

УДК 551.312.4.051(282.256.341)  
DOI: 10.52349/0869-7892\_2023\_94\_29-47

Д. В. Рябчук, О. А. Ковалева, Д. В. Прищепенко,  
А. Ю. Сергеев, Е. Н. Нестерова (ВСЕГЕИ)

## ХАРАКТЕРИСТИКА ПОВЕРХНОСТНЫХ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ОЗЕРА БАЙКАЛ И СОВРЕМЕННЫЕ СЕДИМЕНТАЦИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ

По результатам анализа материалов ранее выполнявшихся исследований и ежегодных полевых геолого-геофизических работ и комплекса лабораторных исследований ФГБУ «ВСЕГЕИ» (2015–2020 гг.), впервые для дна котловины озера Байкал составлена литологическая карта дна акватории масштаба 1 : 500 000. В статье рассмотрена генетическая типизация и закономерности распределения поверхностных донных отложений, охарактеризованы современные седиментационные процессы озерной котловины.

*Ключевые слова:* осадконакопление, гранулометрический состав, донные отложения.

D. V. Ryabchuk, O. A. Kovaleva, D. V. Prishchepenko,  
A. Yu. Sergeev, E. N. Nesterova (VSEGEI)

## CHARACTERISTICS OF BOTTOM SURFACE SEDIMENTS OF LAKE BAIKAL AND RECENT SEDIMENTATION PROCESSES

The lithological map of the Lake Baikal water area bottom at a scale of 1 : 500 000 was first compiled based on results of analysis of materials from previous studies and annual field geological and geophysical surveys, and a set of laboratory studies made at VSEGEI (2015–2020). The paper discusses the genetic typification and patterns of distribution of bottom surface sediments, describes recent sedimentation processes of the lake basin.

*Keywords:* sedimentation, granulometric composition, bottom sediments.

**Для цитирования:** Рябчук Д. В. Характеристика поверхностных донных отложений озера Байкал и современные седиментационные процессы / Д. В. Рябчук, О. А. Ковалева, Д. В. Прищепенко, А. Ю. Сергеев, Е. Н. Нестерова // Региональная геология и металлогения. – № 94. – 2023. – С. 29–47. DOI: 10.52349/0869-7892\_2023\_94\_29-47.

**Введение.** Озеро Байкал представляет собой уникальный природный объект мирового значения. Одним из важнейших процессов, характеризующих функционирование озера как водной геосистемы (лимносистемы), является седиментация – геологический процесс осаждения и накопления аллохтонных и автохтонных осадков, происходящий на фоне колебаний климата, тектонических проявлений, изменения характера растительности и ландшафтов водосбора и техногенных факторов [23].

Различные аспекты геологии, геоморфологии, седиментологии и экологической геологии дна озера Байкал привлекают к себе пристальное внимание исследователей, и к настоящему времени накопился значительный объем информации. Впечатляющая база публикаций представлена в частности на сайте Лимнологического института Сибирского отделения РАН [<http://lin.irk.ru/bibl/>]. Следует отметить, что среди опубликованных материалов представлено значительное количество схем донных отложений, однако литологические карты поверхности дна масштаба 1 : 1 000 000 и крупнее, до настоящего времени не составлялись.

Целенаправленное изучение донных отложений Байкала началось в 1940-х годах. На первых этапах отбор проб производился с использованием дночерпателей различных конструкций (верхний слой осадков), грунтовых трубок (1–2 м), поршневых вакуумных трубок (10–12 м) [6]. В 1950-е годы поверхностные отложения Байкала исследовались Л. М. Князевой [20; 21].

К 1980-м годам были получены достаточно полные сведения о распределении и составе грунтов поверхностного слоя (до 1 м), позволившие составить первую схему распределения поверхностных донных отложений и сделать обобщения и выводы о строении верхней толщ отложений [28]. При составлении схемы была использована десятичная гранулометрическая классификация Н. М. Страхова [31].

Дальнейшие исследования донных отложений были в основном сфокусированы на получении длинных колонок донных отложений, характеризующих верхнюю часть геологического разреза (до 10–12 м), с целью изучения седиментационных процессов и реконструкции обстановок седиментации, а также палеоклиматических исследований, для которых мощные седиментационные

последовательности дна акватории озера представляют уникальные возможности [9; 19; 22; 25; 29; 30; 41 и др.]. Другим важным направлением исследований донных отложений было геохимическое [34; 41; 44 и др.].

Основной массив информации был получен в ходе международного проекта «Байкал-Бурение» в 1989–1999 гг., включавшего комплексное исследование осадочной толщи сейсмоакустическими методами, в том числе методом отраженных волн (МОВ ОГТ), а также детальное опробование осадочной толщи в различных районах озера поршневыми и ударными трубками. Сейсмические работы позволили получить информацию о геологическом строении котловины озера, мощностях и строении его осадочных образований [13; 39]. В 1995–1996 гг. Бельгийско-Российской экспедицией проведено одноканальное непрерывное сейсмопрофилирование высокого разрешения [32].

В результате глубоководного бурения были получены образцы донных отложений Байкала с глубины до 670 м [15]. Во время отбора проб осадков грунтовыми трубками также проводились сейсмоакустические работы [42]. Для корреляции результатов пробоотбора [19] использовался также массив сейсмических данных, полученных на раннем этапе геофизических исследований дна озера во время работ Института океанологии им. П. П. Ширшова РАН и МГУ им. М. В. Ломоносова [14; 33].

Визуальные данные о площадном распределении донных отложений, особенностях микрорельефа дна, а также распределении и характере зон подводных выходов газов были получены также при глубоководных погружениях на подводных обитаемых аппаратах «Пайсис», проводившихся в 1977 г. и 1990–1991 гг. [7; 13].

Результаты исследований потоков поступления осадочного вещества в бассейн седиментации, его вдольберегового перемещения, а также закономерностей переноса из прибрежных участков в глубоководные приводятся в Атласе «Байкал» [4], а также в многочисленных работах Б. П. Агафонова [1–3].

Основной массив данных, характеризующих поверхностные донные отложения, приводится в работах Е. Г. Володиной [9; 25; 27; 29] и Е. Б. Карбанова [18; 19] с соавторами.

Исследования поверхностных донных отложений, выполняемые специалистами ВСЕГЕИ в акватории озера Байкал в ежегодном режиме с 2015 г., позволили существенно пополнить банк данных о поверхностных осадках, составить, а впоследствии дополнить, детализировать и актуализировать литологическую карту дна акватории.

**Закономерности современных седиментационных процессов.** Озеро Байкал является ярким примером водоема с широко проявленной турбидитовой седиментацией, которой способствуют геоморфологические особенности склонов и дна озерной котловины и прилегающих участков суши, механизмы поступления в акваторию оса-

дочного материала, а также сейсмичность и неотектоническая активность региона [9; 16; 18; 25].

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

На основании изучения состава и распределения голоценовых осадков в озере Байкал выделяются пять типов участков, отличающихся условиями осадконакопления: 1) глубоководные равнины; 2) литоральные зоны; 3) подводные поднятия (перемычки и хребты); 4) авандельты и участки дна вблизи устьев больших рек; 5) пролив Малое Море [9]. Общие закономерности современного осадконакопления обусловлены геоморфологическим строением дна озера Байкал, а также пространственным распределением источников поступления осадочного материала.

Морфологически озеро Байкал разделено на три котловины: Северную, Центральную и Южную с максимальными глубинами 900, 1637 и 1461 м соответственно [26]. Котловины имеют длину около 200 км каждая и разделены двумя поднятиями, достигающими глубин около 300 м. Важнейшей с точки зрения закономерностей седиментации особенностью морфологии котловин является их асимметричное строение, обусловленное геологическим строением (полуграбены с очень крутым, ограниченным разломом западного борта и пологим, разбитым серией разломов восточным бортом) [18].

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, к которым прежде всего относится преобладание спокойной, нефелоидной седиментации на относительно поднятых участках дна (Бугульдейская перемычка и Академический хребет) и турбидитовое осадконакопление в более глубоководных котловинах.

Подводные склоны озера перекрыты чехлом осадков и прорезаны большим количеством подводных каньонов, по которым осадочный материал из береговой зоны поступает в глубоководные котловины. Уплотненные днища котловин осложнены большим количеством подводных конусов выноса, большинство из которых тяготеют к восточному берегу. Соответственно, асимметричное строение котловин определяет асимметрию дренажного бассейна и асимметрию в распределении седиментационных обстановок и формирующихся в них поверхностных донных отложений [1; 18; 43].

В противоположность западному склону, 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 [18].

В глубоководных отложениях озера довольно хорошо выражена ритмичность в строении толщи осадков. В пределах разреза наблюдается чередование нескольких ритмов, каждый из которых начинается наиболее крупным материалом – мелкозернистым песком или крупным алевритом, который постепенно сменяется все более мелким материалом вплоть до пелитового ила. При этом нижняя часть ритма, наименьшая по мощности, имеет тонкую слойчатость, обусловленную дифференциацией минерального состава. Мощность каждого ритма может быть от 1 до 60 см, они могут следовать один за другим или прерываться обычными пелитовыми или диатомовыми илами [16]. Подобная ритмичность осадков широко распространена в пределах дна всех котловин Байкала, но наибольшее их развитие характерно для Северного Байкала.

Описываемая особенность разреза байкальских отложений не является уникальной для подводного осадконакопления, но является уникальной для пресноводного водоема. Подобные ритмы отмечены для донных осадков морских бассейнов зоны континентальных окраин. Обусловлены они развитием мутьевых (суспензионных) потоков; широкому развитию турбидитов способствует целый набор факторов: наличие источников осадочного материала, высокая сейсмичность, активные экзогенные процессы (сели, сухопутные и подводные оползни), котловинный тип озера и его глубоководность, крутые подводные склоны и относительно ровное дно. Принимая во внимание высокую энергию мутьевых потоков, крутые борта подводных бортов котловин Байкала, можно предполагать, что отложения этих потоков могут полностью перекрывать дно впадин.

Наиболее высокими темпами осадконакопления характеризуется Южная котловина оз. Байкал. Глубоководные осадки здесь, подобно другим котловинам Байкала, представлены пелагическими илами и турбидитами. Современная скорость седиментации в Южной котловине составляет 1 мм/год, в Центральной котловине – 0,91 мм/год, в Северной котловине – 0,7 мм/год [37].

Исследования с применением седиментационных ловушек, выполненные в Южной котловине в период с 1999 по 2021 год, показали, что общий поток осадочного вещества по разрезу водной толщи (с глубин от 100 до 1366 м) представлен преимущественно биогенным материалом, состоящим в основном из створок диатомей с незначительной примесью пелита и единичных минеральных зерен алеврита и изменяется в диапазоне от 11,6 г/м<sup>2</sup> в год (2006 г.) до 208 г/м<sup>2</sup> в год (2014 г.). В период

с марта 1999 по март 2010 года средний поток осадочного вещества составил 75,1 г/м<sup>2</sup> в год, а в период с марта 2010 по март 2021 года – 104 г/м<sup>2</sup> в год [10; 47].

Скважины, пробуренные в пределах Академического хребта, показали, что при формировании осадочной толщи основное значение имело глубоководное озерное осадконакопление, для которого свойственно поступление осадочного материала только из водной толщи без участия вещества, приносимого с берегов. В результате накапливается толща осадков, представленная плотными тонкозернистыми алеврито-пелитовыми илами. Характерным является отсутствие перерывов и несогласий в залегании осадков, а также ритмичность разреза, связанная с чередованием прослоев терригенных глинистых осадков и диатомовых илов. Скорость накопления осадочной толщи в пределах Академического хребта составляет около 0,04 мм/год в верхней 277-метровой толще отложений, увеличиваясь на глубине 480 м почти до 0,14 мм/год. Скорость современного осадконакопления в пределах Академического хребта составляет 0,015–0,025 мм/год [37].

Разрез донных отложений, полученный в результате бурения на Бугульдейской перемычке и дне центральной части Южной котловины озера, характеризуется ярко выраженными процессами лавинного накопления осадков. Так, в скважинах, наряду с глубоководными озерными осадками, в разрезах широко представлены (до 60–80 %) турбидитовые прослои, сложенные гравийно-песчаным материалом. В них четко выражена смена грубозернистого материала в основании прослоя (до 95 % песчаной фракции) к более мелкому в его верхней части (около 3 %), постепенно переходящему в глубоководные озерные отложения (песок – алевропелитовый ил – пелитовый ил). На Бугульдейской перемычке скорость седиментации составляет около 0,2–0,86 мм/год [37].

Несколько иной разрез отложений получен на Посольской банке Байкала [12]. Были выделены три толщи. Верхняя (от 0 до 120 м) представлена биогенно-терригенными илами. Следующая (от 120 до 230 м) выполнена алевритистыми глинами с довольно однородным составом. Нижняя (от 230 до 325 м) сложена алевритистыми глинами со значительной примесью песчаного материала. В некоторых прослоях выражена градационная слоистость. Плотность осадков значительно выше, чем в других районах озера, где проводилось бурение. В данном разрезе впервые была установлена потеря осадков за интервал около 200 тыс. лет, вероятно, обусловленная тектоническими движениями Посольского блока. Этими чертами разрез отличается от других, полученных при бурении. Скорость осадконакопления составляет около 0,16 мм/год в верхней, 126-метровой толще, однако ниже выявлены рекордные для Байкала скорости осадконакопления – до 1,7 мм/год. Скорее всего, это определялось прямым поступлением осадочного материала из р. Селенга в период времени от 0,82 до 1,3 млн лет. В дальнейшем

произошло поднятие восточного крыла Посольской банки, совпадающее по времени с приморской фазой необайкальского этапа развития впадины озера. Рассчитанная скорость поднятия блока составляла около 4,5 мм/год [12].

**Материалы и методы исследований.** На первоначальном этапе работ в 2015 г. при составлении предварительной литологической карты использовались материалы по 150 колонкам донных осадков из базы данных пробоотбора Института наук о Земле Сибирского отделения РАН, а также другие доступные литературные источники (1996–2014 гг.) [8; 9; 17–19; 25; 27; 29; 45].

Ежегодно с 2015 г. специалистами ВСЕГЕИ выполняются геолого-геофизические исследования озера Байкал. Для актуализации литологической карты используются результаты пробоотбора, подводной видеосъемки и гидролокации бокового обзора (ГЛБО) СМ-2, (С-MAX, Великобритания), а также постоянно обновляющаяся (в том числе по данным многолучевого эхолотирования, выполненного ООО «Байкальский центр» [26]) информация о рельефе дна озерной котловины.

В результате полевых работ 2016 г. были выполнены детальные исследования дна Баргузинского залива, включавшие в себя многолучевое эхолотирование (в режиме площадной съемки), а также осуществлен большой объем пробоотбора и подводной видеосъемки. В 2017 г. литологическая карта уточнена для участков «Голоустное» и «Култук» с использованием в качестве основы результатов многолучевого эхолотирования, позволившего проследить границы форм рельефа, контролирующего расположение литофациальных зон, и, как следствие, распределения типов поверхностных донных отложений. Кроме того, использовались полевые описания и фотографии отобранных образцов и результаты гранулометрического анализа. В 2018 г. выполнены работы в северной части озера Байкал. Кроме того, были составлены две карты-врезки на участки, где выполнялось многолучевое эхолотирование и пробоотбор (участки в заливе Чивыркуй и губе Таланка). Актуализация литологической карты поверхности дна озера Байкал в 2019 г. основывалась на результатах полевых работ методом ГЛБО, поверхностного донного пробоотбора и подводной видеосъемки. Уточнен ряд литологических границ в северной части озера, а также составлены четыре карты-врезки для участков площадной съемки ГЛБО (бухта Большая Зеленевская, бухта Змеиная, бухта Солонцовая, участок Нижнеангарск). В 2020 г. пробоотбор и подводная видеосъемка осуществлены на участках «Посольское», «Таланка», «Баргузинский залив», в бухте Змеиная и в проливе Малое Море.

Пробы донных осадков отбирались специалистами ВСЕГЕИ с помощью бокс-корера и герметичных грунтовых трубок [33]. Общее количество станций проведения литологических исследований и фото- видеонаблюдений составило 337 станций. Также было задокументировано около

130 м керна (рис. 1). Кроме того, для составления литологической карты поверхности дна озера проведена интерпретация, более 950 линейных километров ГЛБО и свыше 4500 линейных километров МЛЭ.

Лабораторная обработка образцов, отобранных ВСЕГЕИ, заключалась в гранулометрическом анализе проб. 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. Анализ образцов производится при естественной влажности осадков. Образцы переводятся в суспензию, растираются в чашке Петри в дистиллированной воде.

Ситовой анализ заключается в просеивании пробы песчаного осадка через набор сит аналитической просеивающей машины AS 200 с управлением «g» фирмы Retsch. 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 соответствуют 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). Общее количество выполненных гранулометрических анализов составило 417.

Доля биогенной компоненты в составе поверхностных донных отложений оценивалось по данным Е. Г. Володиной [9; 25; 27; 29]. При определении типов осадков использовалась генетическая классификация Л. Б. Рухина. Статистические параметры гранулометрических распределений рассчитаны по данным [40]. К биогенно-терригенным отнесены отложения, содержащие от 25 до 50% биогенного кремнезема, к терригенно-биогенным отложениям – более 50%.

**Полученные результаты. Распределение поверхностных донных отложений.** В пределах озерной котловины картируются отложения терригенного, биогенно-терригенного и терригенно-биогенного генетических типов (рис. 2). Отдельную проблему при составлении литологической карты дна акватории представляют зоны развития турбидитов, где гранулометрический состав может изменяться во времени. Для отображения этого процесса, оказывающего огромное влияние на

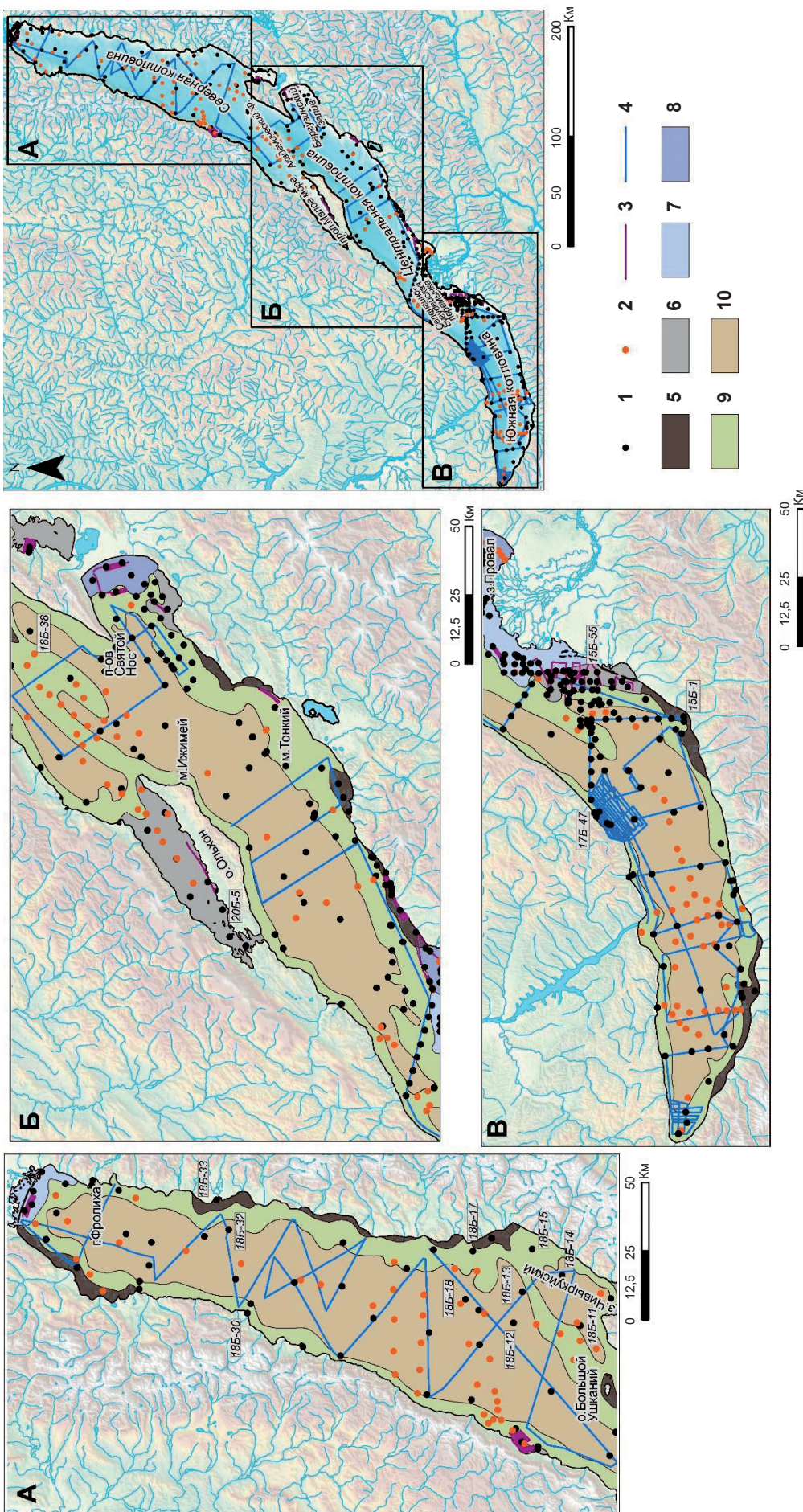


Рис. 1. Карта использованных материалов  
 Станции донного опробования: 1 – выполненные ФГБУ «ВСЕГЕИ» в 2015–2020 гг., 2 – [8; 9; 25; 27; 29]; геофизические исследования: 3 – гидролокация Бокового обзора, выполненная ФГБУ «ВСЕГЕИ», 4 – многолучевое эхолотирование (МЛЭ), выполненное Иркутским национальным исследовательским университетом; типы рельефа дна [5]: 5 – мелководные абразионные равнины, 6 – мелководные равнины озерной аккумуляции, 7 – подводные дельтовые равнины (авандельты), 8 – мелководные трансгрессивные равнины слабой озерной аккумуляции, 9 – денудационно-аккумулятивные расчлененные склоны впадин и возвышенностей, 10 – глубоководные равнины озерной аккумуляции

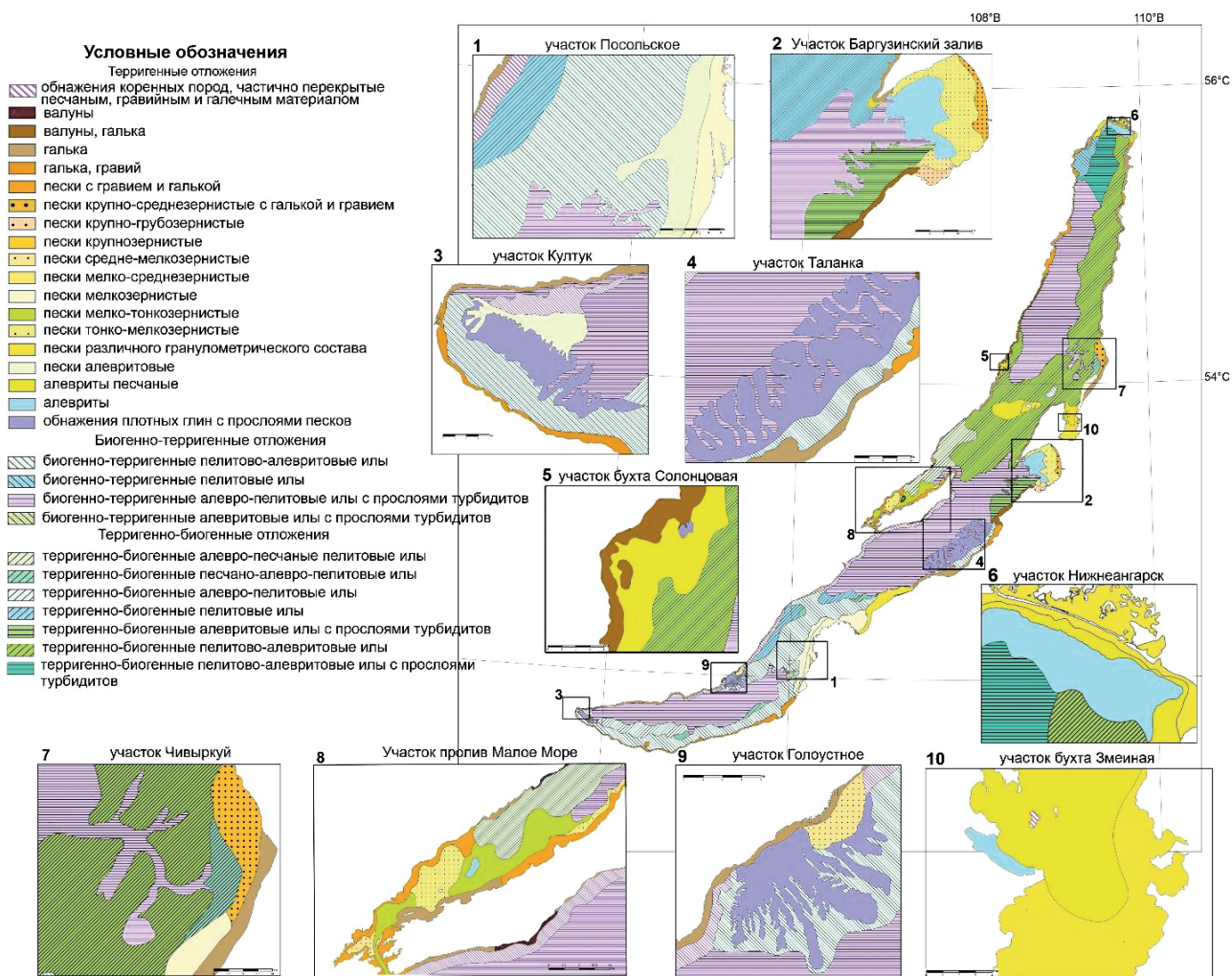


Рис. 2. Литологическая карта поверхности дна озера Байкал с врезками на ключевые участки

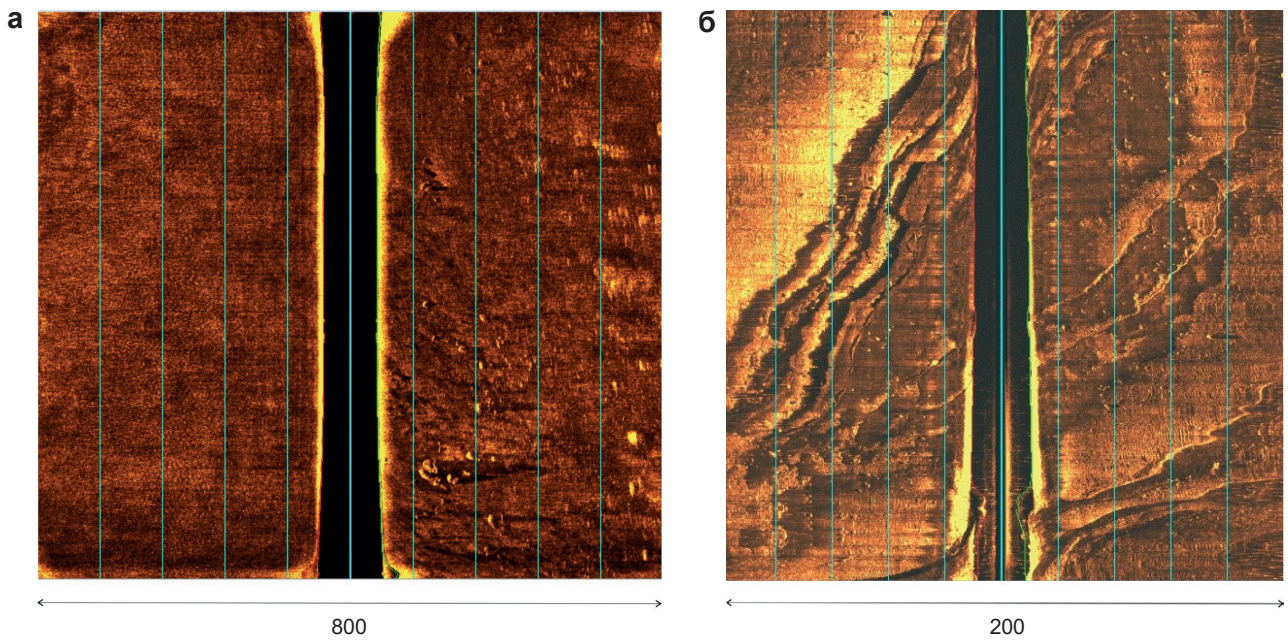
особенности осадконакопления, на карте выделены отдельные типы отложений. Кроме того, на крутых склонах в зонах развития подводных каньонов на поверхности дна обнажаются плотные глины с прослоями песков, практически не перекрытые покровом современных осадков.

**Терригенные отложения.** Отложения терригенного генетического типа представлены широким гранулометрическим спектром и развиты на относительно мелководных участках в верхней части подводного берегового склона, а также в дельте р. Селенга, Баргузинском и Чивыркульском заливах, Малом море, по периферии о. Большой Ушканий в пределах Академического хребта и в северной части акватории озера, в районе истока р. Ангара (рис. 2).

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. Область отложения грубообломочного материала вдоль 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. Границы полей грубообломочных отложений хорошо прослеживаются по результатам анализа материалов ГЛБО и подводной видеосъемки (рис. 3, 4). На мелководье грубообломочные отложения формируют плотную отмостку, служащую субстратом для водной растительности.

На северо-западном борту впадин расположено значительное количество мелких постоянных и временных водотоков. 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 их пределах имеет незначительные мощности или полностью отсутствует, обнажая коренные кристаллические породы и древние отложения [18; 19]. Шлейфы грубозернистого материала у подножия



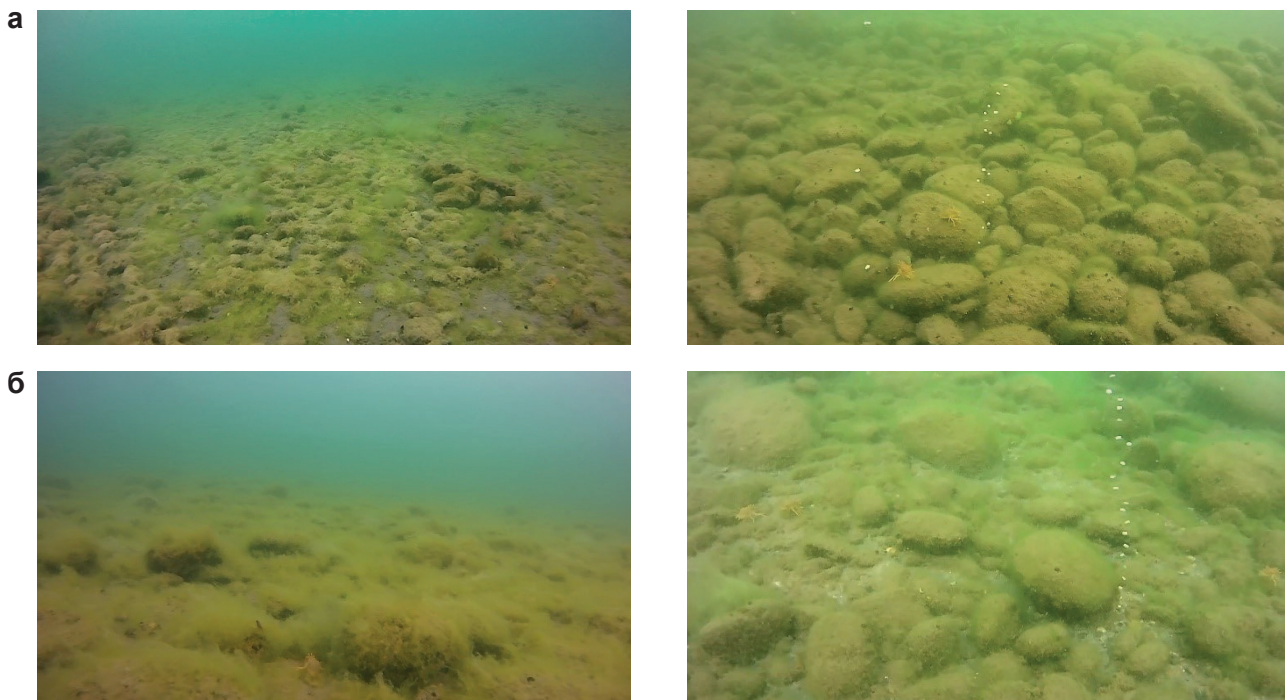
**Рис. 3. Граница грубообломочных и песчаных отложений на сонограммах ГЛБО**

*а* – крупные валуны (размером более 10 м, высотой до 6 м) в поле алевритовых песков (бухта Солонцовая); *б* – валунно-галечные отложения с отдельными пятнами песков со знаками на поверхности обнажений коренных пород

склонов западного борта впадин также незначительны либо отсутствуют [46].

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 представ-

лены 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



**Рис. 4. Грубообломочные отложения по материалам подводной видеосъемки**

*а* – галечные отложения на поверхности дна на подводном береговом склоне в районе устья р. Утулик (станция видеонаблюдения 20Б-5); *б* – мелковалунная отмостка на подводном береговом склоне в районе мыса Тонкий (2020 г.)

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 [7]. Окатанность грубообломочных отложений различна, но в целом отмечается более высокая степень обработки материала, приуроченного к восточному берегу озера.

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

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

Литоральные отложения западного берега Северного Байкала представлены преимущественно грубообломочными осадками. На станции 18Б-30 (глубина 15 м), по данным подводной видеосъемки, дно покрыто песками, на отдельных участках – со значительной примесью грубообломочного материала (по данным пробоотбора – галька, гравий, тонкозернистый песок, на отдель-

ных участках – скопления валунов и гальки, на поверхности песчаных осадков видны следы воздействия волнения либо течений). Пески, по данным гранулометрического анализа, плохо сортированы ( $So$  2,74), характеризуются значительной примесью гравийных частиц (8,55%), в составе песчаной фракции доминируют тонко-(61%) и мелкозернистые (33%) фракции.

В бухтах восточного берега Северного Байкала также местами формируются поля песчаных отложений (станция 18Б-33, тонкозернистый темно-серый с поверхности буроватый песок).

Поверхностные отложения дна Баргузинского залива в районе устья р. Баргузин представлены крупно-грубозернистыми ( $Ma$  1,13 мм), плохо сортированными ( $So$  5,58) песками с высоким (26%) содержанием гравийных частиц. Кривые распределения полимодальные. Сонограммы и подводная видеосъемка фиксируют крупные асимметричные песчаные рифели (высота валиков ряби около 20 см, расстояние между гребнями около 50 см), характеризующиеся резко неоднородным гранулометрическим составом вершин рифелей и межваловых ложбин (рис. 5). Судя по результатам подводной видеосъемки, грубозернистый песок и гравий концентрируются на склонах и вершинах валиков, в то время как в межваловых ложбинах преобладает более мелкозернистый песок. Характер микрорельефа дна и гранулометрический состав отложений свидетельствуют об интенсивном воздействии течений на формирование поверхностного осадочного покрова.

Далее до глубин около 50 м поверхность дна покрыта тонко-мелкозернистыми песками ( $Ma$  0,14–0,2 мм, среднее 0,17 мм). Сортированность осадка средняя – плохая ( $So$  1,8–2,6), кривые распределения, как правило, бимодальные. Вес модальной фракции (0,1–0,25 мм) колеблется от 51 до 74% (рис. 6). Осадки слегка заилены, содержание частиц  $<0,01$  мм – до 2%. Бимодальность распределений свидетельствует о воздействии на формирование осадков нескольких гидродинамических факторов, среди которых может быть названо как дифференциация материала под воздействием волнения и течений, так и влияние твердого стока р. Баргузин.

В южной части Баргузинского залива поверхностные отложения прибрежных мелководий представлены крупно-среднезернистыми песками с единичными зернами гравия и гальки. Пески отмытые (содержание частиц  $<0,01$  мм не превышает 0,5%), средней степени сортированности ( $So$  2,2). Распределение поверхностных донных отложений Баргузинского залива глубже изобаты 50 м четко контролируется рельефом дна. На склонах впадины преобладают отложения преимущественно алевритового состава, в наиболее глубоководной части – алевро-пелитового и пелитового. Наличие разветвленной сети подводных каньонов, прорезающих склон и четко фиксируемых съемкой методом многолучевого эхолотирования, обуславливает присутствие в толще осадков турбидитовых прослоев [9; 25; 27].

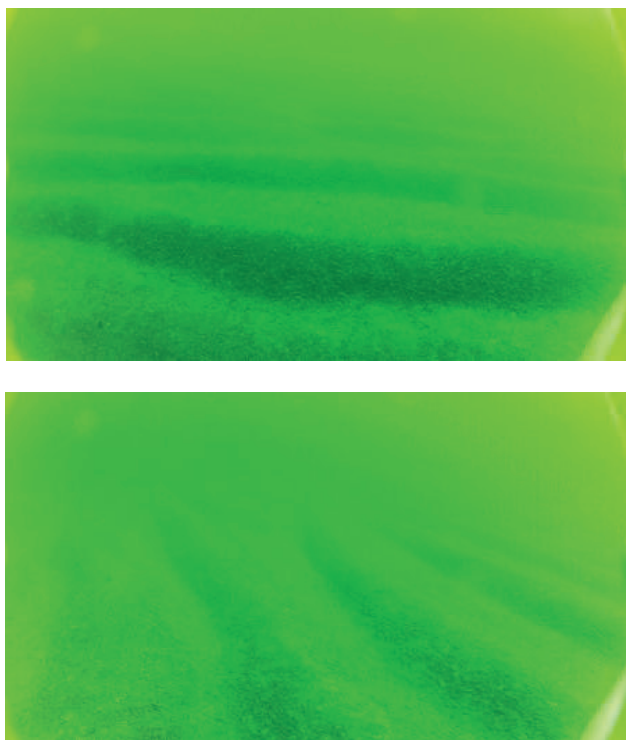


Рис. 5. Песчаные рифели на поверхности дна в районе дельты р. Баргузин

Подводная видеосъемка 2016 г.

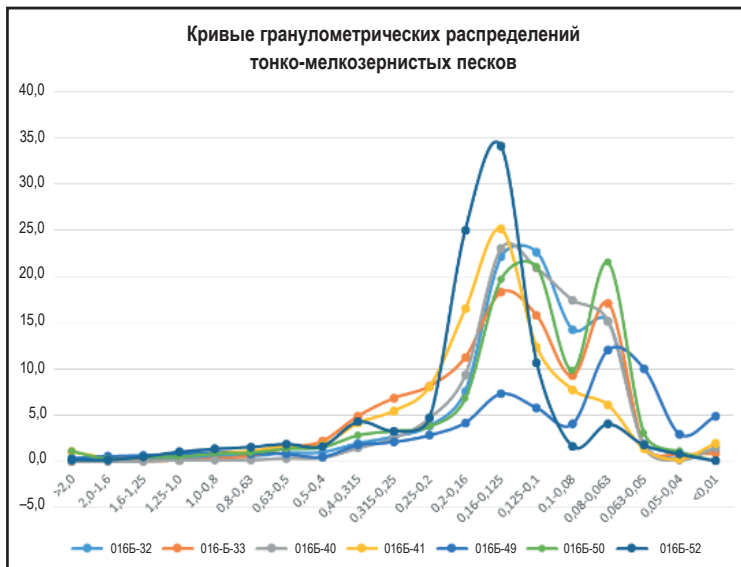


Рис. 6. Гранулометрические распределения тонко-мелкозернистых песков Баргузинского залива

В локальной бухте, расположенной к югу от устья р. Мантуриха, среднезернистые пески перекрывают подводные выходы плотных глинистых пород, образующих ступенчатый рельеф (рис. 7). Аналогичная зона фиксируется профилем ГЛБО bai09. В авандельте р. Селенга пески располагаются обычно до глубин 15–20 м, редко до 30–40 м. Наиболее широко представлены мелкозернистые разности и алевритовые пески (рис. 8).

Песками покрыто дно Чивыркуйского залива и почти половина залива Провал. Зона песчаной аккумуляции расположена между восточным берегом озера и п-овом 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 истоке р. Верхняя Ангара ширина зоны песков достигает 4,5 км.

Песчаные отложения широко развиты в прол. Малое Море. В кутовой части залива поверхностные осадки представлены средне-мелкозернистыми песками (вес фракции 0,01–0,25 мм, 68,7%), средней степени сортированности ( $S_o$  2,6), серого цвета, с гравием и мелкой галькой. Доминирующими типами отложений на основной части площади дна Малого моря являются тонко-мелкозернистые и мелко-тонкозернистые пески. Вес тонкозернистой фракции (0,05–0,01 мм) составляет от 33 до 55%, мелкозернистой (0,01–0,25 мм) – от 39 до 55%. Пески характеризуются средней степенью сортированности ( $S_o$  1,9–2,3) (рис. 9,а). Пески полимиктовые, серого цвета, с желтоватым (либо горчичным) оттенком, с большим содержанием слюды, в нижней части в ряде проб – с примесью алевритового материала. Конус выноса отложений современной дельты р. Голоустная, сложенный

преимущественно песчаными осадками, имеет также подводное продолжение в пределах подводного склона (современная авандельта).

В Чивыркуйском заливе, по данным предыдущих исследований [4], вдоль берега в виде широкой полосы протягивается поле грубообломочных осадков. Батиметрически ниже, согласно полученным нами данным, они сменяются хорошо отмытыми (вес фракции <0,01 мм – 0,1%), хорошо сортированными ( $S_o$  1,59) средне-крупнозернистыми песками (вес модальной фракции 0,5–1,0 мм – 58,2%). Севернее расположена палеодельта р. Большой Чивыркуй. Вероятно, механизм ее формирования аналогичен описанным для Южного Байкала [35]. Поверхность дна «палеодельты» покрыта терригенно-биогенными пелитово-алевритовыми илами с высокой примесью песчаных частиц. Содержание доминирующей алевритовой фракции колеблется от 69 до 75%, пелитовой – от 9 до 15%, песчаной – от 13 до 17%. Отложения представлены бурыми флокулированными разжиженными илами, на поверхности отмечается значительное количество скоплений диатомовых водорослей. Мощность верхнего окисленного слоя (светло-бурого цвета) весьма значительна и колеблется от 1 см (станции 18Б-15, 18Б-17) до 4–5 см (станции 18Б-12, 18Б-13, 18Б-14, 18Б-18). На станциях 18Б-15 и 18Б-17 этот слой подстилается серыми мягкопластичными алевропелитами. На остальных станциях мощность окисленного коричневатого слоя алевропелитов – более 10 см. В образцах станций 18Б-18 и 18Б-14 по нижнему контакту окисленной зоны (10 см и 4 см соответственно) встречены корки цементации за счет обогащения окислами и гидроокислами Fe и Mn.

В северной части губы Фролиха на глубинах 20 м выделяется поле крупнозернистых песков. Пески достаточно хорошо сортированы ( $S_o$  1,8),

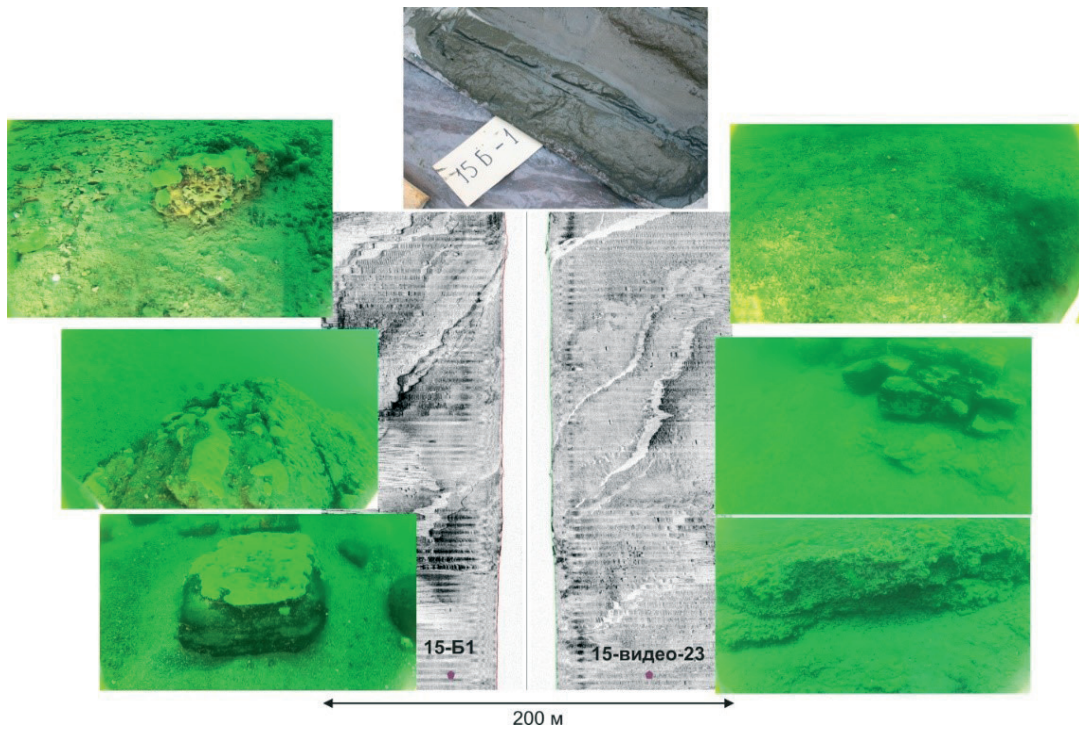


Рис. 7. Среднезернистые пески на поверхности подводных уступов. Фрагмент сонограммы профиля bai2 и подводные фото (2015 г.)

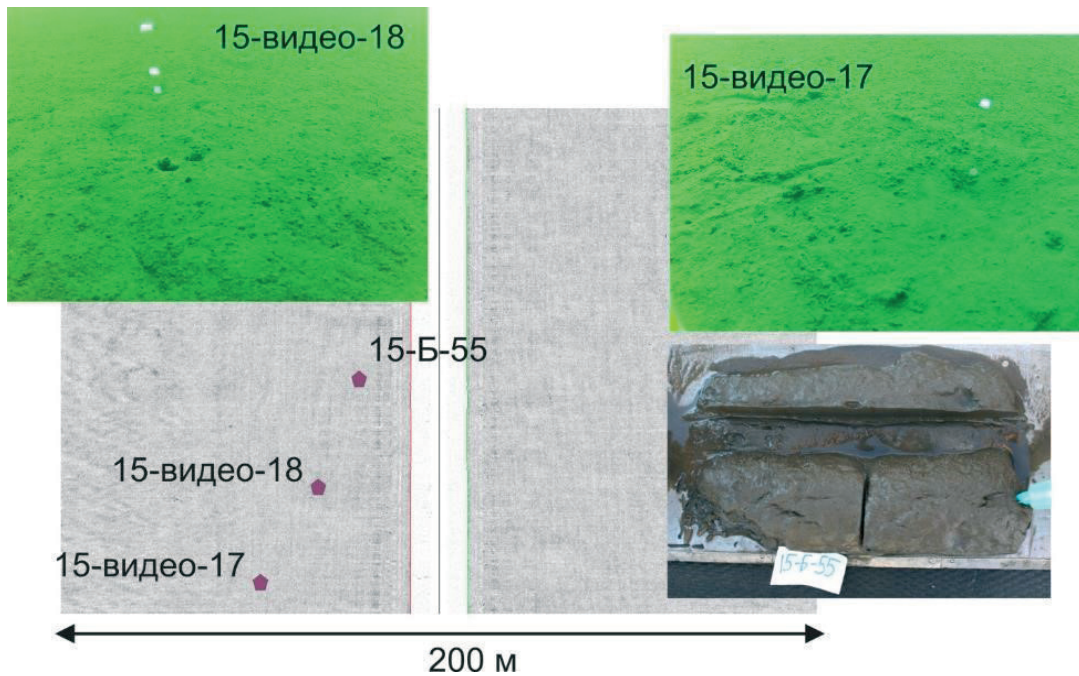


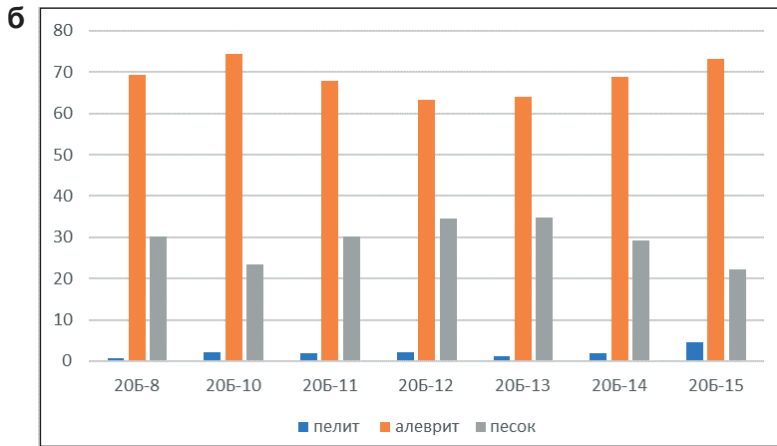
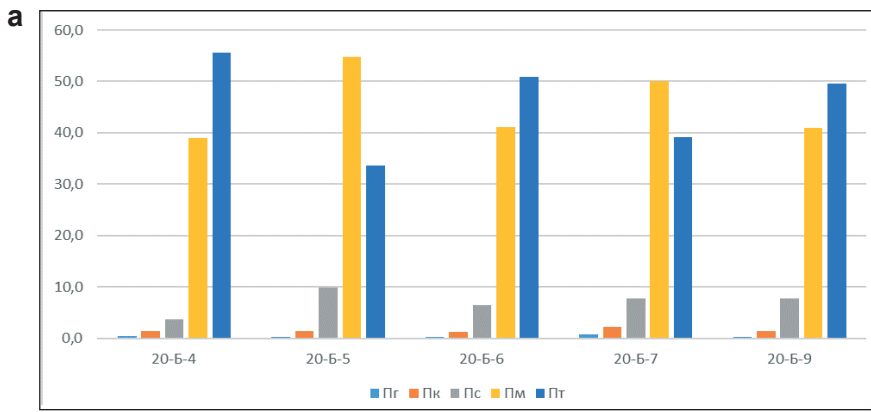
Рис. 8. Фрагмент сонограммы и подводные фото поля песков (профиль bai027) (2015 г.)

пески весом модальной фракции 0,5–1,0 мм составляют 75,9%, количество грубобломочного материала (1,8%) и алевропесчаных фракций (0,12%) незначительно, кривая распределения одномодальная.

Пробоотбор, выполненный на выходе из губы Аяя, выявил наличие на глубинах 110 м вытянутого вдоль изобат поля мелко-среднезернистых песков.

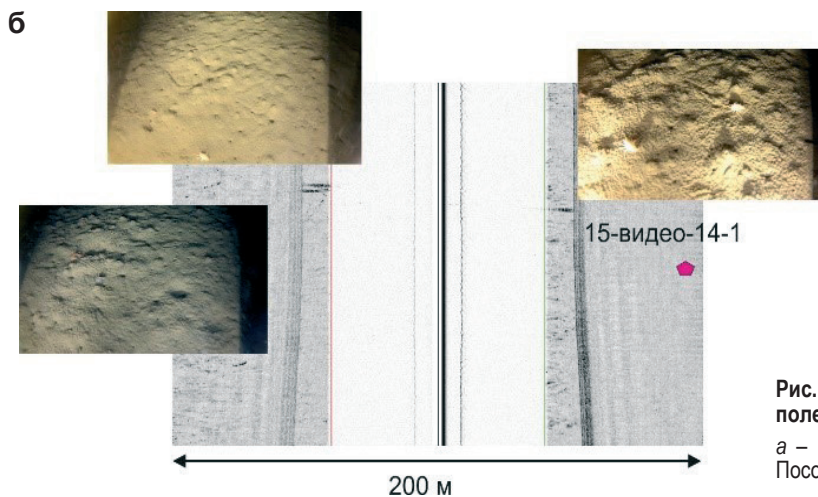
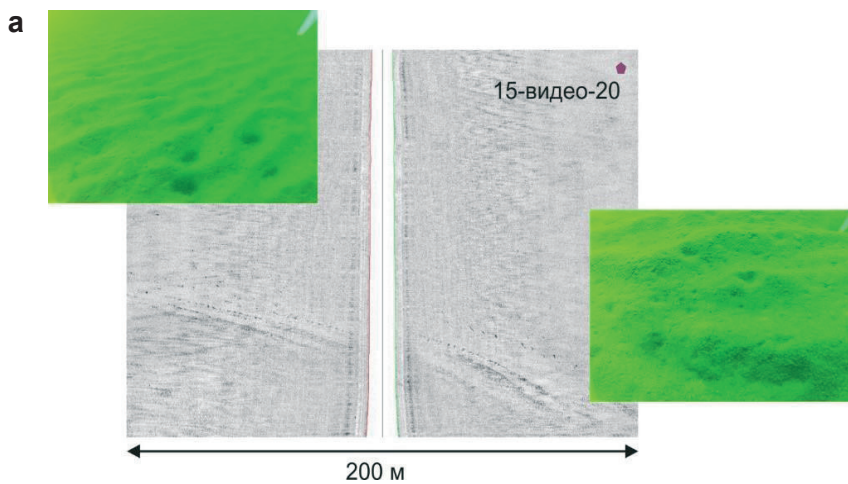
Сортированность осадков плохая ( $S_o 3,24$ ), кривая распределения полимодальная, вес мелкозернистой фракции – 30,4%, среднезернистой – 40,8%. Примесь грубозернистого материала составляет 1,7%, алевропелитовых частиц – 3,4%.

Алевритовые пески и песчаные алевриты образуют протяженные поля по периферии дельты р.Селенга в Чивыркуйском заливе (рис. 10),



**Рис. 9. Гранулометрические распределения песчаных (а) и алевропесчаных (б) отложений пролива Малое море (2020 г.)**

Гранулометрические фракции песчаных отложений: Пг – песок грубозернистый (2,0–1,0 мм), Пк – песок крупнозернистый (1,0–0,5 мм), Пс – песок среднезернистый (0,5–0,25 мм), Пм – песок мелкозернистый (0,25–0,1 мм), Пт – песок тонкозернистый (0,1–0,05 мм)



**Рис. 10. Фрагменты сонограмм и подводные фото полей алевроитовых песков**

а – профиль bai012, б – профиль bai17 в пределах Посольской банки (2015 г.).

к западу от о. Большой Ушканий и в восточной части пролива Малое Море. Поверхностные осадки, отобранные на выходе из Малого моря и в прилегающей части дна озера Байкал, представлены алевритовыми и песчано-алевритовыми илами (рис. 9,б) с выраженной мощной зоной окисления, составляющей, по данным пробоотбора с использованием трубки, до 17–18 см.

Цвет осадка коричнево-горчичный, темно-горчичный. На поверхности, как правило, отмечается большое количество диатомовых водорослей. Бурые, отмытые, хорошосортированные алевритовые пески и средне-мелкозернистые пески покрывают поверхность дна у подножия склонов Южной котловины в западной части акватории озера Байкал (глубина от 500 до 1256 м). По данным многолучевого эхолотирования в восточной части поля песков, они образуют на поверхности дна крупные серпообразные формы динамической аккумуляции (мегарифели).

В бух. Змеиная, где ранее, по литературным данным, картировалось поле песков, в 2019 г. выделены зоны развития алевритов и песчаных алевритов. Алевриты характеризуются высоким содержанием фракции 0,005–0,05 мм (78–80%), песчаные фракции составляют 14–17%, пелитовые – 4–5,5%. Обращает на себя внимание, что несмотря на мелководные условия (глубина озера 3–6 м), на поверхности осадков отсутствует зона окисления. В гранулометрическом составе песчаных алевритов доля песчаной фракции возрастает до 43%. На поверхности песчаных алевритов локально выделяются зоны развития знаков ряби, являющиеся индикаторами гидродинамического воздействия на дно. Поле песчаных алевритов прослежено в северном направлении до выхода

из бух. Змеиная, доля алевритовой фракции возрастает здесь до 68%, доля песчаной снижается до 16,4%.

Терригенные алевриты являются преобладающим типом поверхностных отложений на пологонаклонном склоне северо-западной части Баргузинского залива (между п-вом Святой Нос и устьем р. Баргузин).

**Биогенно-терригенные отложения.** *Отложение подводного поднятия Селенгинско-Бугульдейская Перемычка.* Поднятие Селенгинско-Бугульдейская Перемычка, разделяющее Центральную и Южную котловины, представляет собой тектоническую ступень, наклоненную в сторону южной котловины. С севера на ступень наложена дельта р. Бугульдейка, осадки которой играют важную роль в седиментации района. Подводная часть дельты далеко вдается в озеро. Верхние 100 м разреза характеризуются непрерывными субпараллельными отражениями, свидетельствующими о мощной толще гемипелагических осадков. В поверхностных илах, отобранных на Селенгинско-Бугульдейской перемычке, турбидиты отсутствуют [9; 15]. Скорость осадконакопления здесь 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 Селенгинско-Бугульдейской перемычки (включая аквато-

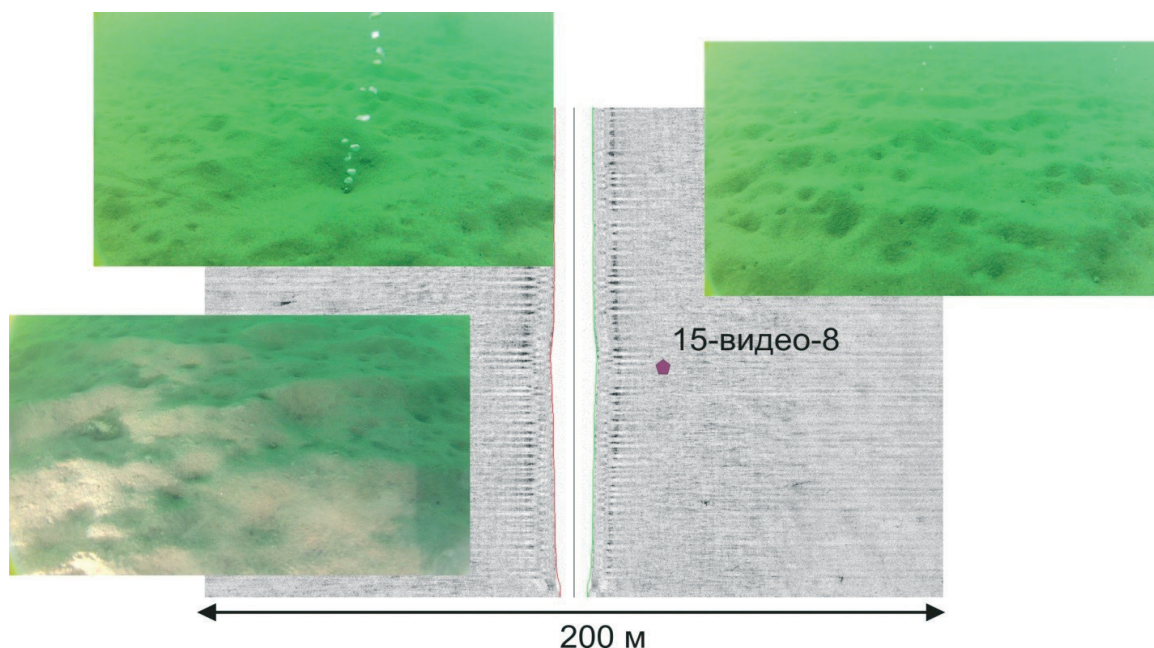


Рис. 11. Фрагмент сонограммы и подводные фото поля пелитово-алевритовых илов в пределах акваториальной периферии Посольской банки (профиль bai19)

риальную периферию Посольской банки), а также протягиваются от нее в западном направлении в виде узкой полосы вдоль южного берега озера Байкал (рис. 11). Биогенно-терригенные илы пелитового состава развиты локально, в северной части озера.

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 [38; 43]. Размеры лобосов составляют 1–2 км, а мощность – первые сотни метров. Подводные каналы стока, пересекающие поверхность конусов выноса, имеют ширину несколько сот метров при глубине в первые десятки метров [18]. 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 гемипелагических 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, их очень много в осадках глубоководных равнин. Отложения каналов стока более грубозернистые и представлены песчаными и более грубыми отложениями вплоть до валунов. Во многих районах озера подводные конусы выноса расположены вблизи друг от друга и сливаются, создавая сложную картину наложенных конусов выноса, усложняя и без того сложную фаціальную картину распределения донных отложений [18]. Картирование таких участков дна будет выполнено при дальнейшем продолжении работ на основе заверки данных многолучевого эхолотирования и гидролокации бокового обзора пробоотбором. В районе Посольского каньона наблюдается мозаичная картина распределения поверхностных осадков.

На склонах Южной и Центральной котловин в виде узкой полосы шириной от 300 м до 1,5 км, выделяются биогенно-терригенные пелитово-алевритовые илы. 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.

В районе устья р. Голоустная расположена подводная возвышенность с достаточно крутыми, расчлененными многочисленными каньонами. Возвышенность интерпретирована ранее [24] как древняя авандельта р. Праголоустная. По данным непрерывного сейсмоакустического профилирования (НСАП), в строении отложений четко

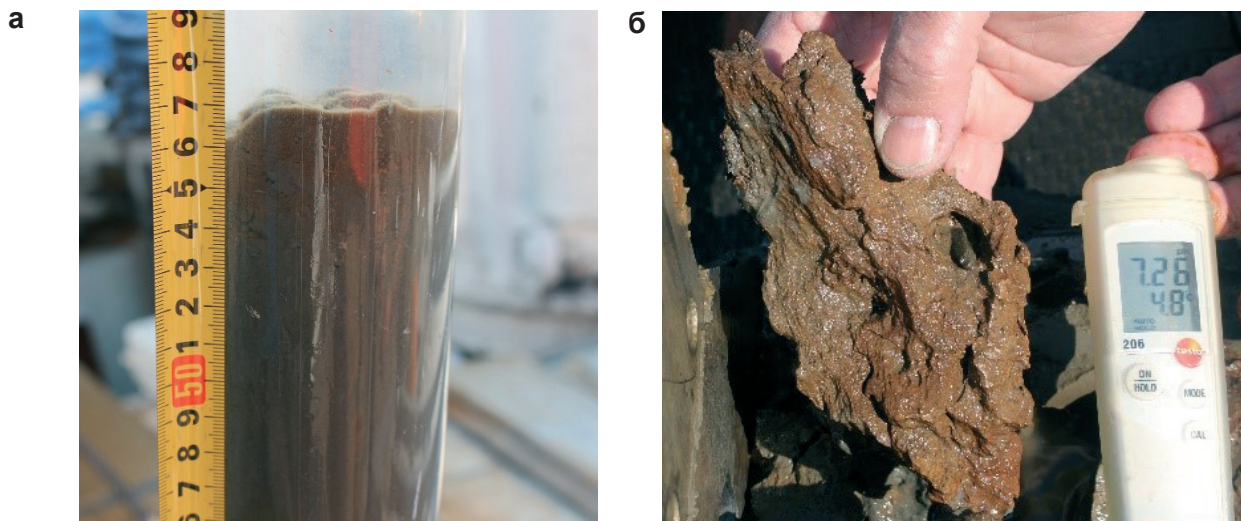


Рис. 12. Поверхностные отложения станции 17Б-47

а – ГГТ с ненарушенным поверхностным слоем пелитового алеврита; б – корка железомарганцевых окислов, цементирующая слой илов (бокс-корер, 2017 г.)



Рис. 13. Биогенно-терригенные алевро-пелитовые илы северной части Северной котловины, 2018 г.

прослеживается слоистое строение (мощность отложений более 500 м) с несогласными внутренними границами. Верхняя часть разреза отложений древней дельты (под слоем современных илов) представлена переслаиванием глин (содержание фракции 0,005–0,05 мм более 80%) и алевритовых глин (содержание фракции 0,005–0,05 мм до 60%), алевро-песчаных и алевритовых (глинистые алевриты, содержание алевритовой фракции 51–63%) отложений. К центральным частям и к верхней части склонов приурочены отложения, включающие прослои газовых гидратов. Поверхностный слой отложений представлен серыми, в ряде случаев с буроватым оттенком, пелитовыми алевритами. В зонах разложения газовых гидратов осадок приобретает характерный «творожистый» облик.

Поверхностный слой осадков, отобранных на склонах палеodelты и у ее подножия, характеризуется наличием железомарганцевых окислов. На ст. 17Б-47 (глубина 380 м) слой плотного пластичного алевропелита насыщен фрагментами бурых железомарганцевых окислов, цементирующий осадок (рис. 12).

*Отложения глубоководных котловин.* Наиболее глубоководные участки дна Южной, Центральной и Северной котловин покрывают биогенно-терригенные алевро-пелитовые илы с прослоями турбидитов.

В Южной впадине эти отложения располагаются на глубинах более 1300 м. Биогенно-терригенные прослои представлены преимущественно алевритовыми пелитами, реже пелитами (содержание фракции 0,005–0,05 мм – от 47 до 95%), серого цвета, с поверхности перекрытые бурым флокулированным разжиженным наилком зоны окисления. Мощность зоны окисления, по данным исследований 2015–2017 гг., составляет от 2 до 10 см, что совпадает с опубликованными ранее данными [9; 25]. Содержание биогенных силикатов в поверхностных отложениях достигает 20% [36]. Пелагические илы состоят главным образом из автохтонного биогенного и аллохтонного тер-

ригенного материалов (пелита и алеврита). Биогенная часть представлена в основном створками отмерших диатомовых водорослей, терригенная – обломками пород, кластогенными минеральными зёрнами и глинистыми минералами [8; 11]. В отличие от вмещающих пелагических илов турбидиты характеризуются повышенным содержанием песка и алеврита, наличием градационной слоистости, темным цветом и присутствием наземных растительных остатков [11]. Прослои турбидитов установлены также во всех колонках, отобранных в пределах глубоководной части Южной впадины в 2017 г.

По литературным данным [8], в минеральном составе отложений преобладают минералы легкой фракции – полевые шпаты (в основном плагиоклазы), слюды (главным образом биотит) и кварц. Присутствуют слюдисто-глинистые агрегаты, максимальное содержание которых (до 8%) приходится на пелагические илы. Кроме того, в составе легкой фракции наблюдаются диатомеи (до 10,8% в пелагических илах), наземные растительные остатки (до 3,2% в турбидитовых слоях) и спикулы губок. В тяжелой фракции преобладают пироксены (в основном диопсид), амфиболы (главным образом роговая обманка), гранат, ильменит, апатит, эпидот; встречаются сфен, магнетит, циркон, турмалин. Содержание тяжелой фракции изменяется по разрезу: от 2 до 7% [9].

Крутой юго-восточный склон Центральной котловины озера Байкал с перепадами глубин от 250 до 1500 м значительно нарушен эрозионными процессами. Поверхностные донные осадки отличаются более тонким гранулометрическим составом по сравнению с отложениями Северного Байкала и представлены пелитовыми алевритами. Содержание алевритовой фракции (0,005–0,05 мм) составляет от 48 до 67%, пелитовой – от 21 до 38%, примесь песчаных частиц незначительна (от 4 до 6%). Дно Центральной котловины также покрыто биогенно-терригенными алевро-пелитовыми илами.

Донные отложения наиболее глубоководных участков Северной котловины, по данным предыдущих исследований [9; 18; 25; 27; 29], представлены чередованием рыхлых диатомовых илов и плотных, более сухих глин или грубозернистых (алевритовых и песчаных) турбидитов. Поверхностные отложения северного участка дна Северной котловины, опробованные в ходе работ ВСЕГЕИ 2018 г., представлены алевритовыми илами с очень хорошо выраженной зоной окисления от темно-коричневого цвета («темный шоколад») до светло-ярко-бурого цвета. Вниз по интервалу (0–5 см) цвет осадка закономерно изменяется от светло- до темно-бурого, по нижнему контакту зоны окисления на большинстве станций наблюдаются уплотненные линзовидные прослои темно-коричневого цвета, обогащенные гидроокислами Fe и Mn и представляющие собой, вероятно, начальную стадию образования железомарганцевых корок (рис. 13).

Осадки подножия северного склона Академического хребта (ст. 18Б-35, глубина 890 м) представлены бурым разжиженным пелито-песчано-алевритовым флоккулированным илом с большим количеством диатомовых водорослей. В гранулометрическом составе повышено содержание песчаных частиц (до 20%).

Отложения восточного склона Северной впадины, по литературным данным [9; 18; 25; 27; 29], были отнесены к терригенно-биогенным пелитовым илам. По результатам гранулометрического анализа образцов, отобранных в 2018 г., установлено, что содержание алевритовой фракции в поверхностных осадках колеблется от 70 до 78% при близких (10–12% и 10–16%) содержаниях пелитовой и песчаной фракций соответственно. По данным Е. Б. Карабанова [18], содержание створок диатомовых в этих осадках может достигать 60–80%. Описываемое поле было отнесено к типу терригенно-биогенных пелитово-алевритовых илов.

Отложения склона впадины отличаются по литологическому облику от осадков дна котловины. Во всех образцах также проявлена поверхностная зона окисления, выраженная слоем разжиженного пелитового алеврита (алеврита) бурого цвета мощностью от 5 до 7 см, однако на всех станциях эти осадки с резкой цветовой границей переходят в однородные мягкопластичные алевропелиты. Обогащение окислами и гидроокислами железа по нижней границе отмечено только в отложениях ст. 18Б-32.

**Терригенно-биогенные отложения.** *Отложения Академического хребта.* Ярким примером района со спокойными условиями осадконакопления является подводный Академический хребет. Поверхностные осадки представлены терригенно-биогенными илами, состоящими 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 [9]. Донные отложения, вскрытые грунтовыми трубками, представлены голоценовыми илами и подстилающими их позднеэоценовыми глинами.

По данным пробоотбора и гранулометрического анализа, выполненного в 2018 г., доминирующим типом поверхностных отложений Академического хребта являются пелитово-алевритовые илы (станции 18Б-38, 18Б-11). Содержание алевритовой фракции колеблется в диапазоне от 61 до 70%, пелитовой – от 14 до 26%, песчаной – от 8 до 13%.

Поверхностные отложения представлены разжиженными илами, в верхней части с большим содержанием диатомовых водорослей. На глубине 4 см в осадке ст. 18Б-38 отмечается большое количество гидроокислов железа и марганца в виде небольших выделений и корок. В осадках ст. 18Б-11 поверхностный слой (2 см) разжиженного бурого ила содержит включения гидроокислов железа в виде отдельных зерен размером до 3 мм, зона ожелезнения проходит по нижнему контакту прослоя. Общий цвет осадка бурый. Как упоминалось выше, по периферии архипелага Ушканьи Острова в литоральной зоне развиты песчаные осадки. По данным пробоотбора 2018 г., песчаными частицами обогащены также илы на глубинах от 610 и 890 м. Отложения представлены бурыми разжиженными флоккулированными илами пелитово-алевритовыми илами с небольшим количеством диатомовых водорослей.

*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 алевритово-пелитового и пелитового составов. 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 [18]. 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. По данным [9] наряду с описанными выше гранулометрическими и текстурными признаками, отличающими турбидиты от пелагических осадков [25; 27], в описываемом районе дна акватории для них характерны повышенное содержание минералов тяжелой фракции, высокие значения магнитной восприимчивости, пониженная концентрация планктонных диатомей и повышенная доля бентосных форм и древних видов [9].

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  $C_{орг.}$  и  $N_{общ.}$  достигает 2–3% и 0,1–0,2% соответственно, что обусловлено как высокой продуктивностью озера, так и значительным сносом органического вещества с водосбора [18].

Алеврито-пелитовые илы занимают большую часть дна озера и наиболее широко представлены в Северной и Южной котловинах Байкала, где распространены на глубинах от 250 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 слабобластичны, содержат незначительную примесь алеврита и песка. Часто велика доля остатков диатомей, иногда доходящая 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 [38]. Осадочные колонки, лишённые турбидитов, крайне редки в бассейнах озера. Глубоководное бурение на плоском дне Южной котловины (скв. ВDP97) на глубине 1428 м на удалении 15 км от берега также подтвердило наличие песчаных турбидитов на всю глубину вскрытого разреза (225 м). При этом мощность песчаных турбидитов в скв. ВDP97 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 [18].

Поверхностные отложения верхней (пологой) части южного склона Южной котловины представлены терригенно-биогенными пелитово-алевритовыми илами. Нижняя (крутая) часть склонов перекрыта пелитово-алевритовыми илами с примесью песка.

**Заключение.** Таким образом, по результатам комплексного анализа, полученным в 2015–2020 гг., геолого-геофизических данных и лабораторных работ, а также результатов опубликованных исследований донных отложений и седиментаци-

онных процессов озера Байкал впервые составлена литологическая карта дна акватории масштаба 1 : 500 000. Наиболее детальные карты-врезки удалось составить для ключевых участков, для которых была получена качественная геофизическая основа с площадным покрытием дна акватории (многолучевое эхолотирование, гидролокация бокового обзора). Начатые работы необходимо продолжить, так как актуальная информация о распределении поверхностных отложений имеет огромное значение с точки зрения проведения междисциплинарных исследований, а также обеспечения экологической безопасности и охраны окружающей среды озера Байкал.

Авторы выражают огромную благодарность бессменному руководителю морских геологических работ на Байкале с 2015 г., ведущему научному сотруднику ВСЕГЕИ В. А. Шахвердову, начальнику полевой партии О. В. Дроню, а также капитанам и экипажам научно-исследовательских судов за самоотверженный труд, который позволил существенно пополнить имеющуюся базу знаний о поверхностных отложениях озерной котловины. Исследования выполнены в рамках реализации мероприятий ФЦП «Охрана озера Байкал и социально-экономическое развитие Байкальской природной территории на 2012–2020 годы» по объекту «Геологическое изучение опасных процессов, связанных с миграцией углеводородов в центральной экологической зоне Байкальской природной территории».

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Агафонов Б. П. Асимметричность литопотока в бассейне Среднего Байкала // Докл. РАН. – 2007а. – Т. 412, № 6. – С. 818–821.
2. Агафонов Б. П. Асимметричность литопотока в бассейне Южного Байкала // Известия Русского географического общества. – 2007б. – Т. 139, вып. 6. – С. 64–70.
3. Агафонов Б. П. Экзолигодинамика Байкальской рифтовой зоны. – Новосибирск : Наука, 1990. – 176 с.
4. Атлас «Байкал». – М. : Федеральная служба геодезии и картографии России, 1993. – 160 с.
5. Атлас Иркутской области. – М. ; Иркутск, 1962. – 182 с.
6. Беркин Н. С., Макаров А. А., Русинек О. Т. Байкаловедение: учебное пособие. – Иркутск : Изд-во Ирк. гос. ун-та, 2009. – 291 с.
7. Бухаров А. А., Фиалков В. А. Геологическое строение дна Байкала. Взгляд из «Пайсиса». – Новосибирск : Наука, 1996. – 118 с.
8. Вологина Е. Г. Минеральный состав поверхностных донных осадков и наносов притоков в районе северного берега Южной котловины озера Байкал // Известия Ирк. гос. ун-та. Серия «Науки о Земле». – 2012. – Т. 5, № 2. – С. 86–95.
9. Вологина Е. Г., Штурм М. Типизация голоценовых отложений и районирование бассейна озера Байкал // Геология и геофизика. – 2009. – Т. 50, № 8. – С. 933–940.
10. Вологина Е. Г., Штурм М., Воробьева С. С. Современное осадконакопление в озере Байкал. Результаты экспериментов с седиментационными ловушками // Осадочная геология Урала и прилегающих регионов: сегодня и завтра. Материалы 12 Уральского литоло-

гического совещания. – Екатеринбург : ИИГ УрО РАН, 2018. – С. 62–63.

11. Вологина Е. Г., Штурм М., Радзиминович Я. Б. Состав донных осадков оз. Байкал, отобранных в районе ст. Шарыжалгай Кругобайкальской железной дороги // Известия Ирк. гос. ун-та. Серия «Науки о Земле». – 2014. – Т. 7. – С. 75–83.

12. Высокоразрешающая осадочная запись по керну глубоководного бурения на Посольской банке в озере Байкал (BDP-99) / Е. В. Безрукова, А. А. Бухаров, В. А. Бычинский и др. // Геология и геофизика. – 2004. – Т. 45, № 2. – С. 163–193.

13. Геология дна Байкала, изученная с подводных аппаратов «Пайсис» / Л. П. Зоненшайн, В. Г. Казьмин, М. И. Кузьмин и др. // Докл. РАН. – 1993. – Т. 330, № 1. – С. 84–88.

14. Геолого-геофизические и подводные исследования оз. Байкал. – М. : Ин-т океанологии АН СССР, 1979. – 213 с.

15. Глубоководное бурение на Байкале – основные результаты / М. И. Кузьмин, Е. Б. Карабанов, Т. Каваи и др. // Геология и геофизика. – 2001. – Т. 42, № 1–2. – С. 8–34.

16. Голдырев Г. С. Осадкообразование и четвертичная история котловины Байкала. – Новосибирск : Наука, 1982. – 182 с.

17. Казьмин В. Г., Гольмшток А. Я., Клитгорд К. Строение и развитие района Академического хребта по данным сейсмических и подводных исследований (Байкальский рифт) // Геология и геофизика. – 1995. – Т. 36, № 10. – С. 164–176.

18. Карабанов Е. Б. Геологическое строение осадочной толщи озера Байкал и реконструкции изменений климата Центральной Азии в позднем кайнозое (на основе изучения байкальских осадков) // Дисс. д-ра геол.-минерал. наук. – М., 1999. – 72 с.

19. Карабанов Е. Б., Фиалков В. А. Морфология и литодинамика подводных каньонов // Геолого-геофизические исследования озера Байкал. – М., 1979. – С. 81–86.

20. Князева Л. М. Современные осадки южной части озера Байкал // Тр. Байкальской лимнологической ст. АН СССР. – 1957. – Т. 15. – С. 159–194.

21. Князева Л. М. Осадкообразование в озерах влажной зоны СССР. Южный Байкал // Образование осадков в современных водоемах. – М. : Изд-во АН СССР, 1954. – С. 180–236.

22. Коллектив участников проекта «Байкал-бурение». Непрерывная запись климатических изменений в отложениях озера Байкал за последние 5 миллионов лет // Геология и геофизика. – 1998. – Т. 39, № 2. – С. 139–156.

23. Озера как накопительные информационные системы и индикаторы климата / Д. В. Субетто, Д. В. Севастьянов, Т. В. Сапелко, В. Р. Бойнагрян, И. М. Греков // Астраханский Вестник экологического образования. – 2017. – № 4 (42). – С. 4–14.

24. Опыт картирования кровли приповерхностных газовых гидратов озера Байкал и извлечение газа из них / О. М. Хлыстов, Ш. Нишио, А. Ю. Манаков, Х. Сухияма, А. В. Хабубев, О. В. Белоусов, М. А. Грачев // Геология и геофизика. – 2014. – Т. 55, № 9. – С. 1415–1425.

25. Осадконакопление в заливе Провал (озеро Байкал) после катастрофического затопления прибрежной равнины в 1862 г. / Е. Г. Вологина, И. А. Калугин, Ю. Н. Осуховская, М. Штурм, Н. В. Игнатова, Я. Б. Радзиминович, А. В. Дарьин, М. И. Кузьмин // Докл. РАН. – 2007б. – Т. 417, № 4. – С. 511–516.

26. Основные результаты работ по геологическому изучению процессов. Связанных с миграцией углеводородов в акватории озера Байкал / О. В. Петров, А. И. Ларичев, В. А. Шахвердов, А. В. Брылина, Ю. П. Кропачев, О. В. Дронь, В. П. Исаев, А. Г. Кичигин, А. М. Лыгин // Региональная геология и металлогения. – 2023. – С. 4–28.

27. Особенности осадконакопления в озере Байкал в голоцене / Е. Г. Вологина, М. Штурм, С. С. Воробьева, Л. З. Гранина, С. Ю. Тошаков // Геология и геофизика. – 2003. – Т. 44, № 5. – С. 407–421.

28. Особенности состава и строения верхней части осадочной толщи в котловине Байкала / Г. С. Голдырев, Л. А. Выхристюк, Ф. И. Лазо, М. К. Шимарева // V Всесоюз. симпозиум (Тез. докл.). – Иркутск, 1979. – С. 37–42.

29. Результаты седиментологических исследований голоценовых отложений Южной и Средней котловины озера Байкал (на примере скважины BDP-97 и колонковых трубок) / Е. Г. Вологина, С. А. Кашик, М. Штурм, С. С. Воробьева, Т. К. Ломоносова, И. А. Калашникова, Т. И. Храмцова, С. Ю. Тошаков // Геология и геофизика. – 2007а. – Т. 48, № 4. – С. 401–413.

30. Сигналы палеоклиматов верхнего плейстоцена в осадках озера Байкал / М. А. Грачев, Е. Е. Лихошвай, С. С. Воробьева и др. // Геология и геофизика. – 1997. – Т. 38, № 5. – С. 957–980.

31. Страхов Н. М. Основы теории литогенеза. – М. : Изд-во АН СССР, 1960–1962. – Т. 1–3.

32. Строение и развитие подводного Академического хребта (озеро Байкал) / О. М. Хлыстов, В. Д. Мац, С. С. Воробьева, А. В. Климанский, М. де Батист, С. Черамикола // Геология и геофизика. – 2000. – Т. 41, № 6. – С. 819–824.

33. Строение осадочного чехла озера Байкал / В. Г. Николаев, Л. А. Ванякин, В. В. Калинин и др. // Бюлл. МОИП. Отдел геол. – 1985. – Т. 60, вып. 2. – С. 48–58.

34. Факторы, контролирующие распределение урана, фосфора и микроэлементов в осадках Академического хребта озера Байкал / С. М. Жмодик, И. С. Кириченко, Д. К. Белянин, О. М. Хлыстов // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири. – 2014. – № 3, ч. 2. – С. 103–106.

35. Хлыстов О. М., Кононов Е. Е., Минами Х. Новые данные о рельефе подводного южного склона Южно-Байкальской котловины // География и природные ресурсы. – 2018. – № 1. – С. 59–65.

36. <sup>32</sup>Si dating of sediments from Lake Baikal / U. Morgenstern, R. G. Ditchburn, E. G. Vologina, M. Sturm // J. Paleolimnol. – 2013. – Vol. 50. – Pp. 345–352.

37. Climate Change in Lake Baikal: Diatom Evidence in an Area of Continuous Sedimentation / M. Bangs, R. W. Battarbee, R. J. Flower, D. Jewson, J. A. Lees, M. Sturm, E. G. Vologina, A. W. Mackay // International Journal of Earth Sciences. – 2000. – Vol. 89. – Pp. 251–259.

38. Colman S. M., Karabanov E. B., Nelson C. H. Quaternary Sedimentation and Subsidence History of Lake Baikal, Siberia, Based on Seismic Stratigraphy and Coring // Journal of Sedimentary Research. – 2003. – Vol. 73, no. 6. – Pp. 941–956.

39. Depositional and tectonic framework of the rift basins of Lake Baikal from multichannel seismic data / D. R. Hutchinson, A. J. Golmshtok, L. P. Zonenshain, T. C. Moore, C. A. Scholz, K. D. Klitgord // Geology. – 1992. – Vol. 20, no 7. – Pp. 589–592.

40. Folk R. L., Ward W. C. Brazos River bar: a study in the significance of grain size parameters // Journal of Sedimentary Petrology. – 1954. – Vol. 27. – Pp. 3–26.

41. Granina L. Z., Baryshev V. B., Grachev A. M. Study of the elemental composition of suspended sediments in Lake Baikal and its tributaries by X-ray fluorescent analysis based on synchrotron radiation // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research. – 1995. – Vol. 359. – Pp. 302–304.

42. Lake Baikal paleoclimate project, South-Eastern Siberia: initial dating and paleoenvironmental results. International Project on Paleolimnology and Late Cenozoic Climate / S. M. Colman, E. B. Karabanov, D. F. Williams, P. P. Hearn, J. W. King, W. H. Orem, J. P. Bradbury, W. C. Shanks, G. A. Jones, S. W. Carter // IPCCCE Newsletter. – 1992. – Vol. 6. – Pp. 30–39.

43. Lake Baikal turbidite system: tectonic, sediment supply and paleoclimatic controls / C. H. Nelson, E. B. Karabanov, C. Escuita, M. De Batist, K. D. Klitgort, S. M. Colman // *Active Tectonic continental basins: interaction between structural and sedimentary processes*. – 1998. – Pp. 27–32.

44. Lukhoshvay A. V., Gravhev M. A. Phosphate anion sorption by the sediments of Lake Baikal // *Chemistry for Sustainable Development*. – 2006. – Vol. 14. – Pp. 75–82.

45. Paleoenvironmental record in Lake Baikal sediments: Environmental changes in the last 160 ky / T. Grygar, J. Kadlec, P. Pruner, G. Swann, P. Bezdicka, D. Hradil, K. Lang, K. Novotna, H. Oberhansli // *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. – 2006. – Vol. 237. – Pp. 240–254.

46. Tectonic and sediment supply control of deep rift lake turbidite systems: Lake Baikal, Siberia, Russia / C. H. Nelson, E. B. Karabanov, S. M. Colman, C. Escuita // *Geology*. – 1999. – Vol. 27, no. 2. – Pp. 163–166.

47. Vologina E. G., Sturm M., Budnev N. M. Results of long-term measurements of particulate matter in Lake Baikal // *Limnology and Freshwater Biology*. – 2022. – Vol. 4. – Pp. 1606–1609.

## REFERENCES

1. Agafonov B. P. Asimmetrichnost' litopotoka v bassejnye Srednego Baykala. *Doklady Akademii nauk*, 2007a, vol. 412, no. 6, pp. 818–821.

2. Agafonov B. P. Assimmetrichnost' litopotoka v bassejnye Yuzhnogo Baykala. *Izvestiya Russkogo geograficheskogo obshchestva*, 2007b, vol. 139, iss. 6, pp. 64–70.

3. Agafonov B. P. Ekzolitodinamika Baykal'skoy riftovoy zony. Novosibirsk, Nauka, 1990, 176 p.

4. Atlas «Baykal». Moscow, Federal'naya sluzhba geodezii i kartografii Rossii, 1993, 160 p.

5. Atlas Irkutskoy oblasti. Moscow, Irkutsk, 1962, 182 p.

6. Berkin N. S., Makarov A. A., Rusinek O. T. Baykalovedenie: uchebnoe posobie. Irkutsk, Izdatel'stvo Irkutskogo gosudarstvennogo universiteta, 2009, 291 p.

7. Bukharov A. A., Fialkov V. A. Geologicheskoe stroenie dna Baykala. Vzgl'yad iz «Paysisa». Novosibirsk, Nauka, 1996, 118 p.

8. Vologina E. G. Mineral'nyy sostav poverkhnostnykh donnykh osadkov i nanosov pritokov v rayone severnogo berega Yuzhnoy kotloviny ozera Baykal. *Izvestiya Irkutskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya «Nauki o Zemle»*, 2012, vol. 5, no. 2, pp. 86–95.

9. Vologina E. G., Shturm M. Tipizatsiya golotsenovykh otlozheniy i rayonirovanie bassejny ozera Baykal. *Geologiya i geofizika*, 2009, vol. 50, no. 8, pp. 933–940.

10. Vologina E. G., Shturm M., Vorob'eva S. S. Sovremennoe osadkonakoplenie v ozere Baykal. Rezul'taty eksperimentov s sedimentatsionnymi lovushkami. Osadochnaya geologiya Urala i prilozhashchikh regionov: segodnya i zavtra. *Materialy 12 Ural'skogo litologicheskogo soveshchaniya*. Ekaterinburg, 2018, pp. 62–63.

11. Vologina E. G., Shturm M., Radziminovich Ya. B. Sostav donnykh osadkov oz. Baykal, otobrannykh v rayone st. Sharyzhalgay Krugobaykal'skoy zheleznoy dorogi. *Izvestiya Irkutskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya «Nauki o Zemle»*, 2014, vol. 7, pp. 75–83.

12. Bezrukova E. V., Bukharov A. A., Bychinskiy V. A. et al. Vysokorazreshayushchaya osadochnaya zapis' po kernu glubokovodnogo bureniya na Posol'skoy banke v ozere Baykal (BDP-99). *Geologiya i geofizika*, 2004, vol. 45, no. 2, pp. 163–193.

13. Zonenshayn L. P., Kaz'min V. G., Kuz'min M. I. et al. Geologiya dna Baykala, izuchennaya s podvodnykh apparatov «Paysis». *Doklady Akademii nauk*, 1993, vol. 330, no 1, pp. 84–88.

14. Geologo-geofizicheskie i podvodnye issledovaniya oz. Baykal. Moscow, Institut okeanologii AN USSR, 1979, 213 p.

15. Kuz'min M. I., Karabanov E. B., Kavay T. et al. Glubokovodnoe burenie na Baykale – osnovnye rezul'taty. *Geologiya i geofizika*, 2001, vol. 42, no. 1–2, pp. 8–34.

16. Goldyrev G. S. Osadkoobrazovanie i chetvertichnaya istoriya kotloviny Baykala. Novosibirsk, Nauka, 1982, 182 p.

17. Kaz'min V. G., Gol'mshtok A. Ya., Klitgord K. Stroenie i razvitie rayona Akademicheskogo khrebtta po dannym seysmicheskikh i podvodnykh issledovaniy (Baykal'skiy rift). *Geologiya i geofizika*, 1995, vol. 36, no. 10, pp. 164–176.

18. Karabanov E. B. Geologicheskoe stroenie osadochnoy tolshchi ozera Baykal i rekonstruktsii izmeneniy klimata Tsentral'noy Azii v pozdnem kaynozoe (na osnove izucheniya baykal'skikh osadkov). Moscow, 1999, 72 p.

19. Karabanov E. B., Fialkov V. A. Morfologiya i litodinamika podvodnykh kan'onov. *Geologo-geofizicheskie issledovaniya ozera Baykal*, Moscow, 1979, pp. 81–86.

20. Knyazeva L. M. Sovremennye osadki yuzhnoy chasti ozera Baykal. *Trudy Baykal'skoy limnologicheskoy stantsii AN USSR*, 1957, vol. 15, pp. 159–194.

21. Knyazeva L. M. Osadkoobrazovanie v ozerakh vlahznoy zony USSR. Yuzhnyy Baykal. Obrazovanie osadkov v sovremennykh vodoemakh. Moscow, Izd-vo AN SSSR, 1954, pp. 180–236.

22. Kollektiv uchastnikov proekta «Baykal-burenie». Nepreryvnaya zapis' klimaticheskikh izmeneniy v otlozheniyakh ozera Baykal za poslednie 5 millionov let. *Geologiya i geofizika*, 1998, vol. 39, no. 2, pp. 139–156.

23. Subetto D. V., Sevast'yanov D. V., Sapelko T. V. et al. Ozera kak nakopitel'nye informatsionnye sistemy i indikatory klimata. *Astrakhanskiy Vestnik ekologicheskogo obrazovaniya*, 2017, no. 4 (42), pp. 4–14.

24. Khlystov O. M., Nishio Sh., Manakov A. Yu. et al. Opyt kartirovaniya krovli pripoverkhnostnykh gazovykh gidratov ozera Baykal i izvlechenie gaza iz nikh. *Geologiya i geofizika*, 2014, vol. 55, no. 9, pp. 1415–1425.

25. Vologina E. G., Kalugin I. A., Osukhovskaya Yu. N. et al. Osadkonakoplenie v zalive Proval (ozero Baykal) posle katastroficheskogo zatopeniya pribrezhnoy ravniny v 1862 g. *Doklady Akademii nauk*, 2007b, vol. 417, no. 4, pp. 511–516.

26. Petrov O. V., Larichev A. I., Shakhverdov V. A. et al. Osnovnye rezul'taty rabot po geologicheskomu izucheniyu protsessov. Svyazannykh s migratsiyey uglevodorodov v akvatorii ozera Baykal. *Regional Geology and Metallogeny*, 2023, pp. 4–28.

27. Vologina E. G., Shturm M., Vorob'eva S. S. et al. Osobennosti osadkonakopleniya v ozere Baykal v golotsene. *Geologiya i geofizika*, 2003, vol. 44, no. 5, pp. 407–421.

28. Goldyrev G. S., Vykhristyuk L. A., Lazo F. I. et al. Osobennosti sostava i stroeniya verkhney chasti osadochnoy tolshchi v kotlovine Baykala. V *Vsesoyuznyy simpozium*. Irkutsk, 1979, pp. 37–42.

29. Vologina E. G., Kashik S. A., Shturm M. Rezul'taty sedimentologicheskikh issledovaniy golotsenovykh otlozheniy Yuzhnoy i Sredney kotlovin ozera Baykal (na primere skvazhiny BDP-97 i kolonkovykh trubok). *Geologiya i geofizika*, 2007a, vol. 48, no. 4, pp. 401–413.

30. Grachev M. A., Likhoshvay E. E., Vorob'eva S. S. et al. Signaly paleoklimatov verkhnego pleystotsena v osadkakh ozera Baykal. *Geologiya i geofizika*, 1997, vol. 38, no. 5, pp. 957–980.

31. Strakhov N. M. Osnovy teorii litogeneza. Moscow, Izdatel'stvoan USSR, 1960–1962, vol. 1–3.

32. Khlystov O. M., Mats V. D., Vorob'eva S. S. et al. Stroenie i razvitie podvodnogo Akademicheskogo khrebtta (ozero Baykal). *Geologiya i geofizika*, 2000, vol. 41, no. 6, pp. 819–824.

33. Nikolaev V. G., Vanyakin L. A., Kalinin V. V. et al. Stroenie osadochnogo chekhla ozera Baykal. *Byulleten' Moskovskogo obshchestva ispytateley prirody. Otdel geologicheskiiy*, 1985, vol. 60, iss. 2, pp. 48–58.

34. Zhmodik S. M., Kirichenko I. S., Belyanin D. K. Faktory, kontroliruyushchie raspredelenie urana, fosfora

- i mikroelementov v osadkakh Akademicheskogo khrebtu ozera Baykal. *Geologiya i mineral'no-syr'evye resursy Sibiri*, 2014, no. 3, chap. 2, pp. 103–106.
35. Khlystov O. M., Kononov E. E., Minami Kh. Novye dannye o rel'efe podvodnogo yuzhnogo sklona Yuzhno-Baykal'skoy kottloviny. *Geografiya i prirodnye resursy*, 2018, no. 1, pp. 59–65.
36. Morgenstern U., Ditchburn R. G., Vologina E. G. et al.  $^{32}\text{Si}$  dating of sediments from Lake Baikal. *J. Paleolimnol*, 2013, vol. 50, pp. 345–352.
37. Bangs M., Battarbee R. W., Flower R. J. et al. Climate Change in Lake Baikal: Diatom Evidence in an Area of Continuous Sedimentation. *International Journal of Earth Sciences*, 2000, vol. 89, pp. 251–259.
38. Colman S. M., Karabanov E. B., Nelson C. H. Quaternary Sedimentation and Subsidence History of Lake Baikal, Siberia, Based on Seismic Stratigraphy and Coring. *Journal of Sedimentary Research*, 2003, vol. 73, no. 6, pp. 941–956.
39. Hutchinson D. R., Golmshtok A. J., Zonenshain L. P. et al. Depositional and tectonic framework of the rift basins of Lake Baikal from multichannel seismic data. *Geology*, 1992, vol. 20, no 7, pp. 589–592.
40. Folk R. L., Ward W. C. Brazos River bar: a study in the significance of grain size parameters. *Journal of Sedimentary Petrology*, 1954, vol. 27, pp. 3–26.
41. Granina L. Z., Baryshev V. B., Grachev A. M. Study of the elemental composition of suspended sediments in Lake Baikal and its tributaries by X-ray fluorescent analysis based on synchrotron radiation. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research*, 1995, vol. 359, pp. 302–304.
42. Colman S. M., Karabanov E. B., Williams D. F. et al. Lake Baikal paleoclimate project, South-Eastern Siberia: initial dating and paleoenvironmental results. *International Project on Paleolimnology and Late Cenozoic Climate. IPPCCE Newsletter*, 1992, vol. 6, pp. 30–39.
43. Nelson C. H., Karabanov E. B., Escuita C. Lake Baikal turbidite system: tectonic, sediment supply and paleoclimatic controls. *Active Tectonic continental basins: interaction between structural and sedimentary processes*, 1998, pp. 27–32.
44. Lukhoshvay A. V., Gravhev M. A. Phosphate anion sorption by the sediments of Lake Baikal. *Chemistry for Sustainable Development*, 2006, vol. 14, pp. 75–82.
45. Grygar T., Kadlec J., Pruner P. et al. Paleoenvironmental record in Lake Baikal sediments: Environmental changes in the last 160 ky. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 2006, vol. 237, pp. 240–254.
46. Nelson C. H., Karabanov E. B., Colman S. M. et al. Tectonic and sediment supply control of deep rift lake turbidite systems: Lake Baikal, Siberia, Russia. *Geology*, 1999, vol. 27, no. 2, pp. 163–166.
47. Vologina E. G., Sturm M., Budnev N. M. Results of long-term measurements of particulate matter in Lake Baikal. *Limnology and Freshwater Biology*, 2022, vol. 4, pp. 1606–1609.

Рябчук Дарья Владимировна – канд. геол.-минерал. наук, зав. отделом, ВСЕГЕИ. <Daria\_Ryabchuk@vsegei.ru>  
 Ковалева Ольга Анатольевна – науч. сотрудник, ВСЕГЕИ. <Olga\_Kovaleva@vsegei.ru>  
 Прищепенко Диана Владиславовна – науч. сотрудник, ВСЕГЕИ. <Diana\_Prichепенко@vsegei.ru>  
 Сергеев Александр Юрьевич – канд. геол.-минерал. наук, ст. науч. сотрудник, ВСЕГЕИ. <Alexander\_Sergeev@vsegei.ru>  
 Нестерова Елена Николаевна – вед. специалист, ВСЕГЕИ. <Elena\_Nesterova@vsegei.ru>

Ryabchuk Daria Vladimirovna – Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Head of Department, VSEGEI. <Daria\_Ryabchuk@vsegei.ru>  
 Kovaleva Olga Anatolevna – Researcher, VSEGEI. <Olga\_Kovaleva@vsegei.ru>  
 Prishепенко Diana Vladislavovna – Researcher, VSEGEI. <Diana\_Prichепенко@vsegei.ru>  
 Sergeev Alexander Yurevich – Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Senior Researcher, VSEGEI. <Alexander\_Sergeev@vsegei.ru>  
 Nesterova Elena Nikolaevna – Leading Expert, VSEGEI. <Elena\_Nesterova@vsegei.ru>

Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А. П. Карпинского (ВСЕГЕИ). Средний пр., 74, Санкт-Петербург, Россия, 199106.

A. P. Karpinsky Russian Geological Research Institute (VSEGEI). 74 Sredny Prospect, St. Petersburg, Russia, 199106.