

ПРАВИТЕЛЬСТВО РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ «САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ» (СПбГУ)

Институт наук о Земле

Маковиз Арсений Михайлович

**Особенности современного осадконакопления в озере Байкал (район Селенга –
Бульдейка)**

Магистерская диссертация

по направлению – Геология

магистерская программа - «Осадочная геология»

«К ЗАЩИТЕ»

Научный руководитель:
проф., доктор геол.-мин. наук **С. М. Усенков**

«__» _____ 2017

Заведующий кафедрой:
проф., доктор геол.-мин. наук **С. Б. Шишлов**

«__» _____ 2017

Санкт-Петербург
2017

Оглавление

Введение.....	3
Глава 1 Географическая и геологическая характеристика Байкала	4
1.1 Географическая характеристика.....	4
1.2 Геологические особенности строения озера Байкал.....	5
1.3 Строение и седиментационные особенности современной дельты реки Селенги.....	12
1.4 Течения, волновой режим Байкала.....	16
1.5 Донные отложения.....	18
1.6 Распределение поверхностных донных отложений.....	20
Глава II Фактический материал и методика работы.....	28
2.1 Фактический материал.....	28
2.2 Гранулометрический анализ.....	29
2.3 Рентгенофазовый количественный анализ.....	32
Глава III Интерпретация полученных результатов исследований.....	34
3.1 Интерпретация гранулометрического анализа.....	34
3.1.1 Основные типы ЭПР.....	34
3.1.2 Сортированность и средний размер зерна.....	38
3.1.3 Гранулометрические профили.....	42
3.1.4 Диаграмма Хьюострема.....	44
3.2 Интепретация рентгенофазового количественного анализа	45
3.2. 1 Фракция менее 5 мкм.....	45
3.2.2 Фракция 0,05 - 0,1 мм.....	47
Глава IV Выводы	50
Список литературы.....	51

Введение

Цель данной работы изучение особенностей современного осадконакопления в озере Байкал, в районе Селенга – Бугульдейка. В данную цель входят следующие задачи: Изучение условий осадконакопления (рельеф дна, течения), изучение литологии донных осадков методом проведения гранулометрический анализа, проведение минералогического анализа (глинистые минералы во фракции менее 0.005 мм; минеральный состав фракции 0.5 – 1 мм). Выполнение данных задач позволило сформулировать некоторые защищаемые положения:

1. Наиболее крупный и сортированный осадок характерен для восточного берега близ дельты Селенги
2. На глубине от 10 метров до 250 метров происходит размыв осадка размером от 0,01 до 0,1 мм. На глубине от 250 до 1000 метров осадок размером 0,01 -0,05 мм переносится, не осаждается
3. Максимальные значения процентного содержания смектита приурочены к западному берегу
4. Максимальные значения процентного содержания иллита приурочены к восточному берегу
5. Выделено два разных источника сноса обломочного материала для фракции менее 5 мкм:
6. Селенга выносит продукты денудации средних и кислых пород в фракция 0,5-1 мм

Актуальностью данной работы может служить то, что процессы современного осадконакопления в Байкале изучены не в полном объеме, и результаты данных исследований могут дополнить банк имеющихся сведений об осадконакоплении в озере Байкал.

Глава I. Географическая и геологическая характеристика Байкала

1.1 Географическая характеристика

Байкал располагается в центре Азиатского континента на границе Иркутской области и Республики Бурятия в Российской Федерации. Озеро имеет протяжённость 620 км с северо-востока на юго-запад. Ширина Байкала колеблется от 24 до 79 км. По объёму вод ($23\,000\text{ км}^3$) Байкал находится на первом месте среди пресных озёр мира, вмещая 20 % мировых и 80 % запасов вод России. Уровень озера колеблется на отметке 456–457 м н. у. м. В Байкал впадает 336 рек и вытекает только одна река Ангара. Площадь водосборного бассейна составляет около 588 тыс. км², 53 % этой площади приходится на территорию России и 47 % – на Монголию.

На Байкале 27 островов (Ушканьи острова, остров Ольхон, остров Ярки и другие). Самый крупный из островов — Ольхон (71 км в длину и 12 км в ширину, площадь около 729 км²). Крупнейший полуостров — Святой Нос.

В озера Байкал выделяется наиболее крупных заливов, наиболее большой – Баргузинский, затем следуют в порядке уменьшения Чивыркуйский (270 км²), Провал (197 км²), Посольский (35 км²), Черкалов (20 км²), Мухор (16 км²).

Дно Байкала имеет ярко выраженный рельеф. Вдоль всего побережья Байкала развиты прибрежные мелководья (шельфы) и подводные склоны; выражено ложе трех основных котловин озера; есть подводные банки и подводные хребты.

Байкала делится на три котловины: Южную, Среднюю и Северную, отделённые друг от друга двумя хребтами — Академическим и Селенгинским. Наиболее выразителен Академический хребет, протянувшийся от острова Ольхон к Ушканьим островам. Протяженность его около 100 км, максимальная высота над дном Байкала 1848 м. Климат Байкала очень разнообразен.

Среднегодовая температура воздуха повсеместно отрицательная (от -0,5 до -5) из-за очень низких зимних температур (-22 – 32 °С). Абсолютные значения температуры воздуха: минимум -50, -55 °С, максимум 36-38 °С.

1.2. Геологические особенности строения озера Байкал

Озеро Байкал, расположенное в центральной экологической зоне Байкальской природной территории – озеро тектонического происхождения. Впадина озера представляет собой озерный и седиментационный бассейн, и в настоящее время рассматривается как центральное звено Байкальской рифтовой зоны (дивергентной межплитной границы), возникшей и развивавшейся одновременно с мировой рифтовой системой [Флоренсов, 1968]. Развитие Байкальской рифтовой зоны предопределено историей геологической, тектонической и геодинамической эволюции восточной части Евразийского континента. Неотектоническая структура этой части континента предопределена взаимодействиями Сибирской, Китайской, Таримской, Индийской древних платформ и Тибетского массива, которые в качестве жестких блоков существовали, начиная с нижнего палеозоя [Леви и др., 2012].

Озеро Байкал – одно из древнейших озер мира. Оно существует уже около 25 млн лет, а его берега в настоящее время расходятся со скоростью 2 см в год, подобно тому, как расходятся континенты Африки и Южной Америки.

По-видимому, в палеозое и особенно в мезозое на территории современного Байкала был сложный рельеф с большими контрастами высот, о чем, в частности, свидетельствует наличие в Прибайкалье плотно сцементированных юрских конгломератов и песчаников. Они образовались за счет сноса с гор грубообломочного материала на более пониженные участки – в иркутский бассейн и впадины Забайкалья.

О меловом и раннепалеогеновом этапе развития рельефа Прибайкалья известно мало, так как осадочные отложения этого возраста не обнаружены. К концу палеогена Прибайкалье представляло собой приподнятую полого-холмистую страну, обширные участки которой покрывал плащ выветренных пород. Остатки пенеплена и мощные коры выветривания встречаются во многих местах Прибайкалья (Приольхонское плато, остров Ольхон и др.) и по подводным склонам котловины озера.

В конце палеогена (около 23 млн. лет назад) – нижнем неогене в Прибайкалье развиваются прогибы, заполняющиеся пресными водами. В этих мелководных водоемах отлагаются пески, глины, галечники. Появляются предки современных байкальских моллюсков и губок. Как свидетельствует ископаемая фауна неогена и спорово-пыльцевые анализы, климат в этот время был более теплым, чем в настоящее время.

К началу четвертичного периода (1,5 млн. лет назад) тектонические движения распространяются на весь юг Восточной Сибири. В это время формируется впадина Байкала и возникает ее горное обрамление, близкое к современному.

В конце плиоцена и начале четвертичного периода в связи с похолоданием климата началось оледенение горных хребтов Прибайкалья: Баргузинского, Байкальского, Хамар-Дабана и др. В период максимального развития ледники достигли озера. Мощные процессы ледниковой аккумуляции и экзарации, эрозии ледниковыми водами, а также колебания уровня Байкала, связанные с образованием и таянием льдов изменяли дочетвертичные очертания берегов. В долинах, на побережье и шельфе северо-восточного, северо-западного и юго-восточного берегов озера происходило интенсивное накопление ледниковых отложений, мощность которых достигла 100-120 м [Галазий, 1993].

Байкальский рифт представляет собой тектонотип континентального рифта. Он составляет центральное звено Байкальской рифтовой зоны (БРЗ), протяженность которой составляет 2500 км. Котловина Байкала делится на три структурных зоны: Южную, Среднюю и Северную впадины, отделённые друг от друга двумя хребтами — Академическим и Селенгинским. В геологической и глубинной структуре впадин установлена значительная роль листрических разломов.

Байкальская рифтовая зона имеет сложное геологическое строение, и характеризуется аномальным состоянием глубинного вещества (рис. 1.11). Ее общие черты [по акад. Н.А. Флоренсову] – морфологическая выразительность рифтовых структур, интенсивный неоген-четвертичный вулканизм (ныне угасший), значительные геофизические аномалии, высокая сейсмичность и другие признаки новейшей тектоники. Мощность земной коры в рифтовой зоне составляет 34-48 км, на Сибирской платформе 37-39 км, а в Забайкалье 39-41 км. На границе Северо-Байкальской впадины она составляет 42-44 км, в зоне сочленения с Центральной впадиной снижается до 35 км, в Южно-Байкальской впадине по граничному разлому вдоль западного борта происходит уступ в положении подошвы земной коры амплитудой 3-6 км. В земной коре Прибайкалья прослежена субгоризонтальная зона пониженных скоростей прохождения сейсмических волн (глубины 11-22 км). По данным магнитно-теллурического зондирования это литосферный проводящий слой, характеризующийся повышенной электропроводимостью. Очаги землетрясений располагаются над этим слоем. В мантии Прибайкалья выявлен другой проводящий слой, кровля которого в Байкальской рифтовой зоне поднимается до глубины 90-110 км. В верхней мантии выделяется слой с аномально низкими скоростями

прохождения сейсмических волн, что свидетельствует об аномальном состоянии вещества этого слоя, подстилаемый горизонтом с нормальными для верхней мантии скоростями.

Седиментационные комплексы Байкальского рифта выделены и изучены сейсмостратиграфическими и общегеологическими методами. Геологическими исследованиями суши, примыкающей к Байкалу, осадочная толща расчленена на древнейший (археобайкальский), средний (протобайкальский) и новейшие (палеобайкальский и байкальский) тектонолитостратиграфические комплексы. Они разделены несогласиями, обусловленными тункинской (27-25 млн лет) и ольхонской (4-3 млн лет) фазами тектогенеза и соответствуют разным этапам геологического развития Байкальского рифта (рис. 1).

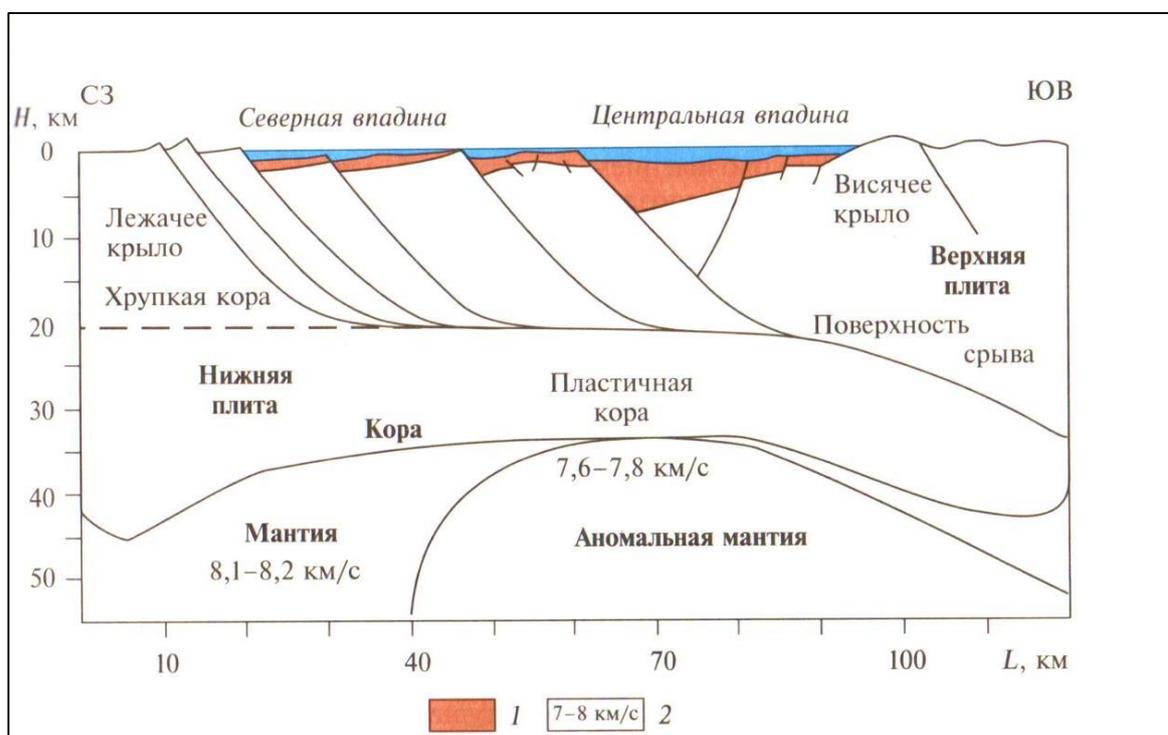


Рис. 1 Схема строения Байкальского рифта ([Зоненшайн и др., 1992] с изменениями [Байкаловедение, 2012]). Условные обозначения: 1 – осадочная толща; 2 – скорость продольных сейсмических волн.

На археобайкальском этапе в позднем мелу началось формирование рифтовой впадины. Морфоструктура Байкальского рифта в это время развивалась по типу щелевого рифта, на фоне пенепленизированных равнин. В настоящее время большинство исследователей связывают формирование Байкальской рифтовой зоны с Индо-Евразийской коллизией (начало – 53 млн лет т.н.). Воздействие Индо-Евразийской коллизии интенсифицировало процессы рифтогенного растяжения. Рифт формировался как

структура, формирование которой протекало под воздействием процессов, происходивших на границах плит, когда на фоне преобладающего сжатия (формирование мощных зон надвигов и сдвигов), в отдельных специфических зонах реализовывались процессы растяжения. Интенсификация рифтогенеза последовала с началом роста глубинного диапира – в середине плиоцена это проявилось в рельефе ростом плеч рифта, Байкальского свода и существенным увеличением опускания дна впадины. Развитию рифтового процесса способствовало наличие древних зон делимости литосферы, сформировавшихся на ранних этапах ее развития, среди которых важнейшее значение имела байкальская ветвь шовной зоны, разделявшей Сибирский кратон и Саяно-Байкальскую подвижную область [Русинек и др., 2012].

В подводном рельефе дна просматриваются многочисленные сейсмические разломы, сбросы, наиболее мощным из которых является сброс Обручева, проходящий под крутым северо-западным склоном озера и достигающий 12 км (2 км над уровнем озера, ~1600 м в воде и ~8000 м в донных отложениях). Уклоны (крутизна) дна имеют наибольшие значения, свыше 30 градусов, под северо-западным берегом озера. Максимальная крутизна склонов, около 60 градусов, наблюдается у мыса Колокольного в Южном Байкале и у мыса Ижимей в Среднем Байкале. Наблюдениями с подводного обитаемого аппарата «Пайсис-ХI» при опускании вдоль склона у пос. Маритуй зарегистрированы отрицательные участки склонов типа большого грота.

Длина береговой линии озера составляет 2100 км. При этом западное побережье — скалистое и обрывистое, рельеф восточного побережья — более пологий (местами горы отступают от берега на десятки километров).

Формирование берегов Байкала происходит в результате денудации склонов, абразионно-аккумулятивных процессов и эпизодически повторяющихся землетрясений. Волновая деятельность, по времени совпадающая с особенно низкими уровнями озера, вызывает интенсивную абразию дна прибрежных отмелей. В свою очередь размыв дна отмелей способствует разрушению берегов при высоких уровнях. Возникновение абразии то в глубоководной части прибрежной платформы, то в пределах мелководья и надводных форм берега представляет особенность динамики байкальских берегов.

Спад уровня прекращает абразию надводных форм; формирование берега происходит за счет обрушения и оползания подмытых пород с уступа на пляж до угла естественного откоса. Берега, сложенные рыхлыми породами, в среднем отступали на 10–20 м в 100 лет в период естественного стояния вод Байкала. Так, размывы южных и юго-

восточных берегов в границах песчано-глинистых неогеновых пород сопровождаются оползнями. На этих участках есть места, где на протяжении 70 км насчитывается около 30 современных проявлений оползней. Мощность их достигает 15 м. Средняя скорость смещения оползней от 0,5 до 40 см/год. В период ливней и при значительных подмывах сползающих масс медленные смещения переходят в мгновенные.

На берегах Байкала также широко развиты скальные обвалы и осыпи, чему способствуют интенсивные процессы физического выветривания, атмосферные осадки и высокая сейсмичность. Для склонов южного Байкала характерны следующие объемы обвалов: до 5 куб. м – 68% от числа зарегистрированных случаев, до 50 куб. м – 18%, до 1000 куб. м – 12%, более 1000 куб. м – 2%. Крупные обвалы наблюдались во время землетрясений 1902, 1904, 1929, 1959 гг.

Абразионная деятельность оз. Байкал сильно активизировалась в результате подпора плотиной Иркутской ГЭС и повышения уровня воды на озере (1962 г.) в пределах 1,0–1,2 м. Наибольшее развитие она получила в период наивысшего подъема уровня воды Байкала. Исследования береговых ландшафтов показали, что сильный размыв берегов наблюдается на участках побережья, занятых низкими байкальскими террасами песчаного и супесчано-суглинистого состава. Слабее подвержены разрушению те уступы террас, у основания которых обнажаются глинистые неогеновые отложения и коренные породы из кристаллических сланцев и гнейсов. Следовательно, различный литологический состав отложений размываемых берегов вызван разной скоростью проявления абразионных процессов, а также разной высотой уступов озерных террас [Тулохонов, 2009].

Байкальские террасы формировались вследствие различных причин, определявших разнонаправленные тенденции в выработке их на разных высотных уровнях. С одной стороны, они обусловлены подъемом уровня Байкала, и в этом случае более высокие террасы моложе низких, а с другой – они образовались в связи с тектоническими поднятиями берегов, и в этом случае гипсометрически более высокие уровни оказываются более древними. Байкальские террасы, вопреки существовавшему прежде мнению об их отсутствии на западных склонах, прослеживаются по всей периферии озера [Русинек и др., 2012].

Подводный рельеф. Байкальской впадине свойственны все основные морфометрические формы подводного рельефа, которые характерны для чаши любого крупного водоема: прибрежная отмель, или шельф, глубоководный склон и плоское днище. Байкальский шельф представляет собой своеобразную поверхность выравнивания,

отличающуюся от шельфовых морских и океанических побережий размерами, но качественно тождественную им. Как и в океанах, шельф Байкала формируется преимущественно под воздействием гидродинамических процессов. Берега Байкала окаймлены полосой мелководья, представляющего собой подводный береговой склон, или шельф. Внешний край шельфа имеет извилистый рисунок и в общих чертах повторяет конфигурацию береговой линии. В строении шельфа довольно четко наблюдается зависимость основных его элементов (ширины, глубины на внешнем крае и наклоне поверхности) от геологического строения побережья (структуры и литологического состава пород) и рельефа исходной поверхности. Менее четко выявляется связь этих элементов с господствующим направлением волнения. В пределах шельфа интенсивно протекают гидро- и геодинамические процессы, влияющие на морфологию берегов и развитие наземных берегоформирующих процессов.

В генетическом отношении байкальский шельф представляет собой поверхность выравнивания в основном абразионного, аккумулятивного и трансгрессивного происхождения. Преобладает абразионный тип шельфа. Аккумулятивный шельф приурочен к областям интенсивного накопления рыхлого терригенного материала, главным образом к устьевым участкам крупных рек – Селенги, Баргузин, Верхней Ангары. Протяженность аккумулятивного шельфа составляет 140–150 км. К трансгрессивному типу относятся мелководья в бухтах Песчаной, Сенной, Бабушка, а также мелководья в заливах пролива Ольхонские Ворота. Абразионный шельф расположен вдоль берегов, сложенных кристаллическими породами докембрия, песчано-глинистыми неогеновыми и песчано-галечно-валунными четвертичными отложениями. Состав и распределение горных пород на шельфе в общих чертах соответствуют составу и распределению их на суше. Эти породы резко отличаются по литологическому составу и физико-механическим свойствам. Поэтому отмели, сформированные в различных отложениях, обладают значительными морфологическими отличиями.

Наибольшую протяженность имеет шельф берегов, сложенных прочными кристаллическими породами докембрия. Такое строение шельф имеет вдоль северо-западного побережья, на небольшом протяжении между ст. Слюдянка и Мурино, вокруг п-ва Святой Нос и к северу от р. Большой Чивыркуй до Сосновской низменности. Вдоль упомянутых берегов расположен самый узкий шельф на Байкале.

Байкальский шельф в большинстве случаев очень резко переходит в следующую батиметрическую ступень впадины – глубоководный склон. В морфологии этих склонов наблюдаются значительные различия, выраженные как в общих уклонах дна, так и в

характере перехода от склона к днищу и в степени морфологической сложности. Западный борт Байкальской впадины наследует продольные оси Байкальского и Приморского хребтов и расположен в зоне громадного сброса. Поэтому средние уклоны на большей протяженности склона очень значительны – до 30–35 [Тулохонов, 2009].

Впадина Байкала асимметрична. Западная ее сторона отличается крутым склоном, восточная – более пологим. На западной стороне мелководная платформа (шельф) развита очень слабо, на восточной – гораздо сильнее. Глубоководная часть склонов также различается по морфологии. Вдоль западного берега склон сравнительно мало расчленен и не имеет крупных форм подводного рельефа (за исключением крайней северо-западной части). Рельеф склона восточного берега сложнее. Здесь наблюдаются крупные подводные долины типа каньонов. Дно Байкала во всех трех котловинах выровнено, со слабым наклоном к западной стороне впадины, где отмечаются максимальные глубины озера. Подводные каньоны, пересекающие склоны вкрест их простирания, прорезают не только рыхлую толщу осадков, но также кристаллические и метаморфизованные породы, образование которых связано с поперечными трещинами тектонического происхождения. На подводных склонах наблюдаются ступени с наклоном к центру впадины. Их возникновение вероятно связано с расширением впадины Байкала, воздыманием Приморского хребта и опусканием тектонических блоков по разломам системы сброса Обручева вдоль западного борта озерной котловины. Обнаружена коррозия подводных склонов скатывающимся на глубину галечным пляжевым материалом абразионных берегов, а также подводными мутьевыми потоками. Глубина эрозионных борозд – до 3-5 м [Галазий, 1993].

Территория Прибайкалья отличается сложными инженерно-геологическими условиями. В ее геологическом строении принимают участие различные по составу и возрасту формации. Здесь распространены карбонатные и силикатные сильно дислоцированные и метаморфизованные породы архея и протерозоя, а также платформенные терригенные и карбонатные сцементированные и измененные отложения, часто смятые в узкие линейные складки северо-восточного простирания. Изверженные породы представлены интрузивными и эффузивными разностями. Среди них по южному и северо-восточному побережью широко распространены граниты различного состава и структуры. Краевые части Байкальской впадины заполнены четвертичными озерными, речными, пролювиальными и ледниковыми образованиями.

Особенности коллекторных свойств горных пород обусловили выделение в Прибайкалье двух типов гидрогеологических резервуаров с различной глубиной залегания – бассейнов подземных пластовых вод и массивов трещинных и жильно-трещинных вод.

Прибайкалье входит в область островного и сплошного распространения многолетней мерзлоты. Мощность мерзлого грунта на побережье не превышает 10 м, а его температура не опускается ниже $-0,2... -0,3^{\circ}$. Острова таликов концентрируются около русел рек, на склонах южной и западной экспозиций, местами на водоразделах. Термокарст, наледи, гидролакколиты, пучение грунтов – широко распространенные мерзлотные явления. Особо опасны наледи, развивающиеся иногда под инженерными сооружениями. При строительстве железных и автомобильных дорог изменившиеся водный и температурный режимы грунтов часто усиливают пучение и наледообразование и требуют особых мер по обеспечению устойчивости сооружений.

Мощные селевые потоки периодически наблюдаются на юго-восточном и северо-западном побережьях Байкала. Во всех селеопасных районах необходимо проведение селезащитных мероприятий [Галазий, 1993].

В границах Байкальской природной территории открыто и разведано 420 месторождений и выявлено более 1000 проявлений различных полезных ископаемых. Разведка, добыча и переработка многих видов минерального сырья являются важной основой устойчивого развития экономики и социальной стабильности БПТ. Вместе с тем, добыча полезных ископаемых создает многочисленные проблемы экологического характера, острота которых зависит от масштабов горнодобывающих работ, вида минерального сырья и близости объектов добычи к озеру Байкал.

1.3. Строение и седиментационные особенности современной дельты реки Селенги

Данные приводятся по интернет-ресурсу (https://www.academia.edu/17215025/строение_и_седиментационные_особенности_современной_дельты_реки_селенги)

Река Селенга впадает в Байкал с юго-восточной стороны. Общая площадь бассейна реки 447060 км², что составляет приблизительно 83,4% водосбора озера. На долю Селенги приходится около 50% стока воды и 60% стока наносов основных притоков Байкала. При

впадении в озеро река образует обширную устьевую область, относящуюся к устьям дельтового типа с многорукавной дельтой выдвигания на открытом отмеле мелководье.

Устьевая область реки имеет две подобласти – речную (субаэральную), или устьевой участок реки и озерную (субаквальную). Речная подобласть в устьевой области Селенги представляет собой обширную дельтовую равнину, имеющую форму треугольника, площадью около 1800 км². С северо-запада дельтовая равнина ограничивается берегом Байкала, с юга – хребтом Хамар-Дабан, с северо-востока предгорьями хребта Улан-Бургасы и Морского. Ширина этой дельтовой равнины у с.Никольское (67 км от устья), где река выходит из гор, с 7,5 км увеличивается в районе пос.Кабанск (43 км от устья) до 22 км, а между станцией Боярская и м.Облом достигает 85 км по прямой, длина по нормали к этой прямой - 48 км. Образование этой надводной аллювиальной суши относится к четвертичному периоду. Дельтовая равнина (устьевой участок) Селенги в настоящее время делится на два района – верхнюю дельтовую равнину (ВДР) и нижнюю дельтовую равнину (НДР) (.ВДР – это высокая пойма и первая надпойменная терраса реки, возвышающиеся над уровнем Байкала на высоту около 2 – 10 м. Рельеф равнины сформирован древними протоками Селенги. Верхнюю дельтовую равнину мы относим к древней дельте. Здесь нет современных дельтообразовательных процессов. В периоды высоких паводков подтапливается в основном лишь верхняя пойма. Построенная к 1941 году по левому берегу реки дамба, начинающаяся у пос.Кабанск и заканчивающаяся в районе с.Ранжурово (около 14 км от устья), перекрывает выход паводочных вод на левобережье, что дополнительно способствует отмиранию протоков, образованию стариц, сокращению площади флювиальных процессов на левой стороне этой дельтовой равнины.

НДР – современная дельта - представлена низкой заболоченной поймой, плавно снижающейся к Байкалу и ежегодно затапливаемой. Высота ее над уровнем озера 0,25 – 2 м. Для нее характерно большое количество протоков, стариц и пойменных озер. Ее граница оконтуривает территорию площадью около 800 км² между с.Исток, м.Облом и районом с.Жилино (34 км от устья), где река разбивается на два основных дельтовых рукава – Твороговский и Красноярский. Этот район – вершина современной дельты. Ширина дельты по прямой между с.Исток и м.Облом около 60 км, длина (по нормали к указанной прямой) – 26 км. Уклон водной поверхности в дельте 0,09 м/км. Между с.Жилино и с.Никольское уклон реки почти в три раза больше – 0,3 м/км. Влияние подпора речных вод озерными до вершины дельты не доходит и распространяется при низком стоке вверх по реке на расстояние около 15 км.

В границах современной дельты весьма активна динамика вод, наносов и рельефа. Эти процессы имеют свои отличия в трех секторах дельты – северном, среднем и южном. В северном секторе расположены основные протоки Лобановская и Дологан. Эти протоки, на 12 км от Байкала сливаясь в одну, впадают в зал.Провал. Протоки среднего сектора дельты – Голутай, Среднее Устье, Колпинная и южного – Левобережная и Основное Русло – впадают в оз.Байкал. На протоках Роскомгидрометом велись наблюдения за уровнем и стоком воды, в последние годы исследования в дельте не проводятся. В период открытой воды при пониженной водности на долю протоков северного сектора приходится в среднем около 30% жидкого стока Селенги, через протоки южного сектора проходит в среднем 60% жидкого стока и менее 10% - через протоки среднего. При повышении водности реки происходит увеличение доли жидкого стока в северный (до 40%) и в средний (свыше 10%) сектора дельты, а в южный - уменьшается до 50%. В зимний период почти все протоки перемерзают, в среднем около 90% жидкого стока проходит в основном через южную группу протоков [95 - №1]. Распределение стока наносов по протокам дельты следующее: в среднем 55% приходится на южные протоки, на средние и северные - 10 и 35% соответственно. Мутность воды в дельте Селенги в периоды пониженной водности становится почти одинаковой во всех водотоках и изменяется от 10 до 25 г/м³, при средней водности – от 25 до 60, в периоды паводков и половодий - от 60 до 200 г/м³. Зимой мутность воды в протоках дельты 1 - 3 г/м³.

Входным створом в устьевую область Селенги, на котором ведутся многолетние наблюдения за стоком воды и наносов, следует считать гидрологический створ разъезд Мостовой (127 км от устья) у города Улан-Удэ, где река протекает единым руслом в коренных породах. Средний многолетний сток воды у разъезда Мостовой составляет 29 км³ (средний годовой расход воды 919 м³/с). Среднее значение притока наносов в дельту реки в этом створе - 2.7 млн.т в год (средний годовой расход наносов 66 кг/с, среднемноголетняя мутность 72 г/м³).

Около 60% наносов, поступающих в дельту, осаждаются на ее поверхности и в протоках, около 40% - выносятся в Байкал. Осаждающиеся в дельте Селенги наносы приводят к наращиванию ее высоты в среднем на 2 мм в год при условии их равномерного распределения на поверхности. Процессы наращивания дельты в высоту и выдвижения ее края в озеро происходят неравномерно. Северный сектор, выходящий в зал. Провал, почти не подвергается разрушительному воздействию волн и имеющий значительный сток воды и наносов, в основном наращивается, как и южный, частично подвергающийся воздействию волн, но имеющий наибольший сток воды и наносов. Средний сектор при

определенных гидрометеорологических условиях то наращивается, то отступает и, таким образом, находится в динамическом равновесии. В целом озерный край дельты представляет собой весьма динамичную переходную зону между дельтой реки и устьевым мелководьем и образует специфический тип берега. Согласно теории типизации берегов дельт, дугообразный со слабой извилистостью озерный край дельты Селенги (коэффициенты изрезанности и выдвинутости берега - 0,7 и 1,6 соответственно) формируется в условиях, занимающих промежуточное положение между влиянием на дельту речных и озерных факторов, с незначительным преобладанием последних. Морфолитодинамические изменения в дельте Селенги происходят главным образом в весенне-летний период (апрель-сентябрь), на который приходятся основные половодья и паводки и по реке проходит около 96% годового количества наносов.

Ежегодно (к августу-сентябрю) около 60-80 % поверхности суши дельты затопляется из-за подъема уровня воды в озере в результате приточности, регулирования режима работы Иркутской ГЭС и паводочного стока самой реки.

Озерная подобласть УО Селенги – это устьевое мелководье, подводная часть конуса выноса реки. Граница его проходит по изобате 50 м, на северо-востоке приближаясь к изобате 20 м, и неодинаково удалена от озерного края дельты. На северо-востоке расстояние от края дельты до внешней границы устьевое мелководья около 3 км. К югу мелководье постепенно расширяется, достигая длины в средней части около 7 км, в южной - около 12 км. Внешняя граница Селенгинского мелководья оконтуривает зону обмеления прибрежной полосы озера под влиянием выносов реки. Рельеф дна мелководья показывает достаточно резкое увеличение глубин озернее 50 и 20 м (на северо-востоке) изобат (Рис. 3). Глубже указанных отметок дна находится предустьевое пространство озера, где влияние речных выносов прослеживается, но не наблюдается процессов обмеления (по [2]). Часть мелководья, заключенная между батиметрическими уровнями 0 – 20 м, расположена в зоне активного проявления гидродинамических процессов [13].

На мелководье Селенги преобладают течения, направленные вдоль дельты на север и северо-восток со средней скоростью за навигационный период 0,17 м/с. Однако, усиление деятельности северных и северо-западных ветров (до 62%) в осенний период приводит к тому, что в конце сентября – начале октября на участке мелководья, прилегающем к южному сектору дельты, происходит смена преобладающего направления течения на юго-восточное со средней скоростью за октябрь-декабрь 0,20 м/с. В тоже время в средней и северной частях мелководья по-прежнему сохраняется и усиливается течение северо-восточного направления.

Наносы Селенги распространяются на мелководье под действием волнений и течений. При северо-западном ветре зона распространения наносов сужается, т.е. мутные речные воды прижимаются к берегу, вытягиваясь на северо-восток. В условиях штиля зона их распространения расширяется, но не выходит за пределы границы устьевого мелководья. Около 70% объема наносов реки поступает в среднюю котловину Байкала, а в южную – около 30% .

1.4 Течения, волновой режим Байкала,

Течения.

Ключевыми основаниями, определяющими перемещение воды в Байкале, считаются приток и отток речных вод и ветровая деятельность. Из ключевых и стоковых течений стоит отметить Селенгинское, Баргузинское и Ангаро-Кичерское. Селенгинское течение состоит из 2 ветвей. Юго-западная ветвь направлена к западному берегу и прослеживается в районе Б. Котов и вблизи истоков Ангары. Селенгинские речные воды, отличаются от вод Байкала по уменьшенной прозрачности и измененной цветности воды, по наличию в планктоне организмов, свойственных лишь Селенге, и по химическим показателям. Ангаро-Кичерское течение от устьев рек В. Ангары и Кичеры направляется сначала на запад, а затем поворачивает на юг. Баргузинское течение от устья р. Баргузин направляется вдоль берегов одноименного залива сначала на север, а затем вдоль побережья п-ва Св. Нос на юго-запад. Покидая залив, оно вдоль восточного берега устремляется на север. Помимо постоянных течений в Байкале существуют также и временные потоки водных масс различных направлений, спровоцированные сильными ветрами. Данные потоки зарождаются лишь в поверхностных слоях воды и на глубине 15–20 м быстро затухают. В общей схеме течений вырисовывается следующая закономерность: вдоль западного берега потоки воды движутся на юг, а вдоль восточного – на север, т. е. общая циркуляция водных масс направлена против часовой стрелки, и все три котловины охвачены этой циркуляцией (рис. 2). Роль течений в Байкале очень велика – они обеспечивают не только горизонтальный обмен водных масс внутри и между котловинами озера, но и в связи со сложностью рельефа байкальского дна играют большую роль и в вертикальном перемешивании воды, особенно в районе перемычек между котловинами.

Придонные течения в целом повторяют направление приповерхностных течений

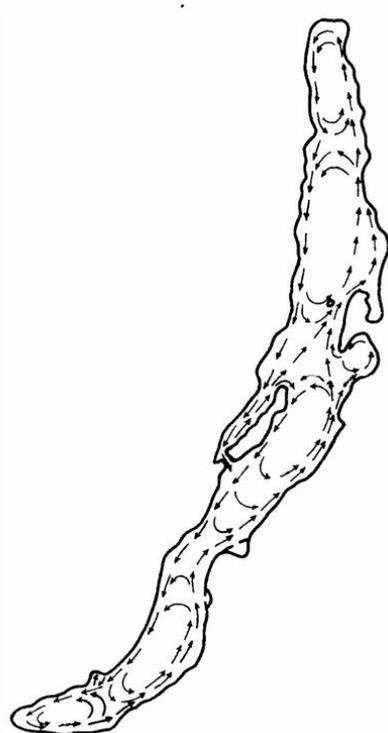


Рис. 2. Схема направления поверхностных течения

Распределение скоростей течений по глубине может быть проиллюстрировано следующими данными наблюдений: 10 м – 142–96 см/с, 50 м – 56 см/с, 250 м – 30 см/с, 675 м – 12 см/с, 1000 м – 8 см/с, 1200 м – 6 см/с (Проблемы Байкала, 1978).

Волнение.

Волны на Байкале, возникают под воздействием ветра, от перепада атмосферного давления на различных участках акватории и иных причин. Высота волн зависит от скорости ветра, длительности его действия и разгона. Волны, вызванные продолжительными ветрами (култук, верховик, баргузин) после прекращения ветра затухают в течение полусуток, а местными ветрами – через 2–3 часа. В течение года наблюдаются два максимума волнения – первый в мае–июне, а второй – в осенний период. Июнь–июль – наиболее спокойная часть навигационного периода. Почти в 80 % этого времени отмечается штиль и слабое волнение. Большинство летних штормов наблюдается во конце августа и в сентябре, при этом средняя высота волн достигает 4,0–4,5 м. Октябрь–декабрь – наиболее штормовой и наиболее опасный по волнению отрезок времени. Волнение наблюдается почти непрерывно и развивается быстро. В этот период отмечаются самые высокие волны (более 5 м) (Байкал: атлас, 1993). Каждый из основных

байкальских ветров имеет свои особенности воздействия на волнение (Брянский, 1989). Верховик образует значительное волнение в открытой части Среднего и Южного Байкала, в Чивыркуйском заливе и Малом Море. Култук формирует сильное волнение в средней и особенно северной части озера, образуя сильный прибой у восточных берегов о. Ольхон, у наветренных берегов Ушканьих островов, в Баргузинском заливе, у Нижнеангарска, а также на южном побережье от Мысовой до Посольска. Горные ветры вызывают наибольшее волнение у юго-восточной части побережья, в Малом Море – у наветренных берегов о. Ольхон. Шелонник – единственный ветер, развивающий волнение у западного побережья, особенно на участке от Маритуя до Ольхонских ворот.

Для Байкала характерно образование сложного волнения, так называемой толчеи, возникающей при столкновении двух противоположных по направлению волнений. Байкальские волны обладают огромной разрушительной силой. На отдельных участках берегов, где происходит абразия ледниковых отложений, волны перемещали глыбы весом 4–6 т

1.5 Донные отложения

Поступление осадочного вещества.

На формирование донных отложений такого крупного озера, как Байкал оказывает влияние следующие факторы: физико геолого-геоморфологические (морфология, рельеф и геоморфологические процессы котловины и водосбора, состав пород берегов и бассейна, неотектоника и сейсмичность, климат), гидрохимические (гидрохимия водоема и его притоков), гидрологические (водный сток и сток наносов, динамика водных масс озера), гидробиологические (продуценты органического вещества и породообразующие организмы)¹.

Основными источниками материала для формирования донных отложений являются: продукты абразии берегов; вещество, поступающее с речным стоком, остатки отмерших водных растений и животных.

На западном борту впадин расположены короткие (менее 20 км) реки и ручьи, а также большое количество временных водотоков, по которым происходит транспортировка материала (преимущественно, грубообломочного) во время сильных дождей, в результате чего формируются небольшие аллювиальные и делювиально-пролювиальные конуса выноса сложенные грубозернистым материалов. Практическое отсутствие предгорной и

мелководной террас вдоль западного борта приводит к тому, что обломочный материал выносится реками непосредственно в пределы подводного склона. Вследствие значительных уклонов подводного склона впадин и малого объема поступающего с западного берега осадочного материала, чехол современных осадков в них пределах имеет незначительные мощности или полностью отсутствует, обнажая коренные кристаллические породы и древние отложения (Карабанов, Фиалков, 1979; Карабанов, 1999). Шлейфы грубозернистого материала у подножия склонов западного борта впадин также незначительны, либо отсутствуют.

Восточный борт Байкальской котловины более пологий и имеет огромный дренажный бассейн (более 85% дренажного бассейна озера). Длина рек восточного берега во много раз превышает длину рек западного. Практически все основные крупные реки впадают в озеро с восточного берега, вынося около 90% твердого стока и формируя обширные дельты (Карабанов, 1999).

Для верхнего современного слоя осадков Байкала, как и для большинства крупных озерных бассейнов, в общих чертах соблюдается следующая закономерность: в береговой зоне сосредоточена наиболее крупная фракция отложений, тогда как в глубоководных частях котловин – наиболее мелкая, однако распределение дельт наиболее крупных рек по отношению к основным геоморфологическим элементам, а также асимметричное строение склонов котловин вносит в эти общие закономерности существенные коррективы, что обуславливает указанную выше уникальность седиментационных обстановок Байкала.

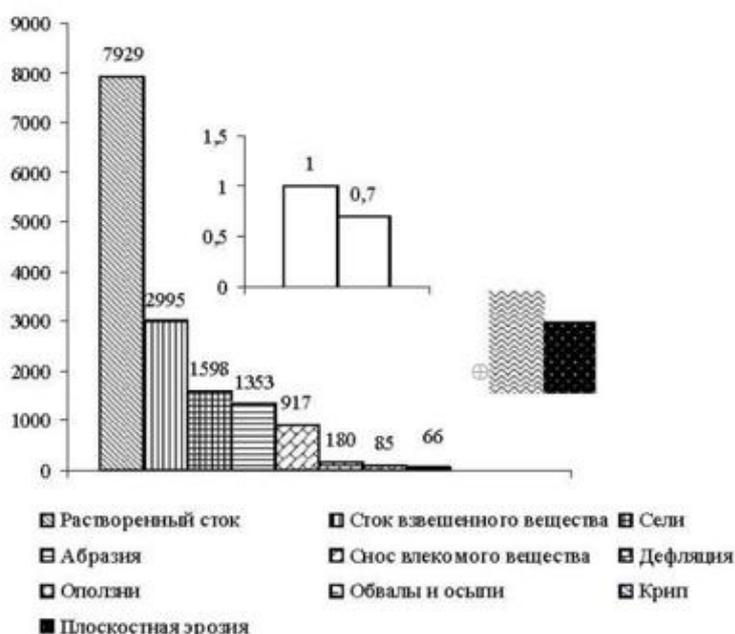


Рис. 3. Значимости процессов в сносе вещества в Байкал

По данным Б. П. Агафонова (1990), за год в Байкал в среднем поступает около 15,1 млн. т. вещества (рис. 3). Величина выноса вещества р. Ангарой составляет около 6 млн т/год, и, таким образом, в озере аккумулируется около 9 млн т/год.

1.6 Распределение поверхностных донных отложений

Терригенный генетический тип отложений

Грубообломочные отложения

Грубообломочные отложения – крупные валуны, галечные и гравийные осадки, часто в различных пропорциях сочетающиеся с крупнозернистыми песками, развиты вдоль скалистых берегов, в зоне активной волновой деятельности, на скалистых мысах. Область отложения грубообломочного материала вдоль достаточно крутого западного берега озера достаточно узка и составляет от 300–500 м в южной котловине, до 2–3 км – в северной. У более пологого восточного берега ширина зоны может варьировать от 2,5 до 5 км от берега.

Преимущественные глубины распространения грубообломочного материала составляют 20–30 м, реже до 50 м. В отдельных случаях на западном склоне озера и на крутом восточном склоне о. Ольхон грубообломочные отложения представлены очень широко вплоть до дна озера. Отмечается, что, если в верхней части склонов (до 400 м) еще можно встретить материал, привнесенный из прибрежной зоны, то на больших глубинах распространены продукты местного разрушения скальных стенок. В зависимости от характера коренных пород размер обломков может составлять от 3–4 м для мраморов до 10–30 см для гнейсов. Они очень подвижны и легко смещаются вниз, образуя осыпи у подножия склона, часто перекрытые тонким слоем ила мощностью 5–10 см (Бухаров, Фиалков, 1996). Окатанность грубообломочных отложений различна, но в целом отмечается более высокая степень обработки материала, приуроченного к восточному берегу озера.

Песчаные отложения

По мере удаления от берегов и наиболее активной гидродинамической области, а также в придельтовых участках с глубин 10–15 м широкое распространение получают пески различной размерности. Причем, с нарастанием глубин уменьшается их зернистость и увеличивается доля алевроитового материала.

Песчаные отложения распространены до глубин 100–150 м, хотя могут встречаться и значительно глубже (например, до 1200 м у м. Ижимей). Окраска песков определяется минералогическим составом и может быть серой, темно-серой, коричневой и желто-серой, изредка светло-серой и белой. Чаще всего состав песков полимиктовый (состоит из множества породобразующих минералов). Велика примесь более мелкого алевритового и пелитового материала, а также растительного детрита – обломков древесины, остатков травяной растительности.

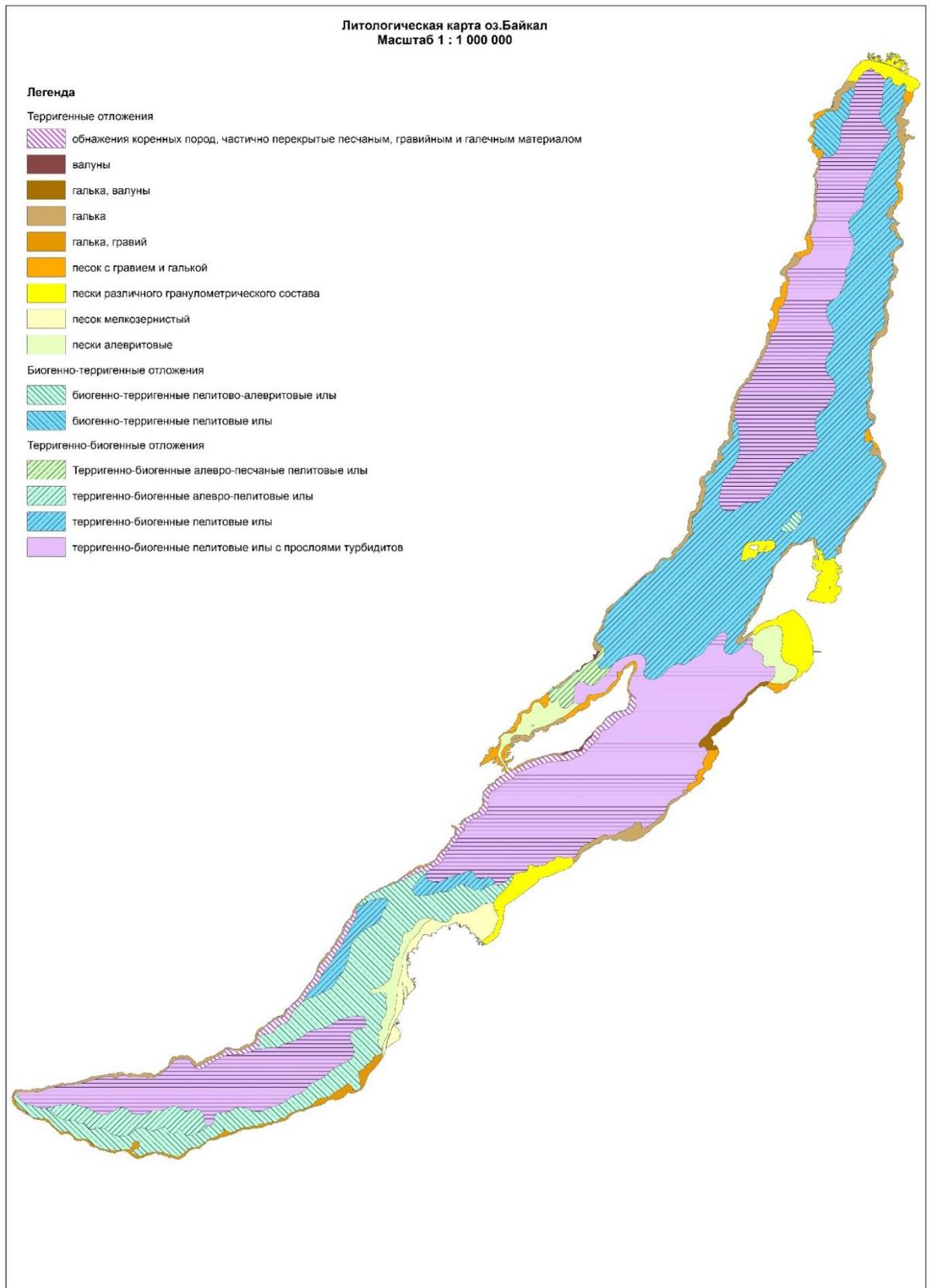


Рис. 4 Литологическая карта озера Байкал

В авандельте Селенги пески располагаются обычно до глубин 15–20 м, редко до 30–40 м. Наиболее широко представлены мелкозернистые разности и алевритовые пески

Песками покрыто дно Курбуликского залива и почти половина залива Провал.

Зона песчаной аккумуляции расположена между восточным берегом озера и полуостровом Святой Нос, представляющим собой томболо. В настоящее время песчаные отложения продолжают накапливаться в Баргузинском и Чивыркульском заливах. В Баргузинском заливе ширина зоны песков составляет до 15–18 км, занимая почти половину залива, далее расположено поле алевритовых песков.

В устье р. Верхняя Ангара ширина зоны песков достигает 4,5 км.

В Малом Море преимущественно распространены мелкозернистые и алевритовые пески, где они занимают полосу дна от берега вплоть до середины пролива, при этом отличаются хорошей сортированностью, особенно со стороны о. Ольхон. Терригенный материал плохо отсортирован, что обусловлено, вероятно, размером и формой пролива, повышенной скоростью придонных течений, особенностями волновой деятельности (Патрикеева, 1959). К северо-востоку, с увеличением глубины Малого Моря, песчаные осадки сменяются илами, обогащенными диатомеями.

Биогенно-терригенные отложения глубоководной части озера Байкал

Отложения подводного поднятия Бугультейско-Селенгинская перемычка

Поднятие Бугульдейская перемычка, разделяющая Центральную и южную котловины, представляет собой тектоническую ступень, наклоненную в сторону южной котловины. На ступень наложена дельта р. Бугульдейки, осадки которой играют важную роль в седиментации района. Подводная часть дельты далеко вдаётся в озеро. Верхние 100 м разреза характеризуются непрерывными субпараллельными отражениями, свидетельствующими о мощной толще гемипелагических осадков. В поверхностных илах, отобранных на Бугульдейской перемычке, турбидиты отсутствуют (Вологина, Штурм, 2009; Кузьмин и др., 2001). Скорость осадконакопления здесь составляет 0.2—0.86 мм/год, что значительно превышает этот показатель на Академическом хребте. Вне зоны прямого влияния р. Бугульдейка в осадках встречаются только отдельные редкие и маломощные алевритовые турбидиты. Повышенная скорость накопления осадков в этом районе связана с интенсивным поступлением терригенного материала с водами крупнейшего притока Байкала — р. Селенга.

Биогенно-терригенные пелитово-алевритовые илы образуют обширное поле в пределах Бугульдейской перемычки (включая акваториальную периферию Посольской банки), а также протягиваются от нее в западном направлении в виде узкой полосы вдоль южного берега озера Байкал. Биогенно-терригенные илы пелитового состава развиты локально в северной части озера.

Отложения конусов выноса

Характерной особенностью отложений глубоководной части озера Байкал является наличие подводных конусов выноса терригенного материала. Конусы выноса тяготеют к бортам озера и имеют веерообразную форму, а размеры достигают 10-20 км. Например, длина конуса выноса Кукуйского подводного каньона, расположенного на северном склоне дельты р.Селенга, составляет более 60 км. По данным сейсмоакустики, тела подводных конусов выноса сложены слоистыми отложениями, в которых отчетливо выделяются отдельные аккумулятивные тела – лобосы, каналы стока суспензионных потоков и прирусловые валы (Nelson et al., 1998; Colman et al., 1999). Размеры лобосов составляют 1-2 км, а мощность первые сотни метров. Подводные каналы стока, пересекающие поверхность конусов выноса, имеют ширину несколько сотен метров при глубине в первые десятки метров (Карабанов, 1999). Распределение осадков на конусах очень сложное и зависит от положения лобосов и каналов стока. Опробование донных отложений конусов показало, что в основном они сложены чередующимися слоями тонкозернистых гемиплегических отложений (диатомовых и глинистых илов) и грубозернистых (алеврит, песок, гравий) прослоев. Генезис грубозернистых прослоев связан с турбидитными потоками. Их мощность составляет от долей сантиметра до 20-30 см. Мощность турбидитных слоев и крупность грубозернистых осадков в них убывает по удалению от берегов и от оси конуса выноса. В дистальных частях конусов турбидитные прослой верхнего слоя осадков утончаются, и частота их встречаемости уменьшается, но они полностью не исчезают, и очень широко представлены в осадках глубоководных равнин. Отложения каналов стока более грубозернисты и представлены песчаными и более грубыми отложениями вплоть до валунов. Во многих районах озера подводные конуса выноса расположены близ от друга и сливаются, создавая сложную картину, наложенных друг на друга конусов выноса, усложняя без того сложную фациальную картину распределения донных отложений (Карабанов, 1999). Картирование таких участков дна будет выполнено при дальнейшем продолжении работ на основе заверки данных многолучевого эхолотирования и гидролокации бокового обзора пробоотбором.

На склонах котловин в виде узкой полосы шириной от 300 м до 1,5 км, примыкающей к зоне песков выделяются крупноалевритовые (по классификации Н.М.Страхова) илы, относящиеся по классификации Л.Б.Рухина к тонкозернистым пескам. Они обычно занимают интервал глубин от 50 до 400 м, хотя могут встречаться и глубже (например, залив Лиственничный). В зависимости от крутизны склонов и скорости смещения материала, илы сочетаются с отложениями более крупной размерности вплоть до крупнозернистых песков, что определяет неоднородность, «пятнистость» зоны. В наибольшей степени это касается западного крутого борта котловин озера. Окраска илов серая, темно-серая, с различными оттенками, чаще бурыми, реже зеленоватыми. По консистенции чаще вязкие, реже полужидкие, иногда уплотненные. Обычно содержат примесь песчаного, мелкоалевритового или пелитового материала, растительных остатков и панцирей диатомей.

Отложения «литоральных зон»

Отложения, вскрытые грунтовыми трубками в пределах плоских участков дна, примыкающих к восточному берегу в Северной котловине и вдоль южного берега Южной котловины, не содержат турбидитов (рис.3). Осадки в этих зонах представлены биогенно-терригенными илами спокойной обстановки седиментации (Вологина, Штурм, 2009).

Терригенно-биогенные отложения глубоководной части озера Байкал

Отложения глубоководных равнин

К диатомовым отложениям относят осадки, содержащие от 10 % и более панцирей диатомовых водорослей и спикул губок. Преимущественно это мелкоалевритовые и пелитовые илы. Граница распространения диатомовых илов составляет около 300–500 м у восточного берега и 700–1400 м – у западного. Илы с содержанием диатомей до 40–50 % обычно мягкие, часто полужидкие, коричневатого-серого цвета со специфическим белесым оттенком. В сухом состоянии очень пористы и легки. Терригенно-биогенные алевропелитовые илы характерны для Северной котловины. Содержание створок диатомовых в этих осадках может достигать 60-80% (Карабанов, 1999).

В верхней части глубоководные илы чаще всего имеют полужидкую консистенцию, что позволяет живым организмам, обитающим здесь, глубоко проникать в глубь толщи. Так, с подводных спускаемых аппаратов (ПОА) «Пайсис» и «Мир» наблюдатели отмечали, что в результате такой «деятельности» донных организмов отложения глубоководных илов часто имеют мелкобугристую поверхность (Бухаров, Фиалков, 1996).

Отложения Академического хребта

Ярким примером района со спокойными условиями осадконакопления является подводный Академический хребет. Донные отложения, вскрытые грунтовыми трубками, представлены голоценовыми илами и подстилающими их позднеплейстоценовыми глинами (рис.3). Поверхностные осадки представлены терригенно-биогенными пелитовыми илами. Илы состоят из автохтонного биогенного (створки диатомей, реже спикулы губок) и аллохтонного терригенного материала, не содержат турбидитов. Лишь осаждение перенесенного льдом и ветром материала приводит к формированию единичных линз и рассредоточенных зерен алевритовой и, реже, песчаной размерности (Вологина, Штурм, 2009).

Отложения глубоководных впадин

Обширные поля глубоководных илов с прослоями турбидитов по данным Е.Г.Вологиной, развиты во всех трех глубоководных котловинах озера Байкал.

Глубоководные склоны и днище Южной и Центральной котловин покрыты гемипелагическими илами терригенно-биогенного генезиса алеврито-пелитового и пелитового состава. Доля створок диатомовых в современных илах этого типа колеблется от 10-15% до 50%. Примесь песчаных частиц может достигать 5-7%, более грубые частицы отмечаются редко (Карабанов, 1999). Текстуры илов преимущественно тонкослоистые. Слоистость обусловлена в первую очередь изменением содержания терригенной и биогенной составляющих. В большинстве кернов, отобранных в пределах плоских глубоководных частей дна котловин озера, были вскрыты турбидиты (отложения суспензионных потоков), переслаивающиеся с пелагическими илами. Турбидиты обладают рядом специфических признаков, отличающих их от пелагических осадков (Вологина и др., 2003, 2007): градиционной слоистостью, более крупнозернистым гранулометрическим составом, повышенным содержанием минералов тяжелой фракции, темной окраской, высокими значениями магнитной восприимчивости, пониженной концентрацией планктонных диатомей и повышенной долей бентосных форм и древних видов (Вологина, Штурм, 2009)

Помимо большого количества створок диатомовых водорослей, в осадках может присутствовать значительное количество остатков высшей растительности, спикулы губок и цисты золотистых водорослей. При высоком содержании биогенного кремния, содержание Сорг и Нобщ достаточно достигает 2-3% и 0.1-0.2% соответственно, что

обусловлено как высокой продуктивностью озера, так и значительным сносом органического вещества с водосбора (Карабанов, 1999).

Алеврито-пелитовые илы занимают большую часть дна озера, и наиболее широко представлены в Северной и Южной котловинах Байкала, где распространены на глубинах от 25 до 1550 м. По внешнему виду это тонкие илы, светло-серые до темно-серых, часто с коричневатым оттенком, иногда почти черные, мягкие, вязкие, реже полужидкие. Обычна и значительна примесь более мелкого пелитового материала и панцирей диатомовых водорослей. Пелитовые (глинистые) илы занимают центральные наиболее глубокие участки дна озера и широко распространены в Центральной котловине озера. Имеют различную по интенсивности окраску, иногда с зеленоватым, голубоватым и буроватым оттенком. Обычно слабо пластичны, содержат незначительную примесь алеврита и песка. Часто велика доля остатков диатомей, иногда достигающая до 60 %, что переводит такие илы в разряд диатомовых. В то же время опробование донных отложений на глубоководных равнинах показало, что слоистость осадков, отмечаемая на сейсмических профилях, обусловлена чередованием более рыхлых, увлажненных диатомовых илов и плотных, более сухих глин, а также наличием большого количества грубозернистых (алевритовых и песчаных) турбидитов. Турбидитные отложения обнаружены в осадках глубоководных равнин всех трех котловин озера, что хорошо согласуется с сейсмическими данными (Карабанов, 1992). Осадочные колонки, лишенные турбидитов, крайне редки в бассейнах озера. Глубоководное бурение на плоском дне Южной котловины на глубине 1428 м на удалении 15 км от берега также подтвердило наличие песчаных турбидитов на всю глубину вскрытого разреза (225 м). Причем мощность песчаных турбидитов достигала 50-150 см, а их доля в разрезе составляла 87%, что указывает на огромную мощность турбидитных потоков и их важную роль в седиментационных процессах в котловинах озера (Карабанов, 1999).

Глава II Фактический материал и методика работы

2.1 Фактический материал

Фактический материал был отобран в ходе участия автора в полевых работах, посвященных проблеме «Геологическое изучение опасных процессов, связанных с миграцией углеводородов в центральной экологической зоне Байкальской природной территории» (Рис. 5) отделом Региональной геоэкологии и морской геологии ВСЕГИИ в 2015 году.

Фактический материал представлен пробами приповерхностного слоя донных отложений. Донные отложения представлены песчаными и алевропелитовыми осадками.

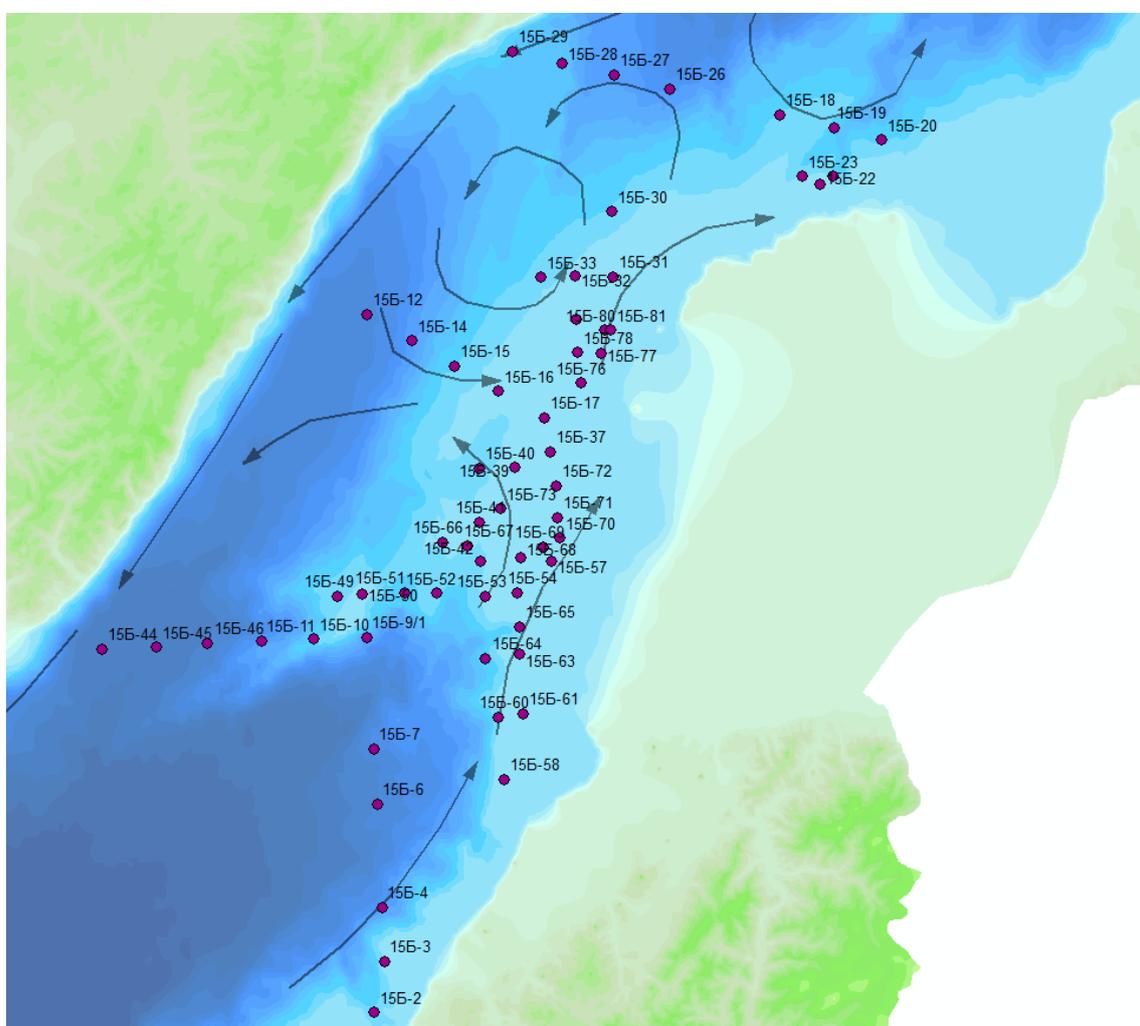


Рис. 5. Схема расположения станций донного пробоотбора.

Отбор проб донного грунта производился с помощью коробчатого пробоотборника «Бокс-корер» (рис. 6), трубы гравитационной (3 м) и бентосной герметичной трубки. В

процессе пробоотбора на каждой станции проведено литолого-геохимическое описание отобранного донного осадка и его фото-документация. Общее число станций отбора донного грунта составило 62 пробы.



Рис 6. Бокс-коррер

2.2. Гранулометрические исследования

Для песчаных проб использовался ситовой анализ. Оптимальная масса исходной пробы для ситового анализа составляет 100 г. Проба отбирается методом квартования. Подготовка проб к анализу состоит в механической дезинтеграции и дезагрегации, заключающейся в их размачивании в воде и механическом разрушении агрегатов частиц путем осторожного растирания резиновым пестиком в фарфоровой чашке. После дезинтеграции осадка из него путем многократного слива верхнего (10 см) слоя суспензии после 20-минутного отстаивания удаляются частицы менее 0.01 мм. Затем пробы высушиваются в сушильном шкафу и взвешиваются для определения содержания частиц менее 0.01 мм.

Ситовой анализ заключается в просеивании пробы песчаного осадка через набор сит аналитической просеивающей машины AS 200 фирмы Retsch (рис. 7). Машина обеспечена программным управлением, позволяющим задавать временной интервал, амплитуду колебаний и прерывистый режим вибрации. Анализ производится на стандартном наборе плетеных сит, отвечающим требованиям ГОСТ 3584-73. В используемом наборе размеры ячеек соседних сит образуют геометрическую прогрессию и соответствует десятичной логарифмической шкале гамма В.П.Батурина. Отверстия сит имеют диаметр 2,50, 2,00, 1,60, 1,25, 1,00, 0,80, 0,63, 0,50, 0,40, 0,315, 0,25, 0,20, 0,16, 0,125, 0,10, 0,08, 0,063, 0,05, 0,04 мм.

Результатом является разделение осадка на 21 фракцию (включая фракции более 2,5 мм и менее 0,01 мм).



Рис. 7. Анализаторная просеивающая машина AS 200 с управлением «g» фирмы Retsch.

Гранулометрический анализ образцов алевропелитовых осадков был выполнен в лаборатории ВСЕГЕИ с использованием лазерного анализатора частиц «Микросайзер 201А» (производства «ВА Инстал») методом лазерной дифракции. Метод основан на регистрации интенсивности рассеянного света, угловая зависимость которого определяется размером и оптическими свойствами частиц. Результатом измерений является получение значения среднего диаметра сферы эквивалентного объема для анализируемой несферической частицы.

Интерпретация результатов гранулометрии проводилась в программной среде «Gradistat». Для выделения типов осадков использовалась классификация Рухина.

Перечень всех станций донного пробоотбора с определенным осадком.

	пелит	алеврит	песок	<0.01 мм	
15-Б-2	10,3	66,1	23,7	28,4	песчаный алеврит
15-Б-3	22,3	71,9	5,8	50,1	алеврит
15-Б-4	15,6	76,5	7,9	39,2	алеврит
15-Б-6	20,7	70,3	9	43,4	алеврит
15-Б-7	19,3	73,9	6,8	43,6	алеврит
15-Б-9_2	19,9	74,6	5,5	48,7	алеврит
15-Б-10	30,2	64,1	5,7	58,5	глинистый алеврит
15-Б-11	23,2	71,6	5,2	49,3	алеврит
15-Б-12	22,1	68,8	9,1	47,7	глинистый алеврит
15-Б-14	25,5	69,9	4,6	55,4	алеврит
15-Б-15	23,7	71,9	4,4	54,7	алеврит
15-Б-16	16	66,3	17,8	38,3	глинистый алеврит
15-Б-17	19,9	69,8	10,3	44,7	алеврит
15-Б-18	33	62,3	4,7	63,3	глинистый алеврит
15-Б-19	38	55,4	6,6	67,4	глинистый алеврит
15-Б-20	26,5	69,1	4,4	59,6	глинистый алеврит
15-Б-21	21,5	68,9	9,6	50,7	алеврит
15-Б-22	19,2	72,1	8,7	48,2	алеврит
15-Б-23	19,7	69,6	10,7	47,7	алеврит
15-Б-26	17,1	76,2	6,7	40,9	алеврит
15-Б-27	19,1	72,9	8	42,1	алеврит
15-Б-28	17,6	75,1	7,3	40,4	алеврит
15-Б-29	18,3	72,8	8,9	42,4	алеврит
15-Б-30	26,4	69	4,6	56,3	алеврит
15-Б-31	15,3	46,3	38,6	33,5	алевропесок
15-Б-32	21	60,1	19	44,3	глинистый алеврит
15-Б-33	17,7	77,6	4,7	45,2	алеврит
15-Б-37	23	64,9	12,2	47,9	глинистый алеврит
15-Б-39	17,9	65,5	16,7	40,2	глинистый алеврит
15-Б-40	21,9	73,4	4,7	50,9	алеврит
15-Б-41	21,8	74,2	4	51,5	алеврит
15-Б-42	18,1	78	3,9	46,1	алеврит
15-Б-44	18,4	75,3	6,3	45,1	алеврит
15-Б-45	23,7	70,6	5,7	49,9	алеврит
15-Б-46	21,4	72,8	5,8	47,1	алеврит
15-Б-49	17,1	77	5,9	42,8	алеврит
15-Б-50	16,7	75,1	8,2	41,8	алеврит
15-Б-51	20,9	73,8	5,3	51,6	алеврит
15-Б-52	23,6	71,4	5	52,9	алеврит
15-Б-53	18,7	73,9	7,4	44,2	алеврит
15-Б-54	15,8	69,5	14,8	36,5	алеврит

15-Б-57	12,1	63,3	24,7	27,6	песчаный алеврит
15-Б-58	7,9	57,4	34,9	17,6	песчаный алеврит
15-Б-60	14,8	71,8	13,5	36,5	алеврит
15-Б-61	5,2	60,5	34,4	11,3	песчаный алеврит
15-Б-63	11,3	69	19,8	28,2	алеврит
15-Б-64	18	73,9	8,1	44,7	алеврит
15-Б-65	16,1	73,2	10,7	39,7	алеврит
15-Б-66	18,1	77,3	4,6	46	алеврит
15-Б-67	9,8	27,8	62,6	19,5	алевропесок
15-Б-68	13,8	75,5	10,7	36	алеврит
15-Б-69	10,8	55,8	33,5	26,3	песчаный алеврит
15-Б-70	10,6	56,7	32,8	24,5	песчаный алеврит
15-Б-71	11,2	69,4	19,5	28,5	песчаный алеврит
15-Б-72	12,2	66,6	21,3	30,2	песчаный алеврит
15-Б-73	22	72,4	5,6	51	алеврит
15-Б-76	16,7	66	17,4	37,4	песчаный алеврит
15-Б-77	14,5	68,9	16,7	36,7	песчаный алеврит
15-Б-78	18,8	67,7	13,6	43,4	глинистый алеврит
15-Б-79	18	67,7	14,4	42,4	глинистый алеврит
15-Б-80	17,1	39,2	43,9	33	алевропесок
15-Б-81	27	61,4	11,7	54	глинистый алеврит

2.3. Рентгенофазовый количественный анализ

Подготовка проб к анализу.

Получение материала для проведения РФА проводилось методом отмучивания фракции менее 0,5 мм и последующего осаждения взвеси на предметное стекло.

Фракция 0,05 – 0,01 мм была получена методом ситования

Условия съемки

Проведение анализа происходило в ресурсном центре СПбГУ

Исследования проводились с использованием автоматического порошкового дифрактометра MiniFlexII (Rigaku), излучение рентгеновской трубки – $\text{CoK}\alpha_{1+2}$, длины волн $\lambda_{\text{CoK}\alpha 1} = 1.78900 \text{ \AA}$ и $\lambda_{\text{CoK}\alpha 2} = 1.79283 \text{ \AA}$, режим работы трубки 30 кВ / 15 мА, позиционно-чувствительный детектор, геометрия на отражение, схема фокусировки Брегг-Брентано, скорость вращения образца 20 оборотов в минуту, атмосфера – воздух.

Идентификация фаз проводилась с использованием базы порошковых дифракционных данных PowderDiffractionFile (PDF-2, 2011).

Количественный фазовый состав образцов фракции 0,05-0,1 мм. (вес. %) по данным полнопрофильного анализа методом Ритвельда.

Интерпретация результатов

Интерпретация результатов РФА проводилась по методике П. Бискайя.

Автором была построена 3D модель дна Байкала (рис. 8) для более наглядного отображение рельефа дна Байкала

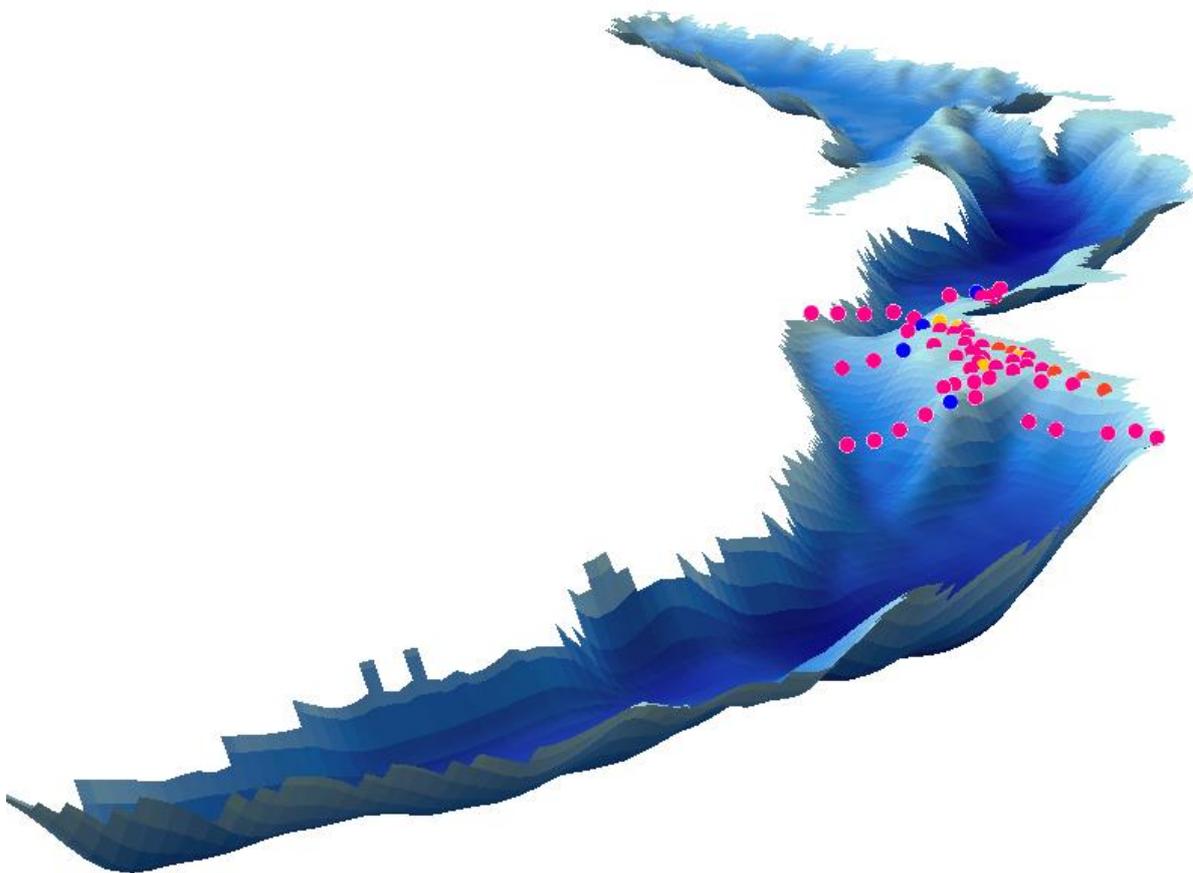


Рис. 8. 3D модель дна Байкал с точками пробоотбора

Построение схем Байкала, а также построение 3D модели дна Байкала проводилось в программной среде ARcGis 10.2

Глава III. Интерпретация полученных результатов исследований

3.1. Интерпретация гранулометрического анализа

3.1.1 Основные типы ЭПР

После проведения гранулометрического анализа, по имеющимся результатам были построены эмпирические полигоны распределения (ЭПР), позволяющие оценить весь гранулометрический спектр пробы. На графике отображены: конечные размеры фракций в логарифмическом масштабе по оси абсцисс, соответствующие каждой фракции весовые проценты в арифметическом масштабе - по оси ординат.

Была проведена генерализация всех построенных графиков ЭПР и выделено 4 главных типов графиков. При выделении основных типов учитывалось положение доминирующей фракции в осадке

Тип 1

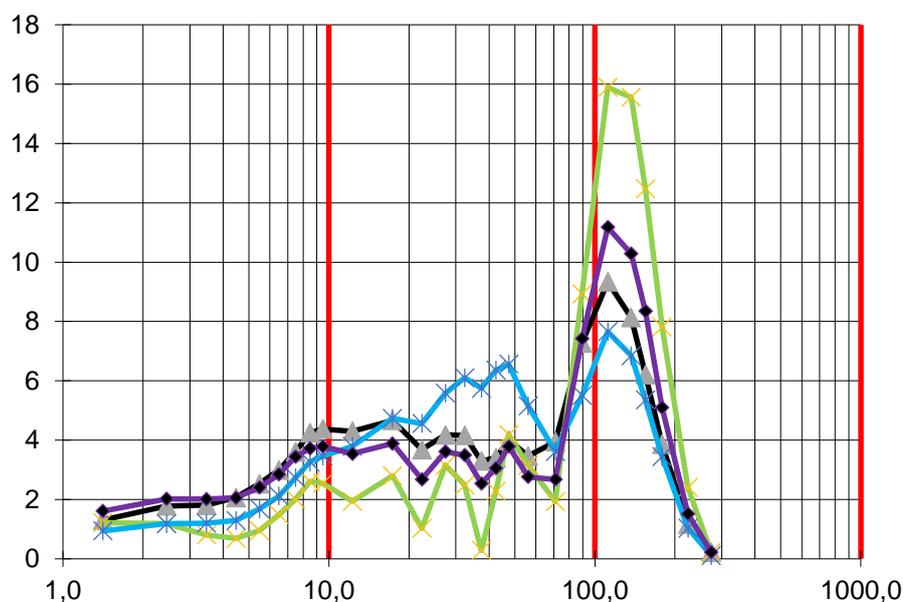


Рис. 9 Тип I ЭПР

Основная мода между 100 и 200 мкм, данный тип самый с самой крупной фракцией. Данный ЭПР характерен для тонко- и мелкозернистых песков

Всего 4 пробы.

Тип 2

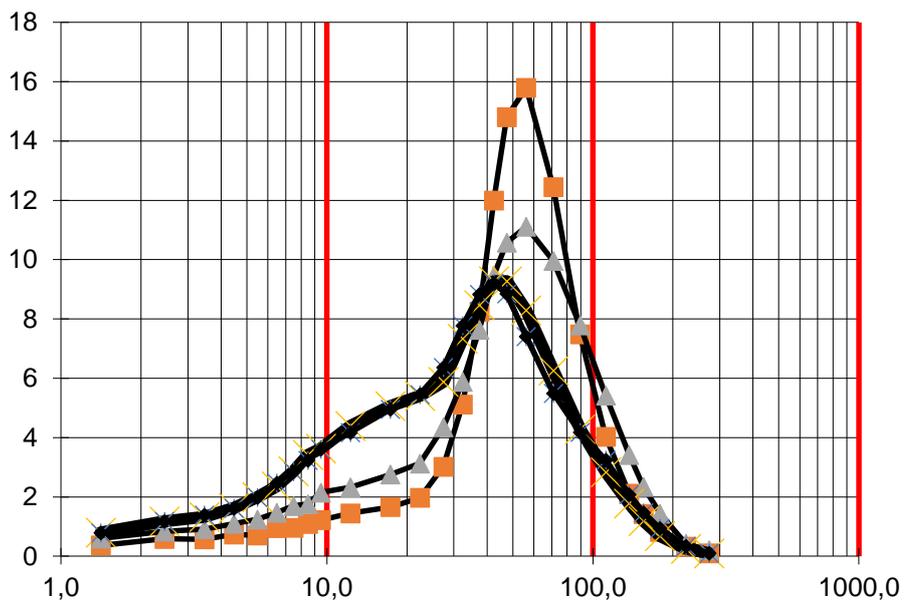


Рис. 10 Тип II ЭПР

Основная мода в данном типе колеблется между 40 и 60 мкм. Данная фракция характерна для алевролита.

Всего 6 проб.

Тип 3

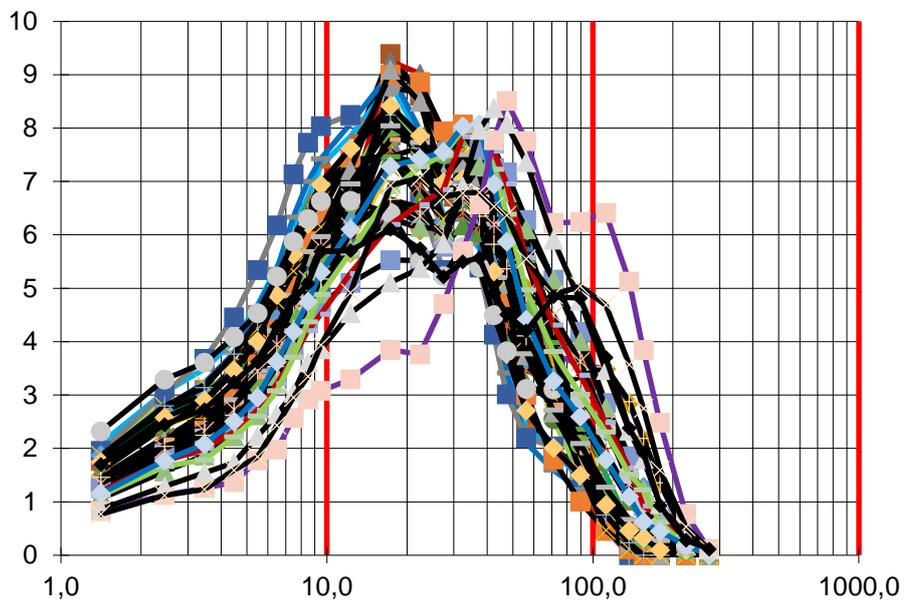


Рис. 11. Тип III ЭПР

Самый многочисленный тип, в данном типе выделены два подтипа:

3А – мода колеблется между 9 и 25 мкм, 3Б - мода между 30 и 50 мкм. Данные фракции также характерны для алевролита.

Всего 48 проб.

Тип 4

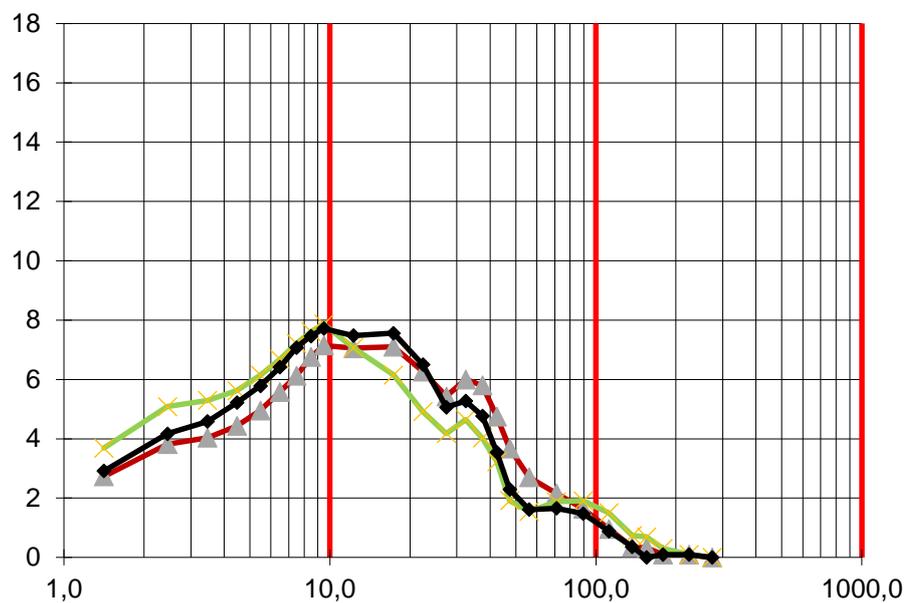


Рис. 12. Тип IV ЭПР

Тип с самой мелкой фракцией, основная мода находится между 8 до 25 мкм

Данная фракция характерна для алевропелита

Всего 4 пробы.

Таблица 2.

Все типы ЭПР для каждой станции

Номер станции	Тип ЭПР	Номер станции	Тип ЭПР
15Б-2	3	15Б-42	3
15Б-3	3	15Б-44	3
15Б-4	3	15Б-45	3
15Б-6	3	15Б-46	3
15Б-7	3	15Б-49	3
15Б-9/2	3	15Б-50	3
15Б-10	4	15Б-51	3
15Б-11/1	3	15Б-52	3
15Б-12	3	15Б-53	3
15Б-14	3	15Б-54	3
15Б-15	4	15Б-57	3
15Б-16	3	15Б-58	2
15Б-17	3	15Б-60	3
15Б-18	3	15Б-61	2
15Б-19	4	15Б-63	2
15Б-20	3	15Б-64	3
15Б-21	3	15Б-65	3

15Б-22	3	15Б-66	3
15Б-23	3	15Б-67	1
15Б-26	3	15Б-68	3
15Б-27	3	15Б-69	1
15Б-28	3	15Б-70	2
15Б-29	3	15Б-71	2
15Б-30	3	15Б-72	2
15Б-31	1	15Б-73	3
15Б-32	4	15Б-76	3
15Б-33	3	15Б-77	3
15Б-37/1	3	15Б-78	3
15Б-39	3	15Б-79	3
15Б-40	3	15Б-80	1
15Б-41	3	15Б-81	3

Автором была построена схема донных осадков на основе имеющихся проб. Основную площадь рассматриваемой территории занимают пелито-алевритовые илы, вдоль восточного побережья пролегал узкое поле алевритовых и мелкозернистых песков. Вдоль западного побережья прослеживается узкое поле с выходами коренных пород.

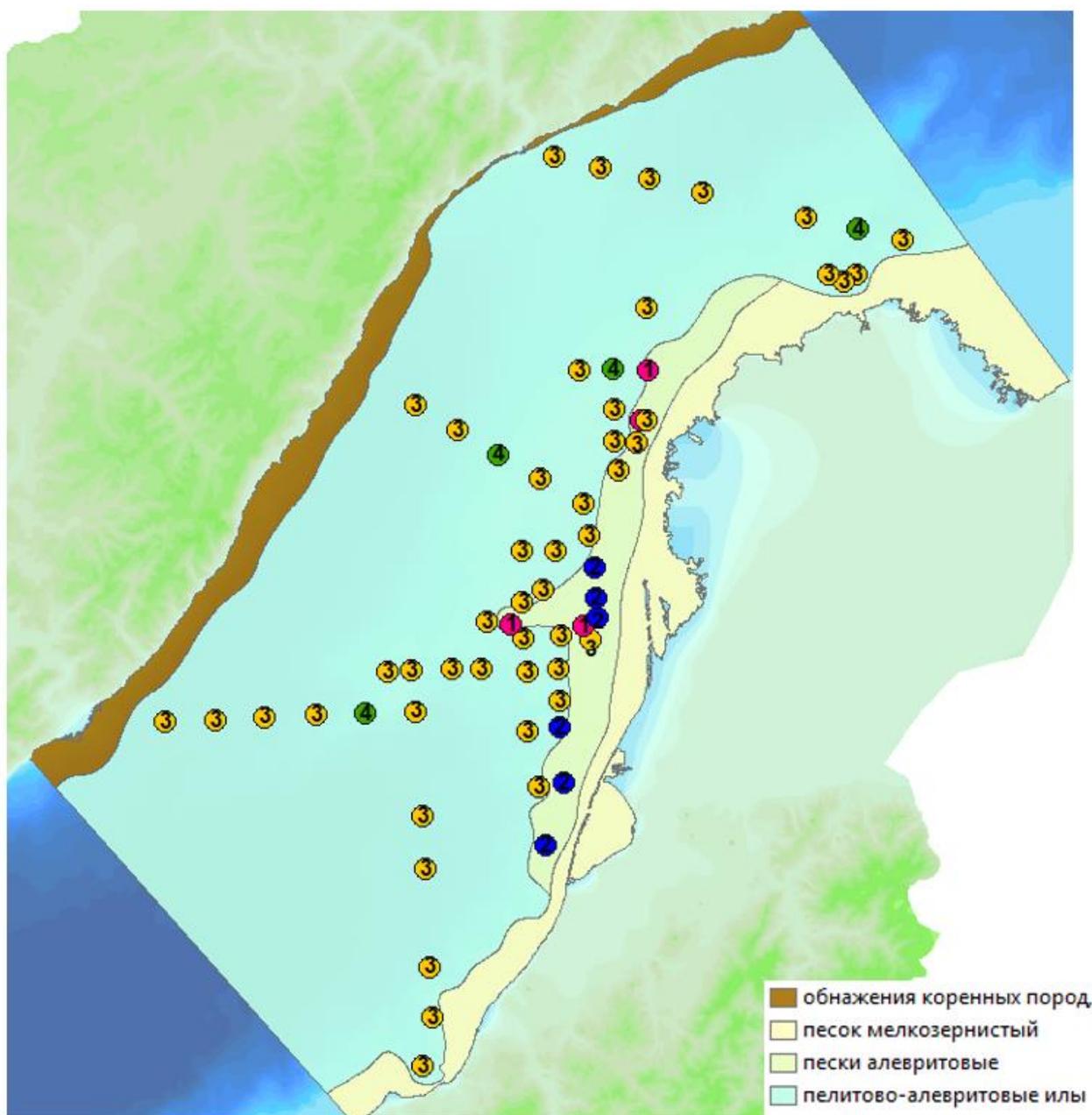


Рис. 13. Схема донных осадков с наложенными типами ЭПР

Типы ЭПР № 3 и №4 попали на поле пелитово-алевритовые илы, тип №2 и №1 характерен для поля алевритовые пески (Рис. 13).

3.1.2 Сортированности и средний размер зерен

Расчет коэффициента сортированности и среднего размера зерен произведен в программной среде «Gradistat». Расчет коэффициента сортированности проводился по формуле стандартного отклонения, а средний размер зерне по формуле среднего арифметического значения. Полученные коэффициенты были нанесены на карту акватории

Байкала, а также на 3D-модель дна озера Байкал. Данные манипуляции позволили вычленить область распространения наиболее сортированного осадка и зерен с наибольшим средним размером, с учетом подводного рельефа и наличия придонных течений. Данная область была обнаружена к Юго-Востоку от дельты Селенги, эта область примечательна тем, что имеет весьма пологий характер дна и маленькие глубины (до 200 метров), также здесь, вероятно, активно функционируют течения, как и придонные, так и поверхностные. Хорошая сортированность и крупный средний осадков некоторых станций может быть следствием высокой динамики водной среды. Также следует учитывать близость дельты Селенги, южные протоки которой могут выбрасывать как довольно-таки крупный материал, так и весьма окатанный (Рис. 14, 15, 16).

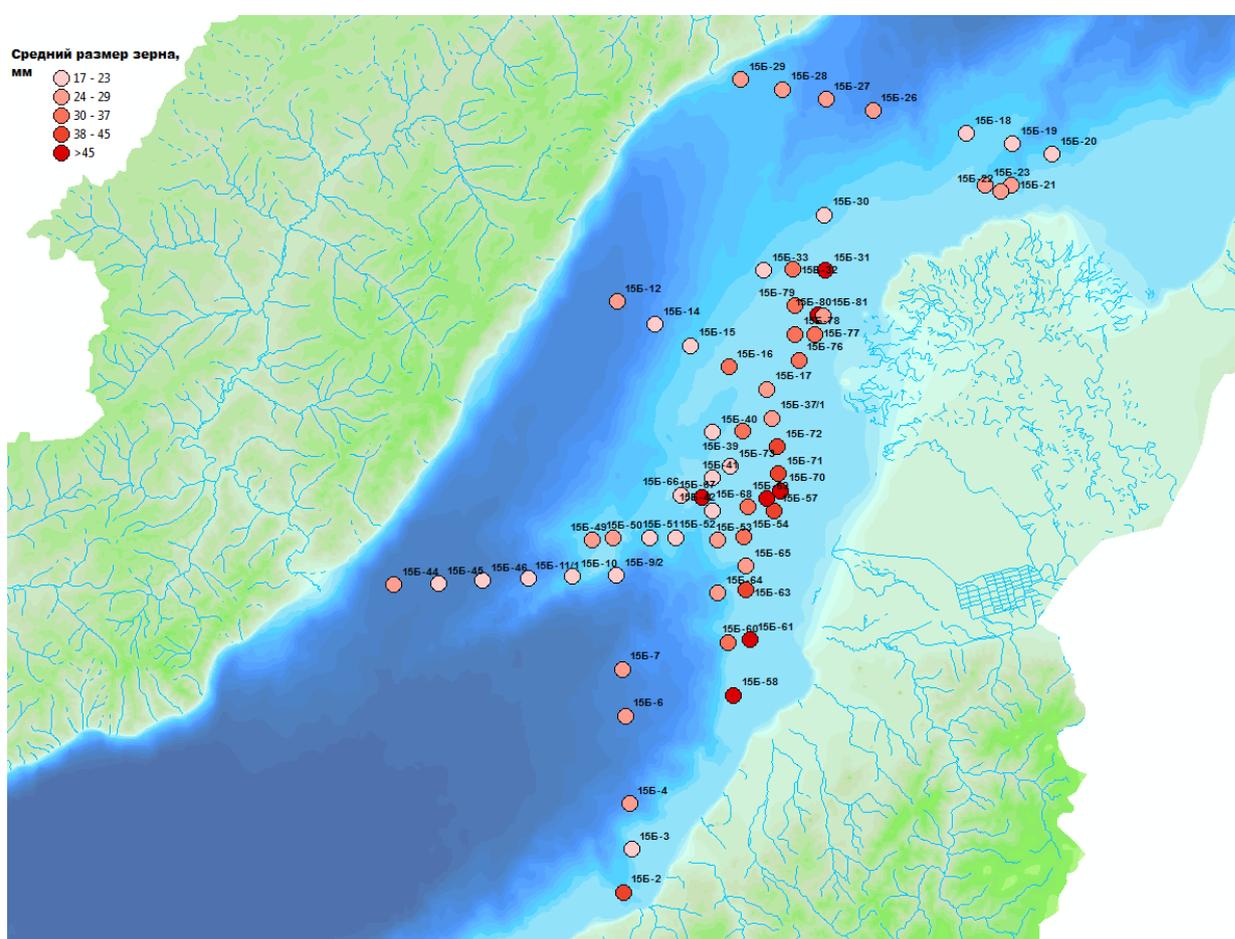


Рис. 14. Средний размер зерна, по всем станциям

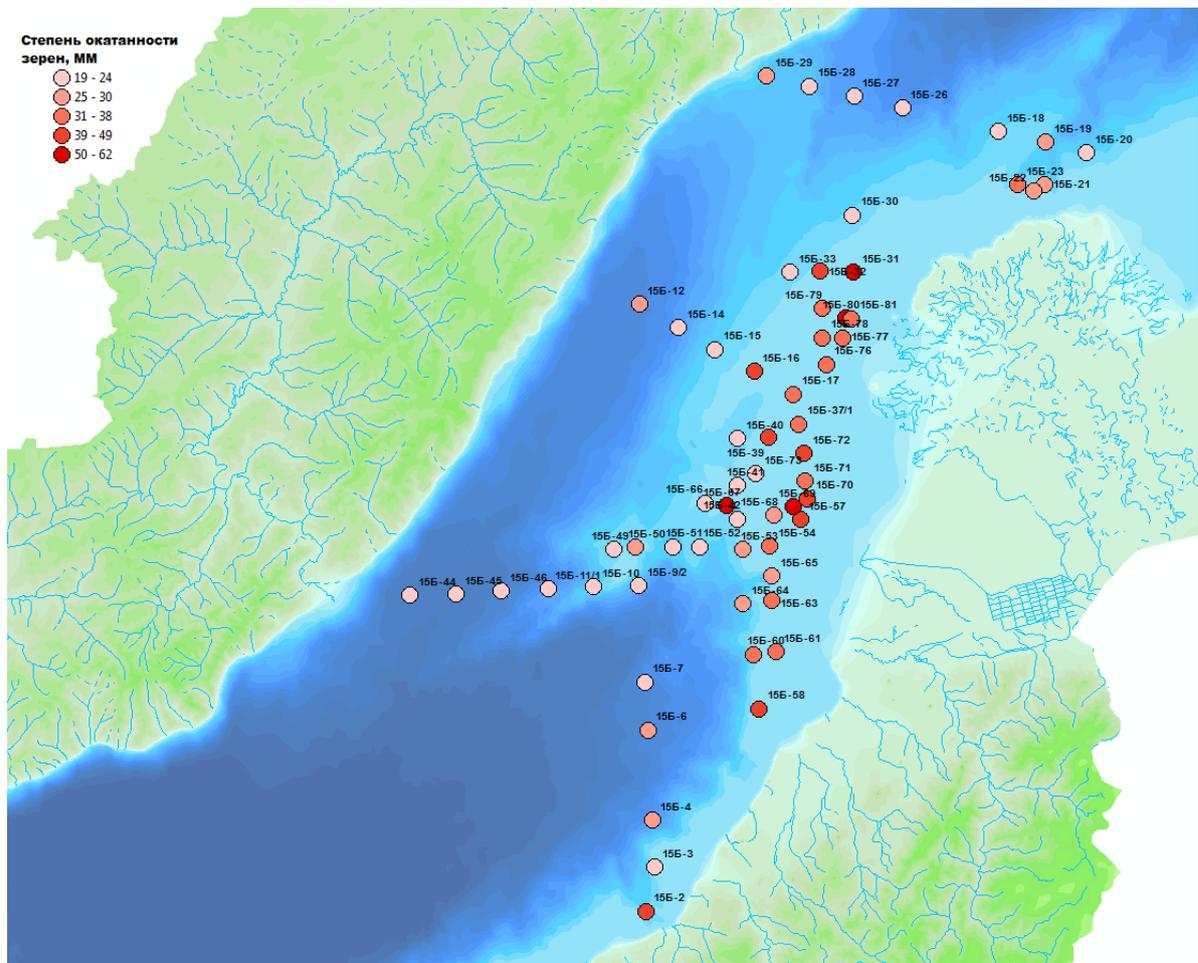


Рис. 15. Коэффициент сортированности по всем станциям

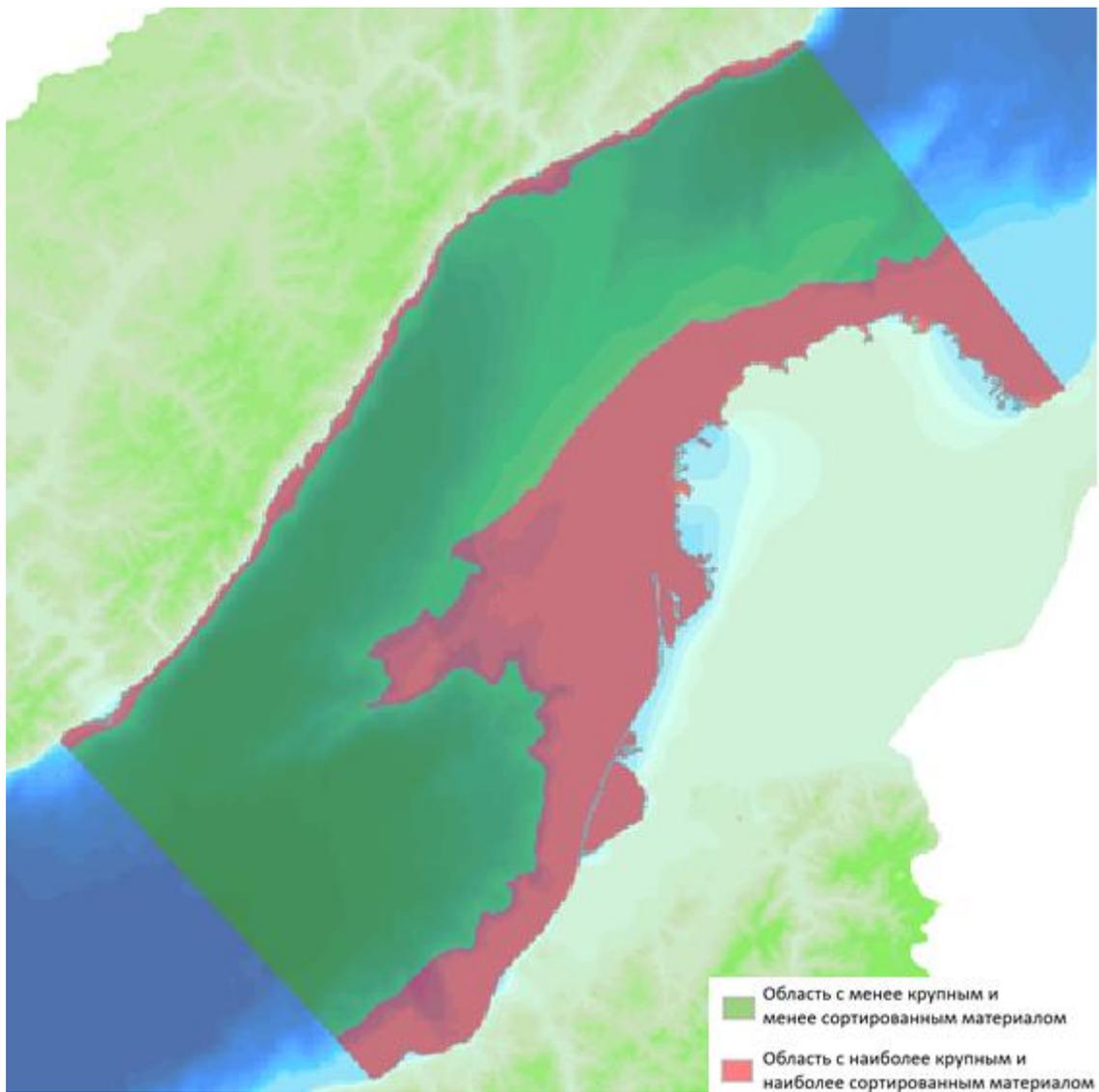
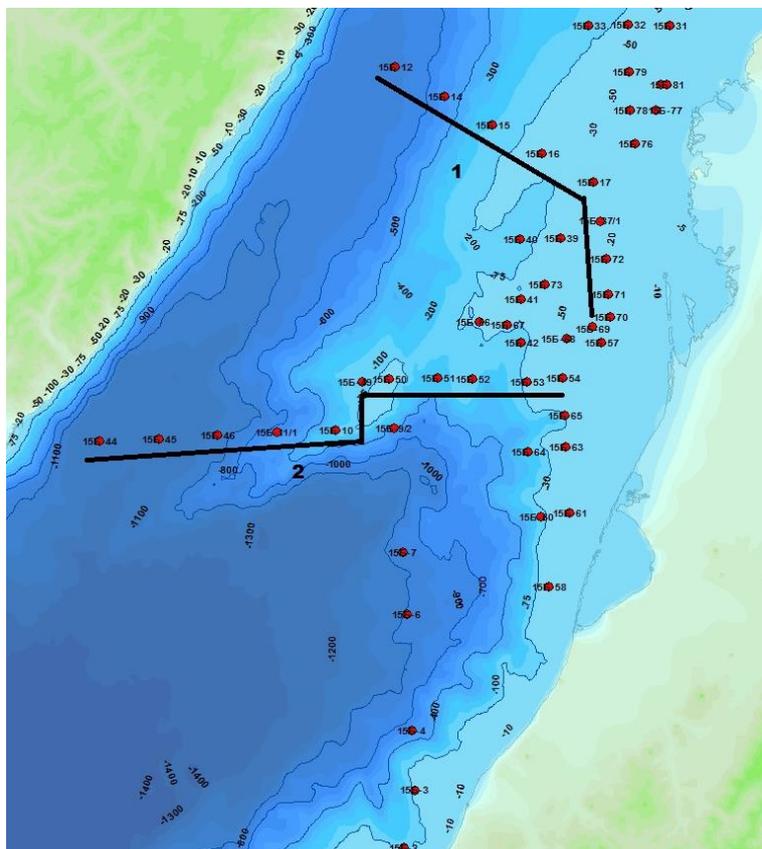


Рис. 16. Схема с обобщенными результатами по сортированности и среднему размеру зерен

3.1.3 Гранулометрические Профиля

Автором были построены два профиля, пролегающие с западного берега на восточный, данные профиля отображают гранулометрическую изменчивость осадка, а также изменчивость коэффициента сортированности и среднего размера зерен



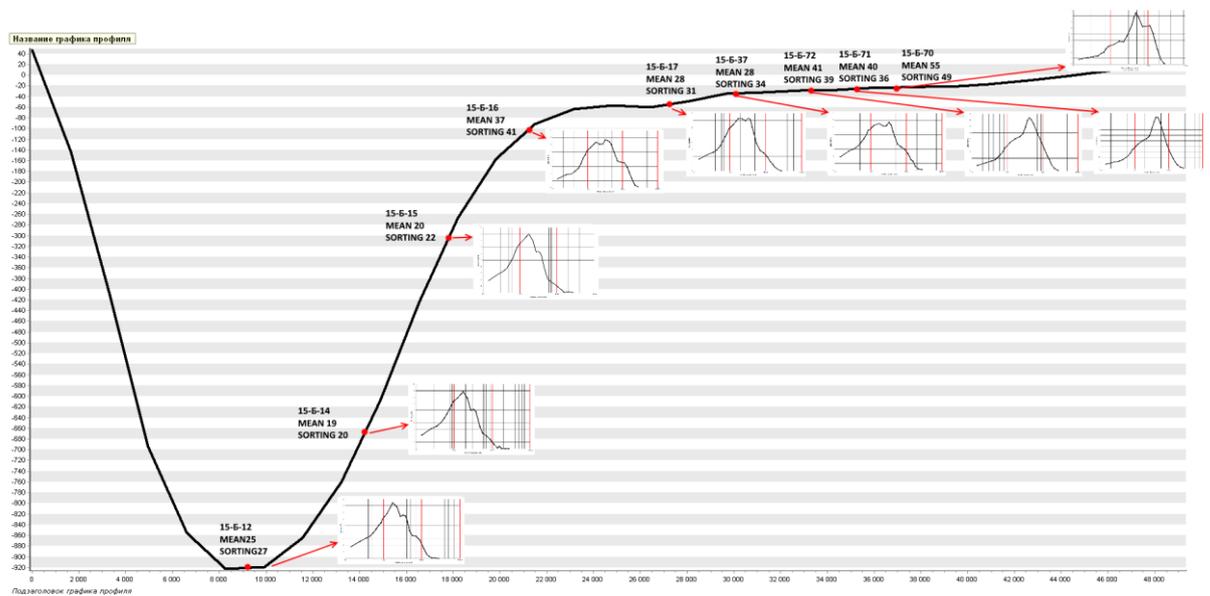


Рис. 18. Профиль 1

Фракционный состава по приближению к восточному берегу изменяется (ст. 12- ст. 37 - III тип, с ст. 72 - II тип), увеличивается размерность осадка и его сортированность

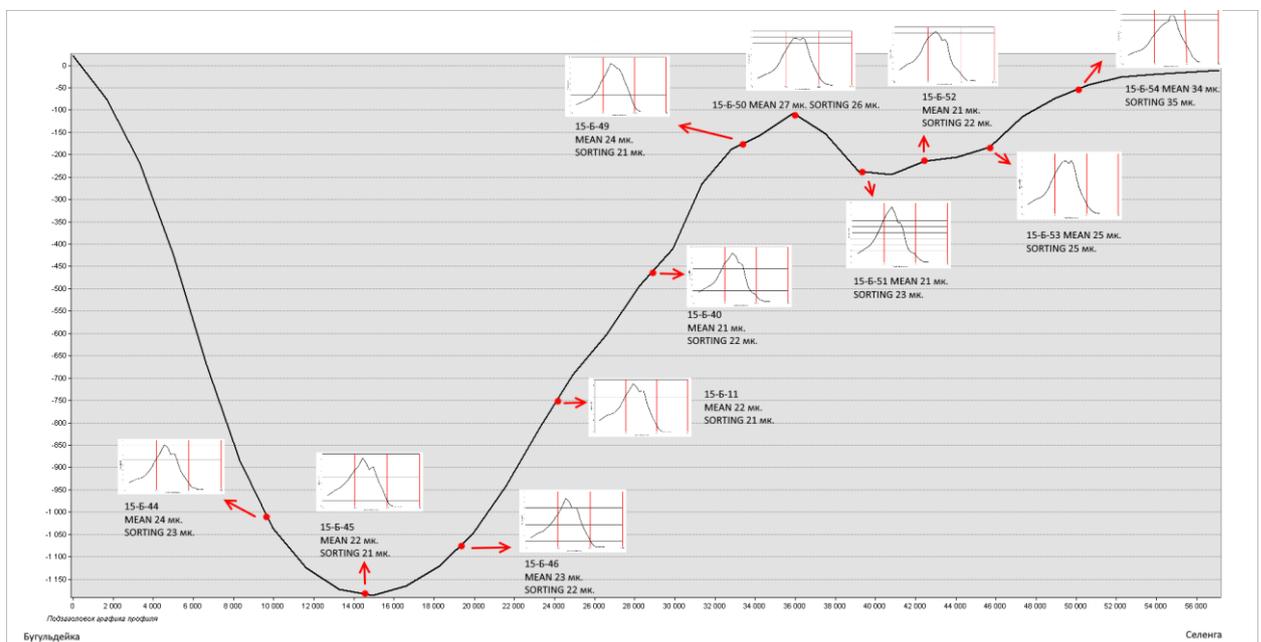


Рис. 19. Профиль 2

Фракционный состава по приближению к восточному берегу изменяется незначительно, все станции принадлежат III типу, также увеличивается размерность осадка и его сортированность

Данные профиля наглядно демонстрируют увеличение гранулометрической размерности осадков и коэффициента сортированности осадка по приближению к Восточному берегу Байкала.

3.1.4 Диаграмма Хьюстрема

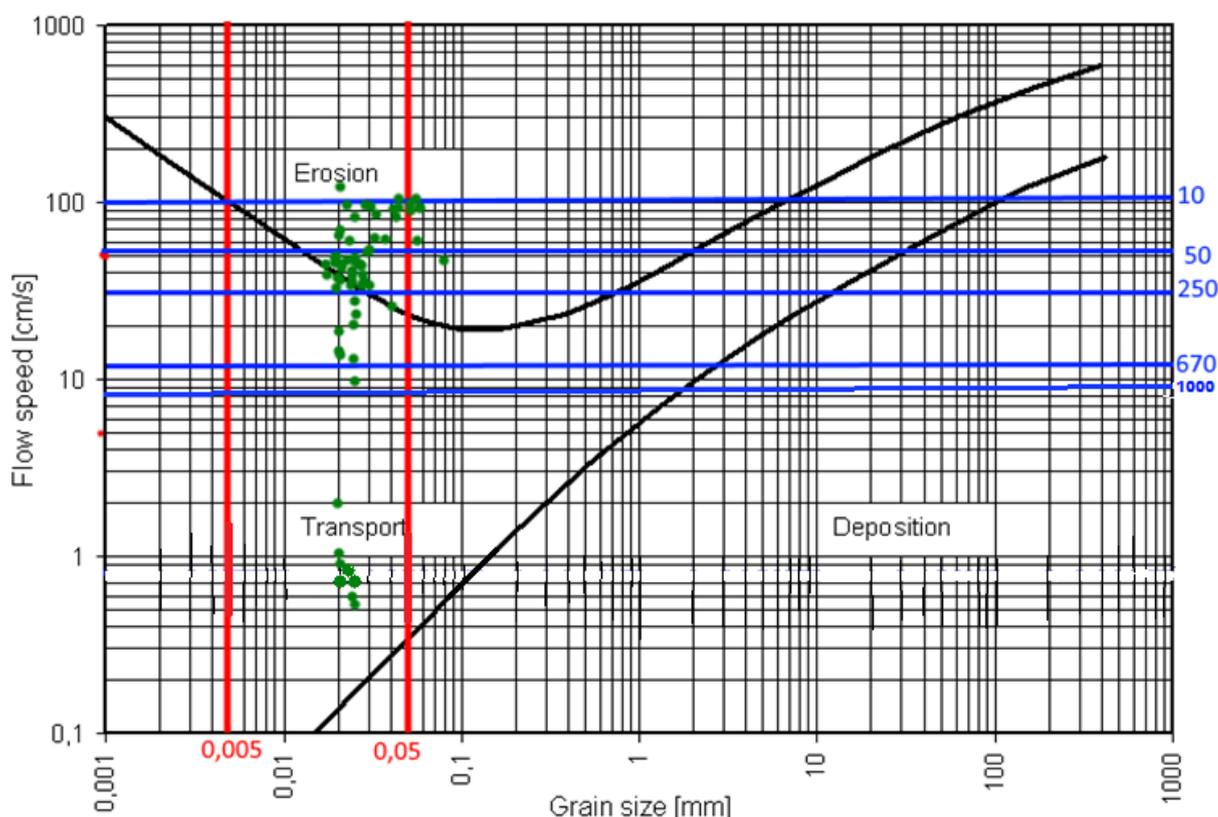


Рис. 20. Диаграмма Хьюстрёма с наложенными станциями пробоотбора. Условные обозначения: синие линии глубина, зеленые точки - станции

Диаграмма Хьюстрёма, как правило, служит для определения, способен ли водный поток с определенной скоростью на определённой глубине разрушать, переносить и накапливать осадок. Автором данная диаграмма была дополнена отметками глубин. По оси координат отложена скорость придонных течений, по оси абсцисс размер осадка. Для того чтобы выяснить какой процесс характерен для той или иной глубины, следует соотнести скорость течения и средний размер нужной фракции осадка с конкретной станцией пробоотбора. (рис. 20)

Известно, что скорость придонных течений на Байкале на определенных глубинах достигает следующих значений:

10 м. – 142-96 см/с, 50 м. - см/с, 250 м – 30 см/с, 675 – 12 см/с, 1000 м – 8 см/с

На основании эти данных и зная глубины станций пробоотбра, можно получить следующие выводы:

1. Для псаммитовой фракции (>0.05 мм) на глубинах до 670м м происходит размыв осадка, а с глубины 670 м перенос

2. Для алевритовой фракции (0,05-0,005 мм), на глубинах менее 250 м, происходит размыв осадка, глубже перенос

3. Для пелитовой фракции (<0,005 мм) , на глубинах менее 10 м характерен размыв, глубже 10 метров –перенос

Таблица 3

Результаты интерпретации диаграммы Хьюстера

Глубина, М	10	50	250	670	1000
Диаметр зерна, ММ.					
>0.05	Эрозия	Эрозия	Эрозия	Перенос	Перенос
0.05—0.005	Эрозия	Эрозия	Эрозия	Перенос	Перенос
<0,005	Эрозия/перенос	Перенос	Перенос	Перенос	Перенос

3.2 Рентгенофазовый количественный анализ

3.2.1 Фракция менее 5 мк.

Полученные данные РФА поверхностного слоя показали большой разброс значений процентного содержания минералов смектита и иллита пропорционально удалению или приближению к западному берегу Байкала в районе деревни Бугульдейка. На тех станциях

Данные показатели содержания иллит и иллит свидетельствует о двух разных источниках сноса. Иллит и смектит – глинистые минералы, характерные для кор выветривания. По литературным данным известно, что на западном берегу отмечены каолинитовые $K_2 - P_1$ коры выветривания, на восточном берегу $P_3 - N_2$ монтмориллонит-гидрослюдистая коры выветривания.

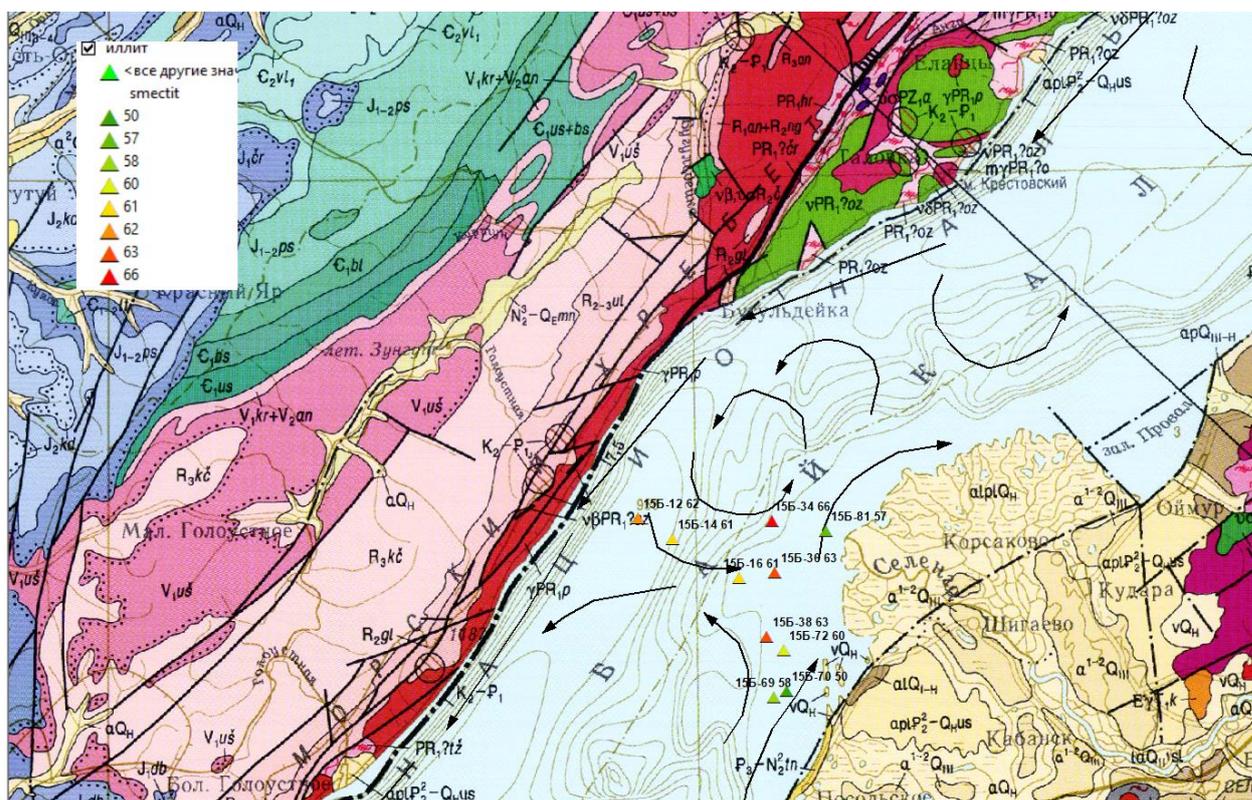


Рис. 22 Процентное содержание иллита в донных отложениях фракции менее 5 мк

Кора выветривания латерит-каолинитового типа принадлежит преимущественно к линейному типу, развита вдоль тектонических нарушений. В разрезе остаточных кор выветривания по раннедокембрийским гнейсам, кристаллосланцам и метагаббро развиты зоны дезинтеграции и выщелачивания, каолинит-гидрослюдистая, гетит-каолинитовая, гидраргиллит-каолинитовая. Разрез коры выветривания сложен суглинками, глинами красными, сургучными, охристыми, оранжевыми с обломками коренных пород, супесями светло-кремовыми. Кора выветривания прослеживается до глубины 100–150 м, а признаки гипергенных процессов установлены на глубинах до 300–400 м.

3.2.2 Фракция 0,05-0,1 мм.

Результаты количественного анализа показали наличие на станциях 15Б-12 и 15Б-14 повышенные значения слюды(мусковит), также на станциях 15Б-12, 15Б-14, 15Б-16 отмечено повышенное количество хлорита, альбита и мусковита. На всех остальных станциях, особенно на тех станциях, которые расположены близко к дельте Селенги отмечены повышенные значения кварца(15Б-70, 15Б-69, 15Б-36 и т.д.). (Рис. 23)

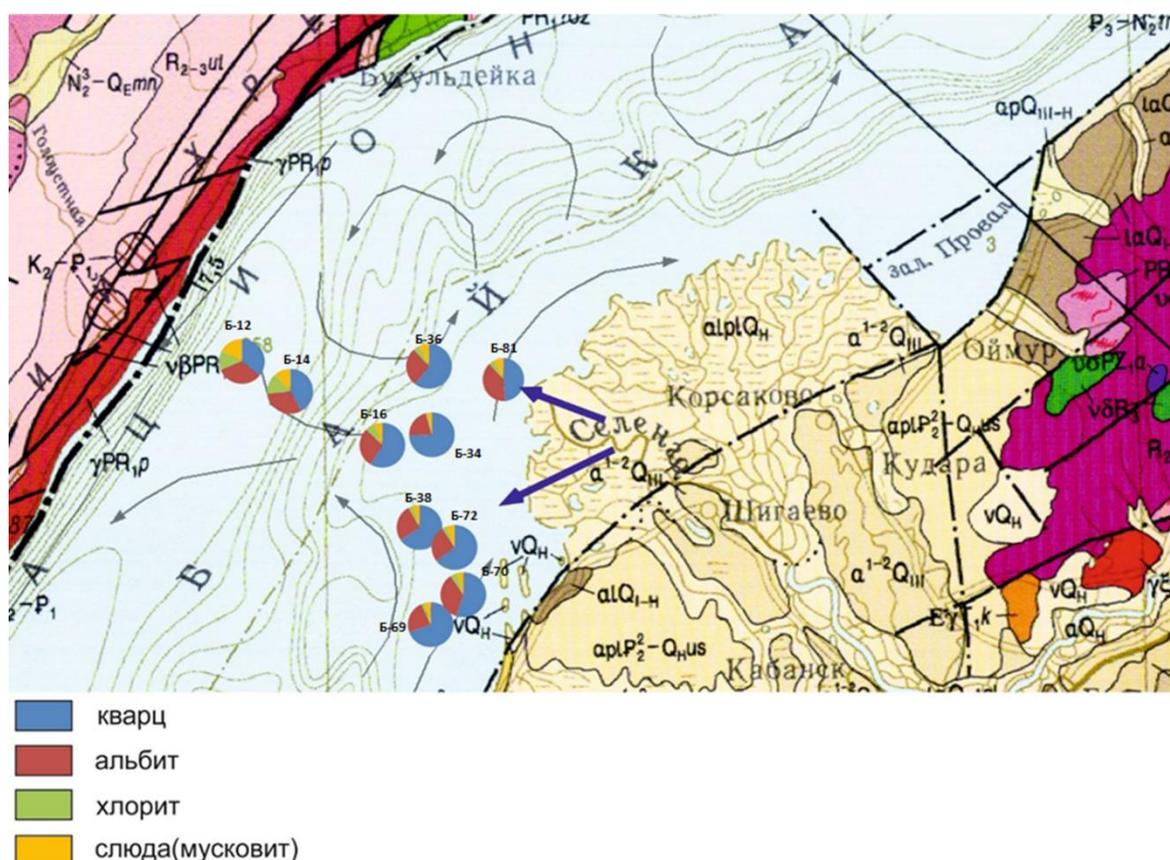


Рис. 23. Процентное соотношение минералов в донных отложениях фракции 0,05-0,1

мм

Таблица 4

Результаты РФА фракции 0,05-0,1

	15-Б-12	15-Б-14	15-Б-16	15-Б-34	15-Б-36	15-Б-38	15-Б-69	15-Б-70	15-Б-72	15-Б-81
Кварц	31(1)	36(1)	51(1)	52(1)	67(1)	57(1)	62(1)	47(1)	57(1)	41(1)
Альбит	29(1)	27(1)	25(1)	24(1)	19(1)	23(1)	21(1)	30(1)	23(1)	33(1)
Микроклин	10(1)	12(1)	9(1)	10(1)	9(1)	12(1)	10(1)	13(1)	9(1)	16(1)
Хлорит	12(1)	13(1)	6(1)	4(1)	1(1)	3(1)	2(1)	4(1)	3(1)	4(1)

Слюда (мусковит)	15(1)	10(1)	5(1)	6(1)	3(1)	4(1)	4(1)	4(1)	5(1)	6(1)
Амфибол	3(1)	2(1)	3(1)	2(1)		1(1)	1(1)	2(1)	1(1)	<1
Каолинит			<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	
Магнетит				2(1)	<1				2(1)	
Rp (%)*	3.3	4.3	6.4	6.8	8.7	8.0	10.2	7.3	6.8	6.2

Результаты РФА двух фракций могут свидетельствовать о двух разных источниках поступления обломочного материала в Байкал. На западном берегу выносятся материал каолиновой K₂ - P₁ коры выветривания, а на восточном берегу выносятся материал P₃ – N₂ монтмориллонит-гидролюдистой коры выветривания. Также по результатам РФА фракции 0,05-0,1 мм можно предположить, что Селенга выносит продукты денудации средних и кислых пород.

Глава IV Выводы

Результаты гранулометрического анализа показали, что наиболее крупный и сортированный материал наблюдается вдоль восточного побережья Байкала к юго-востоку от дельты Селенги.

Интерпретация диаграммы Хьюстрема позволила предположить, что для псаммитовой фракции (>0.05 мм) на глубинах до 670 м происходит размыв осадка, а с глубины 670 м - перенос. Для алевритовой фракции (0,05-0,005 мм) на глубинах менее 250 м происходит размыв осадка, глубже - перенос. Для пелитовой фракции ($<0,005$ мм) на глубинах менее 10 м характерен размыв, глубже 10 метров –перенос осадка.

Результаты проведения рентгенофазового количественного анализа для фракции менее 5 мкм показали, что максимальные значения смектита приурочены к западному берегу, а максимальные значения иллита к восточному берегу, эти доводы свидетельствуют о наличие двух разных источников сноса обломочного материала, для западного берега это каолиновые K_2 - P_1 коры выветривания, а для восточного берега это P_3 – N_2 монтмориллонит-гидрослюдистая коры выветривания. Также результаты РФА для фракции 0,05-0,1 мм показали, что Селенга выносятся продукты денудации средних и кислых пород.

Список литературы:

1. Байкал (атлас) / ред. Г. И. Галазий. – М. : Изд-во Федеральной службы геодезии и картографии России, 1993
2. Беркин Н.С., Макаров А.А., Русинек О.Т. «Байкаловедение», Иркутск: изд. Иркут. гос. ун-та, 2009г
3. Вологина Е.Г., Штурм М. Типизация голоценовых отложений и районирование бассейна озера Байкал // Геология и геофизика. 2009. Т. 50, № 8. С. 933-940
4. Голдырев Г.С. Осадкообразование и четвертичная история котловины Байкала. - Новосибирск: Наука, 1982.
5. Государственная геологическая карта Российской Федерации, Серия Ангаро-Енисейская, Лист М-48 (Улан-Удэ). М. 1:1000000, ред. Руденко В.Е / ГФУП Бурятгеоцентр, ФГБУ «ВСЕГЕИ», 2006 г.
6. Государственная геологическая карта Российской Федерации, серия Алдано-Забайкальская, Лист N-48 (Иркутск), М. 1:1000000, ред. Миронюк Е.П / ФГБУ «ВСЕГЕИ», ФГУНППГП Иркутскгеофизика, 2006 г.
7. Котельников Б. Н., «Реконструкция генезиса песков», Л. Изд Ленинградского университета, 1989 г
8. Мац В.Д. и др. «Кайнозой Байкальской рифтовой впадины. Строение и геологическая история», Новосибирск: Изд-во СО РАН, филиал "Гео", 2001.
9. Объяснительная записка к Государственной геологической карте Российской Федерации, Серия Ангаро-Енисейская, Лист М-48 (Улан-Удэ). М. 1:1000000, ред. Руденко В.Е / ГФУП Бурятгеоцентр, ФГБУ «ВСЕГЕИ», 2006 г.
10. Объяснительная записка к Государственной геологической карте Российской Федерации, Серия Ангаро-Енисейская, Лист N-48 (Улан-Удэ). М. 1:1000000, ред. Миронюк Е.П / ФГБУ «ВСЕГЕИ», ФГУНППГП Иркутскгеофизика, 2006 г.
11. Романовский С.И. Физическая седиментология. Л. Недра 1988 г.
12. Экологический атлас бассейна озера байкал, Ответственные редакторы А.Р. Батуев, Л.М. Корытный и др., Иркутск, Институт географии им. В.Б. Сочавы Сибирского отделения Российской академии наук, 2010 г
13. Biscaye P.E. Mineralogy and sedimentation of recent deep-sea clays in the Atlantic Ocean and adjacent seas and oceans // Geological Society of America Special Bulletin. 1965. No 76. P. 803-832.

Интернет- источники:

1. https://www.academia.edu/17215025/строение_и_седиментационные_особенности_с_овременной_дельты_реки_селенги
2. http://www.coolgeography.co.uk/A-level/AQA/Year%2012/Rivers_Floods/Long%20profile/Hjulstrom.htm
3. <http://cyberleninka.ru/article/n/glinistye-mineraly-v-sovremennyh-otlozheniyah-oz-baykal>
4. https://en.wikipedia.org/wiki/Hjulstr%C3%B6m_curve
5. <http://webmapget.vsegei.ru/index.html>
6. http://www.vsegei.ru/ru/info/geodictionary/geosearch.php?sphrase_id=247562
7. <http://lithology.ru/node/91>
8. <http://my-buryatia.ru/pedia/bajkal/gidrologiya-bajkala-techeniya/>
9. <http://www.catalogmineralov.ru/mineral/illite.html>
10. <http://www.catalogmineralov.ru/mineral/smektit.html>
11. <http://wiki.web.ru/wiki/Иллит>

Прочие источники:

1. Архивные отчетные материалы отдела Региональной геоэкологии и морской геологии ФГБУ «ВСЕГЕИ»