

АКАДЕМИЯ НАУК СССР

---

**ЛИТОЛОГИЯ  
И ГЕОХИМИЯ  
СОВРЕМЕННЫХ  
ОЗЕРНЫХ  
ОТЛОЖЕНИЙ  
ГУМИДНОЙ  
ЗОНЫ**

---

ИЗДАТЕЛЬСТВО • НАУКА •

АКАДЕМИЯ НАУК СССР  
ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР  
ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

ЛИТОЛОГИЯ  
И ГЕОХИМИЯ  
СОВРЕМЕННЫХ  
ОЗЕРНЫХ  
ОТЛОЖЕНИЙ  
ГУМИДНОЙ  
ЗОНЫ

(НА ПРИМЕРЕ  
оз. ХАНКА)

551.3+5  
552,5

2965



ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА»  
Москва 1979



**Литология и геохимия современных озерных отложений гумидной зоны (на примере оз. Ханка).** М.: Наука, 1979.

Рассмотрены на примере оз. Ханка главные литологические и геохимические особенности современных озерных отложений гумидной зоны; выявлена связь структуры и состава донных отложений с различными геоморфологическими зонами, установлена степень влияния на эти характеристики разновозрастных элементов рельефа. Детальный анализ рельефа бассейна питания, гидродинамического режима, а также гранулометрического, минералогического и химического составов осадков позволил выявить основные закономерности седиментогенеза, связанные с историей геолого-геоморфологического становления водосборного бассейна и озерного водоема.

Табл. 19. Ил. 24. Библ. 89 назв.

**Авторский коллектив:**

**А.М. КОРОТКИЙ, М.А. МИХАЙЛОВ, И.В. КИТАЕВ, В.Б. КУРНОСОВ**

**Ответственный редактор**

**В.Ф. ИГНАТОВА**

**ЛИТОЛОГИЯ И ГЕОХИМИЯ СОВРЕМЕННЫХ  
ОЗЕРНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ГУМИДНОЙ ЗОНЫ  
(на примере оз. Ханка)**

*Утверждено к печати  
Дальневосточным геологическим институтом  
ДВНЦ АН СССР*

Редактор *Е.П. Алтухова*. Редактор издательства *Э.Б. Травницкая*  
Художественный редактор *Т.П. Поленова*. Технический редактор *И.И. Джиоева*

ИБ № 16010

Подписано к печати 13.09.79. Т - 13543. Формат 60х90 1/16. Бумага офсетная № 1.  
Усл.печ.л. 7,8. Уч.-изд.л. 8,6. Тираж 900 экз. Тип. зак. 723. Цена 1р. 30к.

Книга издана офсетным способом

Издательство "Наука", 117864 ГСП-7, Москва В-485, Профсоюзная ул., д. 90;  
Ордена Трудового Красного Знамени 1-я типография издательства "Наука",  
199034, Ленинград, В-34, 9-я линия, 12

В настоящее время можно считать доказанным, что древние процессы осадконакопления являются далеко не полной аналогией современных. Ограничения, накладываемые на сравнительно-актуалистический метод и разработанную на этой основе сравнительно-литологическую теорию осадконакопления, определяются значительными пространственно-временными колебаниями климата, неоднородностями тектонического режима, которые изменяют интенсивность процесса осадконакопления во впадинах, темпы подготовки и скорость денудации в областях сноса. Сочетание этих процессов в водосборном бассейне в конечном итоге контролирует структуру и "зрелость" осадков, поступающих в область устойчивой седиментации.

Изучение современных отложений оз. Ханка, расположенного в умеренно гумидной климатической зоне и имеющего водосбор с достаточно контрастным рельефом, позволяет подойти к решению следующих задач палеогеографии, палеогеоморфологии и континентального литогенеза.

1. Изучение современного комплекса озерных отложений как коррелятного существующему рельефу водосборного бассейна дает возможность выяснить, в какой мере структура и вещественный состав этих осадков соответствуют разным геоморфологическим зонам с неодинаковой контрастностью рельефа и различной скоростью денудации.

2. Анализ вещественного состава обломочного материала, поступающего в седиментационный бассейн, позволяет установить степень его соответствия продуктам разрушения разновозрастных зон гипергенеза, сопряженных с древними и относительно молодыми элементами рельефа всего водосборного бассейна.

3. Определение степени "зрелости" озерных осадков позволяет установить, в какой мере этот палеогеографический показатель зависит, во-первых, от различий в интенсивности процессов современного и древнего выветривания и, во-вторых, от длительности транзита обломочного материала в системе "склон - речная долина - зона устойчивой седиментации".

4. Наконец, представляется важным выяснить, насколько велико влияние на современный озерный седиментогенез палеогеографических условий, связанных с колебаниями уровня озера, перестройкой речной сети и климатическими осцилляциями недавнего прошлого.

Решение перечисленных задач позволяет выявить особенности озерного седиментогенеза, связанные с историей геолого-

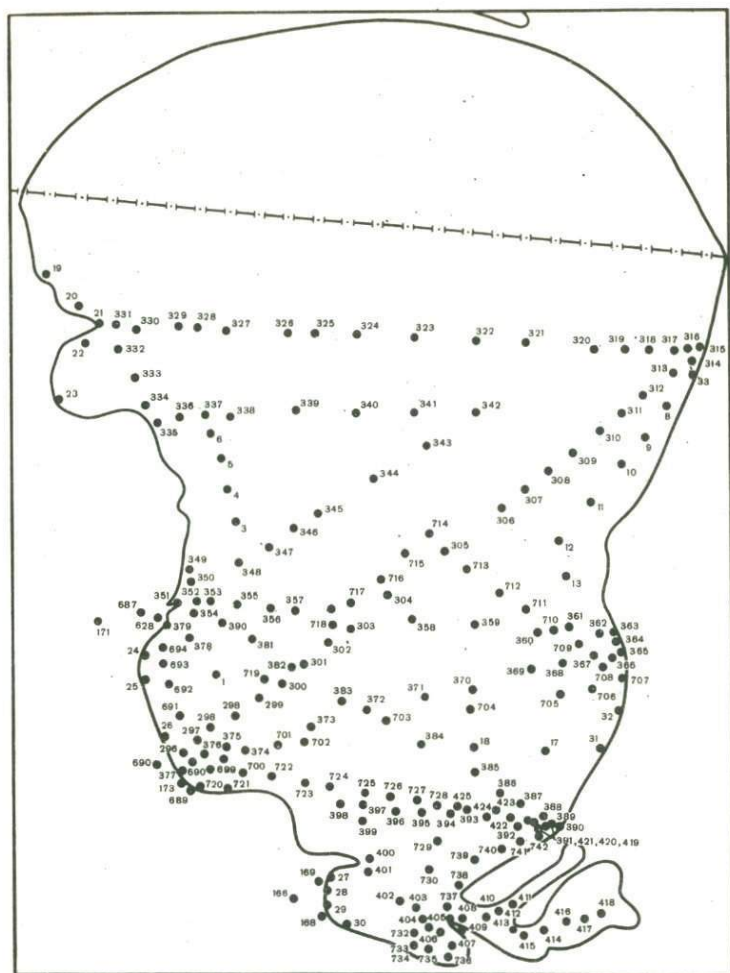


Рис. 1. Схема размещения точек наблюдения донных, пляжевых и аллювиальных отложений бассейна оз. Ханка

геоморфологического становления водосборного бассейна и озерного водоема, а затем на основе изучения современного седиментогенеза делает возможным постановку обратной задачи – реконструкции древнего рельефа и режима выветривания в водосборном бассейне на основе изучения коррелятных озерных отложений.

Не менее важно в проблеме современного озерного седиментогенеза – выяснение основных факторов, определяющих перераспределение поступившего в озеро обломочного материала по его акватории и возникновение определенного комплекса фаций:

1) влияние размеров и глубины озера на распределение осадков по крупности и характеру сортировки;

- 2) выявление особенностей осадконакопления, определяемых режимом ветров и течений, а также ледовитостью озерного водоема;
- 3) зависимость хода седиментации от степени проточности озера, сезонных, многолетних и вековых колебаний его уровня.

Разработка изложенных выше вопросов позволит, в конечном итоге, создать модель современного озерного осадконакопления, учитывающего в соответствующей мере пространственно-временное изменение процессов гипергенеза, денудации, транзита обломочного материала как в пределах водосборной площади, так и в зоне устойчивого осадконакопления.

Известно, что разные параметры (литологические, минералогические, геохимические и т.д.) современных осадков несут неодинаковую информацию о довольно сложном процессе осадконакопления. Поэтому при выборе изучаемых характеристик современных отложений оз. Ханка нами рассматривались в основном те, которые способствовали решению поставленных задач. В частности, характер площадного распределения осадков разной крупности и сортировки позволяет установить степень влияния на озерный седиментогенез рельефа водосборного бассейна и озерной котловины, а также гидродинамического режима озера. Интенсивность процессов выветривания, скорость транзита кластогенного материала в речных системах и перераспределение его потоками наносов познается на основе изучения минералогического состава псаммитовой и пелитовой фракций осадков. Особенности распределения по площади  $C_{org}$ , Fe и малых элементов позволяют установить степень зависимости геохимических параметров осадков от процессов, происходящих в пределах водосборной площади и в бассейне аккумуляции.

Исходный материал для написания данной работы получен при проведении грунтовой съемки оз. Ханка, выполненной совместно в 1969 - 1970 гг. сотрудниками ДВГИ ДВНЦ АН СССР (А.М. Короткий) и ДВНИГМИ (А.М. Горчаков). Было выполнено 16 профилей общей протяженностью свыше 600 км и с отбором проб трубкой ГОИН и одновременным замером глубины на 195 станциях. Кроме того, А.М. Коротким была обследована большая часть пляжевой зоны и выполнено геоморфологическое картирование отдельных участков побережья (рис. 1).

## ПРИРОДНЫЕ УСЛОВИЯ В БАССЕЙНЕ ОЗ.ХАНКА

## ОРОГРАФИЯ И ГЕОЛОГО-ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ

Озеро расположено в средней части Западно-Приморской равнины, которая соответствует Уссури-Ханкайско-Раздольненской тектонической депрессии. Эта равнина подразделяется на три: Раздольненскую - на юге, Ханкайскую - в центральной части и Уссурийскую - на северо-востоке. Ханкайская равнина простирается на северо-северо-восток от Хорольского мелкогогорья до устья р. Большой Уссурки.

Граница водосборного бассейна оз. Ханка на западе охватывает территорию с абсолютными высотами 600-700 м, а на востоке - хребет Западный Синий и северную часть Шкотовского плато, входящих в орографическую систему Сихотэ-Алинь (с абс. высотами в 600-1000 м). На юге большая часть водораздела бассейна р. Раздольной и оз. Ханка проходит в пределах Хорольского мелкогогорья. Лишь бассейн р. Абрамовки дренирует северную часть Раздольненской равнины.

Для орографии водосборного бассейна оз. Ханка характерен постепенный переход от хребтов с среднегорным и низкогорным рельефом к зоне мелкогогорного и холмисто-увалистого, а затем останцово-денудационного рельефа к высоким и низким аккумулятивным равнинам. Такое соотношение разновысотных элементов рельефа определяется неодинаковой интенсивностью поднятия горных сооружений и сопряженно развивающейся с ними крупной зоны устойчивого прогибания - Уссури-Ханкайско-Раздольненской тектонической депрессии (Худяков и др., 1972).

Зона низкогорного рельефа (абс. высоты от 500 до 1000 м) выделяется в бассейне р. Спасовки (хр. Западный Синий). Здесь современный облик рельефа определяют склоновые поверхности эрозионно-денудационного происхождения. Полная задернованность склонов, за исключением вершинной части хребта, обуславливает преимущественно скрытое перемещение обломочного материала. Медленное смещение на склонах при умеренной величине эрозионного вреза определяет довольно длительное пребывание в зоне гипергенеза и в целом достаточную зрелость кластогенного материала по сравнению с другими горными районами.

В юго-восточной части бассейна оз. Ханка к зоне низкогорного рельефа отнесено Шкотовское базальтовое плато, для которого характерно сочетание в рельефе плоских водоразделов с мощными

корами выветривания, и крутых склонов речных долин, где эродировались относительно "свежие" породы.

На юго-западе зона низкогорного рельефа отмечена лишь в истоках рек Мельгуновки и Комиссаровки. Характерной особенностью рельефа является полная задернованность склонов и значительное уплощение водоразделов, на которых развит мощный чехол покровных в основном шебнисто-глинистых образований. В неглубоких, но значительных по площади седловинах, сопряженных с водосборными воронками истоков указанных рек и их притоков, вскрываются мощные коры выветривания.

Зона мелкогорного рельефа (абс. вып. 200–500 м) распространена в окраинных частях хр. Западного Синего и особенно значительна на водоразделе рек Комиссаровки и Мельгуновки, где ее ширина составляет 50–60 км. Для этого типа рельефа характерны уплощенные водоразделы и относительно выположенные склоны в вершинном поясе и на бортах речных долин. Исключение составляют речные долины бассейна р. Илстой, дренирующие Шкотовское плато.

Такой облик рельефа определяется в первую очередь малой интенсивностью тектонического воздымания и даже периодическим нисходящим развитием, связанным с расширением зоны устойчивого опускания (Худяков и др., 1972).

Зона мелкогорного рельефа раздроблена на отдельные массивы кайнозойскими наложенными впадинами (Гродековской, Реттиховской и др.). Такой тектонический режим окраинных частей горных сооружений обуславливает в целом малую скорость разрушения склонов и приводит в конечном итоге к проявлению здесь интенсивного гипергенеза. Длительность этого процесса и его пульсация во времени являются причиной возникновения здесь довольно мощных кор выветривания (первые десятки метров), представленных в основном их нижними горизонтами (Финько и др., 1963).

Разрушение древних кор связано с периодическим усилением денудации в пределах мелкогорья. Поэтому мощный покровный чехол глинисто-шебнистых отложений, перекрывающий склоны и поверхности водоразделов, залегает с размывом на умеренно, а иногда сильно выветрелых породах.

Таким образом, достаточно интенсивное развитие процессов гипергенеза в зоне мелкогорного рельефа, преобладание закрытого перемещения обломков на склонах и в целом слабая эрозионная активность речных систем служат причиной образования умеренновыветрелого кластогенного материала, поставляемого в оз. Ханка.

Зона холмисто-увалистого рельефа образует переход от мелкогорий к высоким аккумулятивным равнинам, развитым по окраинам кайнозойских впадин. Помимо этого, она занимает большую часть Хорольского мелкогорья (древний выступ фундамента), разделяющего Усури-Ханкайскую и Раздольненскую впадины. Для пологосклонного холмисто-увалистого рельефа характерно сочетание отдельных



останцевых массивов и разделяющих их денудационных пьедесталов, возникающих за счет педиментного выравнивания. Эта зона постепенно переходит в высокие аккумулятивные равнины. Развита в зоне останцево-денудационного рельефа гидросеть, за исключением транзитных систем, характеризуется крайней степенью деградации эрозионных процессов. Преобладающий в днищах низкорядковых долин пластовый сток приводит к накоплению в этих системах преимущественного тонкообломочного балочного аллювия, а на их склонах — делювиальных суглинков и глин (Короткий, 1970). Из этих систем в бассейн оз. Ханка поступает в основном взвешенный глинистый материал<sup>1</sup>. Зона холмисто-увалистого рельефа на протяжении длительного времени (для отдельных участков на протяжении позднего мезозоя-кайнозоя) была переходной от впадин к горным сооружениям, что и определяет значительную мощность зоны гипергенеза (сотни метров). Широкое развитие пологих склонов в совокупности со слабым эрозионным расчленением привело к формированию на всех элементах рельефа мощного покровного чехла (десятки метров), сложенного преимущественно глинами (Короткий и др., 1972; Худяков и др., 1972).

Высокая аккумулятивная равнина широко развита в бассейне оз. Ханка, где она сопряжена с кайнозойскими тектоническими впадинами. Как геоморфологический элемент она возникла в конце плиоцена, когда интенсивный эрозионный врез привел к возникновению плиоценовой террасы с современной высотой уступа около 40–60 м (Ганешин, 1957; Никонова, 1965; Худяков и др., 1972).

В западной части Уссури-Ханкайской впадины высокая аккумулятивная равнина расположена на водоразделе бассейна оз. Ханка и р. Мулинхе, протягиваясь на юг от пос. Турий Рог до устья р. Большие Усачи. Особенно широко она распространена в бассейне р. Мельгуновки, где образует плиоценовую террасу по бортам Гродсковской и Жариковской впадин.

На восточной окраине котловины оз. Ханка (бассейн р. Спасовки) высокая аккумулятивная равнина протянулась полосой вдоль хр. Западного Синего. На отдельных участках она перекрыта мало-мощными покровами базальтов (бассейн рек Илистой, Спасовки).

В геологическом разрезе высокой аккумулятивной равнины вскрываются три четко выраженные литологические пачки. В верхней части почти повсеместно отмечается пачка покровных красноцветных глин и суглинков, мощность которой увеличивается от 3–5 м (вблизи бровки террасы) до 10–15 м в шовной части террасы. В средней части разреза обнажается пачка аллювиально-озерных (вблизи современного озера) и аллювиальных (в зоне предгорий) пестроцветных и красноцветных глин, глинистых песков,

<sup>1</sup> За исключением зон оврагообразования, связанных с деятельностью человека, или на участках крупных эрозионных склонов в долинах транзитных рек.

алевритов и галечников. Ее мощность составляет 10–20 м. В основании террасы залегают белесые аллювиальные пески, галечники и валуники с прослоями туфогенных алевритов. В цоколе террасы, который чаще вскрывается в краевых частях впадин и в бортах магистральных долин, отмечены выходы разновозрастных пород кайнозоя и коры выветривания на породах палеозойского фундамента. Таким образом, при разрушении высокой аккумулятивной равнины в оз. Ханка поступает обломочный материал, разнообразный по вещественному составу и размерности и характеру сортировки.

Анализируя площадное распространение зоны останцево-денудационного рельефа и высокой аккумулятивной равнины, следует отметить особенно значительное их расширение на юго-востоке (в бассейне р. Илистой) и западе (в бассейне р. Мельгуновки). Ширина этой зоны в значительной мере определяет структуру обломочного материала, выносимого реками в котловину оз. Ханка (Худяков и др., 1972; Короткий и др., 1975).

Непосредственно в обрамлении оз. Ханка широко развита низкая аккумулятивная озерно-аллювиальная равнина. Она тянется непрерывной полосой на юг от м. Камень (у с. Астраханка), полностью ооконтуривая современные южное, восточное и северное побережья до пос. Турий Рог. Вблизи озера абсолютные отметки колеблются в пределах 70–73 м, а на севере, в Присунгачской низменности, ее поверхность постепенно понижается от 68–69 до 61–62 м в устье р. Сунгач, где озерно-аллювиальная равнина Ханкайской котловины сливается с аллювиальной равниной в долинах рек Усури и Мулинхе. Из Ханкайской котловины озерно-аллювиальная равнина "затягивается" вверх по долинам рек. Особенно широка она (до 30–40 км) в нижнем течении рек Мельгуновки и Илистой. Возникновение равнины связано с позднечетвертичным этапом аккумуляции, когда уровень оз. Ханка достиг максимальных для плейстоцена отметок (Короткий, Караулова, 1970; Худяков и др., 1972).

Оз. Ханка несколько вытянуто в меридиональном направлении и имеет овальную форму (рис. 2, табл. 1). Береговая линия озера слабо расчленена, особенно в восточной части. При общей ее длине в 309 км на долю изрезанного абразионно-денудационного побережья приходится только 47 км. При определении изрезанности береговой линии по методике С.Д. Муравейского (1948) коэффициент извилистости для северного побережья составил 1,01, для западного – 1,25, для южного и юго-восточного – 1,10. Лишь в пределах западного и юго-западного берега выделяется несколько мысов и полуостровов (п-овов Лузановая сопка, Стародевичанский, мысы Николаевский, Камень, Белоглиняный), между которыми расположены заливы (Лузанов, Малый Ханкайчик, Астраханский, Платоновский).

Различия в морфологии западного и восточного побережий оз. Ханка объясняются по-разному. Широкое развитие аккумулятивного выровненного берега на востоке и изрезанность абразионно-аккумулятивного на западе, по мнению Г.С. Ганешина (1957), связаны,

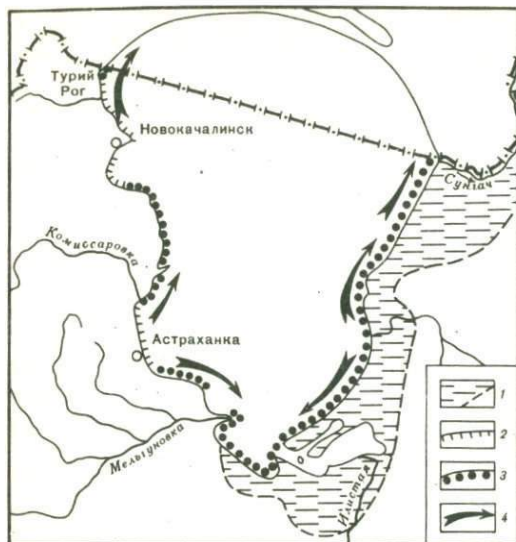


Рис. 2. Схема типов побережья оз. Ханка

1 - контуры позднечетвертичной озерно-аллювиальной равнины; 2 - абразионно-денудационные берега; 3 - аккумулятивные берега; 4 - вдольбереговые потоки наносов

прежде всего, с медленным поднятием восточного побережья оз. Ханка и опусканием его западного обрамления. Возможно и другое объяснение морфологической асимметрии, связанное с разным режимом и неодинаковой интенсивностью поступления обломочного материала в котловину оз. Ханка на его восточном и западном побережьях (Худяков и др., 1972).

Широкое развитие аккумулятивной равнины на восточном и южном побережьях определяется прежде всего тем, что здесь в оз. Ханка впадают реки, текущие с Сихотэ-Алиня и имеющие большой твердый сток. За счет этого здесь в позднем плейстоцене-голоцене, при уровне озера, близком к современному, происходило наиболее активное наращивание аккумулятивной суши. На западном побережье озера к северу от устья р. Мельгуновки, где нет крупных рек (за исключением р. Комиссаровки), наблюдается дефицит рыхлого материала, что, в свою очередь, определяет активизацию процессов абразии. О явной связи между интенсивностью абразии и балансом наносов в береговой зоне озера свидетельствует соответствие абразионно-бухтовых берегов водораздельным выступам суши, а аккумулятивных полуостровов - устьям рек. Именно в устьях рек и наблюдаются небольшие острова на акватории Ханки (о-в Калугина в устье р. Мельгуновки, о-в Сосновый - северовосточнее устья р. Комиссаровки).

Ханка - мелководное озеро. Наибольшие глубины в нем расположены на севере (6,50 м), несколько меньшие на юге<sup>1</sup>. Между ними проходит полоса Центрально-Ханкайского мелководья с глу-

<sup>1</sup> По данным В.А. Скорнякова (1969), наибольшая глубина в озере составляет 10,6 м.

Таблица 1

Основные морфометрические характеристики оз. Ханка (при отметке уровня воды 68,95 м БС)

Морфометрическая характеристика	Общая величина	Содержание, % от общей величины
Площадь водной поверхности, км <sup>2</sup>	4070	100,0
Площадь, ограниченная изобатами, км <sup>2</sup>		
0-1	62	1,5
1-2	174	4,3
2-3	246	6,0
3-5	1855	45,6
5-6,5	1733	42,6
Длина озера, км	90	
Ширина озера средняя, км.	45	
Ширина озера наибольшая, км	68	
Длина береговой линии, км	309	100,0
Длина аккумулятивного побережья, км	262	84,8
Длина абразионного побережья, км	47	15,2
Коэффициент развития береговой линии	1,36	
Объем озера, км <sup>3</sup>	18,51	
Средняя глубина озера, м	4,55	
Наибольшая глубина озера, м	6,50	

Примечание. Таблица составлена по данным М.В. Васьковского (1978) с дополнениями авторов.

бинами до 3 м. Помимо этого, отмечается расширение мелководий в устьях рек Мельгуновки и Комиссаровки. Обширная полоса с глубинами до 3 м к северу от о-ва Соснового соответствует участку интенсивно абрадируемого побережья.

Многие особенности морфологии озерной котловины становятся понятными лишь после анализа условий заложения озера и особенностей осадконакопления на последнем этапе его истории.

Тектоническое происхождение Усури-Ханкайской впадины, в пределах которой расположена котловина оз. Ханка, не вызывает дискуссий (Громов, 1964; Геология СССР..., 1969; Скорняков, 1969; Худяков и др., 1972). На фоне устойчивого тектонического погружения Усури-Ханкайской впадины и ближайшего горного обрамления (Короткий, 1970; Худяков и др., 1972) на разных этапах ее развития, в зонах, которые пространственно совпадают

с участками неполной компенсации прогибания осадконакоплениям, возникли озерные водоемы. С наибольшей детальностью этот процесс восстановлен для позднего плиоцена – плейстоцена. Изучение плиоцен–четвертичного геологического разреза, выполняющего котловину оз. Ханка, позволило выявить довольно сложную эволюцию озерного водоема в позднем кайнозое. Времени устойчивого погружения Уссури–Ханкайской впадины в плейстоцене предшествовало интенсивное расчленение в позднем плиоцене с амплитудой вреза в депрессии до 130–150 м. Возникшие при этом переуглубленные долины стали затем в плейстоцене зоной устойчивой аккумуляции (Худяков и др., 1972; Короткий, Караулова, 1975). Скорость накопления осадков в речных долинах, дренирующих Сихотэ–Алинь (р.р. Уссури, Мулинхе), была больше, чем в центре депрессии. На участке слияния этих рек (район городов Лесозаводска–Дальнереченска) она была максимальной для всей Уссури–Ханкайской впадины, где уже в нижнем плейстоцене возникла крупная внутренняя дельта.

В речных системах южной и западной части впадины аккумуляция в целом была ослабленной из-за малой энергии рельефа в бассейнах рек. Здесь наибольшие скорости аллювиальной аккумуляции также совпадали с предгорным обрамлением впадин. Минимальные же скорости осадконакопления, таким образом, соответствовали центральной части Уссури–Ханкайской впадины.

В результате все большего разрыва в интенсивности аккумуляции на разных участках впадины и по мере подъема базиса денудации в ходе тектонического погружения депрессии к среднему плейстоцену создались условия, определившие возникновение небольших мелководных озер. Они образовались в первую очередь в пределах крупной переуглубленной прadolины, расположенной на продолжении современных тальвегов рек Мельгуновки и Илистой (по линии с. Старая Девица – устье р. Сунгач). По мере роста аллювиальной "плотины" на месте слияния рек Уссури и Мулинхе на севере Ханкайской котловины в ее южной части все более расширялся озерный водоем. К концу среднего плейстоцена древнее озеро полностью охватило Присунгачскую низменность и центральную часть современного водоема. По долинам рек Комиссаровки, Мельгуновки, Илистой и, вероятно, Спасовки существовали глубоко вдающиеся в сушу заливы, совпадающие с древними переуглубленными тальвегами. По мере подъема уровня аккумуляции продолжалось разрастание акватории озера и к концу позднего плейстоцена возник водоем, близкий по своим контурам к площади распространения низкой озерной террасы (Никольская, 1952; Короткий, Караулова, 1970; Худяков и др., 1972). Климатические осцилляции плейстоцена вызывали периодическое уменьшение акватории озера (теплые эпохи) или его трансгрессии (холодные эпохи). В позднем плейстоцене, когда озеро достигало максимальных размеров, в водоеме, благодаря его значительной длине (до 130 км) и ширине (до 70 км), создавались условия для интенсивной абразии берегов, сложенных сильно вы-

ветрельми породами или слаболитифицированными осадками кайнозоя. Усиление абразии наряду с поступлением аллювия привело к возникновению вдольбереговых потоков, которые при существующем летне-осеннем режиме ветров имели преобладающее северо-западное и северо-восточное направление. В этом же направлении увеличивалась ширина позднечетвертичного озера. Эта ситуация способствовала возникновению овально-вытянутого абриса озера.

## ГИДРОЛОГИЯ ВОДОСБОРНОГО БАССЕЙНА И ОЗЕРА

*Гидрологический режим* оз. Ханка определяется уравнением следующего вида (Васьковский, 1970):

$$X + Y_{\text{пр}} - Z - Y_{\text{ст}} = \pm A,$$

где  $X$  – осадки на поверхность озера,  $Y_{\text{пр}}$  – поверхностный приток в озеро,  $Z$  – испарение за вычетом конденсации,  $Y_{\text{ст}}$  – поверхностный сток из озера через русло р. Сунгач,  $A$  – изменение объема в озере за расчетный период. Величины подземного притока в озеро и подземного стока из озера почти не изучены. Предположительно они по своей абсолютной величине незначительны и не оказывают влияния на водный баланс. По данным расчета, осадки на поверхность озера составляют 54%, приток поверхностных вод – 45, в расходной части – испарение 56, поверхностный сток – 44%. Так как отношение площади зеркала озера к площади бассейна велико (26%), то водный баланс в значительной мере обусловлен водообменом через зеркало озера, в чем нас убеждает анализ отдельных составляющих водного баланса озера.

*Поверхностный приток в озеро.* Общая площадь водосбора озера Ханка (без зеркала озера)<sup>1</sup> составляет, по данным М.Г. Васьковского (1968), 15370 км<sup>2</sup>. Она включает в себя бассейны пяти крупных рек: Илистая (5470 км<sup>2</sup>), Спасовка (1260 км<sup>2</sup>), Мельгуновка (3510 км<sup>2</sup>), Комиссаровка (2310 км<sup>2</sup>), а также мелких рек, общая площадь бассейна которых около 860 км<sup>2</sup>. Бессточная часть бассейна (с зеркалом озера) составляет 6700 км<sup>2</sup>. Данные о годовом стоке с вышеуказанной "активной" площади водосбора приведены в табл. 2.

*Осадки на поверхность озера.* Наблюдения на больших озерах показывают, что на открытых плоских островах и побережьях водоемов осадков выпадает меньше, чем в некотором удалении от водоема (Зайков, 1960). Отсутствие островных станций на оз. Ханка и сведений для северных и северо-восточных берегов затрудняет определение годовых сумм осадков. Среднее количество осадков для озера определено путем планиметрирования карт изогет для всего водосборного бассейна. Величина их за последние 23 года,

<sup>1</sup> Только в пределах территории СССР.

Таблица 2

Годовой сток в оз. Ханка (Васьковский, 1968)

Река	Площадь водосбора, км <sup>2</sup>	Средний многолетний сток, м <sup>3</sup> /сек	Объем стока за год, м <sup>3</sup>
Спасовка	1260	6,73	212·10 <sup>6</sup>
Илистая	5470	24,9	784·10 <sup>6</sup>
Мельгуновка	3510	10,2	321·10 <sup>6</sup>
Комиссаровка	2310	10,8	340·10 <sup>6</sup>
Большие Усачи	304	0,86	27,1·10 <sup>6</sup>
Малые реки	860	1,00	31,5·10 <sup>6</sup>
Прибрежные междуречья	15370	54,5	1715,6·10 <sup>6</sup>
	1666	-	-

Примечание. Таблица составлена А.М.Горчаковым (Короткий, Китаев и др., 1975).

по данным М.Г.Васьковского (1968), изменяется от 412 до 788 мм, а в среднем за этот период равна 567 мм.

Испарения с поверхности воды, снега и льда установлены расчетным путем и затем сопоставлены с данными наблюдений по испарительному бассейну (ст. Астраханка). При расчете испарения учитывалась температура поверхности воды, скорости ветра и абсолютная влажность воздуха над акваторией озера. По данным М.Г.Васьковского (1970), общая годовая величина испарения с поверхности озера составляет в среднем 584 мм. Таким образом, величина испарения сопоставима с количеством осадков на поверхность озера.

Поверхностный сток из озера через исток р. Сунгач по сравнению с другими компонентами водного баланса наименее изучен. Величина измеренных здесь в разное время расходов воды через исток р. Сунгач изменяется в пределах от 35,4 до 64,7 м<sup>3</sup>/сек. Сходная величина среднегодового расхода этой реки получена для поста у с. Павло-Федоровка, где сумма, за вычетом годового стока р. Белой, составляет 50 м<sup>3</sup>/сек.

*Колебания уровня озера.* В первом приближении, по мнению М.Г. Васьковского, можно принять, что в многолетнем разрезе осадки равны испарению, а поверхностный приток — поверхностному стоку. По классификации Б.Б. Богословского (1960), оз. Ханка соответствует испарительно-нейтральным водоемам. Полный обмен воды в озере происходит через 10 лет, и озеро относится к слабопроточным водоемам (Нехайчик, 1966). Наиболее изучены многолетние колебания уровня оз. Ханка за период с 1949 по 1971 г., в котором выделяются три интервала: маловодный (1949-1954),

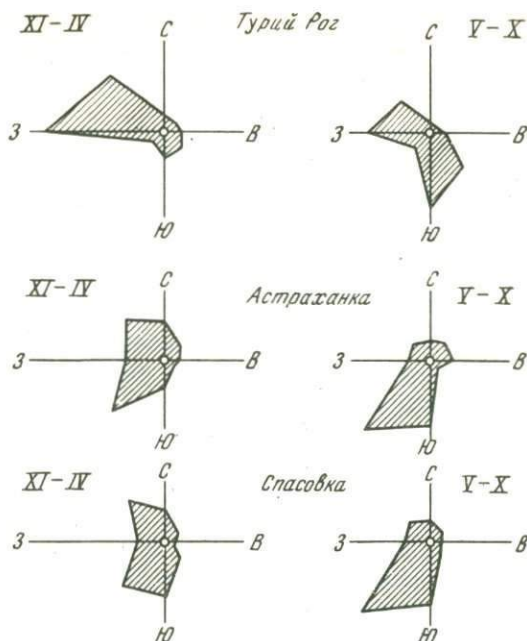


Рис. 3. Розы ветров в Ханкайской котловине

многоводный (1955–1960) и нейтральный (1961–1971), когда уровень воды в озере стоял высоко, но значительно колебался (Васьковский, 1968). Амплитуда колебаний уровня за этот период составила около 150 см. Внутригодовые колебания уровня оз. Ханка определяются как изменения стока, так и сгонно-нагонными явлениями. Сравнительно устойчивое положение воды отмечается при ледоставе. Внутригодовые колебания за счет приращения или падения от расчетного уровня за последние 23 года менялись в пределах от +58 до -53 см.

Анализ разных составляющих водного баланса показал для отдельных сезонов расхождения с измеренным стоком (Васьковский, 1970). Эти расхождения, видимые на совмещенном графике колебаний уровня озера, объясняются сильными сгонно-нагонными явлениями. Так, в ноябре 1968 г. наибольшая величина сгона по постамам, расположенным на южном и западном побережье оз. Ханка, составила 35–40 см. Соответственно в северной части озера отмечался нагон воды и выход ее на поверхность низкой озерной террасы. Максимальный подъем, установленный при нивелировании системы береговых валов, составил около 0,8 м. Вода, попавшая на низменную равнину и, заполнившая понижения между береговыми валами, а также болота, остается там, что приводит в конечном итоге к кратковременному снижению уровня воды в озере. Таким образом, периодические многолетние колебания уровня озера и



эпизодические сезонные за счет сгонно-нагонных явлений и колебаний речного жидкого стока являются причиной сильной заболоченности низменности по восточному и северному побережью оз. Ханка.

Сгонно-нагонные явления, определяемые режимом ветров, приводят к возникновению стоковых течений, которые влияют на перераспределение по акватории озера взвешенного обломочного материала. Помимо этого, режим ветров служит причиной возникновения потоков наносов и абразии берегов.

Наблюдения за направлением и скоростью ветра производились на береговых и прибрежных станциях, а также на акватории во время работы на рейдовых вертикалях (Материалы..., 1965, 1970). Несмотря на мелководный характер озера и сравнительно однородное распределение глубин, ветровой режим на акватории различен (рис. 3) как во внутригодовом, так и многолетнем разрезе. Так, по ст. Турий Рог в летне-осенний период (V-X месяцы) преобладают южные, юго-восточные, а также западные и северо-западные, в то время как на станциях Спасовка и Астраханка - южные и юго-западные ветры. Такое распределение ветров в безледный период года хорошо объясняет существование потоков наносов вдоль восточного, северо-восточного и северо-западных побережий озера.

В период ледостава (X-IV месяцы) для ст. Турий Рог преобладают ветры западных и северо-западных, Астраханки - северо-западных и юго-западных и реже северных; Спасовки - юго-западных, северо-западных, реже северных направлений. Такой режим ветров способствует в начале зимы, вероятно, смене направлений потоков наносов на восточном побережье озера и сильным нагонам в его северо-восточной части. Средние скорости ветра меняются в существенных интервалах: от 5-8 м/сек в летний период, до 15-20 м/сек в ранневесенний и позднеосенний периоды. Резкое усиление скоростей ветра в последние периоды приводит к возникновению активных знакопеременных потоков наносов. Волнение как активный фактор зависит от длины разгона воздушных масс. В этой связи наиболее сильное волнение на западном побережье наблюдается при северных и юго-западных ветрах, на восточном побережье - при северных и южных ветрах. Расчеты высоты волнения по формуле Стивенсона дают максимальное значение около 2,5 м для западного побережья озера, где в настоящее время в условиях значительного дефицита наносов активно происходит абразия берегов.

Таким образом, природные условия в бассейне оз. Ханка создают предпосылки для формирования в зоне седиментогенеза умеренно-зрелого комплекса осадков, достаточно разнообразного по структуре (размерность и характер сортировки) и минералогическим характеристикам. Мелководность озерного водоема и его бурный гидродинамический режим в сочетании с вековыми, многолетними и сезонными колебаниями уровня предопределяют интенсивное перераспределение по акватории поступившего сюда кластогенного материала.

## СТРУКТУРА СОВРЕМЕННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ОЗ.ХАНКА

### ФАКТОРЫ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ РЕЖИМ ОСАДКОНАКОПЛЕНИЯ

Обломочный материал как взвешенный, так и влекомый, в оз. Ханка поступает за счет деятельности рек, а на западном побережье и за счет абразии коренных берегов, сложенных здесь палеозойскими гранитами и слабо литифицированными отложениями усть-суйфунской и суйфунской свит. Третий источник поступления обломочного материала – золотой перенос, который особенно усилился в последнее 20-летие в связи с сильной распашкой низкой аккумулятивной равнины. Помимо этого, следует упомянуть о ледовом разносе грубообломочного материала по всей акватории озера. При значительной толщине льда (до 1,3 м) можно ожидать значительного выпаживающего эффекта льдов в зоне литорали, насыщения обломками и последующим далеким переносом. Сильные ветры в ранневесенний период способствуют торожению льда.

Анализ площадного размещения современных озерных осадков показывает довольно сложное распределение полей осадков разной крупности, их тесную связь с геоморфологическим строением водосборного бассейна озера и современной гидродинамикой (рис. 4).

К геоморфологической особенности Ханкайской депрессии относится широкое развитие в ее краевых частях кайнозойских поверхностей выравнивания с мощными корами выветривания, разделяющих области горного рельефа (Сихотэ-Алинь и область устойчивой аккумуляции (оз. Ханка). Составными частями этой поверхности служат зоны останцево-денудационного рельефа и высокие аккумулятивные равнины. Наиболее крупные реки этой территории (реки Уссури и Мулинхе), несущие песчано-галечный материал, транзитны для Ханкайской депрессии и мигрируют озеро. Поэтому главный поставщик песчано-галечного материала в оз. Ханка – р. Комиссаровка, в бассейне которой по сравнению с водосборами рек Мельгуновки, Илистой и Спасовки, наименее развит пояс останцево-денудационного рельефа. Большинство же рек, впадающих в озеро с запада и юго-запада, выносит в водоем песчаные и алеврито-песчаные осадки.

На участках, разделяющих устья рек Комиссаровки и Мельгуновки, преобладают песчано-алеврито-глинистые отложения, которые перемещаются низкопорядковыми водотоками, дренирующими зону останцево-денудационного рельефа. Подобные же осадки выносятся в озеро реками Илистой и Спасовкой, в бассейнах которых ширина зоны выровненного рельефа с корами выветривания достигает 70-

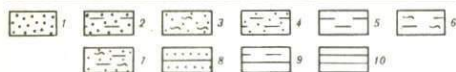
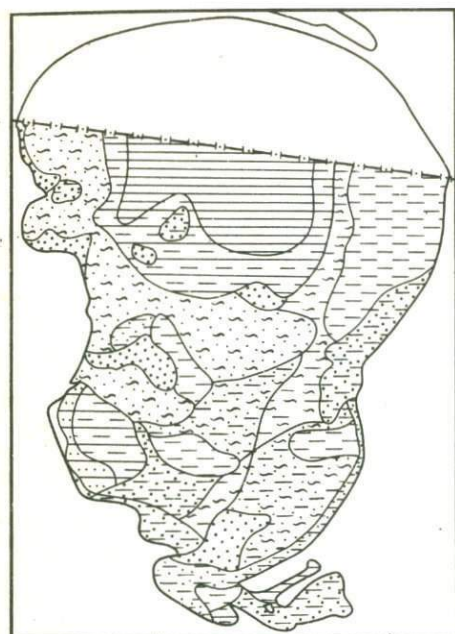


Рис. 4. Распределение современных донных осадков оз. Ханка (по данным гранулометрического анализа)

1 - песок; 2 - песок алевритовый; 3 - песок глинистый; 4 - алеврит крупный; 5 - алеврит мелкий; 6 - алеврит глинистый; 7 - алеврит песчано-глинистый; 8 - глина песчаная; 9 - глина алевритовая; 10 - глина

80 км. Малые уклоны этих рек определяют почти полную разгрузку песчаного материала в их нижнем течении и вершинах дельт.

Хотя реки и выступают основными поставщиками обломочного материала в озеро, однако плановое распределение разных типов донных осадков коррелируется со структурой влекомых

и взвешенных наносов лишь в общих чертах. Причин этому явлению несколько.

1. Аллювий, поступивший в озеро, претерпевает резкую сепарацию в зоне литорали, где оседает влекомый материал, который затем участвует в питании вдольбереговых потоков наносов. В результате того, что источником обломочного материала, перемещаемого в береговой зоне, помимо этого служит абразия, и, вероятно, золотый перенос, структура осадков на акватории озера сильно усложняется. Активная деятельность вдольбереговых потоков способствует осреднению структуры озерных отложений на значительных площадях. Это приводит к почти полному несовпадению структуры аллювия, поступающего в зону литорали, и материала, накапливающегося здесь. Так, например, р. Спасовка выносит в озеро преобладающе алеврито-глинистую взвесь, а в полосе мелководья здесь накапливаются в основном пески, перемещенные сюда вдольбереговыми потоками наносов.

2. Существующая в оз. Ханка система сгонно-нагонных течений сильно нивелирует состав взвешенных наносов, в результате чего возникают крупные поля довольно однородного по структуре обломочного материала. Этому способствует и мелководность озера, определяющая его бурность и неоднократную селекцию взвешенного материала, с чем связано уменьшение доли глинистой фракции в осадках озера, за исключением его наиболее глубоководной части (Короткий и др., 1975).

3. Структура обломочного материала в значительной мере зависит от вековых, многолетних и сезонных колебаний уровня озера. Наблюдаемые вблизи устьев рек поля песчано-гравийного материала явно не соответствуют современным уклонам рек. Их образование связано с сильным понижением уровня озера (примерно на 4 м ниже современного) в раннем - среднем голоцене и широким разносом аллювия в пределах образовавшейся суши. Последовавшие затем трансгрессия и подъем уровня воды до современного привели к затоплению полей осадков, явно не соответствующих по структуре современной аллювию.

Указанные причины (поступление аллювия, перераспределение его течениями, интенсивность абразии, колебания уровня озера в позднем плейстоцене-голоцене) определили соотношение полей песка, алевролитов в пределах акватории озера.

### ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКИЙ СОСТАВ ОЗЕРНЫХ ОСАДКОВ

Предлагаемая характеристика разных литологических типов современных отложений оз. Ханка сделана на основе подробного визуального описания поверхностного слоя осадков (197 станций), 105 анализов для глин, алевролитов и песков и 15 - для галечников. Аналитические работы по разделению фракций для глин, алевролитов и песков выполнялись стандартными методами (методы Робинсона и ситовой). Для галечников определялись линейные размеры и окатанность валовой пробы в 50-100 обломков (Короткий, 1970).

*Галечники (2-10 см)*<sup>1</sup>. Грубообломочные отложения этой крупности поступают в озеро исключительно в результате волновой абразии и встречаются в составе пляжевой фации осадков и сублиторали. По структуре обломочного материала, под которой понимается его крупность ( $l$ ), характер окатанности ( $K_0$ ) и сортировки ( $S_0$ ), выделяются два типа галечных отложений.

Первый тип галечников сложен хорошо окатанными обломками разнообразного вещественного состава с высокой степенью сортировки. Он распространен на северо-западном побережье оз. Ханка от Государственной границы СССР и до м. Белоглиняного, где абразии подвергаются песчано-галечные отложения неогена. Для неогеновых галечников характерны хорошая окатанность обломков и достаточно разнообразный вещественный состав с преобладанием абразивно-устойчивых пород (табл. 3,4). Размыв этих песчано-галечных отложений водами озера приводит к тому, что здесь пляжевая зона и подводный склон до отметок - 2 м ниже среднего уровня воды сложен

<sup>1</sup>Валуны (10 см) и гравийники (до 2 см) нами не рассматриваются, так как они не образуют самостоятельных полей осадков на акватории озера и чаще всего наблюдаются в виде примеси к галечникам.

Таблица 3

Изменение окатанности и размерности обломков из плиоценового аллювия и современных пляжей оз. Ханка

Структура валовых проб	Современный пляж оз. Ханка		Плиоценовые отложения	
	Вторая речка	пос. Турий Рог	м. Белоглиняный	м. Оползневый
Средний размер валовой пробы (см)	5,8	3,6	6,7	4,0
Средняя окатанность валовой пробы (%)	60,0	58,0	60,0	68,0

Таблица 4

Вещественный состав плиоценовых аллювиальных и современных пляжевых галечников оз. Ханка (на участке от м. Белоглиняного до пос. Турий Рог), %

Тип породы	Современный пляж		Плиоценовые отложения		
	м. Белоглиняный	пос. Турий Рог	1369	1364	1350*
Кварц и окварцованные породы	16	33	26	24	55
Кварцевые порфиры и липариты	10	1	4	23	2
Граниты	17	7	28	5	-
Порфириты	1	4	20	9	-
Песчаники	2	5	-	3	-
Туфогенные породы	2	-	-	2	-
Кремни и окремненные породы	52	50	22	33	43

\* Цифрами даны номера точек наблюдений.

галечниками. Структура и вещественный состав их весьма сходны с такими же показателями для неогеновых галечников (см. табл. 3, 4). Уменьшение среднего размера обломков и увеличение доли абразивно-устойчивых пород в пляжевых накоплениях вызваны прежде всего дифференциацией обломочного материала во вдольбереговом потоке наносов, идущем в северном направлении от м. Белоглиняного до пос. Турий Рог. Более выветрелые обломки кварцевых порфитов, липаритов и гранитов разрушаются в волноприбойной зоне быстрее, чем гальки кремнисто-кварцевого состава. Увеличение доли последних в пляжевых отложениях определяет суммарное уменьшение окатанности галечников (см. табл. 3). На участке от м. Белоглиняного и до пос. Турий Рог отмечается наравномерное распределение галечников в составе пляжевых накоплений. Обычно зоны, обогащенные грубообломочным материалом, пространственно совпадают с участками размыва крупных оползней. Дело в том, что галечники плиоцена на этом побережье залегают в кровле высокой аккумулятивной равнины. В цоколе плиоценовой террасы на урезе воды и выше вскрываются алевролиты и туфодиатомиты миоцена. Такое положение разновозрастных пачек пород обеспечивает развитие оползневых процессов и образование галечников на пляже и в зоне литорали чаще за счет разрушения оползневых накоплений. Неравномерный сход оползней объясняет фестоначатость границы распределения галечников на подводном склоне, которые иногда наблюдаются на дне озера в 2-3 км от современной береговой линии.

Помимо северо-западного побережья оз. Ханка, появление хорошо окатанных галечников, связанных с размывом плиоценовых отложений, отмечено в районе пос. Камень-Рыболов. Преобладание в разрезе плиоцена мелких галек и гравия определяет структуру пляжевых отложений. По сравнению с аллювием в составе пляжевых галечников отмечается увеличение количества дробленых галек (с 20 до 40%), что, вероятно, зависит от сильной выветрелости исходных обломков и слабой волновой обработки их на пляже.

Второй тип галечников (по составу мономиктовых, реже олигомиктовых) наблюдается в волноприбойной зоне озера на двух участках абразии древних коренных пород: от м. Белоглиняного до м. Камень-Рыболов и на северном склоне Лузановой сопки. Характер гальки тесно связан с составом и физическими свойствами размываемых пород. Так, на первом участке, где абразионные дуги выработаны в сильно выветрелых гранитоидах, образуются плохо окатанные кварц-полевошпатовые галечники ( $K_0 = 40-45\%$ ), чередующиеся с участками аркозовых песков. На втором участке, где развиваются умеренно-выветрелые меловые эффузивы, пляжевая фация сложена хорошо окатанными мелкими и средними гальками ( $K_0 = 60-70\%$ ).

В пределах акватории галечный материал отмечается лишь в качестве примеси к пескам в западной части озера, где в недавнем прошлом, видимо, были выходы сильно выветрелых гранитов

в пределах междепресссионной перемычки, разделяющей Турьерожскую и Жариковскую мульды. Таким образом, сильная выветрелость исходных коренных пород даже при интенсивном режиме волнения приводит к дроблению обломков в пляжевой зоне и превращению их в плохосортированный аркозово-щебнистый песок без существенного окатывания обломков.

Пески (0,1–1 мм) среди донных и пляжевых отложений оз. Ханка занимают значительное место (см. рис. 4). Собственно пляжевая зона и мелководная часть озера сложены практически на всем протяжении песками, за исключением отдельных бухт и заливов (б. Тихая, зал. Лузановой сопки и т.д.). Среди песчаных грунтов по соотношению фракции > 0,1 мм с другими более мелкими фракциями выделяются пески (80–100%), пески алевритовые (64–68%) и глинистые (56–72%) (табл. 5).

В северо-западной части озера в местах размыва отложений плиоцена пески занимают подчиненное положение среди галечного материала (около 30–50%). К северу от м. Оползневого (устье Второй речки) доля галечного материала сокращается, а в районе пос. Турий Рог пляжи сложены преимущественно песком, чередующимся с галечниками. Это связано с существованием здесь вдольберегового потока наносов северо-западного направления. Соответственно в том же направлении полоса пляжевых кварц-полевошпатовых песков расширяется с 10–40 м у м. Белоглиняного до 80–150 м близ пос. Турий Рог.

Южнее м. Белоглиняного наблюдается крупная абразионная дуга, выработанная в сильно выветрелых гранитоидах (Платоновский зал). Пляжевые осадки представлены плохо сортированными аркозовыми песками с примесью плохо и умеренно окатанных обломков гранитного и кварцевого состава. Непосредственно к пляжу примыкает на мелководье полоса глинистых песков (с содержанием песчаной фракции около 30–50%).

Далее к югу расположен выступ аллювиально-дельтовой равнины р. Комиссаровки, возраст которой с севера на юг последовательно меняется от верхнего плейстоцена до современного. В осадках этой равнины, на участках, отвечающих позднему плейстоцену, в разрезе преобладают пойменные суглинки и глины, а также лугово-болотные почвы, за счет размыва которых в пляжевой и зоне обширного мелководья формируются глинистые пески (с содержанием песчаной фракции 50–70%). Накопление песчаного материала на этом участке побережья оз. Ханка связано с активной его подачей из района о-ва Соснового, где в раннем голоцене, когда уровень озера понижался до 4 м, аккумуляровались аллювиальные пески. Интенсивное развевание этих песков привело к возникновению в среднем голоцене эоловых форм рельефа (Ивашников, Короткий, 1976). Последующий подъем уровня озера привел к частичной переработке эоловых песков и накоплению в пределах пляжа и сублиторали хорошо и умеренно сортированных мелкозернистых песков ( $Md = 0,1-0,2$ ;  $S_0 = 1,3-1,6$ ).

Таблица 5

Типы осадков современных отложений оз. Ханка<sup>1</sup>

Отложения	Размер фракции, мм, содержание, %			
	> 0,1	0,1-0,01	< 0,01	Md
Песок	80-100	0-18	0-2	0,2-0,6
Песок алевритовый	64-68	30-32	2-4	0,1-0,45
Песок глинистый	56-72	11-19	17-23	0,13-0,32
Алеврит крупный	1-14	82-97	2-4	0,07-0,1
Алеврит мелкий	2-18	75-96	2-5	0,02-0,05
Алеврит глинистый	2-9	41-50	36-48	0,05-0,08
Алеврит песчано-глинистый	10-30	50	10-30	0,015-0,06
Глина песчанистая	18-20	10-26	54-72	0,005-0,007
Глина алевритовая	3-5	39-45	51-57	0,006-0,009
Глина	1-2	20-28	70-80	0,003-0,006

<sup>1</sup> Составлена на основании 105 гранулометрических анализов поверхностных проб.

Аккумулятивный выступ в самом устье р. Комиссаровки возник за счет аллювия, частично переработанного в зонах пляжа и литорали. Пляжевые отложения шириной до 40-120 м представлены хорошо сортированными мелкозернистыми песками, а на участках размыва аллювиальных отложений - среднезернистым песком с галькой. По минералогическому составу эти пески кварц-полевошпатовые (кварц 40-48%, полевые шпаты около 50%) с преобладанием в тяжелой фракции ильменит-эпидот-гранатовая ассоциация (около 60%). На участках размыва аллювиальных отложений и в зонах активного разрушения современных пляжей отмечается увеличение доли тяжелой фракции до 8-10% от общей массы песка.

Вносящий р. Комиссаровкой обломочный материал вдольбереговым потоком северо-северо-восточного направления подается вплоть до о-ва Соснового. Длительное существование этого потока наносов привело к отчленению от озера аккумулятивными песчаными формами ряда заливов полузакрытого типа, где накапливаются глинисто-торфянистые осадки.

К югу от устья р. Комиссаровки и до м. Камень (с. Астраханка) прослеживается крупная абразионная дуга, выработанная в осадочных породах мела, неогеновых песчано-галечных отложениях (с. Камень-Рыболов) и сильно выветрелых палеозойских гранитоидах. На этом участке побережья широко развиты покровные красноцветы, а также бурые суглинки и глины. Участку размыва плию-



ценовых отложений отвечают хорошо сортированные мелко и среднезернистые преобладающе кварцевые пески. В зоне абразии гранитов накапливаются кварц-полевошпатовые аркозовые пески, на отдельных участках насыщенные гравием и плохо окатанными обломками коренных пород. В местах размыва глин распространен транзитный аркозовый песок, поступивший сюда во вдольбереговом потоке наносов. Влияние размываемой покровной толщи особенно сильно сказывается на участках, где пляж перекрыт конусами выноса. Здесь в песке отмечено до 30-40% глинистого материала. Велика доля глинистой составляющей в осадках сублиторали (свыше 50%), где уже по существу накапливаются песчаные глины.

Далее к юго-востоку в районе м. Астраханского за счет подачи песка от м. Камень-Рыболов и от устья Первого Ерика возник аккумулятивный выступ, где полосы песчаного материала перемежаются с болотными грунтами.

В южной части оз. Ханка на участке от м. Астраханского и до устья р. Мельгуновки процесс пляжевого осадконакопления подавляется биогенной аккумуляцией. Лишь в районе аванделты р. Мельгуновки на продолжении протоки Третий Ерик за счет подачи алеврит-песчаного материала в юго-восточном направлении возникла песчаная надводная коса, отчленившая зал. Малый Ханкайчик.

К югу от устья р. Мельгуновки и до зал. Лузановой сопки озером размывается древняя озерно-аллювиальная равнина. Возникающая на глинистых породах абразионная площадка перекрыта маломощным слоем наносов. Песок поступает с вдольбереговым потоком наносов от устья р. Мельгуновки. Широкому распространению песчаных форм препятствует развитие обильной водной растительности. Пляжевые отложения на этом участке побережья имеют минимальное распространение.

Аккумулятивный выступ к северу от устья р. Илистой возник за счет периодической подачи песчаного материала от устья р. Спасовки, где в настоящее время размывается ее древнеголоценовая дельта. Соответственно здесь наблюдается чередование песчаных (косы на трассе потоков наносов) и торфяно-илистых осадков (застойные озера и низинные болота). Пляжевые пески слагают узкую полосу, а основная масса песка перемещается в зоне литорали, где мелкозернистые и тонкозернистые пески характеризуются исключительно высокой сортировкой обломков ( $S_0$  равен 1,2-1,4).

К северу от устья р. Спасовки тянется широкая полоса древних пляжевых песков. Современный пляж и полоса литорали сложены хорошо сортированными ( $S_0 = 1,2-1,5$ ) кварц-полевошпатовыми мелко- и тонкозернистыми песками (медианный размер обломков 0,1-0,25 мм). Песчаные осадки на востоке и северо-востоке накапливались за счет перераспределения обломочного материала вдольбереговыми потоками наносов северного направления.

Песчаные отложения весьма широко распространены в зоне литорали, где нами выделяется литоральная фация - аналог подводно-

склоновых осадков прибрежно-морского ряда отложений. Последняя занимает на акватории оз. Ханка глубины до 1,5–2,0 м и находится в зоне интенсивного волнового воздействия. Осадки литорали по структуре и минеральному составу весьма сходны с пляжевыми, при определенной гидродинамической ситуации (сгонно-нагонных явлениях и сейшах) легко переходят в надводные пляжевые образования. В пределах литорали хорошо развиты подводные песчаные валы, фиксирующие трассы продольного перемещения наносов и участки интенсивной его подачи к береговой линии озера.

Таковы в общих чертах площадное распределение и структура песка, образующего пляж и зону литорали в береговой зоне оз. Ханка. Помимо этого, песчаные отложения довольно широко распространены и на акватории озера среди донных осадков.

Крупные поля песков с содержанием песчаной фракции свыше 70% наблюдаются вблизи дельт рек Мельгуновки и Комиссаровки. Примечательно, что зона с максимальным содержанием песчаной фракции (до 90%) совпадает с дельтами этих рек, возникшими в раннем голоцене.

Анализ геологического разреза низкой озерной террасы, оконтуривающей побережье оз. Ханка, показывает, что в конце позднего плейстоцена – начале голоцена наблюдалось снижение уровня озера (Короткий, Караулова, 1970; Худяков и др., 1972). Это явление вызвало усиление эрозионных процессов, сопровождавшееся увеличением уклонов в приустевых частях крупных рек. В результате в озеро начал поступать более грубый, чем в настоящее время, преимущественно песчаный материал, который образовал дельты, выступающие далеко в озеро. Последующий подъем уровня озера в верхнем голоцене привел к затоплению и частичной переработке этих аккумулятивных выступов, которые фиксируются в виде полей преимущественно песчаных осадков в устьях рек Спасовки, Мельгуновки, Комиссаровки (см. рис. 4).

В западной части озера к юго-востоку от м. Платоновского среди донных осадков выделяется крупное поле, где содержание песчаной фракции составляет 50–70%. Поле песчаных осадков простирается с запада на восток и разделяет озеро на две части. Его длина составляет ~20 км, а ширина в центральной части озера 7–10 км. Почти на всей площади поля осадков отмечены отдельные плохо окатанные мелкие гальки гранитов, а песок по существу представляет собой продукт разрушения гранитоидных пород, плохо сортирован ( $S_0 = 5,0-6,5$ ), с медианным размером от 0,25 до 0,7 мм, с примесью гравийного (до 6–8%) и алевропелитового (до 25–30%) материала.

В пределах поля песков при проведении гидрографических работ были обнаружены выходы коренных пород. В рельефе дна этим осадкам соответствует полоса мелководья с глубинами до 3,0–3,5 м, достигающая центральной части озера. Характер рельефа дна и облик современных осадков заставляет предполагать, что эта часть оз. Ханка была водоразделом между Турьержской и

Ильинской мульдами и находится на продолжении Гайворонского вала (Громов, 1960).

Подобные участки слабосортированного аркозового песка встречаются и в северной части озера (см. рис. 4), где им соответствуют сравнительно мелководные зоны, на месте которых в недавнем прошлом, скорее всего, существовали острова, сложенные выветрелыми гранитами.

На остальной акватории озера содержание песка в донных осадках составляет 10–30%, а в северной части бассейна – менее 10%, где песчаная фракция представлена мелким песком.

Таким образом, в распределении песчаной фракции в современных отложениях озера намечаются следующие закономерности.

1. "Чистые" разности песков (с содержанием песчаной фракции 70%) слагают в основном пляжи и литоральную зону, а за их пределами – участки размыва древнеголоценовых дельт.

2. В осадках отмечается уменьшение доли и размера обломков песчаной фракции в латеральном направлении – от современного берега к центральной части озера. Минимальное ее содержание (менее 10%) соответствует северной (с глубиной более 6,5 м) и южной (с глубиной 3–5 м) котловинам.

3. Аномальные участки с повышенным содержанием песчаной фракции (50–70%) наблюдаются в западной и центральной части озера и совпадают с полосой Центрально-Ханкайского мелководья (с глубинами менее 3 м).

*Алевриты* (0,1–0,010 мм) среди донных отложений оз. Ханка занимают значительное место (см. рис. 4). В западной и центральной частях озера преобладают крупные алевриты, а на северо-востоке и отдельных участках центрального и южного районов озера развиты мелкие алевриты (см. табл. 5). Наиболее крупное поле чистых алевритов расположено в северо-восточной части озера, примыкающей к истокам р. Сунгач. Примесь мелкозернистого песка составляет здесь всего 1–15% (см. рис. 4). Алевриты отличаются хорошей сортировкой частиц ( $S_0 = 1,15–1,4$ ). Вблизи берега на глубинах до 2,5 м преобладает фракция 0,10–0,05 (до 90%) и на расстоянии в 6–8 км от берега (глубины до 4 м) – фракция 0,05–0,01 (до 89%). Возникновение поля алевритов в этой части связывается нами с особенностями гидродинамического режима озера. Наблюдаемая обширная зона мелководья с серией подводных береговых валов возникла за счет аккумуляции обломочного материала, поступающей с юга. Этим объясняется почти полное сходство состава минералов в тяжелой фракции алевритов с осадками всего восточного побережья. Мелководье и бурный гидродинамический режим обуславливают сильное взмучивание наносов и удаление глинистой фракции с водами р. Сунгач. Поэтому среди донных осадков этой части озера почти полностью отсутствуют пелиты.

Относительно "чистые" алевриты отмечаются участками непосредственно против устьев рек Илистой, Спасовки и Мельгуновки.

Поля алевритов непосредственно примыкают к береговой линии и совпадают с зоной сброса паводковых вод. Сопутствующие алевритам другие фракции тесно связаны с гидродинамическим режимом рек: для рек Илистой и Спасовки с уклонами русла менее 0,0001 м/м характерны глины (до 20–30%), а для р. Мельгуновки ( $i = 0,005$  м/м) – песчаные фракции. В приустьевых полях алевритов сортировка материала сильно уменьшается ( $S_0 = 3,0-4,0$ ).

В центральной части оз. Ханка поля алевритов соответствуют участкам с глубинами до 6,0 м и расположены к северу от устья р. Мельгуновки и к северо-востоку от устья р. Комиссаровки. Донные грунты характеризуются высокой степенью сортировки ( $S_0 = 1,2-1,5$ ) и относятся к классу тонких алевритов с содержанием глинистых частиц до 15–20%. Их возникновение объясняется наличием существованием относительно спокойных зон к югу от Центрально-Ханкайского мелководья. В западной и частично центральной частях озера содержание алевритовой фракции в грунтах колеблется в пределах 10–30%. Здесь алевриты являются сопутствующей фракцией для песка. К югу от о-ва Соснового содержание алевритов в песках колеблется от 30 до 50% и донные осадки соответствуют песчанистым алевритам (вблизи устья р. Комиссаровки). К северу от устья рек Илистой и Мельгуновки развиты поля глинистых алевритов. В целом для южной части озера характерны менее сортированные осадки, чем для северной и северо-восточной.

Таким образом, распределение и характер сортировки алевритов на акватории оз. Ханка хорошо сопоставляются с зонами гидродинамической активности. Наибольшее содержание алевритов в северо-восточной части озера совпадает с относительно мелководными участками, где ветровое воздействие приводит к взвешиванию глинистых частиц и быстрому удалению со стоком р. Сунгач. Подача же тонкого материала в эту часть озера обеспечивается ветровыми течениями, возникающими в летнее и раннеосеннее время при ветрах южных румбов (см. рис. 2). Широкому распространению алевритов практически по всей акватории способствует гидродинамический режим озера в сочетании с его мелководностью. Исключение составляют северная котловина, где преобладают глины, и Центрально-Ханкайское мелководье (Короткий и др., 1975), где распространены пески.

*Глины* ( $< 0,01$  мм). Объем глины среди донных осадков оз. Ханка невелик по сравнению с тем, что можно было ожидать, исходя из общей геолого-геоморфологической ситуации в его водосборном бассейне: озерные осадки в целом менее глинисты, чем поступающие в него взвешенные наносы речных вод (табл. 6). Распределение глинистых осадков с разным содержанием фракции  $< 0,01$  мм на акватории оз. Ханка подчиняется следующим закономерностям (см. рис. 4).

1. Отмечается тесная связь содержания глинистой составляющей в осадках с глубиной водоема (рис. 5). Наибольшее поле с содержанием частиц свыше 70% наблюдается в северной глубоководной

Таблица 6

Гранулометрический состав покровных, аллювиальных и озерных отложений Ханкайской котловины

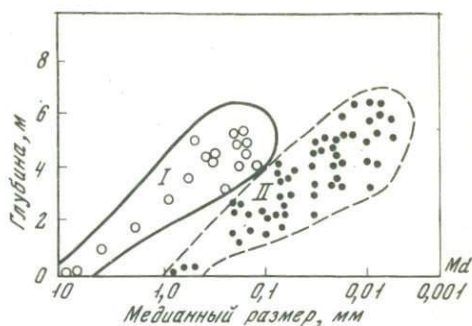
Тип осадков	Размер фракции, мм, содержание, %			
	> 0,1	0,1-0,01	0,01-0,005	< 0,005
Покровные красноцветы из кровли плиоценовой террасы	0-25	1-34	3-55	6-48
Покровные красноцветные глины ( $Q_1$ )	4-6	15-19	18-20	58-60
Покровные бурые суглинки	2	24	34	40
Лугово-болотные почвы	2-3	21-24	30-32	44-50
Пойменный аллювий (взвесь)				
р. Мельгуновка	6-10	10-15	40-45	30-44
р. Илистая	3-5	7-10	30-38	46-60
р. Спасовка	10-12	10-15	22-50	30-50
Озерные глины (оз. Ханка)				
Южная котловина	10-20	10-30	30-70	12-20
Северная котловина	1-10	30-50	10-40	9-20

водной части озера. Преобладающие здесь фракции — 0,01–0,05 мм (до 31%) и 0,05–0,001 мм (до 25%). Содержание фракции менее 0,001 мм не превышает 20%. В качестве сопутствующих фракций отмечаются алевриты (до 19%) и реже мелкозернистый песок (до 10%).

2. Увеличение содержания фракции < 0,01 мм происходит вблизи крупных источников поступления глинистого вещества. Так, поле

Рис. 5. График связи между глубиной водоема и гранулометрическим составом осадков

I - песчаные отложения на участках абразии и местах накопления аркозовых песков; II - пески, алевриты, глины на участках аккумуляции и в глубоководной части озера



с высоким содержанием глин (50–70%) находится в Астраханском заливе к югу от устья р. Комиссаровки. Глины по структуре относятся к грубодисперсным с преобладающей фракцией 0,01–0,005 мм (26–48%). Грунты характеризуются слабой сортировкой материала за счет большого количества алевритов (26–34%), а в прибрежной части – песка (до 18%). Возникновение поля глинистых грунтов объясняется рядом причин. Во-первых, здесь есть мощный источник поступления глинистого материала – выносы р. Комиссаровки и продукты абразии глинистых кор выветривания, позднелиценных красноцветов, а также четвертичных бурых глин и суглинков. Во-вторых, эта часть озера характеризуется относительно спокойным гидродинамическим режимом, так как находится в летне-раннеосеннее время в ветровой тени благодаря подступающим непосредственно к озеру мелкогорью, холмогорью и высокой аккумулятивной равнине. А с севера Астраханский залив отделяется от остальной акватории озера полосой мелководья по линии о. Сосновый – устье р. Спасовки.

3. Наконец, отмечается накопление глин в полузакрытых бухтах и лагунах, почти потерявших связь с озером. Так, осадки бухты Тихая содержат свыше 65% глинистых частиц, оз. Лotosового – 55%, Лузанова залива – 62%.

На остальной акватории озера содержание глин в донных грунтах не превышает 30%. Исключение составляют небольшие участки к северо-востоку от устьев рек Комиссаровки и Мельгуновки. Предполагается, что существующие здесь мелководья выполняют роль барьерных форм, приводящих к образованию севернее зон спокойной седиментации.

Следует отметить, что в донных грунтах содержание фракции менее 0,001 мм почти на всей площади озера не превышает 20%. Лишь в северной, наиболее глубоководной части озера, в лагунах – озерах, а также против устьев рек Мельгуновки и Комиссаровки количество тонкодисперсных глин увеличивается до 30–35%. Содержание фракции менее 0,001 мм в донных отложениях оз. Ханка значительно меньше, чем в других крупных озерах гумидной зоны, включая и сильнопроточные водоемы. Так, в донных осадках

Онежского озера содержание тонкодисперсных глин составляет 80–85%, в оз. Ильмень – 77–80% (Россолимо, 1953).

Резкое уменьшение пелитов в донных осадках оз. Ханка, в бассейне которого глины распространены чрезвычайно широко, объясняется следующим образом. Оз. Ханка относится к числу водоемов, дно которых представляет обширную береговую отмель с глубинами до 6 м. В водоеме такого типа, к тому же обладающем значительной протяженностью по линии господствующих ветров (до 90 км) и общей выровненностью рельефа в приозерной части водосбора, волновыми движениями ( $h_{\max}$  волны=2,5 м) охватывается практически вся толща воды. Поэтому подавляющая часть тонкодисперсного материала находится во взвешенном состоянии и не может устойчиво осесть на дно, особенно в весенне-летний период, когда число дней с ветром составляет в месяц от 11 до 20 (Стоценко, 1958). Если учесть, что на осаждение частиц размером менее 1 мк при столбе воды в 5 м требуется около 104 суток (Наливкин, 1956), то при таком количестве дней с ветром пелитовые частицы будут постоянно находиться во взвеси. Устойчивые ветры южных и юго-восточных румбов создают систему поверхностных течений северного направления, обеспечивающих вынос пелитов в северную часть озера. Здесь в течение зимнего периода с устойчивым ледяным покровом (до 120 дней) успевают осесть на дно частицы размером 0,005 мм и частично менее 1 мк.

Как следует из табл. 7 (Зайков, 1960), благоприятные условия для выпадения из взвеси в летнее время имеют лишь частицы размером в 0,05 мм и крупнее (т.е. крупные алевриты и мелкозернистые пески). Постоянное волнение летом в сочетании с малой скоростью осаждения пелитов ведет к тому, что материал в летнее время и в первую половину зимы удаляется через р. Сунгач.

Большая динамическая активность водной массы оз. Ханка делает весьма тесной связь донных осадков с рельефом дна. Особенно очевидна эта зависимость для песков и крупных алевритов (см. рис. 4). Полосе глубин от 0 до 1,5 м соответствуют разнозернистые пески с гравием и мелкой галькой, от 1,5 до 3,5 м – мелкозернистые и тонкозернистые пески с пятнами песчаных алевритов. Если подобные глубины (от 1,5 до 3,5 м) встречены на удалении от берега, как это наблюдается в западной части озера, то в таких местах наблюдается огрубление осадков по сравнению с соседними более глубокими частями озера. На глубинах от 3,5 до 6 м в осадках современного дна господствуют слабопесчаные и тонкие алевриты. Исключение составляет юго-восточный угол оз. Ханка (Лузанов залив и устье р. Илистой), где на глубинах менее 4 м накапливаются глинистые алевриты. Мелководные заливы, отчлененные от акватории оз. Ханка песчаными косами или плавневыми островами и почти потерявшие связь с основным руслом р. Илистой, служат своеобразными отстойниками, где осаждаются алеврито-глинистые частицы.

Таблица 7

Скорость осаждения кварцевых частиц в спокойной воде при  $t = 15^{\circ}$

Диаметр частиц, мм	Скорость осаждения, см/сек	Время, потребное для осаждения на 1 м	Время, потребное для осаждения на 5 м
0,001	0,000056	20 сут 16 час	108 сут
0,005	0,00141	19 час 42 мин	100 час
0,01	0,00565	4 час 55 мин	1 сут
0,05	0,141	11 мин 49 сек	1 час

В связи с таким значительным влиянием гидродинамики на структуру донных осадков возникают вопросы о характере сортировки обломочного материала в пределах разных частей озера и скорости современного осадконакопления.

#### СОРТИРОВКА ОЗЕРНЫХ ОСАДКОВ

Для выяснения степени разнообразия или однородности частиц, слагающих современные осадки оз. Ханка, нами использован коэффициент сортировки, который определялся по общепринятой методике (Рухин, 1961). В последние годы появились работы, в которых доказывается необоснованность применения коэффициента Траска как меры сортированности осадка (Белкин, Рязанов, 1974) и предлагается рассматривать этот показатель мерой однородности осадка. Если исходить из определения сортированности осадка как показателя степени разнообразия или однородности размеров частиц осадков, зависящих от фациальной обстановки (Геологический словарь, 1973), то этот коэффициент отвечает данным условиям. Было установлено также, что коэффициент отражает соотношение медианной фракции с общей структурой осадка анализируемой пробы, что подтверждается достаточно высокой степенью корреляций этих показателей (рис. 6). Немаловажным представляется и простота определения коэффициента Траска графическим путем (рис. 7)<sup>1</sup> по

<sup>1</sup> При графической обработке результатов гранулометрического анализа было установлено, что между коэффициентом сортировки осадка  $S_0$  и углом  $\gamma$ ,  $x$ , образованным пересечением прямой, проведенной через  $Q_1$  и  $Q_3$  на кумулятивной кривой, и осью  $x$  (см. рис. 8) существует тесная обратная связь ( $r = -0,92$ ).



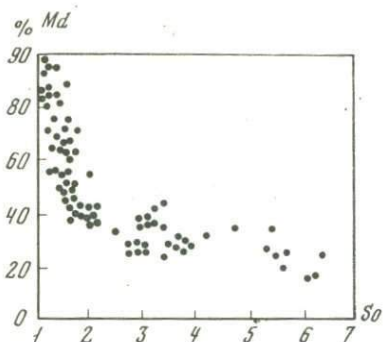


Рис. 6. График связи между процентным содержанием медианной фракции (25–75%) и коэффициентом сортировки осадков,  $S_0$

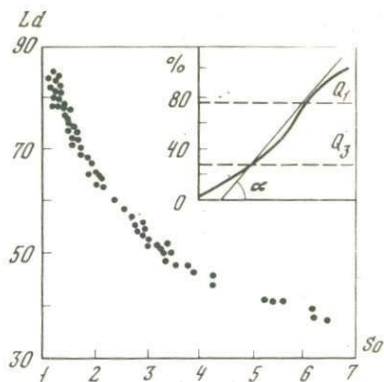


Рис. 7. График связи между углом  $\alpha$  и коэффициентом сортировки озерных отложений,  $S_0$

сравнению с функцией нормированной энтропии (Романовский, 1968).

При обработке кумулятивных кривых и определении  $S_0$  были выявлены формальные ограничения применения коэффициента Траска. Установлено, что для получения сравнимых результатов необходимо гранулометрические анализы в данной выборке выполнить одним методом. В зависимости от шага, выбранного при построении кумулятивной кривой, минимальная величина коэффициента Траска будет меняться в пределах от 1,15 до 1,5  $S_0$ . Таким образом, при определении его по методике, описанной Л.Б. Рухиным (1961), он никогда не будет равен 1.

При построении схемы сортированности осадков оз. Ханка нами были использованы 105 определений  $S_0$ , выполненных по единой методике и затем проверенных графическим способом (см. рис. 9, 10). В зависимости от степени сортировки озерных отложений было выбрано 5 ступеней изменения коэффициента  $S_0$  (табл. 8).

При описании отдельных литологических типов осадков нами приводились данные о характере сортированности как показателе структуры отложений. Анализ площадного распределения  $S_0$  вне привязки к отдельным типам осадков позволяет установить основные особенности сортированности отложений на разных участках акватории озера и выявить определяющие их факторы.

1. Идеально сортированные осадки (см. табл. 8) отвечают зоне максимальной гидродинамической активности на восточном побережье оз. Ханка, где существуют хорошо выраженные потоки наносов значительной протяженности. Бурность озера и неоднократная дифференциация обломочного материала в потоке наносов, а также быстрое удаление взвешенного глинистого вещества через исток

Таблица 8

Степень сортированности осадков

Группы	$S_0$	Медианная фракция, %
Идеально сортированные	1,15–1,5	75–100
Хорошо сортированные	1,5–2,0	65–75
Умеренно сортированные	2,0–3,0	50–65
Слабо сортированные	3,0–5,0	50–40
Несортированные (плохо сортированные)	5,0–8,0	< 40

р. Сунгач приводят в результате к возникновению в этой части озера поля мелко- и тонкозернистых песков и алевритов, у которых фракция по медианному размеру составляет 75–100%.

За пределами этого поля идеально сортированные алевриты и глины наблюдаются в зонах относительно спокойной седиментации (Астраханский залив, относительно глубоководный участок в "тени" о-ва Соснового и Центрально-Ханкайского мелководья).

2. В самой глубокой части озера – северной котловине – накапливаются глины и алевриты хорошей сортировки, образующие на акватории наиболее крупное поле относительно однородных осадков. Видимо, существующие в северной котловине озера глубины (4–7 м), обеспечивают одновременное выпадение в осадок поступивших сюда алевритов и частично глинистого материала. Наблюдающееся здесь небольшое количество песчаного материала в виде примеси связано с ледовым разносом кластического материала или перемещением его ветром по поверхности льда<sup>1</sup>.

Подобную сортировку имеют пески и песчанистые алевриты к юго-западу от устья р. Спасовки. Следует отметить, что их граница совпадает в основном с изобатой 4 м. Можно предположить, что эта часть озера в раннем – среднем голоцене была частично осушена, а затем, при подъеме его уровня, здесь, как в зоне современного пляжа и литорали, существовали потоки наносов, где частично обломочный материал по крупности разделился. Не исключено, что на глубинах до 4 м из взвеси выпадают алевриты, а прибрежные течения способствуют разносу тонкого песка по акватории. Для выпадения из взвеси частиц размером крупнее 0,05 мм требуется (при столбе воды в 5 м) около 1 часа (см. табл. 7).

<sup>1</sup> В единственной пробе эолового материала, отобранного нами в центральной части оз. Ханка (март 1970 г.), фракция крупнее 0,1 мм составила 12%.

При скоростях течения около 3–4 км/час и неоднократном взмучивании разнос тонкого песчаного материала и крупных алевритов будет значительным. Таким образом, положение полей с хорошей сортировкой обломочного материала отражает в какой-то мере затухание гидродинамической активности с увеличением столба воды.

Полоса умеренно сортированных глинистых алевритов расположена к востоку от Центрально-Ханкайского мелководья. Отдельные пятна ( $S_0 = 2,0-3,0$ ) отмечены вблизи мелководий, возникших на последнем этапе развития озера, когда произошло разрушение небольших гранитных островов в северо-западной части озера.

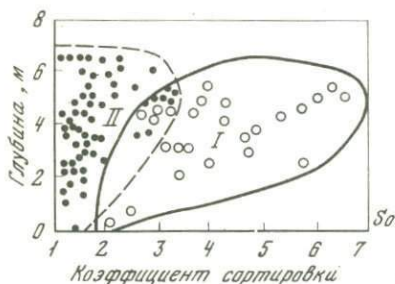


Рис. 8. График связи между характером сортировки озерных отложений  $S_0$  и глубиной водоема  
I — песчаные осадки; II — алевриты и глины

В устьях ханкайских рек наблюдаются поля слабо сортированных алевритов. Образование последних связано с ускоренной седиментацией осадков за счет интенсивного выноса взвесей во время паводков. Интересно отметить, что  $S_0$  таких полей близок к показателю сортировки пойменного аллювия этих рек (2,5–5,0).

3. Поле плохо сортированных глинисто-алевритовых песков в основном совпадает с зоной Центрально-Ханкайского мелководья, что, вероятно, связано с неравномерной абразией этой площади и сильным влиянием подстилающих коренных пород на структуру современных осадков.

Отмечается умеренная прямая связь характера сортировки осадков с глубиной водоема (рис. 8). Для песчаных отложений малым глубинам соответствуют хорошо и умеренно сортированные разности осадков, а с удалением от волноприбойной зоны накапливаются все менее сортированные пески (величина  $S_0 = 4-6$ ). Не так четко эта зависимость выражена для алевритов и пелитов, что, вероятно, связано с гидродинамической активностью оз. Ханка, определяющей значительную подвижность этих фракций.

Таким образом, площадное распределение коэффициента Траска ( $S_0$ ) хорошо контролируется особенностями гидродинамики мелководного озера. В меньшей мере проявляется влияние других факторов осадконакопления.

Баланс наносов в оз. Ханка определяется уравнением следующего вида:  $V_{ал} + V_{абр} + V_э - V_с = V_т$ , где  $V_{ал}$  — общий объем взвешенного и влекомого материала, поступающего в результате работы постоянных и временных водотоков;  $V_{абр}$  — объем обломочного материала, поступающего на акваторию в результате береговой абразии;  $V_э$  — объем обломочного материала, перемещаемого в озеро ветром;  $V_с$  — объем обломочного материала, удаляемого из котловины озера с водами р. Сунгач;  $V_т$  — общий объем обломочной седиментации.

В настоящее время достаточно объективно можно оценить лишь одну из расчетных единиц баланса твердого материала — объем влекомых и взвешенных наносов, приносимых постоянными водотоками. Все другие положительные статьи баланса наносов (абразия, эоловый перенос, работа временных водотоков) могут быть определены лишь относительно. Как показывают современные наблюдения, объем обломочного материала, приносимого крупными реками, значительно превосходит все остальное. В частности, на данном этапе развития береговой зоны количество продуктов абразии коренных берегов, поступающих в озеро, в общем незначительно по сравнению с поздним плейстоценом, так как существующие у подножия большинства абразионно-денудационных уступов пляжи препятствуют размыву коренных берегов озера. Наблюдаемая в последние годы активизация этих процессов вблизи населенных пунктов в основном связана с деятельностью человека. Например, вывоз песка из пляжевой зоны озера у м. Камень (пос. Астраханка) привел к активной абразии толщи бурых суглинков. Здесь за 10–15 лет уничтожен участок берега шириной около 15–20 м и длиной до 200 м. По этой причине интенсивной абразии подверглись и конусы выноса, расположенные у подножия абразионного уступа на участке от Астраханской озерной станции и до пос. Камень-Рыболов. Общий объем наносов, поступивших в озеро, составляет по нашим подсчетам около  $12000 \text{ м}^3$ , что дает в среднем за год около  $1000 \text{ м}^3$  или  $2700 \text{ т/год}$ . На один погонный километр побережья у пос. Астраханка, где отмечено развитие абразии, поступление обломочного материала составляет около  $500\text{--}800 \text{ т/год}$ . Если мы примем эту цифру за оптимальную и для других участков активной современной абразии, фронт которой на западном и южном побережье озера составляет около 20–30 пог. км, то количество продуктов абразии, поступивших в озеро, составит около  $16000 \text{ т/год}$ <sup>1</sup>. Последнюю цифру, вероятно, следует считать завышенной,

<sup>1</sup> Скорость современного осадконакопления оценивается только по данным до 1970 г., так как активная ирригация Ханкайской равнины в последние годы существенно изменила режим поступления обломочного материала в озеро.

так как расчет сделан на основе изучения наиболее активного района современной абразии в котловине оз. Ханка.

Гораздо труднее оценить объем эолового материала, поступающего в озеро. Усиление этого процесса связано с активной распашкой полей и выносом пылевого материала из внутренних районов Восточной Азии. Основную роль в эоловом заилении озера играют высокие концентрации пыли в воздухе во время "песчаных" бурь. В бассейне оз. Ханка такие явления более типичны зимой, когда исчезает растительность на распаханных полях, а малая мощность снегового покрова или его полное отсутствие способствуют выдуванию мелкозема. Как показали наши наблюдения в марте 1970 г., даже в центральной части озера происходит значительная аккумуляция эолового материала. Так, в разрезе снегового покрова на поверхности льда в 35 км к северо-востоку от пос. Астраханка отчетливо выделялись два слоя, насыщенных минеральным веществом темного, почти черного цвета. Наиболее высокая концентрация эолового материала отмечалась в слое снега, лежащем непосредственно на поверхности льда. Эоловая пыль желтого цвета отмечалась в верхнем слое льда. Накопление пыли происходило в основном в понижениях между застругами. В верхних слоях снегового покрова видимая примесь эоловой пыли не установлена. Можно предположить, что столь широкий разнос эолового материала над озером возможен только зимой, когда имеется устойчивый ледяной покров. Мелкозем в это время смешивается непосредственно по поверхности льда. В летнее время разнос пыли ветром ограничивается несколькими километрами. Как показали наблюдения Л.К. Блинова, на Аральском море (Зайков, 1960) сфера ветрового переноса над водоемом даже в аридной зоне весьма ограничена.

Столь же трудно оценить и деятельность временных водотоков, совершающих наиболее существенную работу в полосе абразионно-денудационного берега. Приблизительная оценка, в основу которой положено сопоставление данных по объему жидкого стока на площади не охваченной постоянными водотоками, и концентрации взвесей, дает минимальную цифру порядка 3000-5000 т/год. Эта цифра по величине не превышает ошибки, принятой при расчете баланса наносов крупных рек и может не приниматься во внимание на данной стадии изучения.

Расчетная оценка баланса стока наносов, выполненная А.М. Горчаковым (Короткий и др., 1975), производится двумя способами: 1) по среднему модулю твердого стока наносов, принятому в качестве расчетного на одном из объектов (р. Илистая); 2) по средней мутности и объему жидкого стока в действующей части бассейна (см. табл. 2).

Средний модуль твердого стока бассейна р. Илистой за 19-летний период наблюдений составил  $10,3 \text{ т/км}^2$  в год с колебаниями от 2,7 до  $19,5 \text{ т/км}^2$ . Годовой сток взвешенных наносов в оз. Ханка определяется произведением величины ( $10,3 \text{ т/км}^2$ ) на действующую площадь водосбора (см. табл. 1), что дает 1,38.

$10^5$  т/год. Средняя мутность воды в р. Иистой за 19-летний период наблюдений составляет  $66 \text{ г/м}^3$  с колебаниями от 37 до  $112 \text{ г/м}^3$ . Годовой объем жидкого стока по действующей части водосбора оз. Ханка составляет  $1716 \cdot 10^6 \text{ м}^3$ . С учетом всех данных объем твердого стока, поступающего в озеро, составляет около  $1,13 \cdot 10^5$  т/год, а средний объем твердого взвешенного стока оценивается величиной в  $1,26 \cdot 10^5$  т/год (Короткий и др., 1975).

Объем влекомых наносов рассчитан нами только для рек Мельгуновки и Комиссаровки, которые имеют открытый сток, минуя устьевые лагуны в оз. Ханка. За основу принято предположение, что для полугорных и равнинных рек эта величина равна 0,3 от общего стока взвешенных наносов (Апполов, 1963). Для описанных рек он составил около  $1,5 \cdot 10^4$  т/год.

Некоторый объем взвешенных наносов поступает в озеро во время пыльных бурь в осенне-зимний период и за счет размыва глинистых пород на участках активной абразии (преимущественное западное и юго-западное побережья), что в настоящее время оценивается приблизительно в 16-20 тыс т/год.

Таким образом, суммарная величина твердых наносов, поступающих на акваторию озера, примерно равна  $1,59 \cdot 10^5$  т.

Наибольшую трудность представляет определение отрицательной части баланса твердых наносов, выносимых из озера р. Сунгач. По данным измерения расходов воды в разные периоды (1928-1934 гг. у с. Павло-Федоровка и 1957-1958 гг. у с. Ново-Михайловка), среднегодовой сток р. Сунгач характеризуется небольшой изменчивостью как внутри года, так и внутри периодов наблюдений и равен  $54 \text{ м}^3/\text{сек}$ , а без стока р. Белой ( $4 \text{ м}^3/\text{сек}$ ) для бассейна оз. Ханка составляет  $50 \text{ м}^3/\text{сек}$ . Эта величина хорошо согласуется с суммарным годовым расходом рек бассейна оз. Ханка ( $54,5 \text{ м}^3/\text{сек}$ ).

Средняя мутность воды в оз. Ханка оценивается в  $60 \text{ г/м}^3$  и приблизительно равна средней мутности воды рек, впадающих в озеро. Исходя из величины последней и суммарного жидкого стока из озера ( $1575 \cdot 10^6 \text{ м}^3$ ) объем твердого (взвешенного) материала принимается равным  $9,45 \cdot 10^4$  т. Таким образом, за год в озере в среднем аккумулируется около  $6,3 \cdot 10^4$  т, что при общей площади зеркала в  $4070 \text{ км}^2$  дает среднегодовую минимальную скорость осадконакопления около  $0,0089 \text{ мм}$ , или  $9 \text{ мм/тыс. лет}$ . Эту скорость осадконакопления можно принять как минимальную для центральной части озера. Вблизи устьев крупных рек и в пляжевой полосе озера, где осадконакопление происходит также за счет влекомых наносов, годовая скорость, по нашим данным, для последних трех тысячелетий оценивается величиной  $0,15 \text{ мм/год}$ , а для органогенных осадков - около  $0,6 \text{ мм/год}$ . В сравнении с другими озерами гумидной зоны скорость осадконакопления весьма мала.

По данным В.Б. Шостоковича (1941), скорость осадконакопления в равнинных озерах колеблется в пределах от 1,05 до

5 мм/год. Эти цифры получены для достаточно глубоких озер, где в течение года оседает почти весь поступивший в водоемы обломочный материал, в том числе и наиболее тонкий, пелитовый (Россолимо, 1953). Отмечается несовпадение данных по современным скоростям осадконакопления в озерах, полученных путем полевых наблюдений на отдельных, в основном мелководных участках озера, и расчетным способом, описанным выше. Так, по данным Н.И. Семеновича (1966), скорость накопления современных осадков в Ладожском озере, установленная на основе пересчета объема взвешенных наносов, приносимых реками на всю площадь дна озера, составляет 0,06 мм/год. Но вывод Н.И. Семеновича противоречит данным других авторов, которые оценивали скорость накопления современных осадков в Ладожском озере в 6,12 мм/год (Шостокович, 1941; Наливкин, 1956).

Столь малые скорости осадконакопления в центральной части оз. Ханка объясняются, во-первых, малыми размерами водоема<sup>1</sup>, во-вторых, его гидродинамическим режимом. Бурность озера в сочетании с его мелководностью обуславливает интенсивное перемешивание слоев воды и обеспечивает постоянное взмучивание осадка. Наибольшая мутность наблюдается в период сильных ветров. Например, 29 мая 1969 г. по данным Астраханской озерной станции при скорости ветра 9 м/сек мутность воды вблизи берега составляла 167 г/м<sup>3</sup>, в 500 м от берега - 81 г/м<sup>3</sup>, а в 13 км - 145 г/м<sup>3</sup>, а средняя величина мутности - около 131 г/м<sup>3</sup>. Количество дней с ветром в весенне-летний период составляет 30-60% и обеспечивает постоянную высокую мутность в озере.

В зимний период, когда устанавливается постоянный ледовый покров, наблюдается наименьшая мутность, но создаются благоприятные условия для отстоя. В конце зимнего периода (10.02.70) мутность воды в поверхностном слое составляла 6,6 г/м<sup>3</sup>, в придонном - 10,7 г/м<sup>3</sup>.

Таким образом, структура осадков, характер сортировки обломочного материала и скорость современного седиментогенеза в общих чертах зависят от особенностей гидродинамики водной массы и условий мобилизации обломочного материала в водосборном бассейне оз. Ханка.

---

<sup>1</sup> Отношение  $V/L$  ( $V$  - площадь водосборного бассейна,  $L$  - площадь конечного водоема), которое, по данным Н.М. Страхова (1962), является одним из критериев скорости осадконакопления, для оз. Ханка составляет 3,19.

## МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЙ СОСТАВ СОВРЕМЕННЫХ ОЗЕРНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ

### МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЙ СОСТАВ СОВРЕМЕННОГО АЛЛЮВИЯ

Вещественный состав современных отложений оз. Ханка, с одной стороны, отражает сложную историю формирования горных пород питающих провинций и последующего преобразования в зоне гипергенеза, а с другой – их изменения под влиянием процессов денудации, транзита наносов в аллювиальных системах и перераспределения в конечном бассейне осадконакопления. Водосборный бассейн оз. Ханка сложен разнообразными по составу горными породами. Непосредственно в пределах Уссури–Ханкайской депрессии обнажаются два крупных комплекса (Геология..., 1969). В выступах Ханкайского массива в западной и южной частях региона развита метаморфическая формация протерозоя. Она подразделяется на две толщи. Нижняя (ранний–средний протерозой) сложена мраморами, слюдястыми гнейсами, кристаллическими сланцами, амфиболитами и диопсидовыми породами, верхняя (поздний протерозой) – мусковитами, графитистыми сланцами, кварцитами, мраморизованными известняками.

Второй комплекс представлен породами молласовой формации позднего эоцена–миоцена, в состав которой входят туфогенные аргиллиты, алевролиты, туфогенные песчаники и редко конгломераты. Породы этого комплекса выходят на дневную поверхность довольно редко – в основном в краевых частях кайнозойских наложенных впадин.

Помимо литифицированных пород, в пределах Уссури–Ханкайской депрессии широко развиты рыхлые породы позднего миоцена, плиоцена и антропогена, которые рассматривались нами при описании геоморфологических ярусов рельефа водосборного бассейна оз. Ханка.

К особенностям горных пород Уссури–Ханкайской депрессии относится сильная выветрелость в нижней части зоны гипергенеза, где они представлены трещиноватыми разностями, и их переход в верхней части в мощные глинистые коры выветривания (Финько и др., 1963; Коренбаум и др., 1963; Ташилгин, 1969).

Отражение значительных преобразований горных пород в зоне гипергенеза выражено в вещественном составе покровного комплекса пород, широко развитого в депрессии.

В горном обрамлении депрессии денудацией вскрыты разнообразные комплексы пород, среди которых развиты осадочные породы и вулканы палеозоя, мезозоя и кайнозоя, а также разновозрастные гранитоидные образования.



Таблица 9

Вещественный состав аллювиальных отложений бассейна оз. Ханка

Место взятия пробы	Тяжелая фракция, % от веса тяжелой фракции										Тяжелая фракция, % от веса тяжелой фракции						Легкая фракция, % от веса легкой фракции				
	широк	анатаз	рутил	гематит	лимонит	лейкоксен	сфен	турмалин	андалузит	силлиманит	ильменит	магнетит	апатит	гранат	эпидот	минералы амфиболово-пироксеновой группы	пирит	кварц	полевые шпаты	обломки породы	выветрелые глинисто-слоистые обломки
р. Осиновка (русло)	3,5	-	0,4	-	-	3,1	-	1,1	0,3	-	24,6	0,2	-	0,1	4,2	63,2	-	41	19	10	30
р. Илистая (русло)	1,2	-	-	2,1	2,2	0,5	-	-	0,3	-	21,6	0,5	0,2	0,3	3,4	76,0	-	12	16	34	38
р. Илистая (пойма)	2,0	-	-	2,8	1,6	1,4	-	0,1	-	0,1	32,8	0,2	0,1	-	1,2	58,5	-	6	12	39	43
р. Илистая (устье)	3,7	-	-	-	-	2,0	0,1	0,1	-	-	29,6	0,2	-	0,6	22,1	26,8	-	25	20	-	55
р. Черниговка (русло)	4,4	-	-	2,9	-	1,8	0,2	-	2,1	0,3	16,4	0,2	0,1	49,7	1,7	20,8	-	15	16	34	35
р. Дмитриевка (русло)	6,7	0,2	-	2,5	4,5	2,9	-	1,8	-	-	32,5	0,1	0,1	7,5	-	3,5	-	18	15	30	38
р. Кулешовка (русло)	10,3	-	0,2	1,2	-	-	0,3	-	0,1	-	29,2	0,1	0,1	15,3	0,6	41,0	0,1	18	21	18	43
р. Спасовка (нижнее течение-русло)	6,4	0,5	0,1	2,5	1,8	1,5	3,2	1,1	0,2	-	32,5	0,1	0,5	6,5	14,0	41,0	-	50	35	3	12
Плющеновый аллювий (дол. р. Спасовки)	18,0	0,5	-	0,5	4,0	6,1	-	0,7	0,5	-	67,3	0,1	-	0,7	-	15,0	0,4	38	7,5	2	52,5
р. Спасовка (устье)	5,5	-	-	-	-	3,2	Ед.	0,7	-	-	8,5	-	-	0,7	20,0	61,0	-	16	45	3	36
р. Мельгуновка (устье)	7,5	-	-	0,2	-	7,2	0,2	0,4	-	-	17,8	0,5	-	0,1	22,0	25,0	-	21	7,0	-	72
р. Комиссаровка (устье)	1,0	0,2	-	0,1	-	1,5	3,0	-	0,1	-	40	0,5	0,1	22	15,0	16,0	-	35	20	15	30
Среднее	5,9	0,12	0,03	1,2	1,2	2,7	0,6	0,5	0,3	0,0	29,4	0,2	0,1	8,6	8,7	37,3	0,04	24,5	19,5	15,6	40,4

Анализ минералогического состава алевроито-псаммитовой фракции из современных аллювиальных отложений бассейна оз. Ханка выявляет довольно осредненную связь с отдельными геологическими комплексами (табл. 9). Такое осреднение определяется, во-первых, наличием в бассейнах рек разнородных литологических комплексов, во-вторых, сильной дифференциацией минералов в процес-

се химического выветривания в зоне гипергенеза и их разной миграционной способностью в системе "склон-речная долина - область устойчивой седиментации". С этим связано сокращение в аллювии такого породообразующего минерала, как слюда, которая почти полностью изменяется и переходит в группу глинисто-слоистых выветрелых обломков. Магнетит как породообразующий или типич-

Таблица 10

Вещественный состав алевроито-псаммитовой фракции кор выветривания Ханкайской котловины), %

Место отбора пробы	Тяжелая фракция							
	циркон	анатаз	гидроокислы железа	лейкоксен	андалузит	ильменит	гранат	сфен
Кора выветривания (бас. р. Осиновки)	Ед.	18,3	4	77,0	-	0,7	-	-
Кора выветривания (нижнее течение р. Иистой)	Ед.	Ед.	99	Ед.	Ед.	Ед.	-	-
Покровные красные цветы на поверхности плиоценовой террасы (пос. Камень-Рыболов)	3	Ед.	4	Ед.	-	33	59,7	-
Покровные красные цветы на поверхности плиоценовой террасы (р. Одарка)	25	-	21,6	6,1	3,2	8,2	0,4	-
Бурые глины (р. Одарка)	15,2	-	29	Ед.	2,2	6,7	2,4	-

ный аксессуарный минерал для многих комплексов пород в водосборном бассейне оз. Ханка, по данным одних авторов, относится к числу устойчивых в зоне гипергенеза (Кухаренко, 1961), а других — попадает в группу химически неустойчивых минералов (Момджи, 1960). Очень малое его содержание в нижнем течении рек, впадающих в озеро, вероятно, также связано с малой миграционной способностью, хотя магнетит, по классификации А.А. Кухаренко (1961), попадает в группу с умеренной миграционной способностью.

Минералы пироксен-амфиболовой группы, неустойчивые в зоне гипергенеза и при транзите наносов, однако, наряду с ильменитом, являются в аллювии основными породообразующими минералами (см. раздел "Минералы пироксен-амфиболовой группы").

ветривания, покровных красных цветов, бурых глин и суглинков (обрам-

Тяжелая фракция							Легкая фракция			
турмалин	роговая обманка + ромбический пироксен	эпидот	окислы Fe	магнетит	слюда	кварц	полевые шпаты	обломки пород	выветрелые глинисто-слюдистые обломки	
-	-	-	-	Ед.	-	10	30	6	54	
-	-	-	-	Ед.	-	4	5	-	91	
-	-	-	Ед.	0,34	Ед.	30	20	2	48	
15,4	5,5	12	0,2	1,2	0,2	25	11	11	54	
4,2	21	19	Ед.	Зн.	0,2	34	25	1,0	40	

Что же касается минералов легкой фракции, перемещаемых в руслах рек, то здесь налицо определяющее влияние интенсивного выветривания пород в зоне гипергенеза (см. табл. 9). Высокое содержание кварца как в русловом, так и пойменном аллювии, отмечено для низкопорядковых водосборов, охватывающих зоны останцево-денудационного и мелкогогорного рельефа. В долине р. Иистой, верховье которой расположено в зоне среднегорья, наблюдается увеличение доли кварца по сравнению с обломками пород. Вероятно, в процессе перемещения в дальнейшем дифференцируется легкая фракция аллювия, чем и объясняется исчезновение группы обломков пород и увеличение доли кварца в устье р. Иистой (см. табл. 9). Обилие глинисто-слюдистых выветрелых обломков, составляющих основу

взвешенных и частично влекомых наносов, отвечает широкому распространению в бассейне оз. Ханка разновозрастных кор выветривания. Минералогический анализ алевроито-псаммитовой фракции из кор выветривания и продуктов их переотложения, образующих комплекс покровных красноцветных глин и бурых суглинков, показывает почти полное разрушение породообразующих и акцессорных минералов, относящихся к разряду неустойчивых и умеренно устойчивых. Аутигенные минералы, представленные гидроокислами железа и окислами марганца, иногда преобладают в тяжелой фракции покровных отложений и кор выветривания (табл. 10), что характерно для процессов гипергенеза в зоне умеренно теплого гумидного климата.

Сравнительный анализ минералов алевроит-псаммитовой фракции из кор выветривания, покровных и русловых отложений аллювия показывает усложнение вещественного состава современного аллювия. Причины кроются в следующем:

1) комплекс долинных отложений формируется не только за счет обломочного материала из зон мощного гипергенеза, но и за счет денудации относительно "свежих" пород из зоны низкогорного рельефа;

2) усиление эрозионных процессов в зоне останцево-денудационного рельефа привело к частичному разрушению кор выветривания и поступлению в русла рек невыветрелых пород, особенно по бортам долин;

3) перемещение обломочного материала в системе "склон - долина - зона устойчивой аккумуляции" приводит к дифференциации и увеличению доли минералов с хорошей миграционной способностью не только во влекомой фракции наносов, но и во взвеси. Очевидно, длина зоны транзита около 90-130 км в руслах горных и полугорных рек недостаточна для разрушения таких минералов, как роговые обманки и часть пироксенов.

#### МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЙ СОСТАВ ЛЕГКОЙ ФРАКЦИИ ОЗЕРНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ

Предлагаемое описание легкой фракции современных осадков оз. Ханка сделано на основании полного минералогического анализа 46 донных и 15 пляжевых проб<sup>1</sup>. Предварительная количественная обработка этих результатов с пересчетом по единой методике выполнена В.Н. Талановой. Кроме того, Б.Л. Залищакон (ДВГИ ДВНЦ АН СССР) и З.Е. Надежкиной (Южно-Приморская экспедиция ПТГУ) сделано описание 9 искусственных шлифов.

<sup>1</sup> Анализы выполнены минералогом Центральной лаборатории ПГУ М.П. Тарышкиной с количественным подсчетом обломков разного состава и последующим их морфологическим описанием.

В легкой фракции алеврит-псаммитов отмечены обломки неизмененных пород кварца, полевых шпатов, слюды, а также сильно серицитизированных слюд, полностью измененных полевых шпатов и гидрослюд.

Кварц — один из наиболее распространенных минералов обломочных пород. Высокая устойчивость кварца в коре выветривания и при длительном транзите определяет его способность накапливаться в глубоко дифференцированных мономинеральных осадках (прибрежно-морских, дельтовых, эоловых и некоторых аллювиальных фаций). Благодаря этим качествам кварц используется как один из показателей "зрелости" осадков, на основе чего делаются выводы о характере и длительности выветривания горных пород в пределах крупных массивов суши и объясняются различия в условиях образования крупных осадочных серий (Казаринов, 1958; Бгатов, 1970). Мы не касаемся наиболее дискуссионных сторон основы литолого-седиментационного анализа как одного из методов реставрации крупных эпох планации рельефа. Отметим лишь, что изучение площадного распределения кварца в донных и пляжевых осадках оз. Ханка позволяет выявить степень влияния на дифференциацию отложений в конечном бассейне осадконакопления некоторых факторов: во-первых, интенсивности гипергенеза в разных геоморфологических зонах; во-вторых, длительности транзита и последующего перераспределения обломочного материала. Решению этих вопросов способствуют значительные размеры Уссури-Ханкайской депрессии и удаленность оз. Ханка от зон наиболее активной денудации.

Среднее содержание кварца в алеврито-псаммитовой фракции современных отложений оз. Ханка равно 26% с колебаниями внутри выборки (61 проба) от 5 до 85%.

В распределении кварца по акватории оз. Ханка (рис. 9, А) отмечается довольно четкая зависимость его количественных показателей от следующих условий осадконакопления. Прослеживается довольно равномерное распределение кварца в пределах крупных участков акватории озера с его значительным уменьшением с юга на север. Последнее хорошо согласуется с общим увеличением в том же направлении тонкодисперсных глин (см. рис. 4).

Положение полей с различным количеством кварца в озерных осадках достаточно четко коррелируется с источниками поступления обломочного материала, хотя и нет полного совпадения содержания кварца в аллювиальных и озерных отложениях. Так, например, в русловом аллювии р. Мельгуновки содержится свыше 20% кварца. В пляжевых песках к югу от устья этой реки кварц составляет 30-32%, а с удалением от берега наблюдается большое поле, где доля кварца уменьшается до 13-15%. Аналогичное соотношение кварца в аллювии и озерных отложениях отмечается для устья р. Спасовки.

Исключение составляет устье р. Комиссаровки, где в юго-восточном направлении вытянулось поле песчаных осадков с содержанием кварца до 40 против 16% в русловом аллювии. Резкое уве-

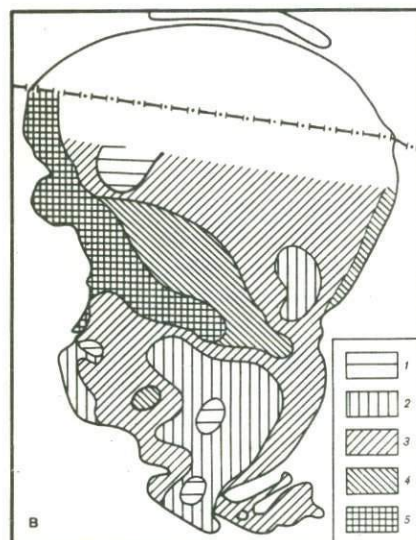
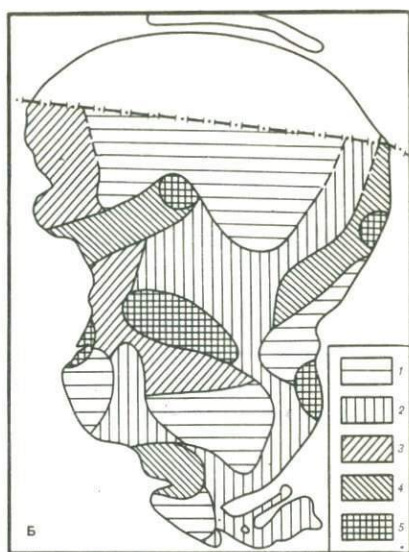
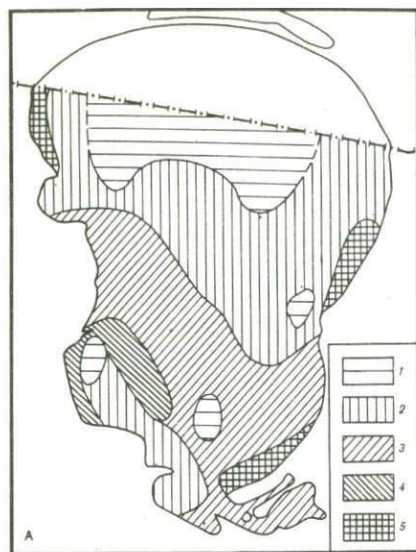


Рис. 9. Содержание различных минералов в донных отложениях оз. Ханка, %

*А* - кварц; *Б* - невыветрелые полевые шпаты: 1 - <10; 2 - 10-20; 3 - 20-30; 4 - 30-50; 5 - >50; *В* - тяжелая фракция: 1 - знаки; 2 - 0,1-1,0; 3 - 1,0-3,0; 4 - 3,0-5,0; 5 - 5,0

личение кварца может быть объяснено или размывом древней дельты р. Комиссаровки или, что вероятнее, интенсивным эоловым развеванием. Дело в том, что в этой части акватории озера находится о-в Сосновый с обширными мелководьями, вытянутыми на юго-восток. Даже при сезонных колебаниях уровня здесь обнажаются крупные поля песка, которые подвергаются интенсивному развеванию в основном в ранневесеннее и позднесеннее время, когда преобладают дни с сильным ветром. Второй источник поступления эолового ма-

териала — древние золотые дюны аллювиально-озерной равнины в устье р. Комиссаровки, которые в настоящее время развеваются из-за вырубки сосны могильной (Куренцова, 1962). На возможный золотой перенос песка из полосы развития древних дюн указывают хорошая окатанность зерен и глянцевый блеск их поверхности, отмеченные М.П. Тарышкиной при изучении поверхностных донных проб из этой части озера.

Прослеживается зависимость содержания кварца от различий в гидродинамической активности на отдельных участках озера, которая проявляется в сокращении доли кварца в латеральном направлении — от береговой зоны вглубь озера. Как и следовало ожидать, наибольшее количество кварца встречено в осадках пляжей и литоральной зоны (35–85%) (при среднем содержании с 32% по 24 пробам), а на глубинах свыше 4 м — 13%. В соответствии с увеличением средней глубины с 3–4 (южная часть) до 5–6 м (северная часть) отмечается уменьшение доли кварца в том же направлении с 13–25 до 7–15%.

Максимальное содержание кварца отмечено в полосе развития вдольберегового потока наносов на восточном побережье озера (в среднем около 45%). Здесь кварц слагает поле алевритов (до 85%) в его северо-восточной части и полосу тонкозернистых песков на юго-западном отрезке побережья. Предполагается, что источником поступления кварца на этом участке служит современный и древний аллювий р. Спасовки (около 16% кварца в устье и около 50% на удалении в 5–7 км от берега озера). А обогащение кварцем аллювия идет, вероятно, за счет перемыва плиоценовых отложений, где содержание кварца в русловых песках составляет 35–40%. Следует отметить, что пляжевая фация оз. Ханка на всех участках размыва плиоценовых отложений насыщена кварцем (вплоть до образования мономиктовых кварцевых песков в северо-западной части озера).

Намечается обратная зависимость между коэффициентом Траска и количеством кварца в осадках, которая объясняется накоплением хорошо сортированных отложений на участках дна озера с высокой гидродинамической активностью. Отсюда следует, что дополнительное обогащение кварцем как следствие дифференциации обломочного материала в волноприбойной и литоральной зонах озера может быть использовано при диагностике озерных отложений.

Наблюдается довольно четкая прямая зависимость между общей суммой алеврито-псаммитовой фракции в отдельных пробах и содержанием в них кварца. Эта закономерность отчетливо проявляется как на мелководьях, так и в котловинах. Зонам накопления глинистых осадков и тонких алевритов в северной части озера и на трассах сброса паводковых вод отвечают минимальные содержания кварца (1–8%). Однако следует упомянуть, что тесная связь между медианным размером, коэффициентом сортировки проб ( $S_0$ ) и содержанием кварца сильно затушевывается при увеличении крупности обломков в песчаной фракции осадка.

Таким образом, распределение кварца в пляжевых и донных отложениях оз. Ханка в первом приближении подчиняется положению источников обломочного материала и зон с различной гидродинамической активностью.

*Полевые шпаты* обычно представлены в пляжевых и донных отложениях оз. Ханка, по заключению М.П. Тарьшкиной, калиевым полевым шпатам и плагиоклазом. Калиевые полевые шпаты встречаются как свежие, иногда с хорошо выраженной микроклиновой решеткой, так и сильно пелитизированные. Преобладающие размеры зерен от 0,04 до 0,16 мм. Большая часть зерен полевого шпата окатана или полуокатана, неокатанные кристаллы отмечаются очень редко.

Плагиоклаз представлен бесцветными, прозрачными, иногда полисинтетическими сдвойникованными кристаллами. Многие кристаллы плагиоклазов серицитизированы, альбитизированы и участками покрыты гидроокислами железа. Размер зерен, в большинстве своем окатанных, от 0,04 до 0,14 мм.

В изученных пробах по отдельности подсчитывались невыветрелые или слобовыветрелые полевые шпаты и сильно или полностью измененные обломки, которые затем были включены в группу слюдисто-глинистых частиц. Из анализа площадного распределения невыветрелых полевых шпатов<sup>1</sup> (см. рис. 9, Б) на акватории оз. Ханка следует, что при среднем (фоновом) содержании полевых шпатов в 24,1% для 61 пробы колебания в данной выборке составляют от 3 до 64%. По сравнению с фоновым отмечается увеличение доли полевых шпатов в следующих участках акватории.

1. В устьях рек, имеющих открытые каналы стока непосредственно в озеро и хорошо выраженную пляжевую и литоральную зоны (реки Комиссаровка, Мельгуновка, Спасовка), содержание полевых шпатов равно 30–50%. В этом случае, если даже в наносах, выносимых рекой, полевые шпаты будут присутствовать в небольшом количестве (р. Мельгуновка – 7%), то в приустьевой зоне озера за счет селекции в волноприбойной зоне содержание полевого шпата будет выше фонового (устье р. Мельгуновки – 32–40%).

2. Максимальное содержание полевых шпатов для донных отложений озера совпадает с зоной развития аркозовых песков в пределах Центрально-Ханкайского мелководья (55–63%) и на участках акватории к востоку от Платоновского залива (46–52%). Вероятно, здесь накопление аркозовых песков связано с разрушением нижней зоны коры выветривания – сапролитизированных гранитов. Это подтверждается пелитизацией полевых шпатов и серицитизацией плагиоклазов, установленных при микроскопическом изучении обломка гранита, поднятого со дна озера в пределах Центрально-Ханкайского мелководья.

Поле с высоким содержанием полевых шпатов совпадает с устьем р. Камышовки в прибрежной зоне на северо-востоке озера.

<sup>1</sup> В дальнейшем по тексту принято название "полевые шпаты".

Вероятно, его формирование связано с возникновением дельты этого водотока при снижении уровня озера, который в верховьях дренирует останцевый массив, сложенный выветрелыми гранитами, и покров бурых суглинков с довольно высокими содержаниями неветрелых полевых шпатов (25-40%).

На остальной акватории содержание полевых шпатов приближается к фоновому или значительно ниже его.

Минимальное содержание полевых шпатов отмечено в северной (1-4%) и южной (3-10%) котловинах на полях развития глинистых осадков (см. рис. 4). Аналогичное уменьшение доли полевых шпатов наблюдается в Астраханском заливе (3-10%). На участках акватории, удаленных от современного берега и мелководных зон, процентное содержание полевых шпатов в направлении центральных глубоководных частей озера уменьшается с 25-30 до 14-17. Малым содержанием полевых шпатов отличаются трассы сброса наводковых вод (р. Спасовка - 2-6%).

В прибрежной зоне оз. Ханка минимальное содержание полевых шпатов совпадает с участками максимальной гидродинамической активности на трассах вдольбереговых потоков наносов (восточное побережье). Вероятно, бурный режим на мелководьях способствует постоянному взмучиванию осадка, частичному разрушению и удалению полевых шпатов. Преобладание полевых шпатов во фракции тонких песков и крупных алевритов определяет дальнейшее перемещение взмученного материала либо по направлению потока наносов, либо в более глубоководную часть озера. В глубоководной части озера полевые шпаты наблюдаются во фракции мелких алевритов (менее 0,05 мм), что хорошо подтверждается анализом серии проб, отобранных по линии устье р. Камышовка - мыс Белоглиняный. Здесь одновременно с уменьшением количества полевых шпатов отмечается их переход во все более тонкую фракцию.

Следует отметить умеренное или малое содержание полевых шпатов в пляжевых и литоральных осадках на участках размыва плиоценовых отложений (10-27%), зависящих как от небольшого количества их в исходном материале (7-20%), так и от значительного выветривания обломков в процессе диагенеза. Этим же объясняется сильная пелитизация полевых шпатов и следы коррозии на поверхности окатанных обломков.

Таким образом, в пляжевых и донных отложениях оз. Ханка содержание полевых шпатов сравнимо с таковым для современного аллювия ближайшего обрамления озерной котловины (среднее содержание соответственно 24,1 и 17,8%). Относительное повышение среднего фона в озерных отложениях объясняется влиянием абразионных процессов в зоне развития сапролитизированных гранитов<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Зона сапролитов принимается нами в понимании В.П. Казаринова (1958).



Таблица 11

Средние содержания, % различных компонентов легкой фракции в современных отложениях оз. Ханка и его обрамления (по 61 пробе)

Вещественный состав легкой фракции	Генетические типы отложений		
	Озерные отложения	Аллювиальные отложения	Коры выветривания и покровные отложения
Кварц	23,5	24,5	20,6
Полевые шпаты	24,1	19,5	18,2
Глинисто-слюдистые обломки	49,6	39,0	57
Обломки пород	2,5	17,0	4,2
Слюда	0,3	Зн.	Ед.

Распределение полевых шпатов по акватории озера хорошо коррелируется с площадями развития алеврито-псаммитовых осадков (за исключением пляжевой зоны с протяженными потоками наносов и участков абразии плиоценового аллювия). Это дает основание для вывода о решающей роли гидродинамических процессов в перераспределении полевых шпатов по акватории оз. Ханка.

*Глинисто-слюдистые обломки* представлены в пляжевых и донных отложениях сильно выветрелыми полевыми шпатами, измененными слюдами (гидрослюдами)?, а также обломками вышелеченных кристаллов каолинита. Эта группа в составе современных отложений оз. Ханка является важнейшим ингредиентом осадка, ее среднее содержание в алеврито-псаммитовой фракции составляет около 49,6% (табл. 11).

По сравнению с аллювием в алеврито-псаммитовой фракции озерных отложений отмечается увеличение доли глинисто-слюдистых обломков. Это, возможно, связано с их дополнительным поступлением за счет разрушения кор выветривания и покровных красноцветов. Не исключено, что при изучении осадков пойменной фации рек Ханкайской котловины будут получены сходные данные. Некоторое же уменьшение в озерных отложениях доли глинисто-слюдистых обломков по сравнению с корами выветривания и покровными красноцветами объясняется дополнительным дроблением выветрелых минералов и их переходом в более тонкую пелитовую фракцию.

Анализ полей глинисто-слюдистых обломков на акватории оз. Ханка прежде всего выявляет их тесную связь с площадным распределением глин и тонких алевритов (см. рис. 4). Максимальное содержание выветрелых обломков установлено в северной и южной котловинах (до 99%). Преобладание последних во фракции 0,063-0,01 (свыше 54%) вполне объяснимо особенностями гидродинамики оз. Ханка.

Помимо этого, в пределах мелководий накопление глинисто-слюдистых обломков отмечается вблизи непосредственных источников поступления взвешенного материала. Так, в Астраханском заливе по мере приближения к участкам активной абразии наблюдается увеличение количества выветрелых обломков в донных отложениях. Максимальное значение (50%) их содержания отмечено в устье р. Камиссаровки. Аналогичным образом в зоне сброса паводковых вод р. Спасовки содержание выветрелых обломков резко увеличивается как в пределах распространения полей песчанистых алевроитов, так и более глинистых разностей осадков. С удалением от устья реки изменяется размерность выветрелых обломков, они переходят из фракции мелких песков (свыше 70% вблизи берега) во фракцию тонких песков и алевроитов (более 67%).

Преобладание выветрелых глинисто-слюдистых обломков во фракции 0,25–0,01 приводит к тому, что в волноприбойной зоне (пляж и литораль) частицы подобной крупности легко взмучиваются и удаляются с поверхностными течениями. Этим можно объяснить незначительное присутствие глинисто-слюдистых обломков в осадках пляжа и литорали (менее 20%).

Хорошая корреляция глинисто-слюдистых обломков и глинистой фракции осадка определяется прежде всего сходными гидродинамическими условиями, необходимыми для взвешивания, переноса и выпадения в осадок этих частиц. Однако не исключено, что такое сходство возникает из-за частичного слипания глинистых частиц уже после образования осадка и их перехода во фракцию алевроитов.

Таким образом, значительное участие глинисто-слюдистых обломков в алевро-псаммитовой фракции современных отложений оз. Ханка хорошо отражает широкое распространение в его водосборном бассейне мощных древних кор выветривания. Характер распределения выветрелых обломков в прибрежной зоне озера определяется положением источников сноса и гидравлической крупностью частиц во взвешенных наносах, поступивших в озеро. В центральной части озера отмечается хорошая корреляция содержания этих частиц с глубиной озера.

*Обломки пород* включают сростки кварца с полевым шпатом, обломки осадочных пород, слюдистых сланцев. Чаще всего они отмечаются в пляжевых накоплениях, а среди донных осадков — на участках современной и древней абразии. Так, довольно крупные обломки пород (до 0,3–0,8 мм) обнаружены в пробах, отобранных в пределах Центрально-Ханкайского мелководья. За пределами указанных зон обломки пород встречаются единично только в некоторых пробах. Возможно, что их появление в более глубоких участках озера связано с ледовым разносом обломочного материала.

*Слюда* в большинстве проб имеет оценку встречаемости "единично" или в виде "знаков". Лишь в отдельных пробах, взятых на участках абразии сапролитизированных гранитов и в пределах древних аллювиальных дельт, ее содержание повышается до 1–3%. Встречена она во фракции 0,05–2 мм, где представлена чешуйча-

тыми разностями зеленой, бурой и очень редко бесцветной слюды. Большинство зеленых слюд, по заключению М.П. Тарышкиной, хлоритизировано. Сильная корродированность краев чешуй и их деформация указывают на значительное изменение в процессе перемещения в водном потоке.

#### МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЙ СОСТАВ ТЯЖЕЛОЙ ФРАКЦИИ ОЗЕРНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ

Изучение минералогического состава тяжелой фракции и предварительная количественная обработка выполнены в ЦЛ ПТГУ минералогами М.П. Тарышкиной и В.Н. Талановой. Тяжелая фракция выделялась из различных классов крупности (0,5; 0,315; 0,16; 0,10; 0,063; < 0,063 мм) с последующим разделением на магнитную, электромагнитную и немагнитную фракции. Такой подход к изучению минералов тяжелой фракции позволил, помимо общей информации об источниках сноса и характере перераспределения минералов в пределах акватории озера, выяснить условия и причины миграции конкретных тяжелых минералов, имеющих различный удельный вес и форму кристаллов.

*Распределение тяжелой фракции на акватории находится в значительной зависимости от положения источников обломочного материала (древний и современный аллювий) и режима осадконакопления в различных частях оз. Ханка.*

В зависимости от указанных причин при среднем содержании тяжелой фракции 2,76% ( $n = 61$  проба) наблюдаются ее колебания от 0,01 до 16,4%.

Плановое положение полей с различным содержанием тяжелой фракции представляет довольно сложную и пеструю картину (см. рис. 9, В), которая вполне удовлетворительно объясняется при сравнительном анализе литологических типов осадков, характера сортировки и режима седиментации на отдельных участках озера.

Поле с максимальным содержанием тяжелой фракции (> 9%) совпадает с Центрально-Ханкайским мелководьем и прибрежной зоной в северо-западной части озера, где на последних этапах формирования озерной котловины отмечалась наиболее активная абразия побережья, сложенного осадками плиоцена и сапролитизированными гранитами. Среднее содержание тяжелой фракции в пределах поля составляет 11,6%. В пределах Центрально-Ханкайского мелководья зона повышенного содержания тяжелой фракции тяготеет к его южной части.

Вне этого участка столь же высокое содержание тяжелой фракции отмечено в зонах естественного шлихования на мелководье вокруг о-ва Соснового. К северу и северо-востоку от Центрально-Ханкайского мелководья наблюдается поле с концентрацией тяжелой фракции около 3-5%. Подобное содержание отмечено также в устье р. Мельгуновки и в прибрежной зоне к северу от древней дельты

р. Спасовки. Здесь, вероятно, происходит размыв древних аллювиальных отложений — глин и тонких алевроитов, которые удаляются из зоны абразии (в виде взвеси или во вдольбереговых потоках наносов). В зоне же размыва накапливаются пески и алевроиты с повышенным содержанием тяжелой фракции.

Остальную часть акватории озера занимают поля осадков с содержанием тяжелой фракции, близкой к фоновому (1–3%). Низкое количество тяжелой фракции (менее 1%) отмечено в южной, наиболее суженной части озера на обширном поле песчанистых алевроитов, на трассах сброса паводковых вод рек Мельгуновки, Комиссаровки и в зоне абразии покровных глин (Астраханский залив).

Возникновение таких полей в южной части озера, скорее всего, связано с достаточно быстрой аккумуляцией обломочного материала. В суженную часть акватории поступает более половины взвешенных наносов, сбрасываемых реками ханкайского водосбора в озеро. Здесь же расположены участки побережья, где активной абразии подвергаются сильно глинистый покровный комплекс плейстоцена и аллювиально-озерные отложения позднего плейстоцена — раннего голоцена. Усилению седиментации такого материала способствует и гидродинамический режим этой части акватории. Сильные северные ветры в условиях относительных мелководий взмучивают осадки и благоприятствуют насыщению воды обломочным материалом. Южные ветры, способствующие переносу взвесей в северную часть озера, более всего воздействуют на центральную часть озера, где в это время наиболее активна циркуляция озерных вод. Поэтому в южной части озера к началу зимы формируется водная масса с высоким содержанием взвесей (до  $66 \text{ г/м}^3$ ). В зимнее время тонкие пески и большая часть крупных алевроитов выпадают в осадок, а глинистый материал со стоковыми течениями, характерными для этого времени года, удаляется в северную часть озера. Аналогичным образом сильнейшая насыщенность взвесями паводковых вод (до  $2000 \text{ г/м}^3$ ) ведет к накоплению осадков с малым содержанием тяжелой фракции в зонах отстаивания.

Анализ планового распределения тяжелой фракции выявил относительно малую связь последней с литологическим типом осадков и более существенную с характером сортировки (рис. 10). Данный график выявляет следующую закономерность: чем лучше сортированность осадков, тем меньше в них содержание тяжелой фракции. Группе идеально сортированных осадков соответствует концентрация тяжелой фракции значительно меньше фоновой для всего бассейна седиментации. В эту группу попадают алевроиты и тонкозернистые пески конечных зон вдольбереговых потоков наносов (побережье к югу от устья р. Спасовки).

Осадки зон спокойной седиментации, в наиболее глубоких частях озера и на участках ветровой тени (Астраханский залив) имеют содержание тяжелой фракции от 0,6 до 1,8%. Такое же количество отмечено в отложениях устьевых лагун и полузакрытых заливов, не получающих аллювиального питания.

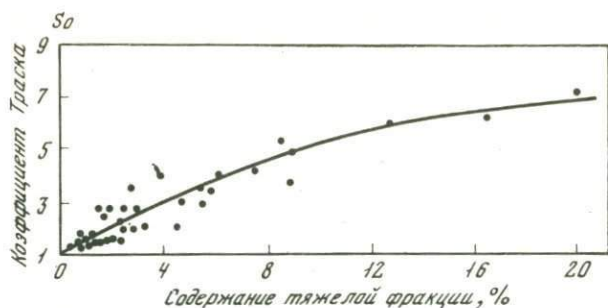


Рис. 10. График корреляции содержания тяжелой фракции и коэффициента сортировки  $S_0$  современных отложений оз. Ханка

С увеличением значения коэффициента Траска до 4–6 (плохо сортированные осадки) наблюдается и повышение концентрации тяжелой фракции (5,5–20%), что отмечено для зоны Центрально–Ханкайского мелководья и северо–западной части озера (см. рис. 9, Г.).

Таким образом, общее распределение тяжелой фракции в современных осадках оз. Ханка отражает в большей мере зависимость ее содержания от особенностей гидродинамики водоема и связанного с ней режима седиментации, чем от положения источников поступления обломочного материала.

Не менее сложна и корреляция площадного распределения отдельных минералов тяжелой фракции с общими условиями осадкообразования в бассейне оз. Ханка. Режим волнения, характер поверхностных и донных течений, сезонные и многолетние колебания уровня озера, с одной стороны, а с другой – интенсивность поступления обломочного материала с разнообразным набором тяжелых минералов, имеющих различную гидравлическую подвижность<sup>1</sup>, определяют условия перемещения минералов в водной массе и их накопление в определенных литофациальных комплексах. Распределение минералов тяжелой фракции на акватории озера нами рассматривается в той последовательности, в какой они располагаются в ряду суммарной миграционной способности (Кухаренко, 1961). Расчет процентного содержания отдельных минералов проводился от общего веса тяжелой фракции, принимаемого за 100%.

<sup>1</sup> В отличие от миграционной способности минералов, которая зависит от физических параметров потока и устойчивости минерала в процессе транзита (Кухаренко, 1961), гидравлическая подвижность определяется поведением минерала в столбе воды – возможностью его перехода во взвесь и скоростью последующего осаднения, хорошо контролируемая законом Стокса. Многократность повторения этого процесса обеспечивает миграцию тяжелой фракции в озерном водоеме (за исключением действия случайных факторов – ледового и эолового разноса).

Циркон — один из наиболее распространенных минералов россыпей и накапливается в большем количестве по сравнению с содержанием в коренных породах благодаря высокой миграционной способности и концентрации при неоднократной переработке коренных пород и рыхлых отложений. Естественно ожидать, что в осадках оз. Ханка, в водосборном бассейне которого широко развиты граниты, сиениты, кислые и средние изверженные породы, циркон будет встречаться довольно часто.

При среднем фоновом содержании около 2,06% на акватории количество циркона колеблется в пределах от первых долей процента до 8,8%. Максимальное его содержание (свыше 5%) отмечено в устьях современных рек, на участках размыва древнеголоценовых дельт и в зонах вдольбереговых потоков наносов (рис. 11, А), т.е. в осадках пляжей, литорали и ближайшей к берегу мелководной зоны (до глубины в 4 м). Однако в распределении циркона на акватории озера в пределах указанных фаций намечается асимметрия. В восточной части зона повышенного содержания прослеживается вдоль всего побережья с максимумом в устьях рек Спасовки и Камышовки (до 8,8%). Достаточно высокий процент циркона в современном и древнем аллювии р. Спасовки (до 5,5%). В западной части озера повышенное содержание (4–7%) отмечается мозаично: в устьях рек и на участках размыва плиоценовых отложений. Разделяются эти зоны участками с содержанием циркона ниже среднефоновое (менее 2%).

На удалении от прибрежных мелководий относительно высокое содержание циркона (до 1,5–2,8%) встречено на участках Центрально-Ханкайского мелководья. Для всей остальной акватории циркон в донных осадках отмечается единично или в виде знаков (см. рис. 11, А). Наблюдаемая асимметрия в распределении циркона определяется не только более активным его выносом реками восточной части (5,5% для р. Спасовки против 0,1–1,5% в аллювии р. Комиссаровки), но и широким развитием процесса перераспределения обломочного материала на восточном побережье. Распространение циркона до изобаты 3–4 м, вероятно, фиксирует площадь аллювиального осадконакопления в раннем — среднем голоцене, когда уровень оз. Ханка снижался на 3–4 м.

Отсутствие же циркона на остальной акватории озера (за пределами зоны активной дифференциации обломочного материала) хорошо объясняется его физическими свойствами. Значительный удельный вес циркона (4–5) в сочетании с округло-удлиненной формой (преобладают короткопризматические и изометрические кристаллы) и довольно крупными размерами его зерен (от 0,02 до 0,2 мм), встреченных в современных осадках озера, ослабляют гидравлическую подвижность этого минерала и способствуют его накоплению только в зоне активного волнового движения.

Характер сохранности кристаллов циркона (преобладание угловатоокатанных зерен, искривление граней кристаллов и корродированность их поверхности) является признаком долгого пребывания в

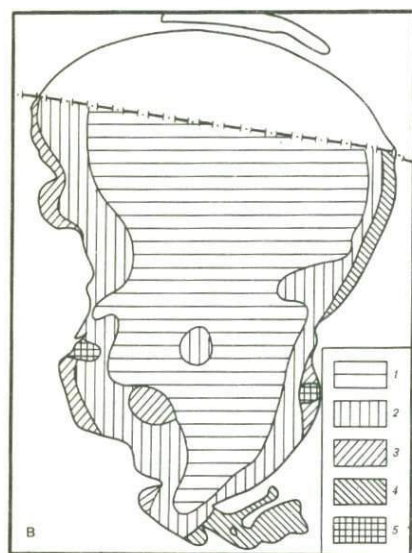
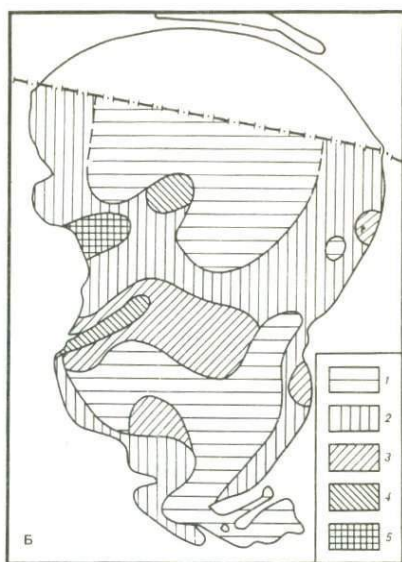
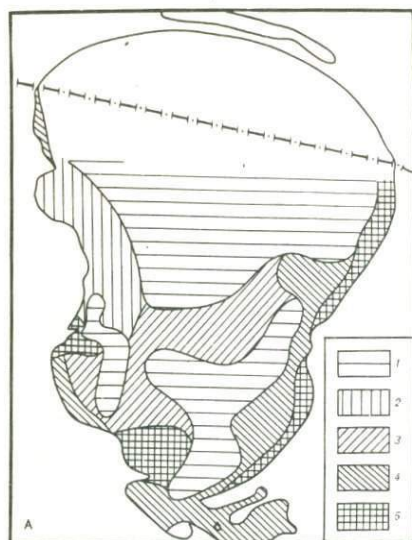


Рис. 11. Содержание устойчивых минералов в донных отложениях оз. Ханка, % от общего веса тяжелой фракции

А - циркон; Б - сфен: 1 - знаки; 2 - 0,1-1,0; 3 - 1,0-3,0; 4 - 3,0-5,0; 5 - >5,0  
 В - ильменит: 1 - знаки; 2 - 1,0-10; 3 - 10-20; 4 - 20-30; 5 - >30

зоне гипергенеза и длительного транзита в аллювиальных системах. Увеличение содержания циркона в прибрежно-озерных отложениях по сравнению с исходными аллювиальными и другими генетическими типами осадков объясняется высокой гравитационной селекцией наносов как в современных, так и древних прибрежно-морских и озерных отложениях (Гурвич и др., 1960; Момджи, 1960; Кухаренко, 1961).

Лейкоксен встречается в современных осадках оз. Ханка значительно реже, чем в аллювии рек, питающих наносами этот водоем (соответственно 0,6 и 2,9%). Повышенное содержание лейкоксена тяготеет к устьям рек, а также отмечается в зоне развития вдольбереговых потоков наносов и на участках абразии плиоценового аллювия. На большей части восточной и южной акватории озера лейкоксен встречен единично или в виде знаков. Лишь в прибрежной зоне отмечена значительная его концентрация (до 3,0%). Лейкоксен отсутствует в осадках северной части озера. Эта зона несколько смещена к западу по отношению к осевой линии озера.

Асимметричное распределение лейкоксена на акватории озера коррелируется с неравномерным его выносом реками восточной и западной части Ханкайского водосбора (исключая р. Мельгуновку).

Преимущественное накопление лейкоксена в осадках пляжей и литорали, вероятно, связано с тем, что достаточная крупность и вес зерен этого минерала (в аллювии он преобладает во фракции крупных алевритов, средне- и мелкозернистых песков) способствуют его концентрации только в волноприбойной зоне. Лишь наиболее мелкие зерна лейкоксена, попадающие во фракцию мелких алевритов ( $< 0,06$  мм), поступают в глубоководную часть озера.

Сфен считается обычным минералом континентальных отложений, формирующихся вблизи щелочных магматических пород, умереннокислых интрузий гранитоидов и выходов метаморфических пород (хлоритовых и кристаллических сланцев, амфиболитов). Породы подобного состава довольно широко распространены в пределах Ханкайского массива, особенно в его Гродековской подзоне (Геология..., 1969). В целом сфен в современных осадках оз. Ханка встречается реже, чем такой аксессуарный минерал, как ширкон. Среднее содержание этого минерала для всей акватории равно 0,95% и его распределение асимметрично. Повышенное содержание сфена (3,8–7,3%) зафиксировано в западной части водоема (рис. 11, Б) и связано прежде всего с активным выносом этого минерала р. Комиссаровкой ( $> 3\%$ ), от устья которой к северо-востоку тянется "язык" с содержанием последнего (до 3,8%). Наиболее высокая концентрация сфена связана с зоной абразии среднепалеозойских гранитов (к юго-востоку от Платоновского залива) и на месте предполагаемого острова в северо-западной части оз. Ханка (участок аркозовых песков среди глин). Последнее дополнительно подтверждает нашу гипотезу о недавнем существовании в этой части озера гранитных островов. Аналогично, содержание выше фонового зафиксировано в пределах Центрально-Ханкайского мелководья (1,7–2,0%). В восточной части озера сфен в количествах, близких к среднефоновым, отмечен в устьях рек Спасовки и Камышовки; в южной – на месте размыва древней дельты р. Мельгуновки (3%).

На остальной акватории концентрация сфена в современных осадках ниже фоновых (преобладающая оценка содержания – "единично", "знаки", редко – 0,3–0,7%). Такое распространение сфена отвечает



его слабой миграционной способностью во взвеси и делает хорошим минералом — индикатором зон абразии аллювия и древних сфенсо-держаших пород.

Ильменит — один из распространенных минералов в аллювиальных и покровных отложениях водосборного бассейна оз. Ханка (29,4%), что обеспечивает его достаточно высокое участие по сравнению с другими устойчивыми минералами в современных озерных осадках (среднефоновое содержание 6,45%). Однако на акватории ильменит распространен крайне неравномерно: на большей части площади он встречается в виде знаков (см. рис. 11, В). Основная часть этого минерала концентрируется в прибрежной зоне. Максимальное его содержание отмечено в устьях рек, особенно на тех участках, где аллювий активно перерабатывается в волноприбойной зоне (реки Комиссаровка и Спасовка — до 40%). В большом количестве ильменит установлен на участках размыва позднечетвертичной аллювиальной равнины (зал. Лузановой сопки — до 29,6%) и на участках вдольбереговых потоков наносов (восточное побережье озера — 6–25%).

Указанная зона повышенной концентрации ильменита в основном совпадает с современным пляжем и литоралью. От берега к центральной части озера (до глубин в 3–4 м) выявлена полоса, полностью оконтуривающая изученную часть побережья, где содержание ильменита изменяется от 3 до 7%. Таким образом, площадь, где содержание ильменита колеблется в пределах 3–40%, составляет от общей акватории озера около 18–20% и в основном совпадает с зоной аллювиально-озерной аккумуляции в раннем — среднем голоцене.

Однако можно предположить, что полоса с содержанием ильменита в 3–7% — это зона рассеивания ильменита при сильном взмучивании донных осадков. В этом случае следовало бы ожидать уход основной части ильменита в более тонкую по сравнению с прибрежной зоной фракцию осадка, чего в действительности не наблюдается. Поэтому относительно равномерное распределение ильменита по фракциям осадков с концентрацией в тонких песках — крупных алевритах (0,08–0,2 мм), вероятно, объясняется его накоплением при более низком, чем современный, уровне озера.

Таким образом, ильменит в современных отложениях оз. Ханка четко отражает его поступление на акваторию с аллювием и последующее перераспределение во вдольбереговых потоках наносов. Слабая миграционная способность ильменита во взвесах связана с достаточно большим удельным весом минерала и таблитчатой формой кристаллов. Все сказанное позволяет рассматривать ильменит как минерал — индикатор прибрежных фаций осадков, формирующихся в условиях активного гидродинамического режима.

Гранат в современных отложениях оз. Ханка представлен в основном альмандином. Его среднефоновое содержание для поверхностного слоя осадков составляет 2,1% при колебаниях от 0,1 до 15% внутри выборки. Озерные отложения оз. Ханка содержат гра-

нат в меньшем количестве, чем аллювий рек его водосборного бассейна (до 8,5%). Это расхождение можно объяснить преимущественной аккумуляцией граната в нижнем течении рек (в зоне выполаживания уклонов), так как непосредственно в устьях рек его содержание составляет всего 0,6–0,8%, т.е. значительно меньше среднефонового. Исключение составляет р. Комиссаровка, в песчаных выносах которой содержание граната колеблется от 10 до 30%. Интересно отметить, что такое содержание установлено для активного русла р. Комиссаровки. В заиленных песках старого русла гранаты встречены единично.

Высоким содержанием граната в аллювии р. Комиссаровки объясняется асимметрия в плановом распределении этого минерала по акватории озера (рис. 12, А). В западной части озера на участке от Платоновского залива и до устья р. Комиссаровки простирается поле с содержанием граната от 6 до 15%. По латерали оно достигает центральной части озера и совпадает в основном с зоной распространения плохо сортированных глинистых песков и алевритов (Центрально-Ханкайское мелководье и прилегающие участки). Скорее всего накопление гранатов происходило как за счет переработки современного и древнего аллювия, так и за счет абразии сапролитизированных среднепалеозойских гранитов. В основном же гранаты поступали в рыхлые отложения в результате переработки пироксен-гранатовых и гранатовых скарнов, возникших на контакте среднепалеозойских гранитоидов и вмещающих верхнепротерозойских отложений в бассейне р. Комиссаровки (Геология..., 1969).

На остальной акватории озера за исключением узкой прибрежной полосы в восточной и южной частях гранаты встречены единично. Увеличение доли гранатов в пляжевой зоне, вероятно, связано с частичной концентрацией минерала во вдольбереговых потоках наносов.

Изложенный материал позволяет предположить, что гранаты значительно накапливаются в озерных отложениях при поступлении в бассейн седиментации грубообломочных (песчано-гравийных) отложений, а также при абразии гранатосодержащих коренных пород. Уменьшение уклонов в устьях рек препятствует распространению гранатов.

Эпидот относится к числу минералов, широко распространенных в тяжелой фракции современных озерных отложений. Его среднее содержание по сравнению с аллювием рек водосборного бассейна оз. Ханка (8,8%) увеличивается до 9,9% за счет поступления этого минерала на участках активной абразии сапролитизированных гранитов, четвертичных покровных суглинков и глин.

Участок высокой концентрации эпидота в озерных отложениях (>40%) расположен в приустьевой части р. Комиссаровки (см. рис. 12, Б) и вытянут к северо-востоку, что связано с существованием здесь вдольберегового потока наносов этого направления. Определяющую роль в повышении концентрации эпидота играет не только насыщенный

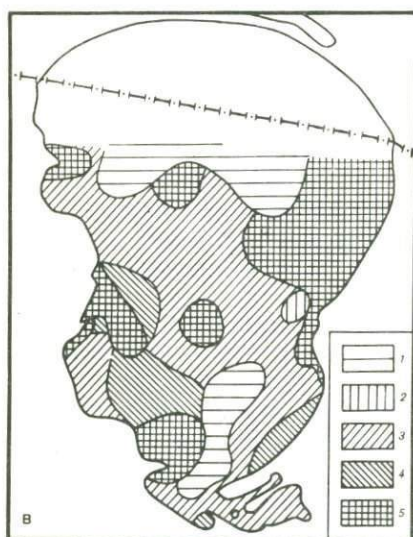
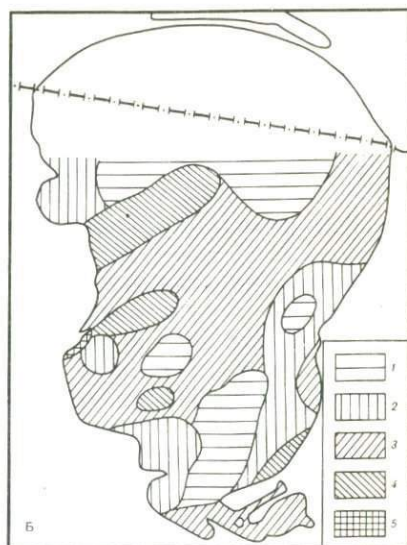
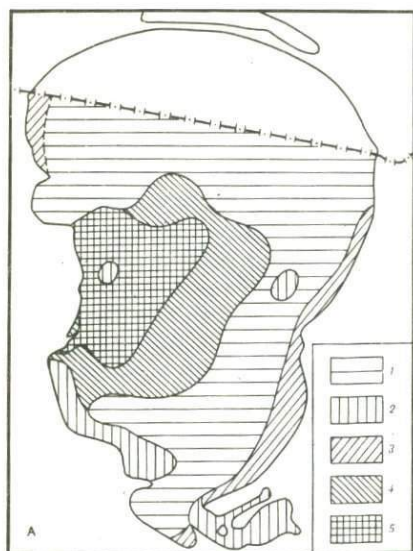


Рис. 12. Содержание умеренно-устойчивых и неустойчивых минералов в донных отложениях оз. Ханка, в % от общего веса тяжелой фракции

А - гранат: 1 - знаки; 2 - 0,1-1,0; 3 - 1,0-3,0; 4 - 3,0-5,0; 5 - >5,0; Б - эпидот: 1 - 10; 2 - 10-20; 3 - 20-30; 4 - 30-40; 5 - >40; В - минералы амфиболово-пироксеновой группы: 1 - знаки; 2 - 10-30; 3 - 30-40; 4 - 40-50; 5 - >50

ность современного аллювия этим минералом, но и абразия древнеголоценовой дельты этой реки.

Второй участок распространения повышенного содержания эпидота (30-40%) в поверхностном слое донных осадков совпадает с зоной абразии сапролитизированных гранитов (к северо-востоку от зал. Платоновского).

Всю центральную часть озера по линии Астраханский залив - исток р. Сунгач пересекает полоса осадков, содержание эпидота в

которых составляет 20–30%. В этой полосе развиты разнообразные литологические типы осадков от песчанистых глин и алевроитов до песков. Какой-либо четкой связи с крупностью и характером сортировки осадков установить не удалось. Широкое распространение эпидота остается объяснить его повышенной гидравлической подвижностью по сравнению с ранее рассмотренными минералами тяжелой фракции. Вероятно, определенную роль в этом играет снижение удельного веса выветрелых зерен, доля которых весьма значительна в общем составе эпидота. Значительной миграции во взвесах способствует и быстрый переход эпидотов во фракцию алевроитов. На перемещение эпидота в крупной фракции взвесей указывает и его отсутствие на участках развития глин и глинистых алевроитов с высоким содержанием фракции менее 1 мк (северная и южная котловины с глубинами свыше 5 м).

В восточной части озера количество эпидота колеблется от 10 до 20% и повышается лишь в устьях рек и во вдольбереговых потоках наносов. Концентрация эпидота в этой части озера совпадает с его содержанием в аллювии р. Спасовки.

Таким образом, широкое распространение эпидота в современных отложениях по акватории оз. Ханка соответствует его концентрации в тяжелой фракции аллювия рек Ханкайского бассейна и высокой гидравлической подвижности последнего (за исключением полей глинистых осадков).

Минералы пироксен-амфиболовой группы в озерных отложениях представлены в основном роговыми обманками и реже ромбическими пироксенами. Они характеризуются высоким содержанием как в аллювии рек Ханкайского водосбора (35%), так и в озерных отложениях (37,2%).

Зоны с максимальным содержанием минералов (свыше 50%) амфиболово-пироксеновой группы четко совпадают с источниками их поступления – устьями современных рек, древнеголоценовыми дельтами и участками абразии сапролитизированных гранитов (рис. 12, В). Повышенная концентрация (40–50%) этих минералов отмечается на трассах вдольбереговых потоков наносов (восточное побережье озера). Большую часть акватории занимает поле с содержанием минералов амфиболово-пироксеновой группы в пределах 30–40%. Умеренное (менее 30%) и малое количество (оценка “знаки” и “единично”) этих минералов отмечено на площадях развития песчанистых глин, глинистых алевроитов и глин (Астраханский залив, южная часть озера и северная котловина). Распределение минералов амфиболово-пироксеновой группы в общих чертах сходно с характером концентрации эпидота в современных отложениях озера, что, вероятно, во-первых, объясняется их значительным распространением в аллювиальных отложениях Ханкайского водосборного бассейна, во-вторых – сходной гидравлической подвижностью.

Минералы тяжелой фракции, редко встречающиеся в современных отложениях оз. Ханка (анатаз, рутил, гематит, магнетит, андалузит, апатит, шпинель, перрусит, силлиманит), по распространенности

в горных породах неодинаковы. Ряд минералов, которые относятся к редким аксессуариям, может быть использован лишь как индикатор направлений сноса обломочного материала.

Большой интерес представляют те из минералов, которые относятся к породообразующим или типичным аксессуариям (слюда, магнетит, апатит, гематит), так как их содержание в осадках позволяет оценивать интенсивность гипергенеза и дальность транзита обломочного материала.

Магнетит относится к одному из наиболее распространенных минералов континентальных отложений. В ряду относительной устойчивости в зоне химического выветривания магнетит принадлежит к устойчивым минералам, а его миграционная способность считается умеренной (Кухаренко, 1961). Такая характеристика магнетита в зонах гипергенеза и транзита обломочного материала, установленная для других районов Евразии, позволяет ожидать его значительной концентрации в аллювиальных и озерных отложениях Ханкайской котловины. Поэтому малое содержание магнетита в современных осадках этого района, как было установлено на основании изучения четвертичных покровных, аллювиальных и озерных осадков, требует объяснения. Незначительное количество магнетита в корях выветривания, покровных отложениях и аллювии крупных рек по сравнению с его процентным содержанием в коренных породах, вероятно, связано все-таки с относительной малой химической устойчивостью в зоне гипергенеза. По данным Г.С. Момджи (1960), окислы с малым ионным потенциалом, к которым относится и магнетит, ведут себя в зоне гипергенеза как неустойчивые минералы. На быстрое истирание магнетита в процессе переноса в аллювиальных системах указывают материалы изучения поведения этого минерала в кайнозойских отложениях Западной Сибири, где для ряда участков седиментации удалось установить точное положение источников сноса (Шумилова, 1949). Исследование поведения магнетита в реках Западного Сихотэ-Алиня показало, что при транзите обломочного материала на 50-70 км содержание последнего в осадках сокращается с 4-5 до 0,1-0,5%.

Поражает полное отсутствие магнетита в отложениях оз. Ханка за исключением небольших приустьевых участков, где, видимо, происходит незначительное обогащение в волноприбойной зоне (до 10% на пляже в устье р. Комиссаровки). Вероятно, магнетит из-за значительного удельного веса и формы зерен оседает в пляжевой фации и на акваторию не поступает.

Таким образом, магнетит можно рассматривать как минерал слабой миграционной способности и гидравлической подвижности. Поэтому его значительное появление в озерных отложениях косвенно свидетельствует о близости источника, либо о мелководном (пляжевом) накоплении осадков.

Апатит содержится в небольшом количестве в аллювии (0,1%) и в озерных отложениях (0,2%). Его широкое распространение в породах Ханкайского водосбора как типичного аксессуарного мине-

рала не соответствует той незначительной роли, которую он играет в современных осадках. Остается допустить сильное разрушение апатита в зоне гипергенеза и дальнейшее уменьшение его содержания в транзитной системе. Незначительное увеличение количества апатита в озерных отложениях, вероятно, вызвано поступлением последнего из сапролитизированных гранитов. Именно в пределах Центрально-Ханкайского мелководья отмечено его наибольшее содержание по всей акватории (до 2,6%).

Гематит относится к числу минералов с высокой миграционной способностью (Кухаренко, 1961). Полностью отсутствует в осадках оз. Ханка, хотя наблюдается в небольшом количестве в современном аллювии (до 2,9%) и покровных красцветах (по данным В.К. Сохина, 1972, до 5-6%). Небольшая концентрация гематита в современном аллювии соответствует его распределению в коренных породах, а отсутствие в озере связано с незначительной гидравлической подвижностью.

Аутигенные минералы представлены в современных озерных отложениях окислами марганца (встречены только в двух пробах) и гидроокислами железа, которые встречаются единично или в виде знаков практически во всех изученных пробах. По сравнению с широким распространением этих аутигенных минералов в корах выветривания, покровных отложениях и аллювии их концентрация в озерных осадках минимальна<sup>1</sup>. Анализ формы стяжений гидроокислов железа в озерных осадках, по заключению В.Н. Росликовой, показал их обломочную природу и отсутствие новообразований.

Помимо рассмотренной группы минералов, в составе тяжелой фракции встречена гидрослюда (иногда до 20%) и практически во всех пробах единично отмечена слюда. Минералы этой группы были описаны в легкой фракции современных отложений.

Таким образом, сравнительное изучение минералов тяжелой фракции из озерных отложений и аллювия ханкайского водосборного бассейна позволяет сделать следующие выводы.

1. Отмечается полное сходство в составе минералов и довольно значительное в их концентрации для озерных и аллювиальных отложений. Осредненная минералогия тяжелой фракции хорошо отражает вещественный состав всего водосборного бассейна (табл. 12). Выясняется, что в аллювиальных отложениях ведущая роль принадлежит группе минералов, устойчивых к химическому выветриванию, а в озерных — увеличивается доля группы умеренно-устойчивых минералов.

2. Распределение минералов на акватории озера и в прибрежной зоне выявляет четкую связь с источниками поступления обломочного материала. Дальнейшая их миграция определяется поведением минералов в волноприбойной зоне и во взвеси и зависит от гидравлической подвижности отдельных зерен. Анализ площадной концент-

<sup>1</sup> За исключением пляжевой фации на участках размыва красцветов (Астраханский залив).

Таблица 12

Минералогический состав тяжелой фракции в современных озерных и аллювиальных отложениях бассейна оз. Ханка

Тип отложения	Содержание тяжелой фракции, %	Минералогический состав, %						
		циркон	лейкоксен	сфен	ильменит	гранат	эпидот	амфибол-пироксены
Аллювиальные	1,50	5,9	2,9	0,6	29,4	8,5	8,8	35
Озерные	2,76	2,06	0,6	0,95	6,45	2,1	9,9	37,2

рации минералов тяжелой фракции позволил выявить их ряд по гидравлической подвижности, который приводится далее в порядке ослабления латеральной миграции отдельных компонентов на акватории озера – минералы амфиболо-пироксеновой группы, эпидот, гранат, сфен, циркон, ильменит, лейкоксен, магнетит. Для других минералов, имеющих незначительную концентрацию в осадках оз. Ханка, установить их относительную гидравлическую подвижность на примере изученного материала невозможно.

#### ГЛИНИСТЫЕ МИНЕРАЛЫ СОВРЕМЕННЫХ ОЗЕРНЫХ ОСАДКОВ

Изучение минералогии и генезиса глинистого вещества в современных озерных отложениях – неотъемлемая часть задачи выяснения роли и места глинистых минералов в континентальном седиментогенезе. Один из типичных природных объектов, на примере которого можно решать вопросы накопления глинистых минералов в условиях гумидного, умеренно-теплого климата, – это оз. Ханка.

Глинистые минералы изучены в 97 образцах из поверхностного слоя осадков, береговых обнажений и наилок, собранных после половодий в речных старицах.

Тонкодисперсные фракции (<0,001 мм и 0,001–0,01 мм) получены из осадков и затем приготовлены к рентгенографическому анализу традиционными приемами (Викулова, 1957; Mehra, Jackson, 1960). Дифрактограммы сняты в лаборатории глинистых минералов Дальневосточного геологического института ДВНЦ АН СССР В.Б. Курносовым и Н.В. Грудой с ориентированных Mg-замещенных препаратов на дифрактометрах УРС-50 ИМ и ДРОН-1,5 с  $\text{CuK}\alpha$ -излучением, при напряжении на катоде 35 кв и силе тока 8–22 ма, с щелями 0,5:1:1:0,5 мм. Количественный расчет глинистых мине-

ралов проведен по методу П.Е. Бискайе (Biscaye, 1964). Электронограммы получены Н.Ю. Цейтлиным на электронографе ЭГ-100 для восьми образцов (1-166, 171, 410, 401, 321, 2-173, 714, 343).

Среди глинистых минералов встречены монтмориллонит, гидрослюда, хлорит, каолинит, смешанослойный минерал хлорит-монтмориллонитового состава и вермикулит. В тонкодисперсных фракциях часто находятся кварц и полевые шпаты.

Монтмориллонит после насыщения этиленгликолем имеет отражение (001), равное  $17 \text{ \AA}$ , с различным рисунком рефлекса. Встречены разности с быстро ниспадающей интенсивностью в область малых углов, с высоко вздернутым плечом, когда оно почти сливается с линией фона, и промежуточные, наиболее распространенные разновидности.

В отдельных случаях у монтмориллонита проявляется второй порядок около  $8,5 \text{ \AA}$  в виде слабого размытого рефлекса. В образцах, отобранных из обнажений береговых обрывов, отражение (002) постоянно присутствует. Оно устанавливается по довольно высоко поднятой линии фона в интервале углов  $2\theta$  от 10 до 12.

Гидрослюда железистоалюминиевая, диоктаэдрическая, имеет свойственные ей базальные отражения равные 10; 5 и  $3,33 \text{ \AA}$ . В воздушно-сухих препаратах фракции мельче  $0,001 \text{ мм}$   $10 \text{ \AA}$  рефлекс несимметричен. Малоугловое плечо разрешается по линии фона после насыщения образца этиленгликолем. По данным электронографии гидрослюда двух политипных модификаций 2 М и 1 М.

Хлорит диагностируется по целочисленной группе базальных отражений от  $14 \text{ \AA}$ . По соотношению четких и нечетких рефлексов хлорит из осадков оз. Ханка относится к железистомагнезиальной, триоктаэдрической разности. В этилензамещенных комплексах базальные отражения хлорита остаются на месте. После прокаливания препарата при  $t^\circ 500-550^\circ\text{C}$  второй порядок ( $7 \text{ \AA}$ ) не проявляется или становится едва заметным,  $14 \text{ \AA}$  - рефлекс виден хорошо и равен  $14-14,1 \text{ \AA}$ .

Кроме хорошо окристаллизованного хлорита, часто встречается хлорит с дефектным бруситовым слоем. После прокаливании дефектных образований первое базальное отражение равно  $13,8-13,9 \text{ \AA}$ .

Смешанослойный хлорит - монтмориллонитовый минерал встречается в большинстве изученных образцов совместно с хлоритом. После прокаливания при температуре  $500-550^\circ\text{C}$  дает отражение в районе  $11,6-13,6 \text{ \AA}$  в виде слабого размытого рефлекса. В других случаях наблюдается плавный спад интенсивности в малоугловую область со стороны  $10 \text{ \AA}$  - рефлекса. Чаше встречаются образования с отражениями в пределах  $11,6-12,2 \text{ \AA}$ , т.е. смешанослойные хлорит-монтмориллонитовые минералы с довольно большим количеством хлоритовых пакетов.

Каолинит в осадках оз. Ханка встречается в виде незначительной примеси, поэтому диагностируется с трудом по асимметрии или широкому рефлексу, расположенному в области  $25 \text{ \AA}$  ( $2\theta$ ).



В отдельных образцах из береговых обрывов каолинит преобладает в глинистой фракции. На дифрактограммах виден третий порядок и симметричные острые рефлексы 7,14 и 3,57 Å.

Вермикулит встречен в одном образце из берегового обрыва. Отражение в 14 Å после прокаливания препарата сместилось в район 10 Å.

Кварц и полевой шпат легко фиксируются по отражениям 4,25 и 3,33 Å (кварц) и рефлексу 3,18 Å (полевой шпат).

*Распределение глинистых минералов в осадках.* Кристаллические фазы фракции 0,001 мм из поверхностного слоя осадков оз. Ханка состоят из монтмориллонита, гидрослюда, хлорита, каолинита, смешанослойного минерала, кварца и полевого шпата. Основной объем тонкодисперсной составляющей осадков занимают монтмориллонит и гидрослюда. Вместе они достигают 85–95% от суммы глинистых минералов. На долю хлорита совместно с каолинитом и смешанослойным минералом приходится в среднем около 10%. Кварц и полевой шпат встречаются в виде небольшой примеси.

Монтмориллонит преобладает в глинистой части осадков в нескольких местах (рис. 13, А). Большая его концентрация, превышающая 60%, установлена в районе впадения в озеро р. Илистой, в узкой прибрежной полосе в западной части оз. Ханка и на обширной площади к северу от устья р. Мельгуновки. В центральной части озера полоса осадков с преобладанием монтмориллонита в глинистой фракции протягивается от восточных берегов к западным. Небольшой участок отложений с большим количеством монтмориллонита выявлен у северо-восточного берега. Наиболее высокая концентрация монтмориллонита (80%) установлена на трех станциях – 314, 398 и 406. Все они расположены вблизи берега. В остальных случаях содержание монтмориллонита изменяется от 60 до 70%, редко достигая 75%.

Вся остальная площадь дна покрыта осадками, содержащими в тонкодисперсной составляющей 40–60% монтмориллонита. Более низкая концентрация минерала (менее 40%) установлена на ограниченных площадях в южной и северной частях озера. Самое низкое содержание монтмориллонита (менее 10%) обнаружено в местах разрушенных гранитовых островов (станции 325 и 354) и в прибрежных фациях юго-западной и северо-западной частей озера (станции 721, 334 и 4), где количество минерала не достигает 20%.

Гидрослюда по своим максимальным и минимальным концентрациям в донных осадках в значительной мере повторяет размещение монтмориллонита. В местах, насыщенных монтмориллонитом, гидрослюда меньше 20% (станции 314, 398 и 406). И наоборот, на трех станциях, расположенных в западной части озера, в отложениях, содержащих монтмориллонита меньше 20%, гидрослюда составляет 75% от суммы глинистых минералов (см. рис. 13, Б).

На основной площади дна озера в глинистой фракции осадков содержание гидрослюда составляет 20–40%. Довольно равномер-

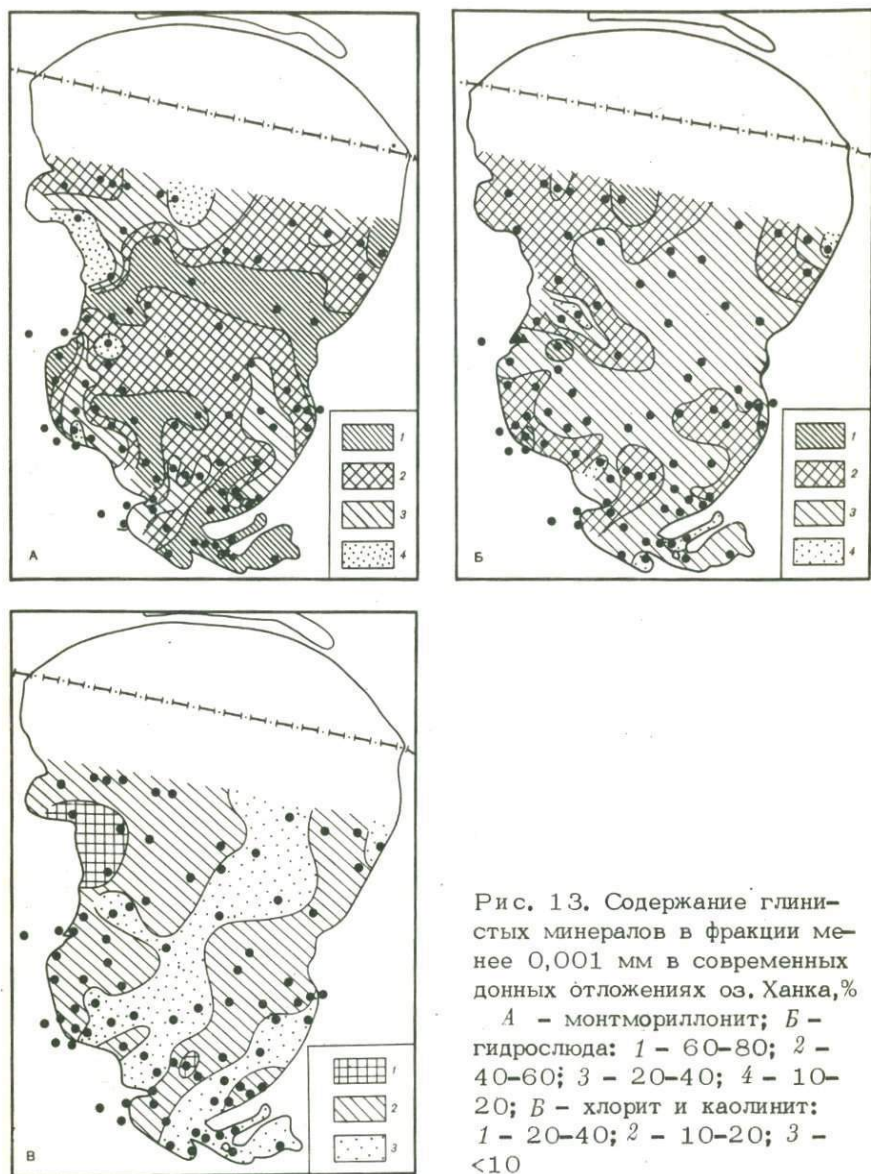


Рис. 13. Содержание глинистых минералов в фракции менее 0,001 мм в современных донных отложениях оз. Ханка, %

А - монтмориллонит; Б - гидрослюда: 1 - 60-80; 2 - 40-60; 3 - 20-40; 4 - 10-20; В - хлорит и каолинит: 1 - 20-40; 2 - 10-20; 3 - <10

ное размещение гидрослюда осложняется более высокой концентрацией минерала в осадках, вытянутых от берегов вглубь озера. Повсеместно гидрослюда встречается двух политипов  $2M_1$  и  $1M$  с преобладанием  $2M_1$ . Только в образце 343 установлена одна модификация -  $2M_1$ .

Хлорит и каолинит рассмотрены вместе из-за сложности их разделения на рентгендифрактограммах при небольшом количестве

Таблица 13

Количественное соотношение глинистых минералов (%) во фракциях мельче 0,001 и 0,001-0,01 мм озерных осадков

Станция (см. рис. 1)	17 Å		10 Å		7 Å	
	1*	2*	1	2	1	2
1	51	37	38	35	11	28
4	19	9	54	73	27	18
8	37	33	53	47	10	20
11	37	37	53	51	10	12
300	56	10	34	60	10	30
321	56	24	29	57	15	19
325	9	13	75	58	16	29
334	7	6	57	41	36	53
342	34	13	53	67	13	20
344	62	11	31	67	7	22
367	50	19	38	59	12	22
370	45	12	42	68	13	20
381	45	43	36	31	19	26
399	66	33	26	55	8	12
400	54	41	32	38	14	21
401	26	52	52	30	22	18
413	77	56	18	32	5	12
692	43	18	44	65	13	17
694	68	10	26	60	6	30
712	39	20	28	72	23	8
714	57	29	34	47	9	24
717	45	24	45	51	10	25
720	17	14	66	57	17	29
723	25	11	61	59	14	30
727	46	24	46	56	8	20
739	72	36	22	45	6	19
742	80	23	15	54	5	23

Примечание. Диагностика глинистых минералов проведена в Лаборатории глинистых минералов ДВГИ ДВНЦ АН СССР.

1 - фракции левые, <0,001 мм; 2 - фракция 0,001-0,01 мм.

каждой в тонкодисперсной фракции. Смешанослойное хлорит-монтмориллонитовое образование включено в группу хлорита.

На рис. 13, В видно довольно равномерное распределение 7Å-минералов в отложениях оз. Ханка. В большей части осадков хлорит совместно с каолинитом составляет 10-15%. Значительно реже их количество бывает больше 15%.

С юго-запада на северо-восток центральную часть озера пересекает полоса осадков с содержанием хлорита и каолинита меньше 10%. Такое же суммарное содержание этих минералов установлено в прибрежной полосе юго-восточной и северо-восточной частей озера.

Высокая концентрация хлорита и каолинита выявлена у северо-западного берега на станциях 334, 333 и 4. На этом участке дна в тонкой фракции каолинит преобладает над хлоритом.

Кварц и полевой шпат. Во фракции <0,001 мм осадков оз. Ханка их очень мало. В большинстве образцов полевой шпат на дифрактограммах не проявляется. Всего лишь на пяти станциях (8, 320, 334, 720 и 401) тонкодисперсная фракция содержит много кварца и полевого шпата.

Как правило, во фракции 0,001–0,01 мм по сравнению с фракцией <0,001 мм количество монтмориллонита убывает и увеличивается содержание гидрослюды и 7 Å-минералов (табл. 13). Во всех случаях резко возрастает количество кварца и полевых шпатов. Концентрация 7 Å минералов возрастает за счет хлорита. На станциях 1 и 334 более грубая глинистая фракция насыщена каолинитом.

#### ГЛИНИСТЫЕ МИНЕРАЛЫ, ПОСТУПАЮЩИЕ В ОЗ.ХАНКА

В наилках из рек Мельгуновка (обр. 166) и Комиссаровка (обр. 171) фракция <0,001 мм состоит преимущественно из гидрослюды (50–60%). На долю монтмориллонита и хлорита совместно с каолинитом приходится по 20–25% от суммы глинистых минералов. Причем 7 Å рефлекс принадлежит преимущественно хлориту. Каолинита и смешанослойного хлорит-монтмориллонитового минерала мало. Монтмориллонит, насыщенный этиленгликолем, имеет 17 Å рефлекс с высоко поднятым малоугловым плечом. В районе 8 Å проявляется его второй порядок в виде поднятой линии фона между рефлексами 10 и 7,1 Å. Установлены небольшая примесь полевого шпата и много кварца, особенно в наилке из р. Мельгуновки.

Фракция <0,001 мм наилков восточных рек Илистой и Спасовки (обр. 418, 365) состоит из тех же глинистых минералов, что и для западных рек, но в ином количественном соотношении. Основу Илистой фракции составляет монтмориллонит. Его концентрация достигает 70%. Малоугловое плечо 17 Å рефлекса разрешается лучше. Второй порядок не проявляется. Остальная часть фракции <0,001 мм состоит из гидрослюды (20–25%) и хлорита с каолинитом (5–10%). Каолинит преобладает над хлоритом. Полевого шпата и кварца встречено очень мало.

Во фракции 0,001–0,01 мм наилков рек Мельгуновки и Комиссаровки количественное соотношение глинистых минералов близко к их концентрации во фракции мельче 0,001 мм. В восточных ре-

Таблица 14

Количественное соотношение глинистых минералов (%) в фракциях мельче 0,001 мм и 0,001-0,01 мм образцов из речных наилок и береговых обрывов

Образец	17 Å		10 Å		7 Å	
	1*	2*	1	2	1	2
1-166	22	17	52	50	26	33
-171	17	9	55	67	28	24
-418	63	30	26	44	11	26
-365	72	30	22	52	6	18
1-169	5	-	80	77	15	23
3-169	36	20	36	57	28	23
2-166	41	5	41	53	18	42
5-166	61	33	26	48	13	19
1-173	34	16	-	4	66	80
2-173	20**	31	50	8	30	61
4-173	9	7	-	2	87	91
5-173	5	14	35	34	60	52
6-173	21	16	50	56	29	28
4-687	36	53	50	35	14	12
1-689	22	19	62	62	16	19
6-698	64	22	29	62	7	16
1-687	18	21	62	67	20	12
2-168	47	29	42	47	11	24

Примечание.\* 1 - фракции мельче 0,001 мм; 2 - фракции 0,001-0,01 мм.

\*\* Совместно с монтмориллонитом находится вермикулит. Диагностика глинистых минералов проведена в лаборатории глинистых минералов ДВГИ ДВНЦ АН СССР.

ках Илистой и Спасовке в более крупной глинистой фракции заметно сокращается количество монтмориллонита и увеличивается содержание гидрослюд и 7 Å минералов (табл. 14). Увеличение количества 7 Å минералов происходит за счет нарастания содержания хлорита. Во всех образцах чрезвычайно много кварца и полевых шпатов.

Глинистые минералы из береговых обрывов, размываемых водами озера и реками, впадающими в него, имеют довольно пестрый состав (см. табл. 14). Обращает на себя внимание высокое содержание гидрослюд во фракции <0,001 мм. В среднем она составляет половину глинистых минералов. Во всех образцах обнаружен каолин-

нит. Часто он занимает основной объем тонкодисперсной фракции, составляя от суммы минералов 60–87% (обн. 173). В этом же обрыве найден вермикулит (обр. 173). Хлорита, как правило, немного или вовсе нет в глинистой составляющей размываемых отложений. Там, где он фиксируется на дифрактограммах, всегда виден смешанослойный хлорит–монтмориллонитовый минерал.

Монтмориллонит распределен в изученных отложениях неравномерно. При переходе от более молодых горизонтов к нижележащим количество его быстро увеличивается. Очертание 17 Å рефлекса такое же, как у монтмориллонита из осадков оз. Ханка. Постоянно проявляется второй порядок.

Кварца много в трех обнажениях – 169, 166 и 168 (обр. 168). В остальных случаях кварца и полевого шпата очень мало.

Во фракции 0,001–0,01 мм почти во всех случаях проявляется тенденция к уменьшению количества монтмориллонита. Концентрация гидрослюды, как и во фракции мельче 0,001 мм, остается высокой. В обн. 173 сохраняется преобладание каолинита над другими глинистыми минералами. Его заметное увеличение выявлено и в обр. 2–166 (см. табл. 14).

Сопоставление глинистых минералов из осадков оз. Ханка и наплывов рек, впадающих в него, показывает их полную минералогическую идентичность. Из абрадируемых обрывов в западной части озера, сложенных рыхлыми верхнеэоценовыми и четвертичными отложениями, поступает также глинистое вещество, соответствующее распространенному на дне. Аналогия глинистых минералов осадков и таковых из источников сноса делает очевидной их терригенную породу. Терригенная порода глинистых минералов осадков пресноводных озерных водоемов была установлена М.А. Ратеевым (1964) на примере оз. Байкал и группы уральских озер, изученных С.Д. Муравейским, а также Н.И. Семеновичем с соавторами в Ладожском и Онежском озерах (Семенович, 1966; Семенович, Курочкина и др., 1972).

Глинистая составляющая твердого стока в мелководном озере попадает в условия регулярного взмучивания осадков активного перемешивания и сложной горизонтальной циркуляции вод, обусловленной проточностью озера и устойчивыми ветрами южных направлений в весенне-летний период и северных – в осенне-зимний. Сочетание перечисленных факторов приводит к транзитности для озера значительной части глинистых минералов и определяет выявленное их размещение на дне оз. Ханка. Четкая связь минералогического распределения глинистого вещества с гранулометрией и вещественным составом осадков не установлена.

Анализ схем размещения глинистых минералов в осадках оз. Ханка позволяет сделать вывод о влиянии береговой абразии на их накопление в озере. Из-за различного количества глинистых минералов, поступающих в озеро из западной и восточной областей денудации, этот контраст не сохраняется в глинистой составляющей осадков.

Для накопления монтмориллонита, преимущественно в восточной части озера, а в западной – гидрослюды, поступающих в речном стоке, существуют благоприятные условия, т.е. основное перемещение водной массы происходит с юго-запада на север и северо-восток. Вдольбереговые течения не нарушают эту схему. Однако на отдельных участках в западной части озера монтмориллонит обнаружен в изобилии. Этот факт можно объяснить только размывом береговых отложений, содержащих значительное количество монтмориллонита.

Каолинит, который мог бы быть хорошим индикатором влияния размываемых береговых отложений на формирование минералогии глинистой составляющей осадков, по-видимому, сильно разбавлен другими глинистыми минералами и поэтому не прослеживается в большом количестве даже в прибрежных отложениях. Исключение составляют осадки северо-западной части озера, отвечающие зоне размыва неогеновых отложений и красноцветных кор выветривания.

Таким образом, глинистые минералы осадков оз. Ханка составом и размещением на дне отражают общее геолого-географическое состояние питающей провинции. Ее дифференциация на западную и восточную области денудации отчетливо прослеживается по глинистым минералам речных отложений и озерных осадков на участках впадения рек. Хорошая связь с составом глинистых минералов речного стока присуща осадкам, размещенным в восточной части озера, а в западной она нарушается поступлением глинистых минералов из абрадируемых берегов.

Таким образом, изучение глинистых минералов современных осадков оз. Ханка позволяет сделать следующие выводы.

1. Глинистые минералы из осадков оз. Ханка имеют терригенную природу и размещаются на дне под влиянием гидродинамического режима и батиметрических условий бассейна, независимо от литолого-фациальных закономерностей распределения алевритовых и песчано-галечниковых отложений.

2. Комплекс глинистых минералов, состоящий из монтмориллонита, диоктаэдрической железистоалюминиевой гидрослюды 2 М и 1 М, железистомагнезимального хлорита, каолинита и смешанослойного хлорит-монтмориллонитового минерала с явным преобладанием монтмориллонита и гидрослюды, можно рассматривать как один из типичных в ряду ассоциаций глинистых минералов, находящихся на начальной стадии формирования пород озерных пресноводных фаций.

3. Связь глинистых минералов осадков оз. Ханка с поступающим в нее глинистым веществом аллювия неравномерна и хорошо проявлена в восточной части озера вблизи впадения рек Илистой и Спасовки. На остальной площади дна она значительно нарушена обильным поступлением в озеро глинистого материала, главным образом из абрадируемых западных берегов.

## ОСОБЕННОСТИ ГЕОХИМИИ ДОННЫХ ОСАДКОВ ОЗ.ХАНКА

При геохимической характеристике донных осадков оз. Ханка главное внимание уделено закономерностям распределения железа, органического вещества и некоторых микроэлементов. В этой же главе рассмотрена цветовая характеристика донных осадков.

### РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЖЕЛЕЗА

В аутигенном минералообразовании железу принадлежит значительная роль, что связано с большим его содержанием в горных породах и со сравнительно сильной активностью в зоне литогенеза. Его переменная валентность и легкий переход от одной валентности к другой в зависимости от окислительно-восстановительных свойств среды позволяют использовать соотношение  $Fe^{3+}/Fe^{2+}$  как один из индикаторов фациальных обстановок. Изучение содержания железа и соотношения его различных форм в донных осадках оз. Ханка дает возможность частично выявить эти критерии для крупных озерных водоемов в зоне гумидного литогенеза.

Содержание железа в донных осадках колеблется от 0,92 до 6,77%, составляя в среднем 2,54% (табл. 15). По сравнению с другими озерами гумидной зоны донные осадки оз. Ханка содержат меньшее количество железа, а внутри типов пород оно распределено более равномерно. Так, например, в осадках оз. Байкала зона высокого содержания железа (>3%) занимает практически всю площадь дна за исключением узкой вдольбереговой полосы, а в глинистых илах центральной котловины содержание Fe достигает 7,0–10,0% (Выхристюк, 1977). На большей части площади оз. Ханка, в его западной и центральной частях, в донных осадках содержание железа составляет от 2,5 до 3,0% (рис. 14). Эта полоса протягивается с севера на юг, охватывая как глубоководные части озера, так и полосу мелководья, совпадающую с Гайворонским валом. К югу от мелководья на подводном продолжении о-ва Соснового отмечается пятно с минимальным содержанием железа (0,78–0,92%). Уменьшение количества железа до 2,34% наблюдается и в северной части озера на площади предполагаемого выхода коренных пород. Единичные участки с низким содержанием железа прослеживаются и на мелководье к западу от м. Астраханского (1,6%), против устья р. Мельгуновки (1,61%).

В восточной части озера к северо-западу от устья р. Спасовки вплоть до его центра протягивается полоса с содержанием железа



Таблица 15

Валовое содержание железа (%) в осадках современных озер

Озеро	Песок	Круп- ный алев- рит	Мел- кий алев- рит	Глины	Сред- нее	Авторы
Байкал						Голдырев и Выхристюк, 1968
средняя часть	1,98	3,68	4,18	5,18	3,75	
северная часть	2,44	3,65	4,22	4,82	3,78	
южная часть	3,08	3,33	4,66	4,88		Страхов и др., 1954
Балхаш	2,36	3,16		3,42	2,95	Сапожников, 1951
Ладожское	3,14	3,30	6,45	9,47	5,59	Калесник, 1968
Иссык-Куль	2,29	3,20		3,48	2,78	Сапожников и Виселкина, 1960
Ханка	<u>2,20</u> 20	<u>2,40</u> 22	<u>2,66</u> 28	<u>2,81</u> 24	<u>2,54</u> 94	Короткий и др., 1975

Прмечание. В числителе - содержание Fe, в знаменателе - количество анализов.

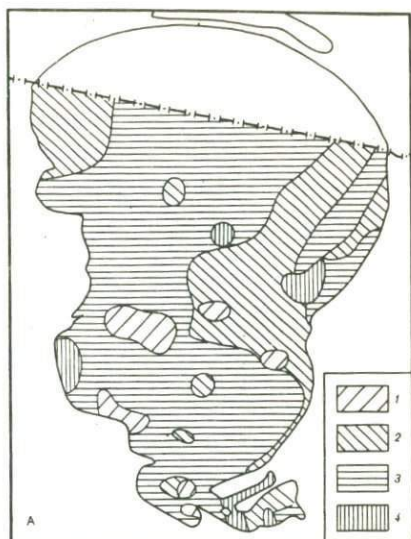
от 2,0 до 2,5%. Этот участок частично совпадает с зоной распространения глинистых алевритов. На северо-востоке озера осадки с подобным содержанием железа отмечаются вблизи берега (истоки р. Сунгач). Основное поле здесь образуют отложения с содержанием железа от 2,5 до 4,0%. Кроме того, на акватории озера повышенное содержание железа (>3%) отмечается в устье р. Илистой (оз. Протока - до 6,7%), в Астраханском заливе вблизи места размыва красноватов (до 3,77%) и в небольших полузакрытых бухтах (бухта Тихая - 3,2%).

Четкой связи количества железа с типами пород не прослеживается, хотя наиболее высокие его концентрации приурочены к участкам распространения алевритов и песчаных глин (см. табл.15).

В распределении окисного и закисного железа выявляются более определенные связи с типами осадков и глубинами их отложения. Повышение содержания трехвалентного железа приурочено к северному и южному глубоководьям с преобладанием тонкозернистых и глинистых осадков. Для закисного железа при общем довольно равномерном распределении (преимущественно 0,3-0,6%)

Рис. 14. Содержание различных форм железа в донных отложениях оз. Ханка, %:

- общее железо: 1 - <2,0;  
2 - 2,0-2,5; 3 - 2,5-3,0;  
4 - >3,0



характерно резкое повышение содержания в осадках полузакрытых мелких заливов (>1,0%).

Как известно, соотношение  $Fe^{3+}/Fe^{2+}$ , впервые примененное А.Б. Роновым (1958), является в какой-то мере показателем фациальных обстановок и одним из критериев при палеоклиматических реконструкциях (Синицын, 1967). Как показали исследования современных осадков оз. Ханка, соотношения  $Fe^{3+}/Fe^{2+}$  для разных фаций различны (рис. 15, а).

Для пляжевых осадков западной части озера (на участке размыва древних кор выветривания и верхнекайнозойских красцветов) это отношение равно 8:1 при среднем содержании  $Fe^{3+}$  около 3,0%, а  $Fe^{2+}$  0,18%.

В зоне литорали на глубинах до 3 м формируются осадки с отношением  $Fe^{3+}/Fe^{2+}$  от 4:1 до 8:1. Среднее содержание окисных и закисных форм железа составляет 2,75 и 0,5%. В эту же группу осадков включены ожелезненные песчанистые алевриты (в устье р. Илистой) на глубинах до 5 м.

Наиболее обширную площадь на акватории озера (до глубины 6 м) занимают отложения, для которых соотношение  $Fe^{3+}/Fe^{2+}$  меняется от 4:1 до 2:1 со средним содержанием форм железа 1,97 и 0,61%.

Осадки, накопившиеся в слабо восстановительной или восстановительной среде (отложения приустьевых заболоченных озера, полузакрытых бухт и наиболее глубоких частей озера), имеют отношение  $Fe^{3+}/Fe^{2+}$  - 2:1 и 1:2 с содержанием соответствующих форм железа 1,43 и 1,12%.

Характерно, что отношение  $Fe^{3+}/Fe^{2+}$  тесно связано с pH поверхностного слоя осадка (табл. 16, см. рис. 15, б).

Таким образом, осадки большей части озера в поверхностном слое (до 10 см) накапливаются в условиях нейтральной и слабокислой среды.

Как показатель окислительно-восстановительного потенциала среды можно использовать отношение  $Fe^{3+}/Fe^{2+}$  (Ронов, 1958). Анализ графика (см. рис. 15, в) показывает, что для большей час-

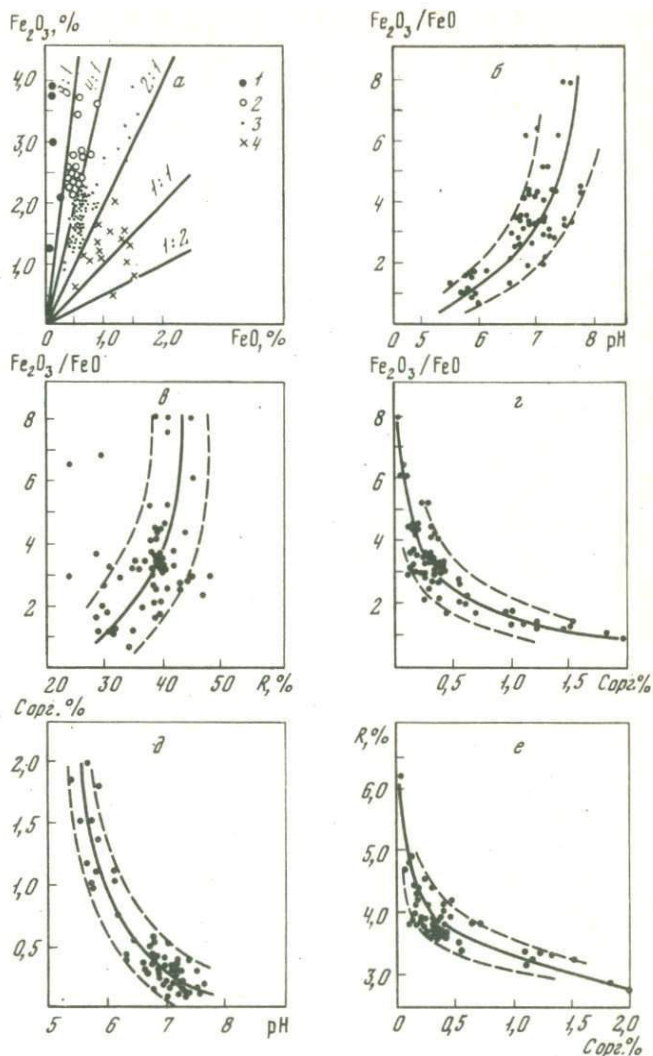


Рис. 15. *a* - соотношение форм железа в осадках оз. Ханка; осадки: 1 - пляжевые, 2 - мелководий, 3 - донные открытого озера с глубинами 2,5-6,0 м, 4 - донные открытого озера с глубинами более 6 м и полужакрытых лагун на низкой террасе и в устьях рек; *б* - характер связи между соотношением форм железа и pH; *в* - характер связи между соотношением форм железа и интегральным отражением ( $R_1$ ); *г* - характер связи между соотношением форм железа и содержанием  $C_{org}$ ; *д* - зависимость между pH донных осадков и содержанием органического углерода; *е* - зависимость интегрального отражения ( $R_1$ ) от содержания  $C_{org}$ .

Таблица 16

Пределы колебаний pH осадков при разных величинах отношения  $Fe^{3+}/Fe^{2+}$

Показатель	Отношение					
	8:1	6:1	4:1	3:1	2:1	1:1
pH среднее	7,80	7,60	7,25	7,00	6,50	5,75
Пределы колебаний pH	7,25-8,50	7,10-8,25	6,75-7,75	6,50-7,50	6,00-7,00	5,50-6,50

ти донных осадков озера с содержанием  $C_{орг}$  менее 0,75% характерны окислительные условия ( $Fe^{3+}/Fe^{2+} > 2$ ). Этому, видимо, способствует гидродинамический режим озера, обуславливающий сильную насыщенность воды кислородом (-110-115%) к норме), в сочетании с малым количеством органического вещества.

Только осадки приустьевых лагун и полузакрытых бухт накапливаются в слабо восстановительной среде ( $Fe^{3+}/Fe^{2+} < 2$ ), где наблюдается высокое содержание органического вещества ( $C_{орг} > 0,75\%$ ).

#### РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА

Содержание рассеянного органического вещества (РОВ) в донных отложениях оз. Ханка невелико (рис. 16). Определение органического углерода ( $C_{орг}$ )<sup>1</sup> в 98 пробах показывает, что среднее его количество в осадках открытой части озера составляет лишь 0,28% на сухой осадок. Для озер гумидной зоны характерен значительно больший процент: оз. Байкал - 0,65-2,49% (Голдырев, Выхристюк, 1968; Выхристюк, 1977), оз. Ладожское - 0,55-4,2% (Калесник, 1968), оз. Балхаш - 1,4% (Сапожников, 1951), оз. Иссык-Куль - 1,2-1,5% (Сапожников, Виселкина, 1960). Как видно, оз. Ханка в этом отношении представляет собой весьма своеобразный бассейн. Бедность его осадков органическим веществом определяется рядом причин, из которых первичными являются: малая глубина озера и сильные ветры, приводящие к частым и мощным волнениям на не защищенной горами акватории озера. Отсюда следует высокая насыщенность воды кислородом (до 115% в летний период), постоянное многократное взмучивание осадков, особенно в прибрежной зоне, значительная мутность воды на всей акватории озера и, по-видимому, очень слабое развитие планктона.

<sup>1</sup> Определение  $C_{орг}$  производилось в лаборатории осадочных формаций ДВГИ газометрическим методом (Китаев, Лихт, 1971).

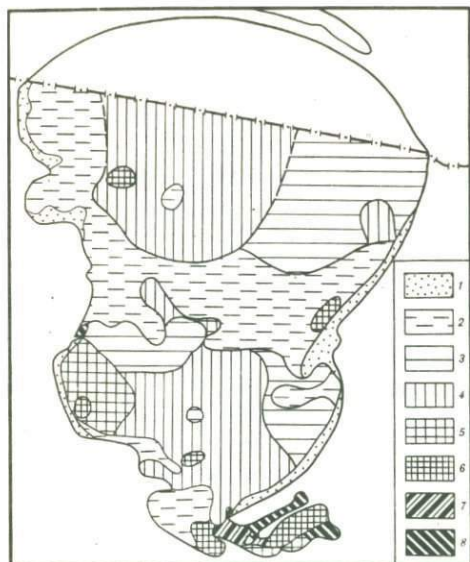


Рис. 16. Содержание органического углерода (%) в донных отложениях оз. Ханка  
 1 - < 0,10; 2 - 0,10-0,20; 3 - 0,20-0,30; 4 - 0,30-0,40; 5 - 0,40-0,50; 6 - 0,50-0,75; 7 - 0,75-1,50; 8 - > 1,50

К сожалению, мы пока не имеем прямых определенных количества планктонных организмов в ханкайских водах и не можем оценить их биопродуктивность, но с большой степенью вероятности можно предполагать, что рассеянное органическое вещество донных осадков оз. Ханка преимущественно

аллохтонного происхождения. Оно приносится в бассейн многочисленными реками как в растворенном виде (водный гумус), так и в виде взвеси и с влекаемым материалом. Только небольшая часть РОВ осадков генерируется в озере.

Равнинный характер бассейнов рек, впадающих в озеро, и значительная их заболоченность в нижнем течении несомненно способствуют выносу большого количества растворенного и взвешенного органического вещества. Об этом также свидетельствует высокое содержание (%)  $C_{орг}$  в осадках устьев и приустьевых частей рек: Иистой - 0,29-1,99 (среднее 0,79), Спасовки - 1,86. Однако в отложениях открытой части озера захороняется лишь небольшая доля принесенной органики. В связи со своеобразными физико-химическими условиями бассейна, о которых уже говорилось, часть органического вещества окисляется до полного разложения в хорошо аэрируемой воде и взмученных осадках, часть его расходуется на восстановление трехвалентного железа (см. рис. 15, 1) и часть выносится водами р. Сунгач.

В распределении оставшейся органики на площади дна оз. Ханка и между различными типами осадков можно выявить специфические, присущие только этому озеру, черты. Как видно по данным табл. 17, распределение РОВ в трех основных типах осадков (пески - алевриты - глины) не согласуется с известным на примере других бассейнов закономерным увеличением содержания органического вещества по мере уменьшения размеров зерен осадка (Страхов и др., 1954). Д.Г. Сапожников, М.Г. Виселкина (1960) также отмечают, что в осадках оз. Иссык-Куль отчетливо наблюдается уменьшение количества органики при переходе от одного класса к другому в ряду

Таблица 17

Содержание органического углерода в донных осадках оз. Ханка,  
% на сухой осадок

Тип осадка	Район опробования	Число определений	Содержание $C_{орг}$ , %	Среднее
Пески, пески с галькой, пески алевролитистые и частично алевроиты песчанистые	Прибрежная полоса донных осадков	8	0,03-0,18	0,10
Пески и пески глинистые	Центральный поперечный вал и северо-западная часть озера	11	0,11-0,47	0,21
Пески алевролитистые	Полоса песков вдоль западного берега севернее устья р. Спасовки	4	0,11-0,56	0,31
Пески и пески алевролитистые	Южная часть озера	8	0,10-0,37	0,29
Среднее для песков		31	0,03-0,56	0,22
Алевроиты, алевроиты глинистые и алевроиты песчано-глинистые	Северо-восточная и центральная части озера	14	0,11-0,41	0,21
Алевроиты, алевроиты глинистые и песчанистые	Юго-восточная часть озера, вблизи устья р. Спасовки	9	0,13-0,29	0,22
Алевроиты, алевроиты песчанистые, глинистые и песчано-глинистые	Юго-западная и южная части озера	15	0,20-0,64	0,36
Среднее для алевроитов открытой части озера		38	0,11-0,64	0,27
Алевроиты глинистые, алевроиты песчанистые	Устье р. Илостой и залив Лузановой сопки	11	0,29-1,23	0,72
Алевроиты глинистые	Полузакрытые заливы и лиманы	2	1,53-1,99	1,76

Таблица 17 (окончание)

Тип осадка	Район опробования	Число определений	Содержание %	Среднее
Среднее для осадков полузакрытых заливов		13	0,29-1,99	0,88
Глины и глины алевритистые	Северная часть озера	7	0,26-0,54	0,38
Глины алевритистые и песчанистые	Юго-западная часть озера напротив устья р. Комиссаровки	9	0,38-0,69	0,46
Среднее для глин		16	0,26-0,69	0,42
Среднее для всех осадков оз. Ханка		98	0,03-1,99	0,36

глины - алевриты - пески. В отложениях оз. Ханка практически нет разницы по содержанию РОВ между песками и алевритами (см. табл. 17). Значительное повышение концентрации  $C_{орг}$  отмечается только в глинистых разностях - почти в два раза по сравнению с песками. Одна из причин этого заключается в совпадении оптимальных условий осаждения пелитового материала и органики. Второй причиной может быть тесная связь этих компонентов, так как тонкодисперсное и растворенное органическое вещество хорошо сорбируется на частицах осадков, преимущественно глинистых, обладающих наибольшей удельной поверхностью и наибольшей сорбционной активностью. О тесной связи органического вещества с глинистой составляющей осадка можно отчасти судить по характеру кривой, выражающей зависимость между содержанием  $C_{орг}$  и отражательной способностью (см. рис. 15, e).

Распределение РОВ по площади озера довольно сложное (см. рис. 16). Выделяются три основные зоны. Две зоны повышенного содержания РОВ (южная и северная) разделены третьей поперечной зоной низкого содержания, протягивающейся от восточного побережья на северо-запад вдоль полосы песков к мысу Белоглиняному и севернее. В зонах отмечены многочисленные местные повышения и понижения содержания  $C_{орг}$ . Большинство из них связано с локальными углублениями и мелководьями и соответствующими изменениями состава осадков. Некоторые аномалии пока не объяснены.

Для южной относительно глубоководной зоны, которая изучена лучше северной, характерны следующие особенности. На западе, вблизи устья р. Комиссаровки, выделяется обширная область преимущественно глинистых осадков с повышенным содержанием  $C_{орг}$ , что

связано, помимо состава осадков, с усиленным приносом органического вещества из затопляемых плавней в этой части озера. На востоке южной зоны, вблизи устья р. Спассовки, концентрация  $C_{орг}$  снижается, что скорее всего обусловлено активной гидродинамикой, выносом пелитоморфного материала и, возможно, повышенными скоростями осадконакопления. Кроме основных трех зон, следует особо выделить узкие полосы прибрежных песков с наиболее низким ( $<0,1\%$ ) содержанием  $C_{орг}$ , а также мелкие полузакрытые заливы и лиманы в устье р. Илистой и к северу от устья р. Комиссаровки, алевро-глинистые осадки которых содержат более  $1,5\%$   $C_{орг}$ .

Количество органического вещества в значительной мере определяет физико-химическую среду поверхностного слоя донных осадков оз. Ханка. Как видно по графику связи  $C_{орг}$  и pH осадков (см. рис. 15,  $\theta$ ), область интенсивного накопления органического вещества ( $C_{орг} > 1,0\%$ ) резко отличается по величине pH (5,45–6,15) от осадков открытого озера, где pH колеблется от 6,65 до 7,55.

Окислительно-восстановительный потенциал среды в донных осадках оз. Ханка также связан с количеством органического вещества, что видно по графику  $Fe_2O_3/FeO - C_{орг}$  (см. рис. 15,  $\zeta$ ).

Таким образом, распределение РОВ в донных отложениях оз. Ханка в первую очередь зависит от фациальных условий накопления осадков и количества пелитовых компонентов. Вместе с тем наблюдается повышение содержания РОВ вблизи источников аллохтонной органики.

#### ОТРАЖАТЕЛЬНАЯ СПОСОБНОСТЬ СОВРЕМЕННЫХ ОСАДКОВ

Спектральная яркость была определена на небольшом количестве проб (80 образцов) для выяснения степени дифференциации осадков по светоотражению и зависимости светоотражения от содержания общего железа и органических веществ.

Спектры отражения получены в лабораторных условиях методом интегральной спектрофотометрии в видимой области. Для записи светоотражения использован автоматически регистрирующий спектрофотометр СФ-10 с интегральной сферой. Пробы подготовлены по методике, разработанной для определения яркости суглинистых почв Уссури-Ханкайской равнины (Михайлова и др., 1967). Светоотражение выражено величиной интегрального отражения  $R_1$  и  $R_2$ , (%), равным  $\rho_{620} - \rho_{500}$  ( $\rho$  - коэффициент яркости для длины волн 620 нм, 500 нм).

Данные спектрофотометрии показали, что коэффициенты яркости по спектру изменяются плавно с увеличением по мере возрастания длины волн. В отдельных случаях коэффициенты отражения несколько интенсивнее повышаются в областях 430–480 и 500–620 нм. Разница в отражении крайних синих и красных лучей составляет 35%. Спектральные характеристики различных образцов отличаются



как величинами  $R_1$ , так и  $R_2$ . Общий предел изменения интегрального отражения составляет 23% ( $R_{1\max} = 50\%$ ,  $R_{1\min} = 27\%$ ). Наклон характеристик варьирует от 4 до 18%, т.е. спектры диффузного отражения не имеют экстремальных значений, как и другие природные образования, содержащие несколько различных хромофорных групп.

Сопоставление яркости образцов разного механического состава показало, что высокие степени отражения соответствуют пескам ( $R_1 = 40\%$ ). Алевриты и глины имеют средние показатели (35–40%). Пониженные величины зафиксированы для осадков устьев рек и закрытых лиманов. В целом по всей партии исследованных проб яркость изменяется от 30 до 62%. Средняя величина отражательной способности составляет 39%.

Дифференцированность донных отложений по яркости хорошо сопоставляется с полями осадков разной крупности. Отчетливо выделены по яркости мелководные зоны, а также прибрежные области песков, которые имеют отражения выше 40%. На их общем уровне яркости ( $R_1 = 42\%$ ) отмечены локальные небольшие участки с пониженным отражением. Южная – северная относительно глубоководные зоны, сложенные алевритами и глинами, имеют среднее интегральное отражение 37%.

В центре северо-западной глубоководной области имеется участок с повышенной отражательной способностью ( $R_1 = 42\%$ ), а в районе истока р. Сунгач – участок с пониженной яркостью образцов. Зона, соответствующая устью р. Илестой, отличается пестротой показателей, где на общем низком фоне светоотражения наблюдаются участки высокой яркости.

Как известно, в процессе поглощения лучистой энергии ведущая роль принадлежит хромофорам. Поглощение лучистой энергии в среде обусловлено не только их характером, но и пространственным распределением. Донные осадки, представляющие собой многофазную и полидисперсную систему, обладают хорошими сорбционными свойствами. В результате сорбции на поверхности отдельных частиц донных осадков образуются гидратированные органо-минеральные пленки. Высокая концентрация этих соединений в пределах пленки обеспечивает сорбционным образованиям роль активной среды процесса взаимодействия со световыми лучами.

Хорошо поглощают энергию видимых лучей многие соединения, в том числе органические вещества и железо в различных стадиях окисления. Степень участия природных красителей в формировании отражательной способности осадков оценен характером и величиной корреляции  $C_{\text{орг}} R_1 Fe_{\text{общ}} - R_1, Fe^{3+}/Fe^{2+} - R_1$ .

Оценка степени корреляции показала наличие достоверной обратной связи между светоотражением осадков и содержанием в них органических веществ и соединений железа. Коэффициент корреляции  $C_{\text{орг}} - R_1$  составляет  $-0,49$  ( $n = 43$ ). Графически связь выражается гиперболической функцией с равнозначными степенями из-

менения яркости и содержания органических веществ (увеличение  $C_{орг}$  в 7-8 раз приводит к уменьшению светоотражения в 1,5 раза). Связь  $Fe_{общ} - R_1$  несколько выше - 0,54 ( $n = 73$ ). Взаимосвязь  $Fe^{3+}/Fe^{2+} - R_1$  выражена чрезвычайно слабо.

Анализ корреляционных связей позволяет отметить почти одинаковую степень участия органических веществ и железа в формировании спектральной отражательной способности.

## РАСПРЕДЕЛЕНИЕ РЕДКИХ ЭЛЕМЕНТОВ

Характер распределения редких элементов в донных осадках оз. Ханка основан на данных количественного спектрального анализа, полученных в лаборатории физико-химических методов исследований ДВГИ (аналитик Л.А. Пирогова). Общее представление о содержании редких элементов в главных типах осадков озера можно получить из табл. 18; здесь в группу песков объединены пески глинистые, алевритистые и пески с содержанием песчаной фракции более 70%, к алевритам отнесены песчанистые, глинистые, песчано-глинистые разности и собственно алевриты, а последняя группа включает осадки с содержанием пелитовой фракции более 70%, а также алевритистые и песчанистые глины. При построении схем распределения учитывались значимые коэффициенты корреляции между отдельными элементами.

*Олово.* Общее содержание олова в донных осадках оз. Ханка весьма низкое, значительно меньше кларковых значений этого элемента для осадочных пород и литосферы (Виноградов, 1962; Turkian, Wedepohl, 1961). Коэффициенты концентрации олова для основных типов рассматриваемых осадков меньше единицы и равны соответственно для песков, алевритов и глин 0,59, 0,50 и 0,30.

Распределение олова в осадках оз. Ханка очень монотонное. Около 90% площади занято образованиями с содержанием олова менее 1 г/т. Вдоль западного и юго-западного побережья озера отмечаются небольшие по площади участки, где развиты алевритистые, алеврито-глинистые пески и песчаные алевриты с содержанием олова 1-3 г/т; близкое количество олова характерно также для песчано-глинистых алевритов, распространенных в центральной части южной котловины озера. На общем фоне низкого содержания олова выделяется три участка песков с повышенной концентрацией последнего (10-12 г/т). Южная и западная зоны развития "оловоносных" песков связаны соответственно с переработанными комплексами отложений древнеголоценовых дельт рек Мельгуновки и Комиссаровки (содержание песчаной фракции до 90%). В центральной части северной котловины повышенная концентрация олова приурочена к локальному полю песков, являющихся, вероятнее всего, продуктами подводной переработки палеозойских гранитоидов.

*Свинец.* Для свинца, так же как и для олова, характерно весьма низкое содержание его в осадках: коэффициенты концентрации для песков и алевритов составляют 0,4 и 0,3, а для глин - 0,6.

Таблица 18

Содержание редких элементов в осадках оз. Ханка (г/т)

№ образца	Sn	Pb	Zn	Cu	Ni	Co	Cr	V	B
Пески									
358	0,5	3	13	3	10	6	110	26	33
402	0,5	5	10	5	9	8	340	29	7
727	0,6	4	18	4	16	6	130	26	28
361	0,6	6	14	6	12	11	450	28	14
342	0,3	4	11	5	20	6	360	25	21
332	0,8	4	7	3	9	5	110	30	10
6	-	3	8	5	6	8	660	26	11
754	5	7	28	7	6	8	570	27	53
333	1	3	20	4	18	5	400	29	8
739	-	14	49	18	91	25	210	91	40
337	-	14	29	12	100	19	1800	81	-
348	12	-	68	25	120	32	2600	150	81
330	2	15	51	31	120	10	530	120	27
717	1	10	25	12	38	13	56	100	46
743	-	18	-	13	27	19	-	91	-
713	1	9	25	10	65	23	59	88	45
720	2	14	40	25	83	19	85	130	40
743	2	15	46	22	62	16	68	120	38
714	1	14	25	15	100	25	55	110	23

737	1	10	25	7	39	20	55	76	33
726	1	11	40	13	53	19	80	110	28
733	0,6	6	25	7	31	12	47	71	55
718	1	9	18	10	39	12	49	68	55
Среднее в песках	1,47	8,61	25,87	11,39	46,70	14,22	383,65	71,83	30,26
Дисперсия	6,38	25,34	274,84	63,34	1469,58	58,26	38111,0	1672,66	414,77
Среднее- квадратичное отклонение	2,52	5,03	16,58	7,96	38,34	7,63	617,34	40,90	20,36
Коэффициент вариации	1,71	0,58	0,64	0,70	0,82	0,54	1,61	0,57	0,67

## Алевриты

408	0,6	6	20	6	9	10	160	29	25
351	0,8	-	28	10	16	14	100	32	25
708	0,5	4	15	4	12	8	85	32	76
314	0,5	3	10	3	9	5	350	25	14
310	0,8	6	17	4	6	10	140	29	65
303	0,5	-	11	7	6	7	490	20	20
364	0,5	3	13	4	9	7	430	25	33
312	-	3	11	3	9	6	400	26	22
307	-	3	9	5	9	6	480	27	16
12	0,3	3	18	4	21	7	240	36	43
18	0,5	4	19	5	20	7	63	46	62
724	-	-	43	25	83	30	2600	120	110
320	-	-	43	14	66	23	1800	110	130
411	-	18	93	27	100	36	930	180	140

Таблица 18 (окончание)

№ образца	Sn	Pb	Zn	Cu	Ni	Co	Cr	V	B
Алевриты									
415	-	-	33	8	22	12	90	76	-
299	5	29	100	21	83	27	290	130	240
535	1	9	34	16	40	14	47	80	40
1351	2	12	41	27	65	20	76	120	58
728	10	25	130	35	210	80	300	320	140
721	2	11	25	16	40	11	44	71	33
739-а	2	8	34	21	80	30	60	85	36
718-а	2	14	54	23	98	29	88	120	58
735	2	8	32	13	53	16	60	81	65
719	1	7	21	10	43	14	59	81	76
723	1	9	18	8	32	12	39	66	27
716	2	13	31	17	73	20	80	110	120
723-а	-	-	68	17	110	44	240	130	220
323-б	-	-	91	22	110	47	200	210	81
Среднее в алевритах	1,25	7,07	37,93	13,39	51,21	19,71	355,0	86,32	70,54
Дисперсия	4,12	55,84	971,09	80,76	2208,67	276,58	9868,08	4576,74	3580,18
Среднее квадратичное отклонение	2,03	7,47	31,16	8,99	46,99	16,63	326,4	67,65	59,83
Коэффициент вариации	1,62	1,06	0,82	0,67	0,92	0,84	1,60	0,78	0,85
Глины									
327	0,3	4	20	5	5	7	100	32	38
-295	-	4	7	5	6	7	500	24	18
-323-в	0,5	18	68	30	110	42	260	220	200
324	-	14	68	20	20	89	30	780	160
423	1,0	25	160	96	230	83	360	300	170
339	0,5	4	9	3	11	5	54	25	13
713-а	2,0	17	55	26	120	32	85	130	62
Среднее в песках	0,76	12,29	55,28	26,43	81,57	29,43	305,57	124,43	94,43
Дисперсия	14,01	70,90	2834,55	1060,28	6820,90	772,95	70353,8	11457,9	6310,63
Среднее квадратичное отклонение	3,74	8,42	53,24	32,56	82,59	27,80	265,24	107,04	79,44
Коэффициент вариации	0,87	0,68	0,96	1,23	1,01	0,94	0,87	0,86	0,84

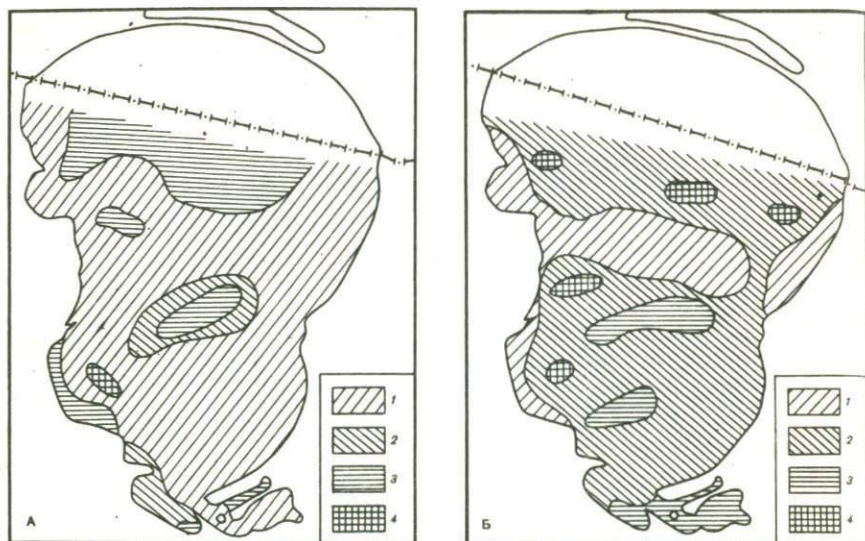


Рис. 17. Содержание олова, свинца и цинка в донных осадках оз. Ханка (г/т)

А - свинец: 1 -  $<5,0$ ; 2 -  $5,0-10$ ; 3 -  $10-20$ ; 4 -  $20$ ; Б - цинк: 1 -  $<10$ ; 2 -  $10-25$ ; 3 -  $25-50$ ; 4 -  $>50$

Распространение свинца при незначительных колебаниях величины среднего содержания в разных типах осадков довольно однообразно (рис. 17, А). В пределах большей части площади озера распространены отложения с низкой концентрацией свинца 1-4 г/т. Наиболее высокое содержание этого элемента отмечено в глинистых осадках, развитых вдоль западного берега озера (между устьями рек Комиссаровка и Мельгуновка) - 25-30 г/т и в центральной части северной котловины (около 15 г/т); такая же примерно концентрация свинца характерна и для песчано-глинистых алевритов центральной части озера в пределах Гайворонского вала.

**Цинк.** Коэффициент концентрации цинка в донных осадках озера очень низкий и составляет для песков 0,3, алевритов - 0,4, а для глин - 0,7.

Распределение цинка по площади развития осадков очень монотонное (см. рис. 17, Б). Не менее 80% территории занято отложениями с содержанием цинка от 10 до 25 г/т. Еще более низкая его концентрация характерна для большинства прибрежных осадков западной части озера и отдельных зон восточного побережья (северное устье р. Спасовки). Аналогичные, почти "стерильные" по отношению к цинку, пески развиты в центральной части озера в виде широкой полосы субширотного простираения, совпадающей с зонами мелководья и разделяющей озеро на две котловины.

Наиболее высокая концентрация цинка (60-75 г/т), не достигающая, однако, даже кларковых значений, связана с дельтовыми

песками рек Комиссаровки и Мельгуновки, развитыми вдоль западного берега озера в виде отдельных изолированных пятен.

*Медь.* Для всех типов донных осадков оз. Ханка характерна очень низкая концентрация меди (коэффициент концентрации в песках, алевритах и глинах соответственно равен 0,2, 0,3 и 0,3).

На большей части площади донные осадки содержат ничтожное количество меди (менее 10 г/т) (рис. 18, А). Наибольшее содержание меди (до 25–35 г/т) связано с глинами северной впадины озера и с песками, развитыми вдоль западного берега вблизи устьев рек Мельгуновки и Комиссаровки. Распределение повышенной концентрации меди может свидетельствовать о ее двойственной связи в осадках: с глинистыми породами преимущественно развиты адсорбционные связи, а в песках этот элемент, вероятнее всего, имеет тесные кристаллохимические связи с различными минералами и обломками пород.

*Никель.* Среднее содержание никеля в песках и алевритах ниже кларковых (коэффициент концентрации равен 0,5), а в глинах приближается к кларковым значениям. По разбросу содержание никеля в разных типах осадков обычно отличается не более чем на один порядок.

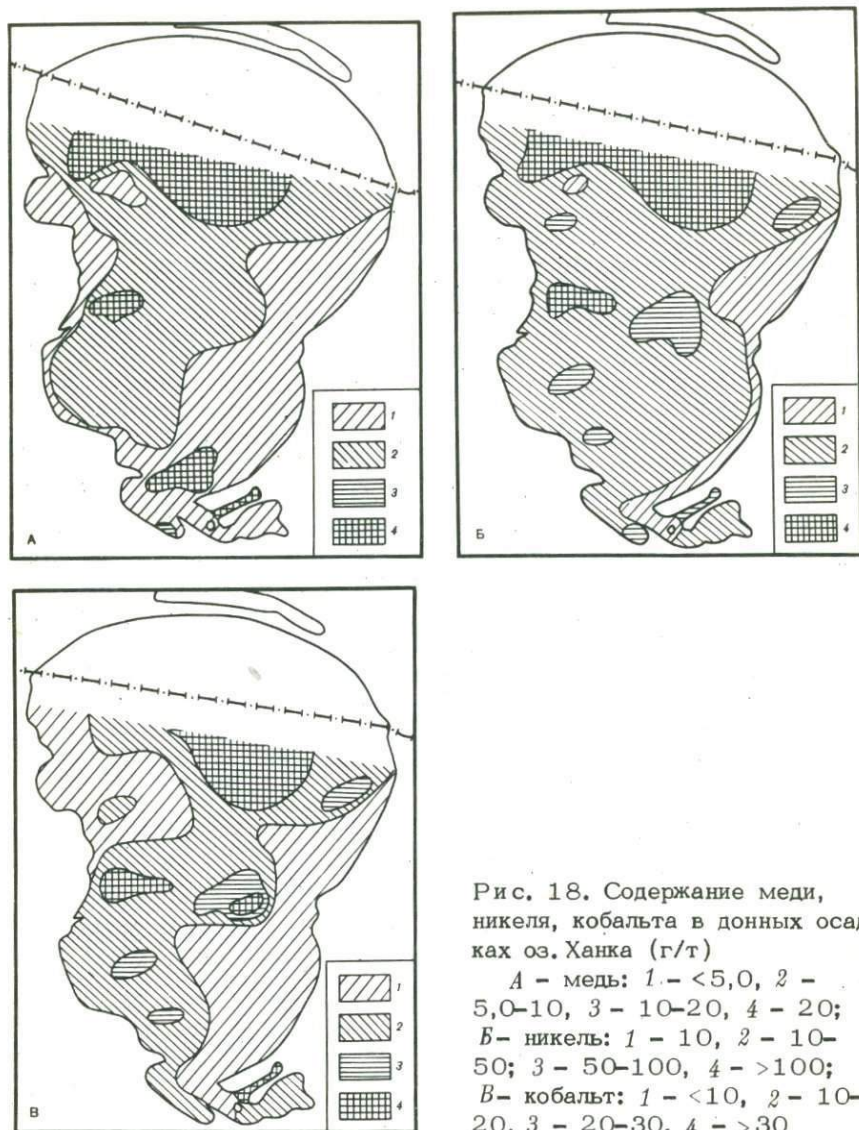
Минимальное значение концентраций никеля (менее 10 г/т) характерно для восточной вдольбереговой зоны осадконакопления (см. рис. 18, В). Большую часть площади озера занимают осадки с содержанием никеля 10–50 г/т. На фоне низких концентраций отмечается несколько участков повышенного содержания никеля, связанного либо с глинистыми, либо с песчаными осадками.

Самое большое поле высокой концентрации никеля (110–120 г/т) приурочено к центральной части северной котловины оз. Ханка, выполненной преимущественно глинами и в меньшей мере алевритистыми глинами. Вдоль западного берега озера на расстоянии 5–10 км отмечается несколько изолированных пятен повышенного содержания никеля, связанного преимущественно с песчаными образованиями дельтовых комплексов рек Мельгуновки и Комиссаровки.

Наиболее высокая концентрация никеля отмечается в песках восточнее р. Комиссаровки. Некоторый "отрыв" от берега полей развития песков с повышенным содержанием никеля объясняется их размывом вдольбереговыми течениями и обильным поступлением обломочного материала в озеро за счет процессов абразии.

*Кобальт.* Среднее содержание кобальта в алевритах близко к кларковым значениям; в песках коэффициент концентрации равен 0,7, а в глинах – 1,4. В песках кобальт распределен довольно монотонно – от 5 до 25 г/т; в алевритах и глинах колебания содержания кобальта более значительные – от 5–10 г/т до 80–90 г/т соответственно.

В распределении донных осадков по площади кобальт имеет много общих черт с никелем (см. рис. 18, В). Его минимальное со-



держание (менее 10 г/т) в осадках характерно для восточных и юго-восточных районов озера; такая же низкая концентрация этого элемента отмечается в северо-западной части акватории оз. Ханка. Эти две зоны разделены полем сложной конфигурации общего северо-восточного простирания, где среднее содержание кобальта составляет около 15 г/т.

Наиболее высокая концентрация кобальта (35-40 г/т) отмечается в центральной части северной котловины, где последний свя-

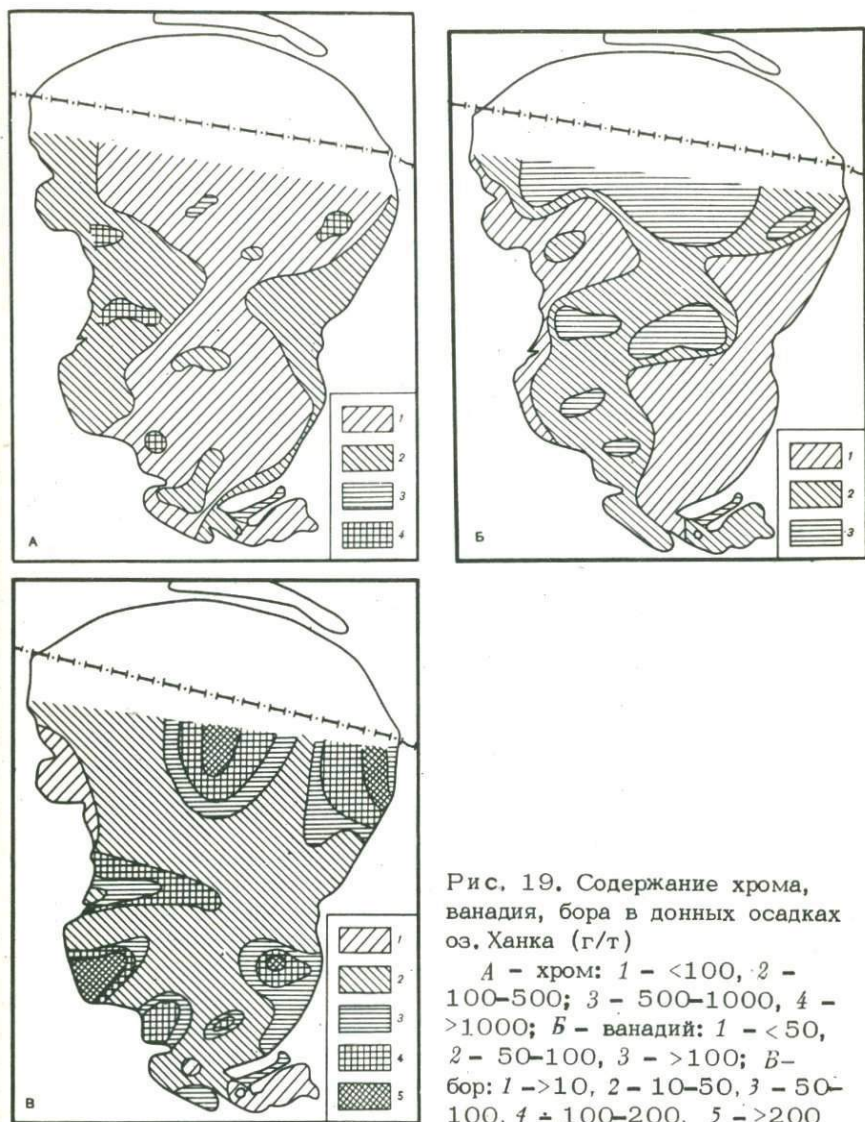


Рис. 19. Содержание хрома, ванадия, бора в донных осадках оз. Ханка (г/т)

А - хром: 1 - <100, 2 - 100-500; 3 - 500-1000, 4 - >1000; Б - ванадий: 1 - <50, 2 - 50-100, 3 - >100; В - бор: 1 - >10, 2 - 10-50, 3 - 50-100, 4 - 100-200, 5 - >200

зан с глинами, а также с песками западных берегов озера, что лишний раз подчеркивает общность геохимического распределения кобальта и никеля в осадкообразовательном процессе.

**Хром.** Из всей группы рассмотренных элементов хром - единственный элемент, концентрации которого в донных осадках оз. Ханка намного превышают кларковое значение для осадочных пород. Содержание хрома в осадках колеблется в широких пределах - от 0 до 2600 г/т. Несмотря на значительный разброс значений кон-



центрации, устанавливается довольно четкая закономерность распределения хрома по площади (рис. 19, А).

Центральные части озера заняты осадками, минимальная концентрация хрома в которых редко превышает 100 г/т. Более высокое содержание хрома характерно для прибрежных зон развития осадков. Широтная зона мелководья, разделяющая дно озера на две котловины и совпадающая с Гайворонским валом, довольно четко прослеживается на схеме распределения хрома в донных осадках оз. Ханка по повышенным концентрациям (до 450–500 г/т).

Характерная черта распределения по площади – это тесная связь хрома с песками подводных дельт рек Мельгуновки и Комиссаровки, где его концентрация достигает 2600 г/т. Некоторый отрыв полей развития максимальной концентрации хрома от западного берега озера можно объяснить переработкой песков прибрежных зон вдольбереговыми течениями.

*Ванадий.* Общее содержание ванадия в донных осадках оз. Ханка низкое, меньше кларкового значения для осадочных пород. Коэффициент концентрации ванадия в песках и алевритах равен соответственно 0,5 и 0,6, а в глинах – около 1,0.

В распределении ванадия по площади очень много сходных черт с никелем и особенно с кобальтом (рис. 19, В). Осадки, развитые в прибрежных зонах озера, содержат минимальное количество ванадия, а отложение центральной зоны субмеридионального простирания – несколько повышенное (до 95–100 г/т). Наибольшая концентрация ванадия, так же как никеля с кобальтом, связана с двумя комплексами пород – глинами центральной части северной котловины и песками в пределах подводных дельт рек Комиссаровки и Мельгуновки.

*Бор.* Коэффициенты концентрации бора для песков, алевритов и глин составляют 0,7, 0,85 и 0,95 соответственно. Распределение этого элемента в песках довольно однородное, а в алевритах (особенно в глинистых) и в глинах – весьма неравномерное.

Характер распределения бора в донных отложениях оз. Ханка очень сложный (рис. 19, В). На значительной части площади (около 50%) распространены осадки, содержащие 10–50 г/т бора. Еще более низкое содержание бора характерно для алеврито-песчаных отложений, развитых вдоль западного берега озера, севернее устья р. Комиссаровки.

Максимальная концентрация бора приурочена, как правило, к полям развития глин, причем наиболее тесная связь отмечается между бором и характером размещения гидрослюда в поверхностном слое осадков оз. Ханка (см. рис. 13, В). Так, поле максимальной концентрации бора (более 200 г/т) в центральной части северной котловины озера совпадает с площадью распространения глинистых осадков, где во фракции мельче 0,001 мм преобладает гидрослюда (до 60–80%). Такая же зависимость отмечается в алевритово-глинистых отложениях восточнее устья р. Спасовка. В северо-восточной части озера, вблизи истоков р. Сунгач, бор тесно

коррелирует с обломочной гидрослюдой, содержание которой в алевритовых глинах достигает 40%. Очень своеобразно распределен бор в осадках, развитых в приустьевых частях рек, впадающих в озеро с запада. Так, например, пески центральной части подводной дельты р. Комиссаровки, содержащие не более 80 г/т бора, окаймляются широкой полосой глинистых отложений, где концентрация этого элемента повсеместно достигает 200 г/т. Таким образом, анализ распределения бора в донных осадках оз. Ханка свидетельствует о его взаимосвязи с глинистыми образованиями, преимущественно с гидрослюдой, что согласуется с выводами Г. Хардера о тесной кристаллохимической и сорбционной связи бора с иллитами (Хардер, 1965).

## НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ СОВРЕМЕННОГО ОЗЕРНОГО СЕДИМЕНТОГЕНЕЗА В ГУМИДНОЙ ЗОНЕ

### ФАЦИАЛЬНЫЙ СОСТАВ ОЗЕРНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ

Изучение литологии и геохимии современных озерных отложений Ханкайской котловины дает сравнительный материал для расшифровки генезиса предполагаемых древних озерных осадков. Одна из крупных спорных проблем четвертичной геологии Восточной Азии — существование эпох мощного озерного обводнения. Для регионов с аридным и семиаридным климатом, в пределах которых развиты бессточные водосборные бассейны (Центральная и Средняя Азия, юг Восточной Сибири), существуют веские доказательства периодического возникновения на разных этапах позднего кайнозоя крупных озерных водоемов и последующего их сокращения или полного исчезновения (Мурзаев, 1956; Наливкин, 1956; Шнитников, 1957; Равский и др., 1964; Равский, 1972; Мартинсон, 1974). В районах с гумидным климатом и хорошо развитыми сточными речными системами, куда относятся и приокеанические области Восточной Азии, гипотеза образования озерных водоемов, по площади сравнимых и даже превосходящих озера аридных и семиаридных областей (Линдберг, 1965; Сохин, 1972; Венус, 1974), требует весьма серьезных доказательств.

Глубоко прав Г.Г. Мартинсон (1974) в своем утверждении о невозможности воссоздания облика древних, уже исчезнувших водоемов без точного знания специфики современного озерного седиментогенеза. В этом отношении сравнительно-литологический анализ современных и предполагаемых древних озерных отложений юга Дальнего Востока СССР, с учетом возможных изменений озерного седиментогенеза во времени, позволяет более критически подойти к оценке существующих гипотез. Однако до сих пор нет данных о сравнительно-литологическом сопоставлении древней проблематичной толщи и современных озерных отложений Уссури-Ханкайской депрессии из-за плохой фациальной изученности последних.

Далее приводится анализ фаций, вещественного состава и некоторых геохимических особенностей современных отложений оз. Ханка, взятых за основу для сравнительно-литологического изучения разновозрастных осадков.

Изучение современных отложений оз. Ханка позволяет выделить в их составе пляжевую, литоральную и собственно донную фации, а также переходные образования, накапливающиеся в приустьевых лагунах (аллювиально-лагунные) и на поверхности низкой озерной

террасы, периодически подтапливаемой при сезонных и многолетних колебаниях (озерно-болотные)<sup>1</sup>.

*Пляжевая фация* соответствует зоне интенсивной волновой переработки обломочного материала. В зависимости от режима питания наносами волноприбойной зоны выделяются пляжи полного профиля (на участках активного поступления обломочного материала) и приосленные (возникающие в зоне дефицита наносов).

Пляжи полного профиля обычно сложены хорошо сортированными ( $S_0 = 1,2 - 1,5$ ) средне- и мелкозернистыми песками ( $Md 0,1 - 0,3$ ). На участках активной абразии грубообломочных отложений плицена формируется толща пляжевых среднезернистых песков и галечников. В зоне активной волновой аккумуляции (восточное побережье оз. Ханка) пляжи полного профиля состоят из серии вдольбереговых валов, сложенных песками, и понижений, занятых низинными болотами, в которых в зависимости от режима питания обломочным материалом и фитогенного накопления возникают гумусированные пески, торфянистые алевриты и глины.

Осадки пляжей полного профиля в легкой фракции представлены кварцем и полевыми шпатами (иногда с полным преобладанием кварца). В тяжелой фракции по сравнению с другими фациями озерных отложений увеличивается относительная роль устойчивых минералов (особенно ильменита, циркона, лейкоксена и сфена). Содержание тяжелой фракции колеблется от 0,4 до 4,8%. Неравномерное распределение тяжелой фракции в разрезе пляжевых осадков отмечается в зонах естественного шлихования в основном за счет обогащения. На участках активной аккумуляции пляжевые отложения имеют хорошо выраженную слоистость разного типа — от горизонтальной и горизонтально-волнистой до косой. Мощность отдельных слоев, вероятно, отвечающая определенному гидродинамическому состоянию прибрежной зоны и скорости поступления обломочного материала, изменяется от 2–3 до 10–30 см. Намечается прямая корреляция между  $Md$  осадков и мощностью отдельных слоев, которая определяется величиной слоя волновой переработки и зависит от интенсивности волноприбойного потока. Внутри крупных слоев наблюдается более мелкая слоистость с мощностью отдельных прослоек от 0,2 до 1,5 см. Контакты между отдельными прослойками подчеркиваются мелким растительным детритом. В осадках пляжей оз. Ханка часто отмечаются тонкие прослойки алевритового материала светло-желтого цвета. Их мощность колеблется от 0,5 до 10–12 см. Накапливаются они в понижениях между штормовыми валами, которые заливаются озерными водами во время сильных нагонов, а в устьях рек — при прохождении паводков. Обычно алевриты при сравнении с песчаными осадками пляжей отличаются тонкой горизонтальной слоистостью.

<sup>1</sup> Аллювиально-лагунные и озерно-болотные фации здесь не рассматриваются из-за слабой литологической и геохимической изученности.

Пляжи неполного профиля в береговой зоне оз. Ханка наблюдаются в его западной части в местах развития абразионно-денудационного рельефа. Такие пляжи формируются за счет абразии сапролитизированных коренных пород и рыхлых плиоценовых и четвертичных отложений. Быстрая смена вещественного состава продуктов абразии, по простиранию берега и определяет мозаичность распределения осадков разных литологических типов, которые рассматривались нами ранее. Отметим лишь большое влияние на их структуру поступающего со склонов осыпного, пролювиального и оползневого материала. В результате действия процессов комплексной денудации возникает довольно сложно построенный разрез как по простиранию берега, так и по латерали. По сравнению с пляжами полного профиля здесь отмечается увеличение мощности слоев озерных осадков (до 0,5 м), невыдержанность их по простиранию, замещение по латерали ближе к абразионному уступу щебнисто-глинистым пролювием. Более активная аккумуляция разнородного по структуре обломочного материала предопределяет в целом умеренную и слабую сортировку пляжевых накоплений ( $S_0 = 2,0-4,0$ ).

Вещественный состав пляжей неполного профиля по соотношению различных минералов легкой и тяжелой фракций хорошо коррелируется с породами, подвергающимися абразии. Эти осадки отличаются присутствием в легкой фракции довольно значительного количества выветрелых глинисто-слюдистых минералов (на участках размыва покровных глин и суглинков) и высоким процентом устойчивых минералов (особенно в зоне абразии плиоценовых песков и галечников). Например, общее количество таких минералов, как циркон, ильменит, андалузит, в пляжевых осадках Астраханского залива (пос. Камень-Рыболов) составило около 90% от всей суммы тяжелой фракции, не считая аутигенных минералов. Вторая характерная особенность состава тяжелой фракции — обилие обломочных аутигенных минералов, представленных гидроокислами железа (60%) и окислами марганца (3,5%)<sup>1</sup>.

В местах размыва сапролитизированных гранитов формируются аркозовые пески с высоким содержанием полевых шпатов, кварца и глинисто-слюдистых обломков.

На участках развития пляжевой фации озерных отложений отчетливо выделяются три зоны осадков, соответствующих по структуре волнению разной силы: зоны минимального, среднего и максимального заплесков.

Зона минимального заплеска отличается наиболее резкой изменчивостью гидродинамических процессов во времени и длительным воздействием волнения, которые и определяют активную дифференциацию вещественного состава и селекцию обломочного материала. В плане эта зона имеет фестончатое строение, возникающее

<sup>1</sup>Расчет аутигенных минералов делается от общего веса всей тяжелой фракции осадка.

за счет чередования участков размыва и аккумуляции. Размеры фестонов в зависимости от интенсивности волнения и угла подхода волны изменяются от 4 до 12 м. В пределах фестона размыв наблюдается в его верхней, а аккумуляция — в нижней части (по направлению движения волны). Скорость смещения обломочного материала от верхней к нижней части фестонов и определяет активность вдольберегового потока наносов (при слабых и умеренных волнениях). Длительное волновое воздействие и наибольшая активность волноприбойного потока способствуют тому, что эта зона сложена хорошо сортированными, наиболее грубообломочными для пляжа осадками (от грубозернистых аркозовых песков в зоне абразии сапролитизированных гранитов до галечно-мелковалунного материала на участках размыва плиоценовых отложений). Ширина полосы грубозернистого песка в зависимости от крутизны подводного берегового склона колеблется от 2–3 до 4–6 м. В зоне малого заплеска наблюдаются участки естественного шлихования, совпадающие обычно с местами размыва пляжа. При смещении аккумулятивных выступов возникающий в зоне размыва продуктивный горизонт погребается разубоженными осадками. Этот процесс повторяется неоднократно, поэтому в зоне малого заплеска образуется слоистая толща, обогащенная тяжелой фракцией (до 16%).

Зона среднего заплеска отвечает умеренному волновому воздействию, с которым связано возникновение невысоких штормовых валов, сложенных хорошо сортированным песком с редкой примесью гравийного и мелкогалечного материала. Для этой зоны характерно пятнисто-локальное распределение тяжелой фракции (в основном на вершинах штормовых валов). На тыльной стороне штормового вала аккумулируются алевриты и растительный детрит. В осадках отмечается диагонально-перекрестная слоистость, которая подчеркивается чередованием в разрезе обломочного материала разной крупности.

Зона максимального заплеска подвергается волновому воздействию лишь во время сильных штормов. Сложена она обычно разнозернистыми песками с постоянной примесью галечного материала, рассеянного в общей массе. Отдельные обломки по длинной оси обычно ориентированы параллельно направлению берегового вала и слабо наклонены в сторону уреза воды. Как правило, обломки скапливаются на фронтальной стороне штормового вала. Формирование осадков зоны максимального заплеска связано с активной подачей обломочного материала от уреза воды к верхней части пляжа. Этим определяется относительно малое содержание тяжелой фракции в осадках, особенно на участках аккумуляции. Однако правило нарушается, если во время сильных штормов разрушаются более древние аккумулятивные формы и коренные породы, которые и приводят к сильноному насыщению осадков тяжелой фракцией.

Следует отметить, что подобная зональность с различной крупностью наносов и их насыщенностью тяжелой фракцией более четка на прислоненных пляжах. На пляжах полного профиля эти зоны вы-

деляются не столь отчетливо из-за значительной однородности осадков, особенно на участках развития протяженных вдольбереговых потоков наносов

*Литоральная фация* по условиям седиментации соответствует зоне прибрежного мелководья; периодически осушающегося при сезонных и многолетних колебаниях уровня озера. На оз. Ханка с учетом амплитуды вековых колебаний озера к литоральной фации отнесены осадки на глубинах до 1,5–2,0 м. Особенность волнового режима оз. Ханка способствует активной переработке обломочного материала и на больших глубинах. Однако в эту фазию включаются лишь те осадки, которые перемещаются по дну озера во влекомом состоянии и участвуют в продольном и поперечном движении наносов. На больших глубинах основную седиментационную роль несут осадки, выпадающие из взвесей. В таком плане осадки литоральной фракции рассматриваются как аналог подводно-склоновых отложений (Короткий и др., 1975).

Осадки литоральной фации по структуре различны в пределах зон с активным поступлением обломочного материала и на участке его дефицита.

В зонах активной прибрежной седиментации (восточное побережье озера) переход от пляжа к более глубоководным частям озера постепенный, с хорошо выраженными подводными валами, которые фиксируют трассы перемещения обломочного материала. Отмечается неодинаковая высота подводных валов, обычно сложенных хорошо сортированным олигомиктовым песком ( $Md = 0,1-0,2$ ;  $S_0 = 1,2-1,5$ ) кварц-полевошпатового состава, иногда с преобладанием кварца (до 80%). В ряде случаев глубина на участке наиболее удаленного от берега вала (до 0,3–0,5 км) оказывалась меньшей, чем у берега (не более 0,5–0,8 м), и довольно заметно увеличивалась в направлении современного пляжа. На таких участках литорали наблюдалась обратная зональность в распределении осадков. Непосредственно вблизи берега отмечались тонкозернистые илстые пески и алевриты (с малым содержанием тяжелой фракции – менее 1%), образование которых шло в восстановительной среде ( $pH = 5-6$ ) с накоплением органического вещества ( $C_{org} = 4,5-5,0\%$ ). С удалением от берега отмечалось увеличение крупных частиц, исчезновение пелитовой фракции, увеличение количества тяжелых минералов. На поверхности валов в тихую погоду просматриваются знаки волновой ряби. Подобная зональность осадков соответствует современной гидродинамической ситуации на тех участках побережья, где потоки наносов обгибают крупные массивы плавающей растительности, которая при более низком, чем современный, уровне озера может занимать всю зону литорали. Подъем воды на 1,0–1,5 м, что вполне соответствует вековым колебаниям уровня озера (Нехайчик, 1966), приведет к отмиранию водной растительности (Россолимо, 1953) и накоплению вблизи берега органогенных илстых песков и алевритов. Аналогичная ситуация наблюдается в зоне литорали вблизи устья р. Мельгуновки. Здесь всю прибрежную часть

литорали (до глубины в 0,6–1,5 м) занимает мощная плавневая растительность, где накапливаются илистые пески и алевриты. Поток наносов, питаемый в основном песком, обгибает участки прибрежных плавней. В зоне его действия образуется полоса мелководья с серией подводных песчаных валов.

На участках, где водной растительности нет (побережье к югу от устья р.Спасовки), наблюдается литораль с подводными валами, высота которых уменьшается по направлению от берега к центру озера. В этом же направлении отмечается изменение крупности осадков – от мелких и средних песков до алевритов и тонких песков. Соответственно на внешнем крае литорали прослеживается появление пелитов, увеличение которых наряду с алевритами и фиксирует переход к чисто донным отложениям, формирующимся за счет выпадения обломочного материала из взвесей.

Внешний контур литорали в современных устьях и на участках древних дельт смещается по направлению к центральной части озера иногда на расстояние 0,8–1,5 км.

Осадки литорали, как и пляжевой фации, отличаются повышенным содержанием в тяжелой фракции циркона (6–8%), лейкоксена (до 3%), сфена (до 2%) и особенно ильменита (6–40%). Доля тяжелой фракции в отложениях литорали колеблется от 1 до 4%, заметно увеличиваясь на участках размыва древних аллювиальных дельт.

Иной тип литоральных осадков отмечается в зоне дефицита наносов на западном побережье озера. Здесь наблюдается быстрое увеличение глубин и соответственно зона литорали значительно сужена. Развитие процессов абразии, определяет, во-первых, возникновение абразионной платформы и, во-вторых, резкое сужение пляжа, иногда до полного его исчезновения. Отсутствие протяженных потоков наносов приводит к образованию в зоне литорали довольно пестрой по гранулометрическому и вещественному составу толщи осадков с быстрым изменением их структуры как по простиранию берега, так и по латерали. Так, например, в Астраханском заливе литоральная фация на участке размыва плиоценовых отложений представлена в основном мелкозернистыми умеренно-глинистыми песками с примесью хорошо окатанного гравия и галек. В месте разрушения сапролитизированных гранитов накапливаются аркозовые глинистые пески с постоянной примесью обломков полевых шпатов и кварца. Наконец, в зоне абразии четвертичных глин маломощная пачка осадков представлена сильно глинистыми песками, обильно насыщенными обломочными агрегатами гидроокислов железа и марганца. В этих отложениях отмечено присутствие глинистых окатышей. На участке абразионной платформы у м.Камень (с. Астраханка) в зоне литорали отмечалась "отмостка" из обломков коренных пород.

Вещественный состав тяжелой фракции литоральной фации на этих участках побережья в общих чертах соответствует минералогии подстилающих пород. Некоторое его усложнение отмечается за счет существующих локальных потоков наносов и выпадения в осадок крупных взвесей.



На участках литорали, где в прибрежную зону в достаточном количестве поступает влекомый аллювий, образуются формы подводного рельефа, связанные с поперечной подачей обломочного материала к берегу – серповидные песчаные бары, периодически переходящие в надводное положение (вблизи берега), а на удалении они образуют серию подводных песчаных валов с уменьшающейся кривизной, которые постепенно становятся параллельными современному берегу. На внешнем крае литорали отмечается резкое увеличение алевритовой и глинистой фракции, что связано с накоплением взвешенного материала за пределами зоны волнового воздействия.

Для участков поперечного перемещения обломочного материала характерна высокая степень сортировки осадков ( $S_0 = 1,2 - 1,5$ ) с постепенным уменьшением размерности по литорали от берега. Вещественный состав осадков литорали на таких участках довольно точно соответствует минералогии выносимого реками аллювия (р. Комиссаровка).

Колебание уровня озера – это одна из причин возникновения на литорали толщи осадков, с характерным переслаиванием отложений неодинаковой крупности, разной степени ожелезнения и насыщенности органикой.

В осадках литорали, формирующихся на участках интенсивной подачи обломочного материала, отмечается переслаивание хорошо отсортированных мелко- и тонкозернистых песков и алевритов с прослойками алевритов и глинистых песков, насыщенных органикой. Вероятно, что такое чередование слоев отражает миграцию подводных песчаных валов по поверхности литорали. Сильному снижению уровня озера отвечает появление в разрезе крупнослоистых среднезернистых песков, отличающихся от ранее описанных перекрестной слоистостью.

Литоральная фация на участках активной абразии береговой полосы представлена слоистыми умеренно- и слабосортированными осадками – от грубозернистых аркозовых песков с гравием и плоскокатанной галькой до песчаных глин. Мощность отдельных слоев от 2 до 6 см. Отмечается изменение окраски породы (во влажном состоянии) от красно-бурых и желто-бурых тонов сильно ожелезненных глинистых песков и до синеваато-серых и темно-серых алевритов и глин. Помимо этого, отмечается почти повсеместное ожелезнение поверхностного слоя осадка (мощностью 2–3 см), что, вероятно, объясняется бурным гидродинамическим режимом озера и повышенным содержанием кислорода в воде (по данным Астраханской озерной станции до 115%).

Своеобразные песчаные осадки с многочисленным щебнем коренных пород и галькой формируются в литоральной зоне полузакрытых заливов (Лузанов, Платоновский заливы). Появление грубообломочного материала, как местного, так и поступившего издалека<sup>1</sup>,

<sup>1</sup> В глинистой брекчии зал. Лузановой сопки встречены хорошо окатанные гальки кремнисто-кварцевых пород, сходных с обломочным материалом из разрезов плиоцена (Астраханский залив).

связано, скорее всего, с ледовым разномом. В весеннее время при сильных северных ветрах лед заполняет полузакрытые акватории, где и остается до полного таяния.

В разрезах приустьевых серповидных баров вскрываются толщи песков и алевроитов с прекрасно выраженной перекрестной и горизонтально-волнистой слоистостью, возникающей за счет деятельности волнений разных направлений. Чередование знаков ряби разной ориентации характерно для подобных участков литорали, что и наблюдалось нами в устье рек Комиссаровки и Мельгуновки.

*Собственно озерные отложения* выделяются на участках озера с глубинами более 2 м, где ход седиментации определяется в основном выпадением осадков из взвесей. Для этих осадков намечается тесная связь их размера и степени сортировки ( $S_0$ ) с глубинами водоема (см. рис. 8). Эта связь менее очевидна в пределах дна озера с глубинами от 2 до 4 м, где литологический и вещественный состав донных осадков отличается неоднородностью, особенно в западной части озера и на участке Центрально-Ханкайского мелководья, что рассматривалось нами ранее. Отметим лишь тот факт, что переход от литоральной фации к мелководно-озерным отложениям довольно постепенный. В то же время граница между осадками наиболее глубоких частей озера (свыше 4 м – северная и южная котловины) и более мелководными весьма четка. Особенно хорошо она фиксируется по содержанию в отложениях тонких пелитов (менее 0,001 мм) и таких тяжелых минералов, как сфен, циркон, эпидот. Осадки наиболее глубоких частей озера не содержат таких широко распространенных (в озерных отложениях) минералов тяжелой фракции, как амфиболы, пироксены и эпидот. Снижается здесь и общее содержание тяжелой фракции.

Малые скорости осадконакопления в оз. Ханка определяют "просвечивание" более древних пород на участках аллювиальных дельт (реки Комиссаровка, Мельгуновка и Спасовка). Особенно сильное влияние подстилающих пород на структуру осадков в пределах Центрально-Ханкайского мелководья проявляется в общем огрублении отложений, их умеренной и плохой сортировке, увеличении роли автохтонных минералов в составе тяжелой фракции.

Донные отложения оз. Ханка характеризуются правильной горизонтальной слоистостью за счет чередования в разрезах песков, алевроитов и глин, причем количество и мощность песчаных прослоев явно сокращается по направлению к центральной части озера. Так если на площади мелководно-озерных отложений мощность слоев мелкозернистого песка составляет 5–10 см, то в северной котловине озера (на глубинах свыше 5 м) преобладают в разрезе алевроиты и глины с мощностью слоев от 2 до 16 см. Характерной особенностью донных осадков является тонкая горизонтальная слоистость (с мощностью слоев от 0,1 см до 0,6 см), которая подчеркивается в основном различным цветом. Чаще всего наблюдается чередование желтовато-серых (в кровле колонки), зеленовато-серых, синевато-светло-серых и синевато-темно-серых тонов. Во всех изв-

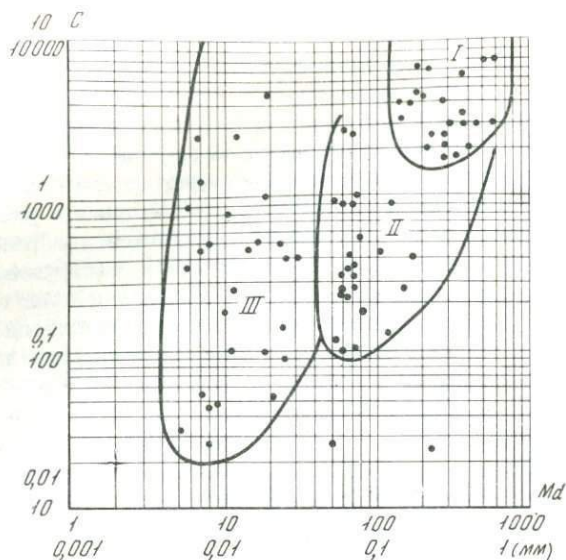


Рис. 20. График зависимости  $C - Md$  (диаграмма Р.Пассега) для донных отложений оз. Ханка

*I* – песчаные осадки пляжевой, литоральной фаций и прибрежных мелководий на участках абразии; *II* – песчанистые глины и алевроиты зоны периодического взмучивания наносов; *III* – тонкие алевроиты и глины зоны спокойной седиментации

леченных колонках, в том числе и из наиболее глубоководной части озера в их верхней части отмечается слой желто-бурого цвета со следами ожелезнения мощностью от 2 до 4 см. Вероятно, он является зоной поверхностного окисления. Не противоречит такому предположению и увеличение в кровле разреза содержания трехвалентного железа (от 0,5 до 4,0%).

Выделенные фациальные комплексы озерных отложений обладают достаточно однородными количественными характеристиками, что и отражено на генетической диаграмме Р.Пассега (Passega, 1957). На этой диаграмме вынесены  $Md$  и  $C$  (1% содержания самой крупной фракции) для 84 гранулометрических анализов поверхностных проб донных осадков (рис. 20).

Как следует из работы Р.Пассега, зависимость между  $Md$  и  $C$  отражает связь между структурой осадка и гидродинамикой седиментационной среды. На генетической диаграмме озерных отложений выделено несколько фациальных полей (моделей).

1. Первое поле соответствует песчаным осадкам ( $C > 1000$ ,  $Md > 0,1$ ) пляжевой и литоральной фаций, а также мелководно-озерным отложениям, возникшим в зоне разрушения древнеаллювиальных дельт и сапролитизированных гранитов. В целом первое поле представляет довольно плотное скопление точек и фиксирует зависимость размерности частиц от гидродинамической обстановки. Непосредст-

венно верх поля образует пляжевые осадки, возникшие на участках абразии выветрелых пород; ниже располагаются точки, соответствующие пляжевым и литоральным осадкам в зонах активной седиментации.

2. Второе соответствует песчанистым глинам и алевритам, которые накапливаются в следующих гидродинамических ситуациях:

а) глины в краевых частях зон аккумуляции аркозовых глинистых песков центральной части озера (вокруг предполагаемых участков абразии коренных пород);

б) алевриты северо-восточной части озера на участке замыкания вдольбереговых потоков наносов и активного удаления глинистого вещества со стоком р.Сунгач;

в) глины и алевриты, накопившиеся в Астраханском и Лузановом заливах в местах абразии красноцветных глин и бурых суглинков;

г) тонкозернистые пески и алевриты, отложившиеся в полузамкнутых заливах, лагунах и на участках развития плавневой растительности.

Это поле, таким образом, охватывает осадки, седиментация которых связана с периодическим взмучиванием донных наносов и удалением пелитовой составляющей.

3. Третье поле включает в себя точки, которые по  $Md$  - размеру соответствуют тонким алевритам и глинам без примеси песчаного материала ( $C = 25 - 100$ ;  $Md = 0,07 - 0,006$ ). Накопление таких осадков идет в спокойной седиментационной обстановке:

а) в наиболее глубоких частях озера (северная и южная котловины);

б) в прибрежной зоне на участках с глубинами 4-5 м и находящимися в ветровой тени;

в) на участках прибрежного мелководья (до 3-4 м), где идет быстрая седиментация за счет выпадения в осадок алевритов и глин, выносимых реками (трассы сброса паводковых вод);

г) в переходной зоне от литорали к глубоководной части озера в местах, где развиты потоки влекомых и взвешенных наносов (восточная часть озера с глубинами от 2 до 4 м);

д) в прибрежных лагунах, не получающих активного аллювиального питания, где накопление осадков идет в основном за счет озерных взвесей.

Сильная растянутость этого поля по вертикали отражает изменение условий накопления довольно однородных по структуре осадков в различных гидродинамических обстановках.

Изменение величины по вертикали и в других моделях (см. рис. 20) отражает появление в однородных осадках в основном песчаного материала. Например, для третьего поля этот показатель меняется в пределах от 25 в зоне наиболее спокойной седиментации до 5000 в местах поступления в озеро грубозернистого материала. Постоянное присутствие песка в современных осадках

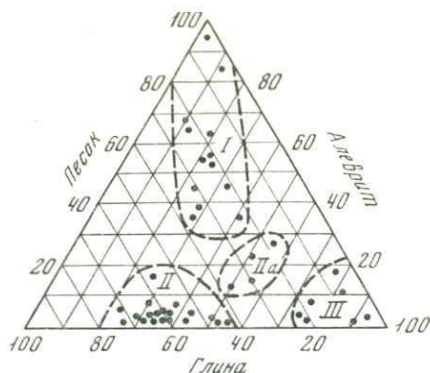


Рис. 21. Генетическая диаграмма Ф.Шепарда донных отложений оз. Ханка

I — осадки зоны высокой гидродинамической активности; Ia — осадки пляжей; II — IIa — осадки зоны периодического взмучивания донных наносов; III — осадки зоны спокойной седиментации

оз. Ханка делает зависимость C—Md менее четкой по сравнению с более глубокими, менее динамичными водоемами (Passega, 1957).

Выделенные на диаграмме C—Md (см. рис. 20) поля 1, 2, 3 соответствуют определенным литолого-фациальным комплексам осадков. Обработка результатов гранулометрического анализа на классификационном треугольнике Шепарда (Shepard, 1954) дала результаты, сходные с C—Md-диаграммой (рис. 21). На этой диаграмме по соотношению песчаной, алевритовой и пелитовой фракции четко выделились следующие зоны (поля).

Первая зона отвечает осадкам, сформировавшимся в условиях высокой гидродинамической активности (песчаные и алеврито-песчаные отложения пляжевой и литоральной фаций). Растянутость зоны от центра треугольника (песчаные алевриты и тонкозернистые пески) к его вершине (пески) отвечает затуханию гидродинамической активности от пляжа к внешней зоне литорали.

Вторая зона включает в себя точки с осадками (алеваиты), которые накопились в условиях достаточно высокой гидродинамической активности, но на значительном расстоянии от источников поступления кластогенного материала в озеро (переходная полоса дна от литорали к наиболее глубоководным частям озера).

Третья зона соответствует глинисто-алеваитовым осадкам, накопившимся на участках озера с глубинами свыше 4 м и в приустьевых лагунах (III—а) — в зонах спокойной седиментации.

Такая высокая корреляция полей на C—Md-диаграмме и классификационном треугольнике Шепарда (см. рис. 20, 21) подтверждает генетическую однородность выделенных литологических комплексов.

Эти литофациальные комплексы в пределах акватории оз. Ханка обладают рядом общих признаков, характерных для озерных отложений гумидной зоны.

1. Близкое к концентрическому расположение полей осадков разной крупности обусловлено, во-первых, формой водоема, во-вторых, убыванием гидродинамической активности от береговой линии к наиболее глубоким частям озера. С этим процессом связано уменьшение крупности обломочного материала по латерали от пляжа к центру озера.

2. Отмечается сильное осреднение гранулометрического и вещественного состава озерных осадков по сравнению с исходным материалом, поступающим в озеро (аллювий, продукты абразии и т.д.). Идеальная и хорошая сортировка ( $S_0 = 1,15-2,0$ ) обломочного материала, наблюдаемая в зонах свободного перемещения влекомых и взвешенных наносов, отвечает высокой гидродинамической активности озера, которая обеспечивает возникновение четко выраженных максимумов песчаного материала в дистальной и алевритопелитов и пелитов – в проксимальной зонах седиментации.

3. В соответствии с зонами гидродинамической активности озерного водоема находится и распределение минералов тяжелой фракции в разных литолого-фациальных комплексах осадков. В первом приближении оно отвечает кольцевой зональности терригенных минералов в конечных водоемах стока (Страхов, 1962). В соответствии с различной гидравлической подвижностью в центре оз. Ханка наблюдается реальный минимум наиболее устойчивых минералов, имеющих значительный удельный вес (магнетит, циркон, ильменит, лейкоксен). Их накопление идет в основном в прибрежной зоне озера. Этой закономерности соответствует ширина зон обогащения отдельных минералов (табл. 19). Такое распределение зон обогащения минералов с разным удельным весом и довольно строгое их соответствие литолого-фациальным комплексам осадков характерно для восточной части оз. Ханка. Иная картина наблюдается в его западной части, где на формирующийся комплекс озерных осадков сильнейшее влияние оказывают подстилающие породы, в разной мере абрадируемые озером. "Просвечивание" тяжелых минералов из подстилающих пород, таких, как сфен, гранат, эпидот, объясняет значительную ширину зоны их обогащения в пределах Центрально-Ханкайского мелководья, которую можно рассматривать как пассивный максимум, не связанный с гидравлической подвижностью этих минералов.

4. Наиболее характерным признаком отложений оз. Ханка по сравнению с другими комплексами континентальных отложений депрессии является хорошо выраженная слоистость с мощностью слоев от долей миллиметра и до нескольких сантиметров. По данным Ю.А. Жемчужникова (1963), периодичность слоев в озерных отложениях связана с сезонностью осадконакопления, по-разному проявляющейся в зависимости от климатической и географической обстановок. Изучение тонкой горизонтальной и более крупной слоистости донных отложений оз. Ханка показало отсутствие правильной ритмичности, характерной для крупных глубоководных озер гумидной зоны (ленточная слоистость, по данным Л.Н. Ботвинкиной, 1962).

Таблица 19

Соотношение удельного веса минералов с шириной зоны обогащения в современных осадках оз. Ханка

Минерал	Удельный вес	Ширина зоны обогащения, км	Предельное содержание в осадках, %	Среднее содержание в осадках, %
Магнетит	4,9-5,3	0,2-1,0	0,0-10	0,01
Лейкоксен	4,0-4,9	0,5-2,0	0,0-3,2	0,60
Ильменит	4,4-4,8	0,5-2,0	0,01-40	6,45
Циркон	4,1-4,3	0,5-1,5	0,9-8,8	2,06
Сфен	3,3-3,55	3-4	0,2-7,3	0,95
Гранат	3,4-4,3	1,5-2,0	0,1-15	2,1
Эпидот	3,25-3,5	26-30	1,5-35	9,95
Минералы амфиболо-пироксеновой группы	3,9-3,4	26-30	3,0-75,9	37,2

Примечание. Таблица составлена для участков дна озера, где формируются аллохтонные комплексы осадков, т.е. в зонах с активными потоками влекомых и взвешенных наносов на удалении от источников поступления кластогенного материала.

В качестве особенности, типичной для ханкайских донных осадков, следует отметить увеличение количества песчаных частиц в алевритах и глинах или появление прослоев песка даже в зонах спокойной седиментации (на глубинах свыше 4 м). Такое сочетание в разрезе пелитов, алевритов и песков, вероятно, связано с бурным гидродинамическим режимом и со значительными сезонными и многолетними колебаниями уровня озера. Появление прослоев песка может отвечать сильному понижению уровня озера (до 1,5-2,0 м по данным М.Г. Васьюковского, 1968, и В.А. Скорнякова, 1969), которое способствует усилению волнового воздействия на его дно и широкой миграции грубых взвесей. Кроме того, под действием волн взмучиваются осадки на обмелевших участках озера, удаляются пелиты, частично алевриты и благодаря этому происходит обогащение поверхностного слоя песчаными частицами.

Вторая причина - усиленное поступление грубых взвесей при катастрофических паводках в бассейне оз. Ханка, когда средняя насыщенность воды кластогенным материалом достигает  $112 \text{ г/м}^3$ , а разовые замеры дают около  $1500-2200 \text{ г/м}^3$  (Основные гидрологические характеристики..., 1966). При таком насыщении грубыми взвесями потоки наносов пересекают зону литорали и дости-

гают глубин в 3–4 м, где в осадок выпадает в основном песчаная фракция, а алевриты и пелиты удаляются в центральную часть озера. Лишь в северной котловине оз. Ханка на глубинах свыше 6 м возможно формирование ритмичной слоистости, в которой зимнему периоду будут отвечать тонкодисперсные глины (менее 0,001 мм), а летне-осеннему – алевриты и грубодисперсные глины. Подобное тонкое переслаивание разноокрашенных (светло-серых и темно-серых) глин отмечено на профиле устья р. Камышовка – м. Белоглиняный.

Таким образом, образование тонкой и мелкой слоистости в донных осадках оз. Ханка связано как с неперiodическими процессами (различная интенсивность волнения, поступление грубых аллювиальных взвесей в пабодок), так и с сезонными процессами (выпадение в осадок тонкодисперсных глин зимой). Образование средних по мощности слоев (до 15–20 см), сложенных разным по крупности материалом, вероятно, обусловлено изменением режима седиментации при сезонных, особенно многолетних и вековых колебаниях уровня озера.

5. Следует отметить, что в пляжевых выбросах и донных отложениях оз. Ханка описана довольно богатая малакофауна, среди которой Е.И. Шорниковым и Е.П. Семеновой определены *Limnea stagnalis*, *Viviparus praeresus*, *Semisulcaspira cancellata*, *Unio douglasiae*, *Anodonta woodiana* и др. Разным фациям озерных отложений соответствуют и диатомовые водоросли, описанные в поверхностном слое отложений оз. Ханка<sup>1</sup> (Скворцов, 1929; Журкина, 1958; заключения Е.И. Царько, В.С. Пушкаря и др.).

Перечисленные признаки отложений оз. Ханка сближают этот водоем с другими крупными озерами гумидной зоны.

Помимо общих для озер гумидной зоны особенностей осадков, намечаются и некоторые различия, обусловленные, с одной стороны, историко-геологическими причинами (морфология озерной котловины, мелководность водоема, гидродинамический режим и т.д.), а с другой – регионально-климатическими (баланс жидкого и твердого стока, геохимические условия), отражающими в основном влияние муссонного климата на процессы седиментогенеза.

1. Осадки оз. Ханка относительно грубозернисты и обеднены пелитовой фракцией по сравнению с другими крупными озерами гумидной зоны, что связано с мелководностью и бурностью гидродинамического режима водоема. Этими же причинами обусловлены чрезвычайно малые скорости современного осадконакопления по сравнению с другими озерами гумидной зоны (около 9 мм/тыс. лет).

2. Современные осадки оз. Ханка характеризуются почти полным отсутствием в них аморфного кремнезема. Только в 9 пробах из 102, равномерно отобранных со всей акватории озера, он встре-

<sup>1</sup> В задачу данной работы не входит анализ макро- и микрофауны, а также диатомовых водорослей.



чен в незначительном количестве (от 0,06 до 0,12%). В других озерах гумидной зоны количество биогенного кремнезема в осадках более значительно: для Ладожского озера от 1,5 до 8,3% (Семенович, 1966), осадки большей части Байкала содержат 24–35%  $\text{SiO}_2^{\text{авт}}$  (Голдырев, Выхристюк, 1968; Выхристюк, 1977).

Имеющиеся прямые определения аморфного кремнезема в водах оз. Ханка показывают его умеренное содержание (от 2 до 6 мг/л), что в целом ниже, чем в поверхностных водах озер других регионов с гумидным климатом. По данным Д.Хатчинсона (1969), его среднее содержание колеблется от 1,1 до 48,1 мг/л. В озерах Японии содержание кремнезема в поверхностном слое воды составляет около 11 мг/л (Yoshimura, 1930). По утверждению Лунда (Lund, 1954), диатомовые водоросли, особенно планктонные виды, способны использовать растворимый кремний даже тогда, когда его концентрация очень мала. В связи с этим требует объяснения слабое развитие диатомовой флоры в современных водах оз. Ханка. По данным В.С. Пушкаря, детально изучившего видовой состав диатомовых водорослей в поверхностном слое осадков оз. Ханка, бедность их видового состава и обилие спор *Melosiga islandica* объясняется, вероятнее всего, неблагоприятными условиями для развития диатомовой флоры; возможно, из-за высокой мутности воды в период наиболее активной вегетации диатомей. Этот вопрос требует специального исследования.

3. В осадках оз. Ханка рассеянное органическое вещество содержится в незначительном количестве, что объясняется особенностями гидродинамического режима, вызывающего многократное взмучивание осадков, которое не способствует развитию планктона. Благодаря высокому содержанию растворенного кислорода в воде создаются условия для быстрого разрушения РОВ до выпадения его в осадок.

4. В оз. Ханка накапливаются практически бескарбонатные осадки. В серии проанализированных образцов (98) только в 10 установлено незначительное содержание  $S_{\text{карб}}$  (0,02–0,3%). Вероятно, этим и определяется быстрое разрушение раковин моллюсков в верхнем слое озерных отложений и полное исчезновение их на глубине более 1 м (Короткий Караулова, 1975).

5. По сравнению с другими озерами гумидной зоны донные осадки оз. Ханка содержат меньшее количество железа, но внутри разных типов оно распределено более равномерно, чем в таких водоемах, как озера Байкал, Балхаш, Ладожское. Практически отсутствуют аутигенные минералы железа и марганца, за исключением перемытых обломков, поступивших в озерные отложения на участках абразии красноцветных глин и бурых суглинков.

Таким образом, при значительном сходстве осадков оз. Ханка с отложениями других водоемов гумидной зоны намечаются некоторые различия, обусловленные ходом седиментогенеза в условиях муссонного климата.

## СОПОСТАВЛЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ОЗЕРНЫХ И ДРЕВНИХ ПРОБЛЕМАТИЧНЫХ ОСАДКОВ

Значительное сходство озерных отложений гумидной зоны, накапливающихся на больших пространствах при разных вариантах режима температур и увлажнения, позволяет предположить, что разновозрастные озерные отложения, возникшие в сходных климатах, будут подобны. Поэтому сравнение литологии предполагаемых древних озерных отложений с современными осадками оз. Ханка позволяет установить более точную генетическую диагностику этим проблематичным толщам.

В Уссури-Ханкайской депрессии и зонах предгорий Сихотэ-Алиня широко развит по площади комплекс красноцветных глин и бурых суглинков, суммарная мощность которого превышает 40 м (Сохин, 1972; Короткий и др., 1972). Генезис этой толщи вызвал длительные споры среди дальневосточных геологов-четвертичников. Существующие по этому поводу взгляды сводятся к следующему.

1. А.И. Животовская (1956) рассматривает "бурые" суглинки как кору выветривания на разнородных породах, залегающую *in situ* или слабоперемещенную, что доказывается данными минералогического и гранулометрического состава осадков, особенностями текстуры и структуры толщи.

2. Г.С. Ганешин (1961), Ю.Ф. Чемяков (1961), В.В. Соловьев (1961), как и И.А. Беляевский (Ганешин, 1957), относят разрез бурых суглинков частично к делювию, накопившемуся в холодные эпохи плейстоцена, а для другой части разреза допускается озерный генезис. Озерное происхождение части красноцветного комплекса принимается "априори".

3. Проводившие в течение многих лет съемку четвертичных отложений в Уссури-Ханкайской впадине Ю.Г. Струве, И.И. Берсенева (Берсенева и др., 1962), В.К. Сохин (1972) приняли ранее высказанную А.З. Лазаревым и Ю.А. Ливеровским (Ганешин, 1957) точку зрения об озерном генезисе толщи "бурых" суглинков. Доказательством этого, по их мнению, служат большая мощность осадков (до 40 м), выдержанность верхней границы распространения суглинков, однородный минералогический и механический состав.

В.Н. Росликова и Э.Н. Сохина (1968) приводят в пользу озерного происхождения сходство состава конкреций, выделяемых из почв на высокой "озерной" террасе.

При таком понимании "бурых" суглинков, как это принимается И.И. Берсенева и др. (1962), следует допустить существование в плейстоцене громадных, периодически исчезавших озерных водоемов, площадь которых охватывала всю Раздольненско-Ханкайско-Уссурийскую депрессию и зону мелкогорного рельефа Сихотэ-Алиня.

4. Наконец, толща красноцветных глин и бурых суглинков рассматривается как сложный полигенный, преимущественно субаэраль-

ный комплекс (Никонова, 1966; Короткий и др., 1972; данные В.Б. Болиховского).

Некоторые из аспектов проблемы происхождения бурых суглинков и глин (гидрологический, геоморфологический, палеогеографический) достаточно детально рассмотрены ранее (Короткий и др., 1972; Худяков и др., 1972) и поэтому в данной работе опускаются. Здесь очень кратко дается сравнение основных литологических особенностей проблематичных отложений и современных литолого-фациальных комплексов оз. Ханка.

1. Бурые суглинки в сравнении с современными озерными отложениями обладают плохо выраженной грубой слоистостью в основном за счет горизонтов погребенных почв. Наблюдаемая слоистость повторяет поверхности склона и кровлю коренных пород.

2. В разрезе толши бурых суглинков отсутствуют осадки, которые можно было бы сопоставить с пляжевой и литоральной фациями современных озерных отложений. Встречающиеся в подошве толши прослой грубого материала сложены неокатанными обломками довольно однородного вещественного состава, соответствующего подстилающим коренным породам.

Вниз по разрезу суглинков наблюдается некоторое огрубление механического состава (за счет появления псаммитовых частиц). Обычно бурые суглинки и глины имеют четкий контакт с коренными породами, что рассматривается В.К. Сохиным (1972) как одно из доказательств озерного генезиса толши. Существование контакта — вполне закономерное явление, так как залегающие ниже красноцветные коры выветривания в значительной мере фиксируют конечную фазу плиоценового выравнивания рельефа, а накоплению бурых суглинков предшествовал интенсивный эрозионный врез (Ганшин, 1957; Денисов, 1965; Никонова, 1966; Короткий, 1970). Естественно, что процессу денудационного разрушения плиоценовой равнины в разрезе покровных отложений водоразделов должен соответствовать перерыв, выраженный четким контактом между корой выветривания и комплексом бурых суглинков. Помимо этого, четкость этого контакта может быть объяснена медленным смещением покровного чехла в целом, как это допускает А.И. Животовская (1956). Правда, веских доказательств такого медленного смещения толши бурых суглинков нет. По крайней мере, в тех случаях, когда на дневной поверхности обнажается контакт коренных пород (коры выветривания) и бурых суглинков наблюдается разворот слоев, изменение ориентации обломков, указывающих на перемещение осадка. Следует указать, что внешние различия красноцветной коры выветривания и толши "бурых" суглинков покровного генезиса пока не описаны. Поэтому вероятно предполагать, что часть коры выветривания при бурении включается в состав так называемых озерных красноцветных глин.

3. Изменение гранулометрического состава суглинков и глин хорошо увязывается с геоморфологическими фациями рельефа: более грубые разности наблюдаются в зонах низкогогорного и мелкогорного рельефа, более тонкие — в зоне педиментного выравнивания. В пре-

делах разновозрастных поверхностей отмечаются более грубо дисперсные отложения на молодых поверхностях (в днищах балок и на склонах вблизи оз. Ханка). Такое изменение гранулометрии создает обратную зональность осадков, не типичную для озер гумидной зоны. Отсутствуют и четкие переходы от одной литологической разности осадков к другой.

4. Минералогические ассоциации алеврито-псаммитовой фракции красноцветных глин и бурых суглинков тесно связаны с подстилающими породами. Значительное по сравнению с озерными отложениями обогащение устойчивыми минералами связано с тем, что глины и суглики возникли в результате переработки плиоценовых красноцветных и более древних кор выветривания. По данным А.И. Животовской (1956), комплексы минералов, встреченные в бурых суглинках, — локальны с радиусом перемещения кластогенного материала от коренных источников от 2 до 6 км.

5. В красноцветных глинах и бурых суглинках отмечено обилие аутигенных минералов (гидроокислов железа и марганца). Их количество в большинстве случаев составляет 60–90% от общего состава тяжелой фракции. Преобладающий красный и бурый цвет отложений проблематичной толщи — надежный признак аэроморфной обстановки осадконакопления (Чухров, 1975). Изменение окраски красноцветных глин и суглинков хорошо контролируется их геоморфологическим положением: более высокие водоразделы заняты ржаво-бурными и коричневыми глинами, склоны водоразделов — пестроцветной толщей, днища балочных систем — толщей серых песчаных суглинков и глин.

Таким образом, толщу красноцветных глин и суглинков можно отнести к терригенно-хемогенным осадкам (обломочные + аутигенные минералы), современные озерные осадки — к преобладающим терригенным.

6. В легкой фракции красноцветных глин и суглинков отмечается малое по сравнению с озерными отложениями содержание полевых шпатов и полное преобладание выветрелых глинисто-слюдистых обломков. Содержание кварца соответствует его количеству в подстилающих породах, и в основном оно меньше (до 40%), чем в современных озерных отложениях.

7. Каолин-монтмориллонитовый состав глинистых минералов в красноцветных глинах и бурых суглинках отражает более глубокую стадию изменения исходных пород по сравнению с озерными осадками. Это вполне объяснимо, если учесть, что современные озерные отложения формируются за счет размыва умеренно-выветрелых и невыветрелых пород в зонах среднегорного и низкогорного рельефа. В отличие от озерных отложений для красноцветных глин и суглинков намечается четкая связь состава глинистых минералов с подстилающими породами, что было в свое время четко подмечено А.И. Животовской (1956) и подтверждено дальнейшими исследованиями (Худяков и др., 1972; данные В.Б. Болиховского).

8. Из других особенностей красноцветных глин и суглинков следует отметить практическое отсутствие в них рассеянного орга-

нического вещества и контрастное соотношение трех- и двухвалентного железа. Если для озерных отложений отношение  $Fe^{3+}/Fe^{2+}$  меняется от 4 до 8, то для проблематичной толщи отмечается полное преобладание  $Fe_2O_3$ .

Комплекс проблематичных красноцветных глин и суглинков обладает целым рядом признаков, которые их сближают с покровными отложениями гумидных и семигумидных районов Евразии, расположенных в умеренно теплом климате (Животовская, 1956; Синицын, 1967; Худяков и др., 1972; Короткий и др., 1972; Чухров, 1975).

Таким образом, краткий сравнительный анализ литологии красноцветных глин, бурых суглинков и современных озерных отложений дает дополнительные аргументы в пользу гипотезы полигенного происхождения красноцветов Уссури-Ханкайской депрессии.

### „ЗРЕЛОСТЬ“ СОВРЕМЕННЫХ ОЗЕРНЫХ ОСАДКОВ

Теоретическая схема этапности поступления в конечные водоемы стока минералов с различной устойчивостью к химическому выветриванию, высвобождающихся из горных пород по мере вскрытия различных горизонтов коры выветривания (Казаринов, 1958; Момджи, 1960; Страхов, 1962), может быть реализована только при размыве коры выветривания, охватывающей всю площадь водосборного бассейна. В пределах водосборов с достаточно контрастным рельефом, когда наблюдается несколько геоморфологических ярусов с разновозрастными и неодинаковыми по мощности корами выветривания, формирование осадков в конечном водоеме стока будет подчиняться другим закономерностям. Тем более что состав минералов, поступающих в зону устойчивого осадконакопления, далеко не идентичен возникающему в зоне денудации, так как при транзите в аллювиальных системах будет происходить определенная селекция минералов по степени их устойчивости к механическому разрушению в зависимости от скорости смещения в потоке. По мнению А.А. Кухаренко (1961), изменение минералогического состава осадков в процессе длительной транспортировки будет происходить в основном за счет концентрации далеко мигрирующих минералов, устойчивых в условиях осадочной дифференциации вещества. Ряд минералов с различной относительной миграционной способностью в значительной степени сходен с рядом минералов по их химической устойчивости в зоне гипергенеза. Вероятно, такое сходство рядов обусловлено тем, что они получены в основном путем извлечения минералов тяжелой фракции в россыпях, т.е. образующихся за счет влекомых наносов. В этом случае прав А.А. Кухаренко (1961), считавший, что транспортабельность отдельных минералов зависит от их скорости истирания в потоке. Поведение минералов, перемещающихся во взвешенных наносах горных рек, будет иным. Здесь при очень большой скорости смещения взвесей (за одни сутки в паводок на расстояние 130-180 км) решающую роль в дифференциации минералов будет играть их способность к взвешиванию в пото-

ке. Можно предполагать, что из-за различного поведения в столбе воды часть минералов будет мигрировать во влекомых наносах, а другая – во взвесах. Поэтому миграционная способность в горных реках таких минералов, как слюда, амфиболы, пироксены, будет более значительной, чем магнетита, ильменита, циркона и других, обладающих большим удельным весом и слабой гидравлической подвижностью. В результате неодинаковой миграционной способности минералов вещественный состав осадков в конечных бассейнах стока будет далеко не точно отражать истинную картину соотношения минералов, поступающих в аллювиальную систему, водосбор которой имеет достаточно контрастный рельеф.

Водосборный бассейн оз. Ханка имеет достаточно контрастный рельеф с различной мощностью разновозрастных зон гипергенеза. Это и определяет поступление в русла рек минералов, в разной степени измененных химическим выветриванием. Взвешенные наносы по сравнению с влекомыми формируются за счет размыва пород в верхнем и среднем течении рек<sup>1</sup>, поэтому следует ожидать привноса в конечный бассейн стока большого количества минералов из группы неустойчивых к химическому выветриванию.

Влекомые наносы формируются в большей мере за счет размыва пород в бортах долин среднего и нижнего течения, где широко развиты разновозрастные коры выветривания. Поэтому в русловых отложениях ханкайских рек значительна роль минералов, устойчивых к химическому выветриванию. Влекомые наносы по сравнению с взвесами играют небольшую роль в формировании осадков оз. Ханка, и этим вполне объясняется преобладание в тяжелой фракции озерных отложений минералов амфиболово-пироксеновой группы и эпидота<sup>2</sup>.

Еще более усложняет интерпретацию состава минералов тяжелой фракции как показателя "зрелости" осадков их дифференциация на акватории озерного водоема. Очевидное накопление группы устойчивых минералов в осадках пляжей и литорали, объясняемой их слабой гидравлической подвижностью, и более широкое распространение роговых обманок и эпидота в собственно донных отложениях заставляет нас подходить дифференцированно к оценке "зрелости" осадков различных озерных фаций. Поэтому интерпретация таких показателей "зрелости" осадка, как коэффициент устойчивости (Момджи, 1960), палеогеографический коэффициент (Сигов, 1960), без учета вышеизложенного, приведет к созданию неверных представлений об интенсивности процессов химического выветривания на площадях денудации. На наш взгляд, эти коэффициенты применимы в ог-

<sup>1</sup> Это следует из анализа распределения модуля жидкого стока и интенсивности склоновой эрозии в бассейнах ханкайских рек (Прыткова, 1960; Основные гидрологические характеристики..., 1966).

<sup>2</sup> Сильно гидратированные слюды накапливаются в легкой фракции озерных отложений, где входят в состав выветрелых глинисто-слюдистых обломков.

раниченных условиях в основном при изучении условий накопления тяжелых минералов в россыпях, где осадки формируются за счет влекомых наносов.

Интерпретация вещественного состава легкой фракции создает иные представления о степени "зрелости" ханкайских озерных осадков, причем здесь также совершенно очевидны различия в степени "зрелости" отложений разных фаций.

Для характеристики степени "зрелости" псаммитово-алевроитовой фракции нами использован кварцевый коэффициент ( $K_k$ ):

$$K_k = K / (ПШ + ОП) \cdot 100,$$

где  $K$  — содержание кварца, %;  $ПШ$  — содержание полевых шпатов, %;  $ОП$  — содержание обломков пород в изучаемых пробах, %.

Распределение этого коэффициента по акватории озера показало довольно тесную связь "зрелости" осадков с различными озерными фациями и менее значительное по сравнению с гидродинамикой влияние источников поступления аллювиального материала.

Максимальное значение  $K_k$  (свыше 300) отмечено на участках интенсивной дифференциации обломочного материала, т.е. в зоне потоков наносов на восточном побережье озера.

Эта картина нарушается в устьях рек, где  $K_k$  уменьшается до 60–125, что объясняется активным поступлением свежих полевых шпатов с влекомыми наносами рек, где их содержание составляет 20–45%. Умеренное значение  $K_k$  (200–300) наблюдается на большей части акватории озера к югу от Центрально-Ханкайского мелководья. Вероятно, этот участок, который хорошо совпадает с глубинами до 4–5 м, и следует рассматривать как зону рассеивания кварца и преимущественного накопления пелитизированных полевых шпатов, перемешаемых в речных взвесах.

Всю северную часть озера (зона спокойной седиментации) охватывает полоса осадков со значением  $K_k$  от 100 до 200.

Вероятное равенство или некоторое преобладание кварца над полевыми шпатами в составе алевроито-псаммитовой фракции осадков объясняется примерно одинаковой гидравлической подвижностью этих минералов, причем кварц как более устойчивый практически не переходит во фракцию тонких алевроитов и пелитов. Полевые же шпаты в процессе неоднократного взмучивания и выпадения в осадок подвергаются сильному механическому дроблению и переходу в пелитовую фракцию.

Тесная связь большого количества полевых шпатов в озерных отложениях с источниками поступления обломочного материала хорошо подтверждается малыми значениями  $K_k$ , помимо устьев рек, на участках абразии сапролитизированных гранитов ( $K_k = 45-100$ ).

Таким образом, кварцевый коэффициент, как показатель "зрелости" озерных осадков, подчеркивает неодинаковое поведение кварца и полевых шпатов в условиях озерного седиментогенеза: первый накапливается в озерных осадках, доля второго сокращается по мере удаления от источников его поступления на акваторию.

Подобное поведение полевых шпатов и зависимость их количества от положения источников сноса подтверждается анализом коэффициента выветрелости ( $K_v$ ).

$$K_v = \frac{Гл. Сл.}{(ПШ + ОП)},$$

где  $Гл. Сл.$  — содержание глинисто-слюдистых выветрелых обломков, %;  $ПШ$  — содержание невыветрелых полевых шпатов, %;  $ОП$  — обломки пород, %.

Минимальная величина коэффициента  $K_v$  (менее 0,5) отмечена непосредственно в местах поступления крупнозернистого материала в береговую зону озера (устья рек) и на участках абразии сапролитизированных гранитов. Подобное поведение коэффициента  $K_v$  приводит нас к выводу, что невыветрелые полевые шпаты в основном аккумулируются в устьях рек, что, вероятно, определяется крупностью зерен их. Глинисто-слюдистые обломки, входящие в состав алеврито-псаммитовой фракции, гидравлически более подвижны, чем полевые шпаты, и поэтому разносятся шире по акватории. Однако совпадение максимальных значений  $K_v$  (свыше 10) с южной частью озера, где аккумулируются песчанистые глины и алевриты, приводит нас к выводу о довольно быстром выпадении глинисто-слюдистых обломков из взвесей, выносимых реками. Второй максимум коэффициента  $K_v$  наблюдается в северной части озера на полях развития мелких алевритов и пелитов. Поступление большого количества глинисто-слюдистых обломков в эту часть озера связано с высокой гидродинамической активностью озера, которая обеспечивает удаление наиболее тонких частиц из осадков, формирующихся на мелководьях, и перемещение их в глубоководную часть озера.

Наиболее четкую схему распределения озерных осадков с разной степенью изменения вещественного состава минералов легкой фракции в озерных отложениях дает коэффициент "зрелости" ( $K_z$ ):

$$K_z = \frac{(K + Гл. Сл.)}{(ПШ + ОП)},$$

где  $K$  — содержание кварца в исследуемой пробе, %;  $Гл. Сл.$  — содержание глинисто-слюдистых обломков, %;  $ПШ$  — содержание невыветрелых полевых шпатов, %;  $ОП$  — содержание обломков пород, %.

На большей части акватории озера  $K_z$  имеет значения больше 5, достигая 15–19 в северной части озера. Минимальное значение  $K_z < 1$  совпадает с устьями рек и зоной Центрально-Ханкайского мелководья, что, скорее всего, связано с быстрым выносом алеврито-пелитового материала из зоны прибрежного мелководья.

Таким образом, перераспределение обломочного материала, поступившего в конечный водоем стока, существенно меняет характер "зрелости" осадков в различных его литогенетических комплексах. Это накладывает определенные ограничения на прямую интерпретацию степени "зрелости" осадков в конечных водоемах стока как показателя интенсивности денудации и химического выветривания пород в пределах водосборных бассейнов.



1. Литологические особенности донных осадков оз. Ханка определяются расположением его котловины в центре крупной межгорной впадины, в краевых частях которой развит пояс останцево-денудационного рельефа с мощными корами выветривания. Крупные реки Уссури и Мулинхе, дренирующие Сихотэ-Алинь и близлежащие территории, транзитны для котловины оз. Ханка. В формировании осадков участвуют как реки, водосборы которых расположены в зоне низкогорья и мелкогорья, так и реки, пересекающие обширную полосу останцево-денудационного рельефа. Этим и определяется преимущественное накопление в котловине озера алевроитопсаммитовых осадков. Более грубые песчано-галечные отложения образуют почти исключительно пляжевую фацию на участках абразии третичных конгломератов и других горных пород.

2. Среди донных осадков оз. Ханка относительно невелика роль пелитов, особенно по сравнению с краевыми частями Уссури-Ханкайской депрессии, где формируется толща бурых глин и суглинков. Пелиты для оз. Ханка — преимущественно транзитная фракция, что связано с высокой гидродинамической активностью озера.

3. Высокая гидродинамическая активность озера в сочетании с малыми размерами площади водосборного бассейна ( $B/L$  3,19) определяют незначительные скорости современного осадконакопления (минимальная расчетная величина 9 мм/тыс. лет в центре озера).

4. Распределение полей донных осадков оз. Ханка коррелирует с характером аллювия лишь в общих чертах. Это зависит от перераспределения поступившего обломочного материала системой течений и вдольбереговыми потоками наносов, а также определяется колебаниями уровня озера в течение голоцена и значительной ролью абразии в осадкообразовании западной части озера.

5. Вещественный состав современных отложений оз. Ханка, с одной стороны, отражает сложную историю формирования горных пород питающих провинций и последующего изменения в зоне гипергенеза, а с другой — их преобразование и перераспределение в системе "склон — речная долина — конечный водоем стока". Отмечается полное сходство в составе минералов и довольно близкое в их концентрации для озерных и аллювиальных отложений. Осредненная минералогия тяжелой фракции в большой степени отражает вещественный состав всего водосборного бассейна; в легкой фракции проявляется сильнейшее влияние на вещественный состав озерных отложений ближайшего обрамления озера с его мощными корами выветривания.

6. Распределение минералов на акватории озера выявляет четкую связь с источниками поступления кластогенного материала, а степень их концентрации в разных фациях озерных отложений отражает гидравлическую подвижность отдельных минералов.

7. Глинистые минералы из осадков оз. Ханка имеют терригенную природу, а их размещение на дне озера определяется в основном влиянием гидродинамического режима озера. Комплекс глинистых минералов, состоящий из монтмориллонита, гидрослюд, хлорита, каолинита и смешанослойного хлорит-каолинитового минерала (с преобладанием монтмориллонита и гидрослюды), можно рассматривать как результат сочетания в водосборном бассейне оз. Ханка разновозрастных зон гипергенеза.

8. Отражательная способность донных осадков дифференцируется в зависимости от характера пород. Средний уровень яркости осадков оз. Ханка составляет 39%. Низкие показатели светотражения соответствуют глинистым породам. Пески имеют высокую яркость и большие пределы ее изменения. Снижение отражательной способности обусловлено содержанием железа и органических веществ. Отмечена сильная обратная корреляционная связь между яркостью образцов и содержанием в них  $Fe_{\text{общ}}$  и  $C_{\text{орг}}$ . Исходя из общих представлений и теорий светопоглощения и на основе спектрофотометрических данных можно предположить, что основные светосорбенты ( $Fe$  и  $C_{\text{орг}}$ ) содержатся в осадках в виде сорбционных пленок, обволакивающих отдельные частицы.

9. В сравнении с другими озерами гумидной зоны донные осадки оз. Ханка содержат меньшее количество железа (среднее содержание  $Fe_{\text{общ.}} = 2,54\%$ ), а внутри типов пород последнее распределено более равномерно (пески - 2,20%, алевриты - 2,53%, глины - 2,81%).

10. Анализ соотношения  $Fe^{3+}/Fe^{2+}$  и его корреляции с содержанием  $C_{\text{орг}}$  и величиной pH донных грунтов показывает, что осадки большей части озера накапливаются в условиях окислительной среды.

11. Среднее содержание  $C_{\text{орг}}$  в поверхностном слое осадков озера составляет 0,28% с локальными повышениями на небольших участках до 0,64-0,69%. Столь низкое содержание  $C_{\text{орг}}$ , не характерное для озер гумидной зоны, зависит только от малой глубины и высокой активности гидродинамики озера, предопределяющих интенсивное окисление и вынос большей части органического вещества. Отложения приустьевых лиманов и небольших полузакрытых заливов содержат 0,75-1,5%  $C_{\text{орг}}$ , а иногда и более.

12. Среднее содержание большинства рассматриваемых элементов в осадках оз. Ханка весьма низкое, значительно меньше кларкового для осадочных пород; более высокое, достигающее иногда 2000-2600 г/т концентрации, характерно лишь для хрома. Олово, свинец, цинк и хром имеют тесные кристаллохимические связи с различными минералами и обломками пород. Для меди, никеля, кобальта и ванадия характерны двойственные связи в осадках: с

глинистыми породами у этих элементов развиты преимущественно адсорбционные связи, а в песках – кристаллохимические. Анализ распределения бора в осадках оз. Ханка свидетельствует о его тесной взаимосвязи с глинистыми образованиями, преимущественно с гидрослюдой.

13. Среди отложений оз. Ханка широко распространены осадки пляжевой, литоральной и собственно донной фаций. Структура, вещественный состав и геохимические особенности осадков разных фаций отражают распределение на акватории полей с разной гидродинамической активностью, их зависимость от глубин водоема, сезонных и многолетних колебаний уровня озера.

14. Анализ "зрелости" озерных отложений как показателя интенсивности денудации и химического выветривания в водосборном бассейне озера выявил значительное изменение вещественного состава и характера "зрелости" осадков по сравнению с исходным аллювиальным материалом и продуктами абразии в результате его перераспределения и дополнительной дифференциации в различных литолого-фациальных комплексах.

15. Детальный литолого-геохимический анализ донных осадков оз. Ханка свидетельствует о том, что рассматриваемые осадочные комплексы обладают рядом общих признаков, характерных для озерных отложений гумидной зоны. В то же время намечаются и некоторые существенные различия, обусловленные как историко-геологическими, так и регионально-климатическими причинами.

Так, осадки оз. Ханка по сравнению с отложениями других крупных озер гумидной зоны более грубозернисты и содержат значительно меньшее количество глин и илов, что обусловлено относительно мелководностью и активным гидродинамическим режимом водоема; с этими же причинами связаны весьма малые скорости современного осадконакопления.

Современные донные осадки оз. Ханка практически бескарбонатны и характеризуются почти полным отсутствием аморфного кремнезема; в них фактически не происходит аутигенного минералообразования железа и марганца. Общее содержание железа в донных осадках оз. Ханка значительно ниже, чем в других озерах гумидной зоны. В разных типах изученных осадков железо распределено, как правило, более равномерно, чем в отложениях таких водоемов, как Байкал, Балхаш, Ладожское озеро. Рассеянное органическое вещество в осадках оз. Ханка содержится в незначительном количестве, что обусловлено, с одной стороны, низкой биопродуктивностью водоема и, с другой – быстрым окислением и разрушением органики, а также выносом ее из озера еще до выпадения в осадок.

- Апполов А.В. Учение о реках. М.: Изд-во МГУ, 1963. 124 с.
- Бгатов В.И. Литолого-формационный анализ осадочных толщ как один из методов реставрации эпох развития кор выветривания. — В кн.: Проблемы палеогеоморфологии. М.: Наука, 1970, с. 81-87.
- Белкин В.И., Рязанов Н.В. О понятиях сортированности и однородности гранулометрического состава осадочных пород. — Литология и полезные ископаемые, 1974, № 2, с. 133-139.
- Берсенева И.И., В.Ф. Морозова, Салун С.А., Соколова П.Н., Сохин В.К. Новые данные по стратиграфии аллювиальных, озерно-аллювиальных и озерных четвертичных отложений Приморья и среднего Приамурья. — Сов. геол., 1962, № 9, с. 78-86.
- Ботвинкина Л.Н. Слоистость осадочных пород. — В кн.: Труды Геологического института АН СССР, 1962, вып. 59, 544 с.
- Богословский Б.Б. Озероведение. М.: Изд-во МГУ, 1960. 336с.
- Васьковский М.Г. Уровенный режим оз. Ханка. — В кн.: Методика расчетов и прогнозов стока рек Дальнего Востока. Л.: Гидрометеозидат, 1968, с. 155-182 (Труды ДВНИГМИ, вып. 27).
- Васьковский М.Г. К расчету водного баланса оз. Ханка. — Труды ДВНИГМИ, 1970, вып. 31, с. 54-62.
- Васьковский М.Г. Гидрологический режим озера Ханка. Л.: Гидрометеозидат, 176 с.
- Венус Б.Г. Развитие древних озерных систем Дальнего Востока и их роль в формировании долины Амура. — В кн.: Проблемы исследования древних озер Евразии. Л.: Наука, 1974, с. 8-20.
- Викулова М.Ф. Методическое руководство по минералогическому изучению глин. М.: Госгеолтехиздат, 1957. 447 с.
- Виноградов А.П. Среднее содержание химических элементов в главных типах изверженных горных пород земной коры. — Геохимия, 1962, № 7, с. 555-571.
- Выхристюк Л.А. О поступлении и распределении основных химических элементов в донных отложениях Байкала. — Литология и полезные ископаемые, 1977, № 1, с. 54-65.
- Выхристюк Л.А., Голдырев Г.С., Лазо Ф.И. Содержание органического вещества в осадках Байкала. — В кн.: Органическое вещество в современных и ископаемых осадках: V Всесоюзный семинар. Тезисы докл. М.: Изд-во МГУ, 1976, с. 40.
- Ганешин Г.С. Геоморфология Приморья. — Труды ВСЕГЕИ. Нов. сер., 1957, т. 4, 135 с.
- Ганешин Г.С. Стратиграфия верхнечетвертичных и четвертичных отложений Сихотэ-Алиня и Приморья. — В кн.: Материалы совещания по изучению четвертичного периода. М.: Изд-во АН СССР, 1961, т. 3.
- Геологический словарь. М.: Недра, 1973, т. 2, 456 с.
- Геология СССР. М.: Недра, 1969, т. 32. Приморский край, ч. 1 (Геологическое описание). 695 с.
- Голдырев Г.С., Выхристюк Л.А. Донные отложения среднего и северного Байкала. — В кн.: Мезозойские и кайнозойские озера Сибири. М.: Наука, 1968, с. 98-124.

- Громов Ю.А. Кайнозойские наложенные мульды Усури-Ханкайского срединного массива в Южном Приморье. - В кн.: Информационный сборник ВСЕГЕИ. М.; Л.: Изд-во Гостоптехиздат, 1960, № 27.
- Гурвич С.И., Пятков В.И., Сандаков И.Ю., Столяров А.С., Трохачев П.А., Янковский В.А. Титано-циркониевые россыпи юго-восточной окраины Западно-Сибирской низменности. - В кн.: Закономерности размещения полезных ископаемых. IV Россыпи. Л.: Госгортехиздат, 1960, с. 158-163.
- Денисов Е.П. Новейшая тектоника и позднекайнозойский вулканизм южного Приморья и прилегающих областей. Владивосток, 1965. 83 с.
- Жемчужников Ю.А. Сезонная слоистость и периодичность осадкоаккумуляции. - Труды Геол. ин-та АН СССР, 1963, вып. 58, 72 с.
- Животовская А.И. О "бурых" глинах Южного Приморья и третично-четвертичной границе. - Матер. ВСЕГЕИ. Нов. сер. М.: Гостоптехиздат, 1956, вып. 1, с. 74-88.
- Журкина В.В. Водоросли озера Ханка. - В кн.: Тезисы докладов на сессии совета Дальневосточного филиала АН СССР по итогам научных исследований за 1957 г. Владивосток, 1958, с. 56-57.
- Зайков Б.Д. Очерки по озероведению. Ч. II. Л.: ГИМИЗ, 1960.
- Зайцев А.И., Тимофеев М.П. Изменение скорости ветра под влиянием ограниченных водоемов. - Труды ГГО, 1967, вып. 206, с. 9-13.
- Ивашинников Ю.К., Короткий А.М. О значении эолового процесса в формировании аккумулятивного рельефа Приморья. - В кн.: География и палеогеография климоморфогенеза. Владивосток, 1976, с. 73-79.
- Казаринов В.П. Мезозойские и кайнозойские отложения Западной Сибири. М.: Гостоптехиздат, 1958. 324 с.
- Калесник С.В. Ладожское озеро. Л.: Гидрометеоиздат, 1968, с. 160.
- Китаев И.В., Лихт Ф.Р. Определение общей карбонатности и органического углерода в породах газометрическим методом. - В кн.: Вопросы литологии и геохимии вулканогенно-осадочных образований юга Дальнего Востока. Владивосток, 1971, с. 238-244.
- Коренбаум В.С., Ромадин И.А., Колбин М.Ф. Распределение кор выветривания в Приморье и связь с ними полезных ископаемых. - В кн.: Информационный сборник ПГУ, 1963, № 4, с. 57-63.
- Корнутова Е.И. История развития торейских озер Восточного Забайкалья. В кн.: Мезозойские и кайнозойские озера Сибири. М.: Наука, 1968, с. 74-88.
- Короткий А.М. Корреляция современного рельефа и осадков для палеогеоморфологии. Владивосток, 1970, 168 с.
- Короткий А.М., Васьяковский М.Г., Горчаков А.М. Современные донные отложения озера Ханка. - В кн.: Вопросы геологии, геохимии и металлогении северо-западного сектора Тихоокеанского пояса. Владивосток, 1970, с. 89-92.
- Короткий А.М., Караулова Л.П. К истории развития Ханкайской котловины в позднем кайнозое. - В кн.: Вопросы геологии, геохимии и металлоген. северо-западного сектора Тихоокеанского пояса. Владивосток, 1970, с. 27-30.
- Короткий А.М., Караулова Л.П. Новые данные по стратиграфии четвертичных отложений Приморья. - В кн.: Материалы по геоморфологии четвертичной геологии юга Дальнего Востока СССР. Владивосток, 1975, с. 79-110.
- Короткий А.М., Никонова Р.И., Пода Б.П. Условия формирования "бурых" суглинков и глин Приморья. - В кн.: Проблемы изучения четвертичного периода. М.: Наука, 1972, с. 57-63.

- Короткий А.М., Китаев И.В., Михайлова Н.А., Горчаков А.М.  
К литологической характеристике современных осадков оз. Ханка. — В кн.: Осадочные формации нефтегазоносных областей Дальнего Востока. Владивосток, 1975, с. 78–96.
- Курносов В.Б., Короткий А.М. Глинистые минералы в современных осадках оз. Ханка — Литология и полезные ископаемые, 1976, № 4, с. 3–11.
- Куренцова Г.Э. Растительность Приханкайской равнины и окружающих ее предгорий. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1962. 139 с.
- Кухаренко А.А. Минералогия россыпей. М.: Госгеолтехиздат, 1961. 319 с.
- Линдберг Г.У. Крупные планетарные колебания уровня океана и палеогеография четвертичного периода. — В кн.: Основные проблемы четвертичного периода. М.: Наука, 1965, с. 135–142.
- Мартинсон Г.Г. Современная палеолимнология и общие закономерности развития древних озерных бассейнов Азии. — В кн.: Проблемы исследования древних озер Евразии. Л.: Наука, 1974, с. 3–8.
- Материалы наблюдений на озерах и водохранилищах. Л.: Гидрометеоздат, 1965, вып. 1, ч. 2. 1951–1955 гг., с. 519–728.
- Материалы наблюдений на оз. Ханка 1956–1968 гг. Владивосток, 1970, б.с.
- Михайлова Н.А., Неунылов Б.А., Иванов Г.И. Применение метода интегральной спектрофотометрии для исследований почв Приморского края. — Почвоведение, 1967, № 2, б.с.
- Момджи Г.С. Теоретические основы и методика россыпных месторождений титана и циркония. — В кн.: Закономерности размещения полезных ископаемых, IV. Россыпи. Л.: Госгортехиздат, 1960, с. 44–57.
- Мурзаев Э.М. Центральная Азия. — В кн.: Зарубежная Азия. М.: Учпедгиз, 1956, с. 191–300.
- Муравейский С.Д. Очерки по теории и методам морфометрии озер. — Вопросы географии, 1948, № 7, б.с.
- Наливкин Д.В. Учение о фациях. М.: Изд-во АН СССР, 1956, т. 2, 393 с.
- Нехайчик В.П. Многолетние колебания уровня воды озера Ханка. — В кн.: Тезисы докладов XI научной конференции ДВГУ. Ч. 2. Естественные науки. Владивосток, 1966, с. 274–276.
- Никольская В.В. Некоторые данные по палеогеографии озера Ханка. — Труды Ин-та географии АН СССР, 1952, вып. 51, с. 215–225.
- Никонова Р.И. Поверхности выравнивания в рельефе Южного Приморья. М.: Наука, 1966, с. 95.
- Основные гидрологические характеристики. Т. 18. Дальний Восток. Вып. 3. Приморье. Л.: Гидрометеоздат, 1966. 270 с.
- Прыткова М.Я. Вертикальная зональность стока взвешенных наносов рек юга Дальнего Востока. — В кн.: Амурский сборник. Хабаровск, 1960, № 2, с. 62–72.
- Равский Э.И. Осадконакопление и климаты Внутренней Азии в антропогене. М.: Наука, 1972. 336 с.
- Равский Э.И., Александрова Л.П., Вангенгейм Э.А., Гербова В.Г., Голубева Л.В. Антропогеновые отложения юга Восточной Сибири. М.: Наука, 1964. 280 с.
- Ратеев М.А. Закономерности размещения и генезис глинистых минералов в современных и древних морских бассейнах. М.: Наука, 1964.
- Романовский С.И. Применение теории информации для решения некоторых задач литологии. — В кн.: Математические методы в геологии. Л.: 1968, с. 75–91, с. 409–423. (Труды ВСЕГЕИ. Нов. сер.).

- Ронов А.Б. Органический углерод в осадочных породах (в связи с их нефтеносностью). — Геохимия, 1958, № 5.
- Россолимо Л.Л. Очерки по географии внутренних вод СССР. М.: Учпедгиз, 1953. 303 с.
- Рухин Л.Б. Основы литологии. Л.: Гостоптехиздат, 1961. 780 с.
- Сапожников Д.Г. Современные осадки и геология озера Балхаш. — Труды ГИН. Сер. геол., 1951, вып. 132, № 53, с. 207.
- Сапожников Д.Г., Виселкина М.А. Современные осадки озера Иссык-Куль и его заливов. — Труды ИГЕМ, 1960, вып. 36, с. 160.
- Семенович Н.И. Донные отложения Ладожского озера. М.: Наука, 1966, с. 320.
- Семенович Н.И., Курочкина А.А., Галковская Г.Ф., Штернберг Л.Е. Глинистые минералы в осадках Онежского озера. — ДАН, 1972, т. 206, № 6.
- Сигов А.П. Стратиграфическое и корреляционное значение терригенных компонентов осадочных пород. — Советская геология, 1960, № 3.
- Синицын В.М. Введение в палеоклиматологию. Л.: Недра, 1967. 232 с.
- Скворцов Б.В. Материалы по изучению водорослей Приморской губернии. 2. Диатомовые водоросли оз. Ханка. — В кн.: Записки Южно-Уссурийского отдела Русского географического общества, 1929, вып. 3, 66 с.
- Скорняков В.А. Воды суши. — В кн.: Южная часть Дальнего Востока. М.: Наука, 1969.
- Соловьев В.В. Следы древнего оледенения и перигляциальных условий в южном Приморье. — Труды ВСЕГЕИ. Нов. сер., 1961, т. 64, с. 141-149.
- Сохин В.К. Происхождение "бурых" глин Приморья и Приамурья. М.: Наука, 1972, с. 63-67.
- Сохина Э.Н., Росликова В.И. О приуроченности основных почвенных разновидностей Приханкайской низменности к геоморфологическим поверхностям определенного генезиса и возраста. — В кн.: Геоморфологические, ландшафтные и биогеохимические исследования в Приамурье. М.: Наука, 1968, с. 63-70.
- Стоценко А.В. Климатический очерк Приханкайской равнины и прилегающих к ней территорий. — В кн.: Материалы по физической географии Дальнего Востока. М.: Изд-во АН СССР, 1958.
- Страхов Н.М. Основы теории литогенеза. М.: Изд-во АН СССР, 1962, т. 1, 212 с.
- Страхов Н.М., Бродская Н.Г., Князева Л.М., Разживина А.П., Ратеев М.А., Сапожников Д.Г., Шишова Е.С. Образование осадков в современных водоемах. М.: Изд-во АН СССР, 1954, с. 645-651.
- Ташилкин В.А. Кобы выветривания Приморья: Автореф. канд. дис. М., 1969. 27 с. В надзаг.: ИГЕМ АН СССР.
- Финько В.И., Коренбаум В.С., Колбин М.Ф. О древних корях выветривания Приморья. — В кн.: Региональное развитие кор выветривания в СССР. М.: Изд-во АН СССР, 1963, с. 195-203.
- Хардер Г. Геохимия бора. М.: Недра, 1965. 136 с.
- Хатчинсон Д. Лимнология. М.: Прогресс, 1969. 592 с.
- Худяков Г.И., Денисов Е.П., Короткий А.М., Кулаков А.П., Никонова Р.И., Чернобровкина Е.И. История развития рельефа Сибири и Дальнего Востока. Юг Дальнего Востока. М.: Наука, 1972. 421 с.

- Чемеков Ю.Ф. Четвертичные отложения и основные фазы развития растительности Дальнего Востока СССР. - Труды ВСЕГЕИ. Нов. сер., 1961, т. 65, с. 183-196.
- Чухров Ф.В. Климатические факторы и образование окислов железа в зоне гипергенеза. - В кн.: Гипергенные окислы железа. М.: Наука, 1975, с. 141-153.
- Шнитников А.В. Изменчивость общей увлажненности материалов северного полушария. - Зап. Геогр. о-ва СССР. Нов. сер. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1957, т. 16. 337 с.
- Шостакович В.В. Слоистые еловые отложения и некоторые вопросы геологии. - Изв. Всерос. геогр. о-ва, 1941, вып. 3, с. 393-405.
- Шумилова Е.В. Анализ материалов по литологии и минералогии мезокайнозойских отложений центральной части Западно-Сибирской низменности: Автореф. канд. дис. Новосибирск, 1949. 29 с. В надзаг.: Зап.-Сиб. фил. АН СССР.
- Biscaye P.E. Mineralogy and sedimentation of the deep sea sediment fine fraction in the Atlantic ocean. - In: Geochem. Techn. Rpt., 1964, v.8.
- Lund I.W.J. The seasonal cycle of the plankton diatom *Melosira italica* (Ehr.) Kütz. subsp. subarctica O.Müll. - J.Ecol., 1954, 42, p. 151-179.
- Mehra O.P., Jackson M.L. From oxide removal from soils and clay system buffered with sodium bicarbonate by dithionitecitrate. - Clays and Clay minerals, 1960, v.5.
- Passey R. Texture as characteristic of clastic deposition. - Bull. Amer. Assoc. Petrol.Geol. 1957, v.41, N9, p. 1952-1964.
- Shepard F.R. Nomenclature based on sand-silt-clay rations. - In: Sedim. Petrol., 1954, v.24, N3, p. 1952-1964.
- Turekian K.K., Wedepohl K.H. Distribution of the elements in some major units of the earth's crust. - Bull. Geol. Soc. Am., 1961, 72, p.175-192.
- Yoshimura S. Seasonal variation of silica in Takasuka-numa Saitama. - Jap. J. Geol. Geogr., 1930, 7, p.101-113.



ВВЕДЕНИЕ (А.М. Квроткий, М.А. Михайлов) . . . . .	3
Глава 1. ПРИРОДНЫЕ УСЛОВИЯ В БАССЕЙНЕ ОЗ. ХАНКА (А.М. Короткий) . . . . .	6
Орография и геолого-геоморфологическое строение . . . . .	6
Гидрология водного бассейна и озера . . . . .	13
Глава 2. СТРУКТУРА СОВРЕМЕННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ОЗ. ХАНКА (А.М. Короткий) . . . . .	17
Факторы, определяющие режим осадконакопления . . . . .	17
Гранулометрический состав озерных осадков . . . . .	19
Сортировка озерных осадков . . . . .	31
Скорость современного осадконакопления . . . . .	35
Глава 3. МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЙ СОСТАВ СОВРЕМЕННЫХ ОЗЕРНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ (А.М. Короткий, В.Б. Курносков) . . . . .	39
Минералогический состав современного аллювия . . . . .	39
Минералогический состав легкой фракции озерных отложе- ний . . . . .	44
Минералогический состав тяжелой фракции озерных отложе- ний . . . . .	52
Глинистые минералы современных озерных осадков . . . . .	64
Глинистые минералы, поступающие в оз. Ханка . . . . .	69
Глава 4. ОСОБЕННОСТИ ГЕОХИМИИ ДОННЫХ ОСАДКОВ ОЗ. ХАН- КА (М.А. Михайлов, И.В. Китаев) . . . . .	73
Распределение железа . . . . .	73
Распределение органического вещества . . . . .	77
Отражательная способность современных осадков . . . . .	81
Распределение редких элементов . . . . .	83
Глава 5. НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ СОВРЕМЕННОГО СЕДИМЕНТОГЕ- НЕЗА В ГУМИДНОЙ ЗОНЕ (А.М. Короткий) . . . . .	94
Фациальный состав озерных отложений . . . . .	94
Сопоставление современных и древних проблематичных осадков . . . . .	109
"Зрелость" современных озерных осадков . . . . .	112
Выводы (А.М. Короткий, М.А. Михайлов, И.В. Китаев, В.Б. Курносков) . . . . .	116
ЛИТЕРАТУРА . . . . .	119

1 р. 30 к.

2965