других.

Для соседнего Аральского моря эти закономерности разобраны В. П. Зенковичем (1947) и Н. Г. Бродской (1949). М. В. Кленова показала, что содержание фракций обломочного материала закономерно изменяется при изменении глубины бассейна и что с увеличением глубины повышается содержание глинистой фракции. С другой стороны, механический состав осадков на дне впадин остается постоянным. Точно такие же явления наблюдаются и в оз. Балхаш, где в наличии их легко убедиться, проанализировав карты распределения песчаного, алевритового и глинистого материала (фиг. 37, 38 и 40) или карту изменений величины среднего диаметра (фиг. 41).

Если это действительно так, то законы терригенной седиментации, установленные на примере современных морей и океанических бассейнов, применимы в своей главной части и к неглубокому замкнутому водоему, примером которого является оз. Балхаш. Поэтому будет справедливо и обратное заключение, согласно которому закономерности, подмеченные при изучении современных отложений Балхаша, в значительной своей части имеют общий характер и могут быть использованы при исследовании осадков других водоемов и ископаемых осадочных пород.

Наряду с этим выявились некоторые специфические черты терригенной седиментации, протекающей в оз. Балхаш, и особенности его донных

отложений. Сюда относятся: 1) ничтожное развитие чистых песков, которые на наших станциях нигде, даже на самых малых глубинах, не были встречены. Все пески представлены здесь илистыми разностями; пески, свободные от примеси илистого материала, отлагаются, вероятно, лишь в зоне прибоя у крутых берегов; 2) появление участков, сложенных песчаными осадками в открытой части озера, среди области сплошного распространения илов; 3) обратное обычному изменению механического состава осадков с увеличением глубины в срединных частях проливов, где отложения, наиболее богатые песчаным материалом, приурочены к наиболее глубоким зонам. Эти своеобразные черты свойственны, повидимому, лишь осадкам мелководных специфических водоемов, обладающих своеобразной формой, и отличают эти водоемы от отложений бассейнов другого типа.

Однако главной особенностью процессов, происходящих в Балхаше, надо считать своеобразие химической седиментации, что резко выделяет это озеро из всех известных водоемов. Указанная особенность заключается в том, что здесь в восточных плесах наблюдается насыщение воды двойной углекислой солью кальция и магния, которое сопровождается выпадением в осадок доломита.

Закономерности отложения карбонатов в оз. Балхаш были подробно разобраны выше. Можно полагать, что они приложимы к выяснению условий и способов образования по крайней мере некоторых ископаемых доломитов, о чем речь будет идти в дальнейшем. Здесь необходимо лишь подчеркнуть, что насыщение воды в разных частях бассейна различными соединениями: в западной части — углекислым кальцием в восточной — двойной углекислой солью кальция и магния, приводит к тому, что на дне первой отлагается преимущественно кальцит, а на дне второй — доломит. Таким образом, происходит своего рода разделение процесса отложения карбонатов, и на дне водоема возникают две зоны — кальцитовая и доломитовая.

Карбонаты, переведенные благодаря пересыщению воды оз. Балхаш в твердую фазу, тотчас же попадают в сферу воздействия гидродинамических факторов, действующих в водоеме, и распределяются ими по законам, регулирующим механическую седиментацию. При этом мельчайшие кристаллики карбонатов ведут себя, грубо говоря, так же, как и близкие к ним по размерам частицы глинистого материала. В связи с этим происходит наложение процесса механического перераспределения на процесс хемогенной садки карбонатов; последние заносятся в глубоководные части и избыточно обогащают здесь осадок. В итоге этого глубоководные осадки обогащаются не только глинистым, но и карбонатным материалом.

Поступление карбонатов в составе твердого стока накладывается на эти процессы и приводит к дополнительному обогащению осадков восточных плесов известковистым, а западных — доломитовым веществом. Необходимо также иметь в виду, что, в периоды опреснения, воды восточных плесов временно могут выходить из стадии насыщения углекислыми солями или одной лишь двойной углекислой солью кальция и магния. В этих условиях рост концентрации при последующем испарении всегда будет вызывать в первую очередь выпадение кальцита, а уже затем доломита. Можно предполагать, что сезонные изменения процесса садки карбонатов в восточных плесах порождают здесь микрослоистость осадков. Однако волнение, доходящее до дна, постоянно уничтожает ее и обезличивает текстуру донных отложений.

Особо следует подчеркнуть ничтожную роль биогенного фактора в накоплении карбонатов. Процессы хемогенной седиментации не ограничиваются переходом в твердую фазу одних лишь карбонатов. За пределами водоема из вод, просачивающихся из него и освобожденных от

карбонатов, которые в подавляющей массе были сброшены в озеро, происходит садка сульфата натрия и хлористого натрия. Серноокислый же кальций, как правило, не насыщает воды оз. Балхаш, равно как и воды мелких соленых озер Прибалхашья. Главная причина этого заключается в том, что концентрация кальция, необходимая для того, чтобы серноокислая соль его насыщала воду, не может возникнуть. В самом деле, в условиях равновесия, установившегося в воде Балхаша, каждое новое количество кальция приведет к выпадению карбоната, а концентрация самого этого элемента останется неизменной. Распределение хемогенных осадков в Прибалхашье представлено на схеме фиг. 30 (стр. 108).

Железо в осадках оз. Балхаш, так же как и в Черном море, связывается с терригенной частью донных отложений. Вследствие этого оно ведет себя не так, как карбонаты или органическое вещество, а, будучи связано с глинистой частью, содержится в максимальных количествах там, где много глинистого материала. Поэтому общее количество железа, вычисленное в процентах от натурального осадка, убывает по мере перехода из мелководных частей бассейна к более глубоководным и из западных плесов в восточные. Однако если вычислить количество железа в процентах от терригенной части осадка, то окажется, что эта последняя в глубоководной зоне более обогащена железом, чем в мелководной. Напомним, что совершенно такое же явление указывается для Черного моря Н. М. Страховым (1947).

Выше было показано, что распределение рассеянного органического вещества — продукта биогенной седиментации — подчинено в оз. Балхаш общим закономерностям, установленным на примере других озерных и морских бассейнов. Здесь следует, однако, отметить, что оз. Балхаш по таким специфическим накоплениям органического вещества, как торф и балхашит, заметно отличается от других озерных водоемов.

Из всего сказанного выше можно сделать следующие выводы.

Основные черты терригенной седиментации в оз. Балхаш те же, что и в морских бассейнах. Однако здесь наблюдаются частные отклонения, обусловленные тем, что обломочный материал отлагается в небольшом, неглубоком и специфическом по форме водоеме. Хемогенная седиментация имеет резко выраженный специфический характер, причем такая форма ее возможна только в замкнутом, почти пресноводном бассейне, лежащем в зоне сухого климата.

Биогенная седиментация, не отклоняющаяся от нормы в части, касающейся рассеянного органического вещества, принимает специфические формы (балхашит) при его накоплении.

Необходимо указать, что все выводы, сделанные здесь и в предыдущих главах относительно накопления того или иного компонента и распределения его, базируются на данных процентного содержания в осадках. Понятно, что такой метод сам по себе не дает правильного представления об абсолютных количествах того или иного компонента, находящегося в осадках, и, кроме того, возможность использования его для решения важных генетических вопросов ограничена.

В заключение следует отметить, что в условиях Балхаша доломитовые осадки отлагаются в тесной ассоциации с пресноводными образованиями и, что гораздо важнее, в ассоциации с залежами солей — поваренной соли и сульфата натрия. Доломиты в ископаемом состоянии также весьма часто встречаются в ассоциации с солями. Эта связь с солями служит главной причиной того, что доломиты до последнего времени обычно считались отложениями водоемов с повышенной соленостью. Однако пример Балхаша свидетельствует о возможности иного толкования этой связи. Следовательно, ассоциацию доломитов с солями, характерную для ряда ископаемых объектов, нельзя рассматривать как неперемнное указание на то, что

эти доломиты отложились из вод с повышенной соленостью. Они могут оказаться отложениями такого же почти пресноводного водоема, каким является Балхаш. Можно думать, что в действительности среди ископаемых доломитов много таких, почти пресноводных образований, и роль пресноводных доломитов в геологическом прошлом значительно больше, чем считалось до сих пор.

Приведенный выше разбор условий седиментации в оз. Балхаш наглядно показывает, какой сложный комплекс различных условий необходим для образования осадка в водоеме. Осадок (ил), развитый на дне Балхаша, возникает в результате совокупного действия многих факторов. Действительно, исходные минеральные соединения поступают в озеро следующими путями: 1) в составе речного стока, 2) заносятся ветром и 3) образуются в результате разрушения берегов. Кроме того, карбонатная часть осадка может вноситься как в растворенном, так и во взвешенном состоянии. Материал, поступивший из этих источников в водоем, попадает в конкретную гидродинамическую обстановку озера, многократно перераспределяется и, наконец, отлагается в виде осадка на дне.

Таким образом, налицо совокупность многих факторов седиментации, участвующих в формировании осадка. Некоторые из этих факторов часто упускают из вида при изучении ископаемых объектов, некоторые особенности пород объясняются упрощенно и неверно. Так, увеличение количества обломочного материала в осадке обычно истолковывается лишь как указание на приближение к берегу и т. д. Немаловажным результатом изучения осадков оз. Балхаш, как и вообще всех современных осадков, является вывод о чрезвычайной, иногда неожиданно большой сложности процесса отложения осадков. Отсюда как следствие вытекает необходимость детальных исследований ископаемых пород, лишь на основе которых можно делать палеогеографические выводы.

Глава 7

НЕКОТОРЫЕ АНАЛОГИ ДОЛОМИТОВЫХ ОСАДКОВ ОЗ. БАЛХАШ В ГЕОЛОГИЧЕСКОМ ПРОШЛОМ

В связи с проведенным исследованием естественно возникает вопрос, не было ли аналогов современным осадкам оз. Балхаш в геологическом прошлом? При этом, если фация пресноводных доломитов существовала в предшествующие этапы геологической истории, то результаты анализа условий образования осадков оз. Балхаш могут быть использованы при изучении ее.

Выделение доломитовых пород, отложившихся в условиях пресноводного бассейна, представляет весьма трудную задачу, которая часто оказывается непосильной при настоящем уровне знаний. Однако все же имеются отдельные свиты доломитовых пород, комплекс фауны и некоторые другие особенности, которые позволяют уверенно отнести их к числу пресноводных образований. Наилучшим примером подобных пресноводных доломитов являются доломиты, известные из юго-восточной части хребта Кара-тау, где им приписывается юрский возраст. Кроме того, подобные же образования указываются и из неогена в окрестностях сел. Гарбентейх вблизи г. Гисена в Германии. Ниже дана краткая характеристика этих образований.

Юрские доломиты Кара-тау

В районе юго-восточного окончания Кара-тау пресноводные доломиты, с которыми здесь связывается известное местонахождение ископаемой фауны, подчинены отложениям юрской системы. Последние прослеживаются

полосой в восточной части Кара-тау от района оз. Галкино (лежащего в 30 км к северо-западу от ст. Бурное Туркестано-Сибирской железной дороги) до урочища Чугурчак в бассейне р. Арысь.

Слои юрских отложений расположены в пределах современной пониженной области, вытянутой с юго-востока на северо-запад и ограниченной с юго-запада палеозойским массивом Большого Кара-тау, а с северо-востока хребтом Малый Кара-тау, также сложными палеозойскими образованиями. В структурно-тектоническом отношении вся область упомянутых выше юрских пород располагается в пределах грабена.

Балашов делит Каратаускую юру на четыре горизонта, каждый из которых лежит на размытой поверхности подстилающих образований. Общая мощность юрских отложений около 2000 м. Третий, считая снизу, горизонт отложений, включающий доломитовые породы, представляет собой, согласно Р. Ф. Геккеру (1948), переслаивание конгломератов, песчаников и тонколистватых известково-глинистых пород и глинисто-известковых доломитов. Мощность горизонта 70—100 м.

Для характеристики этой толщи приведем разрез, записанный Геккером на Михайловском местонахождении фауны, снизу вверх:

Мощность, м

Слой 1. Твердый тонкоплитчатый известковый доломит светлосерого, на некоторых поверхностях желтовато-серого цвета. Породы содержит прослой толщиной 10 см, состоящий из такого же известкового доломита брекчиевидного сложения с примесью зерен кварца, кремнистых пород, крупнокристаллического известняка и обломков раковин, образующих песчаниковые прослои. Этот прослой содержит в большом количестве куски древесины, по большей части окатанные, небольшие кусочки угля, различный растительный сор и хорошо сохранившиеся вайи <i>Psilophyllum cutchense</i> Old. et Mor.	0,41
Слой 2. Листоватый доломитистый известняк и мергель серого и более темного серого и светложелтовато-серого цвета. В нижней части слоя появляются тонкие непостоянные прослойки песка и обугленные кусочки древесины; здесь слоистость теряет свою правильность. В основании слоя имеется линза грубозернистого песчаника, максимальная толщина которой достигает 1,5 см	0,28
Слой 3. Листоватый доломитистый известняк и мергель более мягкий, чем в вышележащем слое, преобладающего белесого (светлосерого) и желтоватого цвета. Слой состоит из чередования пачек — более тонко расслаивающихся и более плотных, содержит в верхней части включения в виде прослоек грубозернистого обломочного материала — песчинки и обугленные древесные остатки. Вообще в слое песчинки встречаются редко, лишь в рассеянном состоянии. В нижней части слоя появляются более глинистые прослойки светлосиреневого цвета.	1,40
Слой 4. Чередование более плотных плитчатых и листоватых известняковистых доломитов и доломитистых известняков светложелтовато-серого цвета; слоистость параллельная, более глинистые разности отсутствуют. Наблюдаются тонкие непостоянные прослойки, обогащенные грубыми песчаными зернами	0,8
Слой 5. Прослой кальцита листоватого строения	0,01
Слой 6. Чередование прослоев такое же, как и в слое 4	0,15
Слой 7. Песчано-глинистый доломитистый известняк и песчаный мергель, содержит большое количество песчинок, известковых галечек и галек значительных размеров. Прослойки нижележащего известкового доломита прогибаются под гальками, сам же слой неспокойно-косослоистый	0,15
Слой 8. Чередование прослоев такое же, как и в слое 6; прогибание прослоек известкового доломита под тяжестью вышележащих галек книзу постепенно затухает. Видимая мощность	0,35

Значительный интерес представляют некоторые особенности сложения известковых доломитов. Отдельные прослои их, лежащие между параллельно наложенными сериями, смяты в мелкие складки, опрокинутые в

сторону центральной части юрской депрессии, что обусловлено подводными оползнями. Следы ряби в доломитистых известняках и известковистых доломитах Кара-тау наблюдаются весьма редко, однако часто видны, по Р. Ф. Геккеру, «валики и каймы, образованные труппами рыб, обитавших в Каратауском бассейне, и рыбьей чешуей».

Трещины усыхания в доломитовых породах Кара-тау представляют большую редкость и были обнаружены Геккером всего в двух образцах.

Помимо упомянутых текстурных особенностей, в каратауских породах наблюдается также включение мелкой гальки, сложенной тем же, что и основная масса породы, известковистым материалом. Форма галек «...то более, то менее правильная, веретенообразная, либо с одним приостренным и другим тупым концом, либо более широкая и несколько приплюснутая. Интересной особенностью этих галек является то, что они облеплены с поверхности чешуей и косточками рыб, а некоторые из них содержат рыбью чешую внутри...».

По мнению Р. Ф. Геккера, эти галечки образовались за счет размытия ила, отложившегося на дне бассейна, но еще не затвердевшего. «...Куски оторванного вязкого ила во время катания по дну водоема получали удлиненно-округленную форму, покрывались прилипшей к ним чешуей и далее могли накатывать на себя липкий ил...».

М. Ф. Филиппова (1948), детально изучавшая юрские известково-доломитовые породы, выделяет среди них:

- 1) доломиты глинисто-известковистые,
- 2) известняки и мергели доломитистые,
- 3) доломиты мелкозернистые,
- 4) известняки тонкозернистые,
- 5) известняки с оолитоподобной структурой,
- 6) песчаники и алевроиты.

Собственно «каратауские рыбные» сланцы, по мнению М. Ф. Филипповой, «...отнесены к первой и второй разновидностям пород. В третью разновидность выделены породы, непосредственно покрывающие «рыбные сланцы» в местонахождении Карабас-тау. В четвертую и пятую разновидности объединены породы верхнего горизонта разреза мезозоя в том же местонахождении и по соседству около д. Китаевки...».

Для сопоставления с современными отложениями оз. Балхаш наибольшее значение имеют две группы пород, которые мы и рассмотрим.

Первая группа представлена доломитами глинисто-известковистыми тонкозернистыми и тонкослоистыми. Это плотные светлосерые и желтоватосерые породы, обладающие хорошо выраженной тонкой слоистостью. Микрослои породы окрашены в различные цвета: одни — в темносерый, другие — в светлосерый. При выветривании эти породы приобретают тонкую отдельность и становятся похожими на сланцы.

По данным М. Ф. Филипповой, под микроскопом видно, что эти породы слагаются прослоями, сложенными тонкозернистым карбонатом, содержащим примесь глинистого вещества. Толщина прослоев в среднем около 0,05 мм; в отдельных случаях доходит до 0,15 мм. Величина зерен карбоната в этих прослоях не превышает 0,005 мм. Показатель преломления их $n_g = 1,67$, откуда можно заключить, что этот минерал соответствует кальциту.

С указанными прослоями чередуются слои толщиной 0,1—0,3 мм, сложенные более крупными, порядка 0,01—0,02 мм, зернами карбоната. Показатель преломления последнего $>1,67—1,695$, что позволяет отнести его к доломиту.

Органическое вещество и остатки растений расположены в породе неравномерно. Из них первое дает прожилки и пятна, располагающиеся параллельно слоистости, часто на границе слоев кальцита и доломита.

Остатки растений встречаются в породе по слоистости; они часто пририктированы. Постоянно наблюдаются также остатки рыб.

Очень интересно присутствие пирита, который, как и в осадках оз. Балхаш, представлен мелкими, размером до 0,01 мм шариками, а также в форме агрегатных зерен.

М. Ф. Филиппова не проводила специального минералогического исследования терригенного материала, входящего в состав доломитов. Однако, по ее данным, обломочный материал представлен преимущественно угловатыми зернами кварца, а также зернами полевых шпатов, кремнистых пород и кварцитов, встречающимися реже.

Ко второй группе (группе известняков и мергелей доломитистых слоистых) М. Ф. Филиппова относит «породы из серии рыбных сланцев, обладающие менее плотным сложением и исключительно хорошо выраженной слоистостью, так называемые листоватые или «бумажные сланцы». Эти породы обычно обладают более светлой окраской, чем породы вышеописанной разновидности».

Интересно, что под микроскопом эти образования «представлены тонкозернистой массой, состоящей из почти индивидуализированных зерен карбоната и тончайшего глинистого вещества. Размер зерен карбоната не превышает 0,003 мм. Иногда основная тонкозернистая масса микрослоиста и представлена чередованием тонкозернистых, преимущественно кальцитовых, и относительно более крупнозернистых доломитовых микрослоев. При этом обычно преобладают и по количеству и по мощности кальцитовые микрослои».

«В основной тонкозернистой массе присутствует сравнительно большое количество (42 и 65 % по анализам двух образцов) неравномерно распределенного песчанистого и алевроитового материала, представленного, так же как и в предыдущей разновидности, преимущественно зернами кварца и обломками кремнистых пород, реже обломками известняка. Форма зерен и обломков угловатая, размеры их колеблются от 0,01 до 0,15 мм. Зерна и обломки располагаются в основной массе неравномерно, обычно полосчато, обогащая отдельные микрослои и линзы и отсутствуя в других. В породах этой разновидности, так же как и в описанной выше, встречаются многочисленные остатки растений, часто сильно лимонитизированные, а также многочисленные мелкие зерна и скопления зерен окисленного пирита и бурых окислов железа».

Особенности нахождения многочисленной фауны и флоры, встречающейся в описываемых юрских породах, хорошо дополняют их литологическую характеристику и дают ценный материал, позволяющий наметить условия возникновения этих образований.

Р. Ф. Геккер подробно разбирает особенности захоронения рыб, рептилий, а также других животных и растений в юрских образованиях и приходит к следующим выводам.

«Особенности деформации остатков рыб и закономерности их ориентировки... являются следствием механического воздействия подвижной воды на трупы рыб...». Отсюда он делает вывод о мелководности каратауских образований, отлагавшихся в «полосе достаточно сильно подвижной воды».

Тела рыб на Михайловском местонахождении образуют валики, которые Р. Ф. Геккер называет «волноприбойными» валиками, и свидетельствуют, по его мнению, о движении воды и в том случае (местонахождение Михайловское), когда они резко выражены, о близости берега, где такие валики представляют собой береговые каймы.

Хорошая сохранность рыб объясняется: 1) сравнительной прочностью покрова из ганоидных чешуй, 2) быстрым покрыванием трупов чрезвычайно тонким известковым и известково-магнезиальным осадком, 3) отсутст-

вием трупоядов. Массовые скопления рыб не свидетельствуют об их массовой гибели, а являются результатом сгона трупов животных, погибших в разных частях бассейна. При этом одинаковая величина рыб, встречающихся совместно, может быть обусловлена сортирующим действием воды. Р. Ф. Геккер считает, что различные виды рыб обитали в разных частях бассейна. В заключение он пишет: «...В поставленном нами вопросе относительно солевого режима вод Каратауского бассейна и его происхождения, населявшая его ихтиофауна сама ничего показать не может. Связано это с тем, что, с одной стороны, рыбы обладают легкой приспособляемостью к окружающей среде и среди них имеется много форм, странствующих из рек в море и наоборот, а с другой стороны, с тем, что каратауские рыбы принадлежат новым видам и отчасти родам; представленные же здесь семейства ничего определенного в этом отношении не говорят».

Из других позвоночных в каратауских породах обнаружен только летающий ящер (1 экз.) и черепаха (1 экз.). Обе формы принадлежат к новым родам и дают весьма мало для выяснения физико-географических условий, господствовавших в бассейне.

Моллюски встречаются весьма редко. Р. Ф. Геккер нашел их в местонахождении Карабас-тау в пачке тонкослоистых доломитов. Здесь найдены три различных формы гастропод. Определявший их Раммельмейер считает, на основании родового состава фауны и отсутствия пелиципод, «...что фауна моллюсков является пресноводной, обитавшей в водоеме типа не особенно большого озера...». Вода в нем была чистая, однако бассейн был неблагоприятен для жизни моллюсков, так как, вероятно, имел бедную растительность. Малая величина раковин всех встреченных гастропод свидетельствует о неблагоприятных условиях жизни в бассейне.

Из ракообразных присутствуют эстерины, правда, в небольшом количестве; однако сам факт наличия этих, несомненно пресноводных, форм может быть истолкован как указание на пресноводный характер бассейна.

Относительно насекомых, остатки которых весьма многочисленны в каратауских доломитах, имеются данные (неравномерное распределение, смесь форм различного родового состава, представленных всего несколькими, а чаще всего одним видом и т. д.), указывающих на то, что они приносились с берега и не могут, следовательно, дать материал, позволяющий установить условия, господствовавшие в бассейне. С точки зрения наших задач, насекомые представляют ограниченный интерес; лишь немногие клопы были связаны с озером.

Флора в каратауских отложениях весьма многочисленна, однако вся она представлена наземными формами, среди которых выделяются два комплекса. Первый комплекс представлен влаголюбивыми растениями, обитавшими в пониженных местах по берегам озера и в долинах рек. Сюда входят хвощ, несколько папоротниковых, гинкговых, одна нильссония, представитель рода *Podozamites* из покрытосемянных. Второй комплекс — ксерофитные растения, обитавшие по берегам озера, — представлен большим количеством обычно хорошо сохранившихся форм. Сюда входят: ряд папоротников, гинкговых, бенетитовых родов *Otozamites*, *Zamites*. *Ptilophyllum*, много хвойных с игльчатыми и чешуйчатыми листьями и некоторые другие формы. Водная растительность в отложениях не найдена.

По вопросу о генезисе юрских пород Кара-тау существуют противоречивые мнения. Так, академик Д. В. Наливкин (1926) считает, что описываемые отложения образовались в условиях пресноводного озерного бассейна, расположенного в пределах болотистой низменности, которая занимала впадину, разделявшую в то время две гряды хребта Кара-тау. С другой стороны, В. Г. Мухин относит их к водным прибрежно-морским образованиям. Работавший позднее В. Н. Вебер (1935) полагал, что юрские

отложения образовались в изолированном бассейне за счет накопления материала, переносимого ветром.

По мнению М. Ф. Филипповой, принимающей по вопросу о генезисе доломита точку зрения В. Б. Татарского (1937), образование доломитов Кара-тау шло в условиях водной среды и частью в илу. В результате взаимодействия углекислого аммония, получающегося в воде вследствие разложения органического вещества, с сернокислым кальцием и хлористым кальцием, с одной стороны, и с сернокислым магнием и хлористым магнием, с другой стороны, шло образование либо углекислого кальция, либо основных углекислых солей магния — $Mg_4(CO_3)_3(OH)_2$. Согласно М. Ф. Филипповой, образование кальцита происходило в то время, когда условия среды были менее восстановительны и щелочность воды была слабее, чем в настоящее время. Это, в свою очередь, было обусловлено поступлением в бассейн большого количества пресных вод. «...В моменты же существования более резко восстановительных условий и, возможно, большей концентрации солей магния происходит накопление основных солей магния, впоследствии превращающихся в доломит...»; «...закономерное чередование кальцитовых и доломитовых микрослоев, наблюдаемое в каратауских карбонатных породах, обусловлено, повидимому, не чем иным, как сезонными изменениями климата». М. Ф. Филиппова, кроме того, считает, что «...характерная для исследуемых пород изменчивость минералогического состава и исключительно резко выраженная макро- и микрослоистость, а также присутствие обильной наземной фауны и флоры и полное отсутствие фауны, типичной для морского бассейна, скорее может служить указанием на то, что юрские породы Кара-тау формировались в бассейне небольших размеров (типа озера), или, что менее вероятно, в прибрежных частях морского бассейна. Отсутствие гипса, ангидрита, каменной соли и др. среди юрских отложений свидетельствует о том, что воды юрского бассейна скорее были опресненными, чем засоленными...».

По мнению Р. Ф. Геккера, каратауские породы отлагались в крупном озере, находившемся среди гор. Берега озера были круты, местами обрывисты и покрыты растительностью. Реки, впадавшие в бассейн, вносили обломочный материал, а также соли кальция и магния. Наиболее грубый материал отлагался в приустьевой части рек, образуя осадки конусов выноса и дельт. Климат в районе господствовал жаркий, но влажный. «...Процессу отложения карбонатов кальция и магния благоприятствовал жаркий климат с ежегодными засушливыми периодами и сравнительная мелководность озера, что влекло за собой усиленное испарение его вод, богатых кальцием и магнием. В результате сезонных климатических колебаний и изменений в поступлении в озеро речной воды имело место чередование в отложении на дне озера разного типа карбонатов, при котором микрослойки доломита сменялись слойками кальцита. Первые отвечают более засушливым периодам, во время которых прекращался или уменьшался доступ в озеро свежей, богатой кислородом речной и дождевой воды и потому на дне его устанавливались условия восстановительной среды; кальцитовые слойки соответствуют дождливым периодам и периодам более усиленного таяния снегов в горах, когда реки и речки несли в Каратауский бассейн не только воду, но и терригенный материал. Вода в озере была чистой, но не соленой (в смысле содержания в ней хлоридов и сульфатов) и по всей вероятности была и не солоноватой; зато она обладала большой жесткостью».

Отложение осадков шло в условиях спокойной водной среды, в результате чего образовались тонкослоистые известково-доломитовые образования. «...Нередко спокойное течение этого процесса нарушалось подводными оползнями...», следы которых многочисленны среди осадков. «...От-

дельные, особенно мелководные участки дна в области отложения карбонатных осадков временами освобождались из-под воды при стоне ли ее ветром или при спадении уровня озера в периоды его интенсивного испарения...».

Из материала, приведенного выше, видно, что литология и условия образования каратауских доломитов разобраны Р. Ф. Геккером и М. Ф. Филипповой весьма подробно, причем ими дана интересная и полная картина условий, господствовавших в момент отложения юрских доломитовых осадков. Однако в свете материала, полученного при изучении процесса доломитообразования в оз. Балхаш, правильнее допустить, что выпадение доломита в осадок происходило в результате увеличения минерализации воды при испарении с поверхности водоема. При этом в начале засушливого периода шло насыщение воды углекислым кальцием и выпадение в осадок кальцита. К концу засушливого периода, когда концентрация достигала наибольших значений и некоторая часть углекислого кальция уже выпадала в осадок, вода вступала в фазу насыщения двойной углекислой солью кальция и магния, что сопровождалось садкой доломита. В следовавший за засушливым влажный период осуществлялось поступление пресных вод, которые резко снижали минерализацию воды в бассейне, что, в свою очередь, вело к временному прекращению процесса садки карбонатов. Этот процесс в следующий засушливый период вновь начинался с садки кальцита и заканчивался садкой доломита. Такими сезонными изменениями хода отложения карбонатов обусловлено тонкое чередование доломитовых и кальцитовых прослоев в юрских отложениях Кара-тау.

Понятно также, что микрослоистые кальцитово-доломитовые породы могли возникнуть только путем отложения из водной среды — никаким диагенетическим процессом объяснить их образование нельзя.

В этом заключается особое значение доломитов Кара-тау, наличие которых позволяет утверждать, что в природе и в прошлые геологические эпохи, безусловно, протекал процесс садки доломита в водных бассейнах в результате перехода двойной углекислой соли кальция и магния из пересыщенного раствора в твердую фазу.

Доломиты из неогена Германии

По данным Клэна (1929), неогеновые отложения района сел. Гарбентейх (близ г. Гиссена) включают пласты пресноводных доломитов и известково-доломитовых пород. Сводный стратиграфический разрез отложений, включающих здесь эти породы, представляется в следующем виде (сверху вниз):

	Мощность, м
Слой 1. Глина покровная зеленая, неслоистая	4
Слой 2. Глина белая «известковистая», неслоистая, каолинообразная	Не установлена
Слой 3. «Мел» (доломит) белый, неяснослоистый, плотный, обладающий раковистым изломом	2
Слой 4. Серый «мел» (доломит) слоистый, содержащий примесь каолина. Порода содержит: а) кремнистые включения, различные по форме, окрашенные в серый и коричневый цвет; б) тонкие (толщиной до 1 см) прослои, сложенные зеленоватой глиной; в) прослои битуминозных углей и сапропелевых образований, включенные местами в пласте	4—6
Слой 5. Слоистая коричневатая-серая глинистая порода (залегает пластом малой мощности).	
Слой 6. Битуминозная глина черная, жирная, блестящая, с прослоями серых известковистых пород и линзами бурых углей (мощность не указана).	
Слой 7. Базальты (и туфы)	

Возраст этой серии отложений определяется как миоценовый, точнее — как верхнемиоценовый-тортонский.

Из пород, слагающих неогеновую толщу, наибольший интерес представляет так называемый мел, который, по существу является доломитом. Чистая разность этого доломита тонкослоиста и легко раскалывается по плоскостям слоистости. Она состоит из карбонатного материала, содержащего более или менее значительную примесь минеральной нерастворимой части. В состав последней входят зерна кварца и микроскопически малые таблочки каолинита. Помимо этого, здесь отмечается также примесь туфого материала. В доломитах встречены остатки растений — *Juncus retractus* Неег, *Phragmites oeningensis* А. I. Вг., *Potamogeton*, *Quercus lonchitis* Унг., *Juglans bilinica* Унг., *Populus mutabilis* Неег, *Cinnamomum scheuchzeri* Неег, лист *Vaccinium acheroticum* Унг., а также водоросли.

Химический состав доломитов известен по данным пяти анализов, приведенных Клэном (табл. 62). Данные анализа показывают что доломиты окрестностей Гарбентейха представляют собой весьма чистое карбонатное образование: они содержат, как правило, не более 5% минерального нерастворимого остатка и ничтожные, не более 1%, количества полуторных окислов. Главная же часть (до 96%) этой породы представлена карбонатом, который по составу соответствует доломиту.

Таблица 62

Химический состав доломитов из района с. Гарбентейх (в %)
(По Клэну)

Компоненты	Х а р а к т е р о б р а з ц а				
	Легкий серый доломит из основания слоя 3	Доломит, место взятия не указано		Белый слоистый доломит из верхней части слоя 3	Доломит, место взятия не указано
Нерастворимый остаток	4,81	2,78	3,10	5,35	2,90
SiO ₂	—	0,56	—	1,22	—
R ₂ O ₃	—	0,59	0,73	—	1,85
CaO	27,04	30,93	28,00 (49,94 CaCO ₃)	26,96 (48,09 CaCO ₃)	28,62
MgO	20,09	18,46	21,80 (45,55 MgCO ₃)	17,97 (41,74 MgCO ₃)	21,09
FeO	—	0,48	0,60	—	—
K ₂ O	—	} 0,05	—	—	—
Na ₂ O	—		—	—	—
CO ₂	41,91	44,53	44,20	42,42	—
Cl	—	Следы	—	—	—
P ₂ O ₅	—	—	0,08	—	—
H ₂ O (110°)	1,54	1,35	1,74	—	—
H ₂ O (110°)	1,90	—	—	—	—
CaCO ₃ : MgCO ₃	53,47 : 46,53	58,85 : 41,15	52,30 : 47,70	53,53 : 46,47	53,66 : 46,34

Другие породы, слагающие разрез неогеновых отложений, отличаются различным составом. Так, белая «глина», кроющая доломит, сложена в основном карбонатным веществом и содержит минеральный нерастворимый остаток, растворимую кремнекислоту и полуторные окислы в сумме всего около 23,6%. Эта порода представляет сильно глинистый доломитовый известняк и по содержанию минерального нерастворимого остатка близка к осадкам восточных плесов оз. Балхаш. Остальные породы разреза сло-

жены силикатными минералами, лишены примеси карбонатных образований и представляют собой глины.

Неогеновые доломиты района Гарбентейха, судя по описанию, во многом сходны с осадками оз. Балхаш. Это сходство прежде всего внешнее: современные известково-доломитовые илы Балхаша в высохшем состоянии очень похожи на некоторые разности доломита Гарбентейха. Далее отметим крайнюю бедность органическими остатками, причем доломиты Гарбентейха еще беднее ими, чем современные осадки оз. Балхаш, поскольку первые не содержат остракод и диатомовых, встречающихся в значительных количествах в Балхаше. Остатки растений в равной степени характерны и для тех и для других образований.

Обращает внимание также тот факт, что и доломитовые осадки Балхаша, и описанные выше неогеновые доломиты находятся в ассоциации с каустобиолитами и кремнистыми образованиями. Однако различия между ними весьма существенны; главными из этих различий являются малое содержание минеральной нерастворимой части в породах Гарбентейха и высокая степень доломитизации их. По существу они представлены настоящими доломитами.

Можно полагать, что породы Гарбентейха отлагались в несколько иных условиях, чем те, которые в настоящее время существуют в Прибалхашье. Клэн следующим образом описывает обстановку, господствовавшую в районе во время отложения этих пород. В условиях влажного или умеренно-влажного субтропического или тропического климата происходило выветривание базальтов и туфов, причем освобождались большие количества окиси магния и окиси кальция. Эти соединения быстро превращались в гидрокарбонаты, которые в растворенном состоянии сносились в водоем. В последнем, в результате испарения происходило насыщение воды карбонатами щелочноземельных металлов и выпадение их в осадок.

Однако учитывая наши наблюдения, можно полагать, что доломиты Гарбентейха возникали в несколько иных условиях, отличающихся от описанных Клэном. Прежде всего, бассейн, в котором отлагались доломиты, должен был находиться в условиях жаркого сухого климата, причем испарение, несомненно, значительно превышало здесь количество осадков, выпадавших на площадь озера. В противном случае не могла бы увеличиваться минерализация воды, необходимая для того, чтобы возникло насыщение ее двойной углекислой солью кальция и магния и началась бы садка доломита.

Состав карбонатов, представленных доломитом и не содержащих сколько-нибудь значительной примеси кальцита, дает основание полагать, что воды бассейна в той его части, где происходило отложение доломита, все время были насыщены двойной углекислой солью кальция и магния, и что здесь не было садки кальцита — явление, наблюдавшееся в Балхаше и в юрском бассейне Кара-гау. В связи с этим несомненно, что доломиты Гарбентейха должны где-либо переходить в фацию известково-доломитовых и известковых осадков, отлагавшихся в какой-то другой части бассейна. К сожалению, в работе Клэна отсутствует материал, характеризующий фации неогеновых отложений в Гарбентейхе и прилежащем районе.

В свете данных, имеющихсся по Балхашу, нет нужды доказывать, что отложение доломитов Гарбентейха ни в какой мере не связано с особенностями выветривания базальтов, богатых щелочноземельными элементами. Природные поверхностные воды в условиях сухого и жаркого климата несут повсюду достаточные количества кальция и магния, и для отложения доломитов необходим замкнутый бассейн с особенностями гидрохимического режима, приближающимися к балхашским.

Приведенный материал показывает, что фация пресноводных доломитов имеет аналогов среди ископаемых пород, а анализ процесса

современного осадкообразования в оз. Балхаш вполне может быть использован при изучении ее.

Заметим, кроме того, что имеется много оснований считать, что пресноводные доломиты распространены значительно шире, чем это предполагалось до сих пор. Некоторые доломитовые толщи, которые ранее считались возникшими в условиях усыхающего бассейна, заполненного водой повышенной солености, оказываются в действительности отложениями пресных вод. При этом постоянно следует иметь в виду, что наличие солей в толще пород, включающих доломиты, не может считаться бесспорным указанием на отложение связанных с ними доломитов в условиях бассейна с повышенной соленостью. Действительно, выше говорилось, что в условиях Балхаша соленые озера с мощным слоем хлоритового или сернокислого натрия на дне расположены иногда всего в нескольких десятках метров от берега этого практически солоноватоводного бассейна или на островах (остров Ультарахты) в пределах его.

ЛИТЕРАТУРА

- Андреев В. Г. Ветровая волна озеровидных водоемов. Изв. Научно-иссл. инст. гидротехники, 1939, вып. 24 и 25.
- Аполлов Б. А. Влияние золотой аккумуляции на обмеление северной части Каспийского моря. Изв. Центр. гидрометеорол. бюро, 1927, вып. 7.
- Архангельский А. Д. и Страхов Н. М. Геологическое строение и история развития Черного моря. М.—Л., изд. Акад. Наук, 1938.
- Бенинг А. Л. Материалы к составлению промышленной карты Аральского моря. Тр. Аральск. отд. научно-иссл. инст. морск. рыбн. хоз. и океаногр., 1935, 4.
- Берг Г. Геохимия месторождений полезных ископаемых. М.—Л., ОНТИ, 1937.
- Берг Л. С. Предварительный отчет об исследовании оз. Балхаш летом 1903 г. Изв. Русск. геогр. общ., 1904, 40, 584.
- Берг Л. С. Аральское море. Изв. Турк. отд. Русск. геогр. общ., 1908, 5, вып. 9.
- Бродская Н. Г. Карбонатообразование в Аральском море. Изв. Акад. Наук, сер. геол., 1949, № 6.
- Бруевич С. В. и Виноградова Е. Т. Основные черты осадкообразования на Каспийском море (по распределению карбонатов Fe, Mn и F в морских осадках). Доклады Акад. Наук, 1946, 52, № 9.
- Бруевич С. В. и Скопинцев Б. А. Гидрохимическое обследование р. Оки и ее притоков. Исслед. рек СССР, 1935, вып. 7.
- Вережагин Г. Ю. Байкал. М., Географиз, 1949.
- Вислоух С. М. Beiträge zur Diatomeenflora von Asien. I. Die Diatomeen des Balhasch Sees (Еще о диатомовой флоре Азии. I. Диатомеи оз. Балхаш). Ber. Deutsch. Botan. Ges., 1923, 41, Н. 8.
- Геккер Р. Ф. Каратауское местонахождение фауны и флоры юрского возраста. Тр. Палеонт. инст. Акад. Наук, 1948, 15, вып. 1.
- Геология СССР, т. 20. Восточный Казахстан, ч. 4. Л., Гос. изд. геол. литер., 1941.
- Гиллебранд В. Ф. и Лендель Г. Е. Практическое руководство по неорганическому анализу. Глав. ред. хим. литер., 1935.
- Гильзен К. К. Материалы по исследованию грунта озер России. Ладожское озеро. Изв. Русск. геогр. общ., 1905, 41, 755.
- Гильзен К. К. Грунт Аральского моря. Изв. Турк. отд. Русск. геогр. общ., 1911, 8, вып. 1.
- Гильзен К. К. Материалы по исследованию грунта Байкальского озера. Изв. Русск. геогр. общ., 1915, 51, 101.
- Гортиков В. М. Применение теории активностей к расчетам карбонатных равновесий в минеральных источниках. Первый Всес. гидрогеол. съезд, сб. 5. Л.—М.—Новосибирск, 1934.
- Горшкова Т. И. Химическое изучение осадков Баренцова и Белого морей. Тр. Гос. океанограф. инст., 1931, 1, вып. 2—3.
- Григорович М. О. О находке Dreissensia polymorpha в террасовых отложениях оз. Балхаш. Бюлл. Ком. по изуч. четверт. пер. Акад. Наук, 1938, вып. 4.
- Гурвич М. И. К гидрохимии с.-в. части оз. Балхаш. Исслед. озер СССР, 1934, вып. 6.
- Гусиньска С. А. Гидрохимия. Вестн. Днепр. гидробиол. станц., 1938, 3.
- Домрачев П. Ф. Рыбохозяйственное исследование Балхаша. Народн. хоз. Казахстана, 1929, № 1—2.
- Домрачев П. Ф. Отчет о Балхашской научно-промышленной экспедиции в 1929 г. Изв. Ихтиолог. инст., 1930, 11, вып. 1.

- Домрачев П. Ф. Озеро Балхаш как объект географического изучения и исследовательские работы, произведенные на нем за последнее десятилетие (1928—1939 гг.). Изв. Всес. геогр. общ., 1940, 72, вып. 6.
- Ефремов И. А. Динозавры в красноцветной толще Средней Азии. Тр. Палеонт. инст. Акад. Наук, 1931, 1.
- Ефремов И. А. Динозавровый горизонт Средней Азии и некоторые вопросы стратиграфии. Изв. Акад. Наук, сер. геол., 1944, № 3.
- Залесский М. Д. О природе Рила, желтых телец богхеда и о сапропеле Алакульского залива оз. Балхаш. Изв. Геол. ком., 1914, 33, вып. 5.
- Залманзон Э. С. К познанию процесса осадкообразования в оз. Балхаш. Бюлл. Моск. общ. испыт. природы, отд. геол., 1951, № 5.
- Зелинский Н. Д. О химической природе углеводов, полученных разложением балхашита. Изв. Сапроп. ком., 1926, вып. 3.
- Зенкович В. П. Динамика и морфология морских берегов. М.—Л., Морск. транспорт, 1946.
- Зенкович В. П. Донные отложения Аральского моря. Бюлл. Моск. общ. испыт. природы, отд. геол., 1947, 22 (4).
- Капустинский А. Ф. Произведение растворимости и его значение в химии. Журн. прикл. хим., 1943, 16, вып. 1—2.
- Кассин Н. Г. 1. О древних долинах в Центральном Казахстане. Пробл. сов. геол., 1936, № 1.
- Кассин Н. Г. 2. К характеристике четвертичных отложений Казахстана. Пробл. сов. геол., 1936, № 2.
- Кассин Н. Г. Материалы по палеогеографии Казахстана. Алма-Ата, Акад. наук Каз. ССР, 1947.
- Кириков А. Новая находка остатков рептилий в Джетысу (Семиречье). Вестн. Геол. ком., 1927, № 2, 33.
- Кленова М. В. Осадки Карского моря. Доклады Акад. Наук, 1936, 4.
- Кленова М. В. Осадки Мотовского залива. Тр. Всес. инст. рыбн., хоз., 1938, 5.
- Кленова М. В. и Авилло И. К. Инструкция по механическому анализу. Инструкции Гос. океанограф. инст., 1938, № 8.
- Кленова М. В. Геология моря. 1948.
- Кленова М. В. Механический состав морских осадков. Сов. геол., 1947, № 18.
- Коншин В. Д. Метаморфизация воды оз. Балхаш. Доклады Акад. Наук, 1945, 48, № 5.
- Корф Д. М. и Еловская Л. Б. Прибалхашские соленые озера. Тр. Солян. лабор. Акад. Наук, 1936, вып. 11.
- Костенко Н. Н. О методике картирования четвертичных отложений Казахстана. Сов. геол., 1940, № 7.
- Костенко Н. Н. К истории Балхаша. Изв. Каз. фил. Акад. Наук, сер. геол., 1946, № 8.
- Люция оз. Балхаш (составлена по материалам экспедиции Сред.-Аз. упр. речн. транспорта 1928—1929 гг. Е. В. Романенко под ред. А. К. Шарыгина). М., изд. НКВод, 1932.
- Льюис и Рендалл. Химическая термодинамика. Л., Химтеорет, 1936.
- Мефферт Б. Ф. Очерк геологии северного Прибалхашья и побережий западного Балхаша. Изв. Русск. геогр. общ., 1912, 48.
- Микულიн А. Ю. Материалы к фауне Chironomidae озера Балхаш. Исслед. озер СССР, 1933, вып. 4.
- Мильнер Г. Б. Петрография осадочных пород. Москва — Грозный — Ленинград — Новосибирск, Горгеонефтеиздат, 1934.
- Наливкин Д. В. Очерк геологии Туркестана, 1926.
- Никольский А. М. Путешествие на оз. Балхаш и в Семиреченскую обл. Зап. Зап.-Сиб. отд. Русск. геогр. общ., 1885, кн. 7.
- Никольский А. М. Фауна оз. Балхаш. Тр. СПб. общ. естествоисп., отд. зоол., 1888, 19, № 88.
- Посохов Е. В. Содовые озера Илийской впадины. Изв. Каз. фил. Акад. Наук, сер. геол., 1946, вып. 8.
- Пустовалов Л. В. Петрография осадочных пород, т. 1. Л.—М., Гостоптехиздат, 1940.
- Розен М. Ф. Условия образования наносов в дельте р. Волги. Тр. Касп. ком. Акад. Наук, 1928.
- Романовский Г. Д. Протоколы СПб. мин. общ., 1882.
- Рухин Л. Б. Гранулометрический метод изучения песков. 1947.
- Рылов В. М. К сведениям о планктоне оз. Балхаш. Исслед. озер СССР, 1933, вып. 4.
- Сапожников Д. Г. Известняково-доломитовые илы оз. Балхаш. Доклады Акад. Наук, 1942, № 4—5.
- Седлецкий И. Д. Коллоидные минералы в морских осадках. Доклады Акад. Наук, 1942, 36, № 1.

- Страхов Н. М. 1. Доломитовые осадки оз. Балхаш и их значение для понимания процесса доломитообразования. Сов. геол., 1945, № 4.
- Страхов Н. М. 2. О значении современных озерных и лагунных водоемов для познания процессов осадкообразования. Изв. Акад. Наук, сер. геол., 1945, № 1.
- Страхов Н. М. К познанию закономерностей механизма морской седиментации. 1. Черное море. Изв. Акад. Наук, сер. геол., 1947, № 2.
- Страхов Н. М. Распределение железа в осадках озерных и морских водоемов и факторы, его контролирующие. Изв. Акад. Наук, сер. геол., 1948, № 4.
- Страхов Н. М. Известково-доломитовые фации современных и древних водоемов. Тр. Инст. геол. наук Акад. Наук, 1951, вып. 124.
- Татарский В. В. К вопросу о происхождении доломита. Зап. Мин. общ., 1937, ч. 66, вып. 4.
- Татарский В. В. Литология нефтеносных карбонатных пород Средней Азии и происхождения нефтеносных доломитов. Тр. Нефт. геол.-разв. инст., сер. А, 1939, вып. 112.
- Федорович Б. А. Новые данные об аральском типе бухтовых берегов. Пробл. физ. геогр., 1942, вып. 11, 59—71.
- Филиппова М. Ф. К вопросу о составе и генезисе юрских пород хребта Каратау, богатых остатками растений, насекомых и рыб. Тр. Палеонт. инст. Акад. Наук, 1948, 15, вып. 1.
- Флеров К. К. Об остатках *Gazella* из неогена Джунгарского Алатау. Ежегодн. Всерос. палеонт. общ., 1937, 11.
- Франк Каменецкий А. Г. и Концелевич В. Гидрохимические исследования воды оз. Байкал. Доклады Акад. Наук, 1926, 125.
- Швецов М. С. Петрография осадочных пород. М., Гос. научно-техн. горно-геол. нефт. изд., 1934.
- Шнитников А. В. Элементы водного и солевого баланса оз. Балхаш. Тр. Солян. лабор. Акад. Наук, 1936, вып. 11.
- Штурм Л. Д. Исследование Алакульского озера и вопрос о происхождении балхашита. Тр. Сапропел. инст. Акад. Наук, 1934, 1.
- Эльманович Н. А. О коагуляции невской воды. Гидрохимич. мат., 1916, 2, вып. 1—2.
- Янковская А. И. Механический и химический состав грунтов оз. Балхаш и распределение в нем моллюсков. Исслед. озер СССР, 1933, вып. 4.
- Clarke. The Data of Geochemistry. U. S. Geol. Surv., 1924, Bull. 770.
- Klähn H. Die Genese lakuster Dolomite und Kieselausscheidungen (Fall Garben Teich bei Giessen) und ihre Uebertragung auf die Entstehung mariner Dolomite und Kieselausscheidungen. N. Jb. Min., Abt. B, 1929, 61.
- Pia J. Kohlensäure und Kalk. Die Binnengewässer, 1933, 18.
- Recent marine sediments. A symposium ed. by P. D. Trask. Tulsa, Oklahoma, 1939.
- Schmidt C. u. Dohrandt F. Wassermängen und Suspensionsschlamm des Amu-Darja. Mém. Acad. Sci. SPb., VII Sér., 1877, 25, № 3.
- Smith C. L. The solubility of calcium carbonate in tropical sea water. Journ. Marine Biol. Ass., 1941, 25, № 2.
- Trask P. D. Origin and environment of source sediments of petroleum. 1932.
- Wattenberg H. Kalcium Karbonat und Kohlensäuregehalt des Meereswasser. Wiss. Ergebn. d. Deutsch. Atlant. Exped. «Meteor», 1933, 8.
- Wattenberg H. u. Timmermann E. Ueber die Sättigung des Seewassers an CaCO_3 und die anorganogene Bildung von Kalksedimenten. Ann. Hydrogr., 1936, 64, H. 1.
- Wattenberg H. u. Timmermann E. Die Löslichkeit von Magnesiumkarbonat und Strontiumkarbonat im Seewasser. Kieler Meeresforsch., 1937, 2, H. 1.

ОГЛАВЛЕНИЕ

	Стр.
Введение . . .	1
<i>Глава 1. Краткая характеристика бассейна оз. Балхаш</i>	<i>2</i>
Элементы орографии	2
Схема геологического строения бассейна оз. Балхаш	6
Палеозой и мезозой	6
Третичные отложения	11
Четвертичные отложения	15
Структура Балхашской впадины и современные движения в ней	20
<i>Глава 2. Физико-географические особенности оз. Балхаш и питание его осадоч-</i> <i> ным материалом</i>	<i>23</i>
Климат	23
Краткая характеристика побережий	25
Основные черты морфометрии озерной котловины	26
Элементы гидродинамики	29
Гидрохимия оз. Балхаш	33
Органический мир	41
Питание оз. Балхаш и элементы баланса	43
<i>Глава 3. Типы современных осадков оз. Балхаш и связанные с ними образования</i>	<i>52</i>
Современные осадки оз. Балхаш	54
Глыбы, галька и гравий	57
Илистые пески	58
Песчаные илы	61
Известковый (серый) ил	70
Известково-доломитовый (белый) ил	81
Доломит, известково-диатомовый ил и другие илы	87
Скопления органического вещества (балхашита и торфа)	88
Коренные породы на дне оз. Балхаш	92
Стратификация и состав донных отложений по колонкам	93
Аллювиальные отложения Прибалхашья	102
Отложения соленых озер	107
Общая схема распространения осадков в Прибалхашье	117
Об изменении осадкообразовательного процесса в оз. Балхаш в недавнем прошлом	118
<i>Глава 4. Отложение обломочного материала в оз. Балхаш.</i>	<i>119</i>
Распределение фракций обломочного материала в составе осадков оз. Балхаш	120
Общая характеристика обломочного материала	130

Распределение минералов тяжелой фракции в осадках оз. Балхаш и некоторых других отложениях Прибалхашья	135
Некоторые изменения химического состава терригенной части осадков . .	144
Механизм процесса отложения обломочного материала	146
<i>Глава 5. Отложение карбонатов в оз. Балхаш</i>	<i>153</i>
Распространение карбонатов на площади дна водоема	153
Генезис карбонатов в осадках оз. Балхаш	158
<i>Глава 6. Железо, рассеянное органическое вещество, медь, малые элементы и минералы коллоидной фракции в осадках оз. Балхаш</i>	<i>171</i>
Железо в осадках оз. Балхаш	171
Рассеянное органическое вещество	181
Медь	185
Малые элементы	186
Минералы коллоидной фракции	188
Общий ход процессов седиментации в оз. Балхаш	190
<i>Глава 7. Некоторые аналоги доломитовых осадков оз. Балхаш в геологическом прошлом</i>	<i>193</i>
Юрские доломиты Кара-Тау	193
Доломиты из неогена Германии	199
Литература	203
