

УДК 551.4:552.578.2.061.33(282.256.341)  
DOI: 10.52349/0869-7892\_2023\_95\_71-87

Е. Н. Нестерова, М. А. Спиридонов, В. А. Шахвердов, Ю. П. Кропачев, Л. М. Буданов, О. В. Дронь, И. А. Неевин (*Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А. П. Карпинского*)

## О ПОЛОЖЕНИИ ОБЪЕКТОВ ПРИРОДНОЙ МИГРАЦИИ УГЛЕВОДОРОДОВ В ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКОЙ ЗОНАЛЬНОСТИ ДНА ОЗЕРА БАЙКАЛ

Составлена актуальная геоморфологическая схема дна оз. Байкал. Геолого-геоморфологические исследования показали, что денудационно-тектонические процессы являются ведущим рельефообразующим фактором. Установлено большое влияние геоморфологической зональности на распределение донных проявлений газовых кристаллогидратов. Выделено три типа проявлений гидратов в зависимости от геоморфологической позиции.

*Ключевые слова:* Байкал, геоморфология, газовые кристаллогидраты.

E. N. Nesterova, M. A. Spiridonov, V. A. Shakhverdov, Yu. P. Kropachev, L. M. Budanov, O. V. Dron, I. A. Neevin (*A. P. Karpinsky Russian Geological Research Institute*)

## CONCERNING THE POSITION OF HYDROCARBON NATURAL MIGRATION IN THE GEOMORPHOLOGICAL ZONING OF THE LAKE BAIKAL BOTTOM

An up-to-date geomorphological diagram of the bottom of Lake Baikal was compiled. Geological and geomorphological studies showed that denudation-tectonic processes are the leading topography-forming factor. The great influence of geomorphological zoning on the distribution of bottom manifestations of gas crystalline hydrates was found. Three types of hydrate manifestations were identified depending on the geomorphological position.

*Keywords:* Baikal, geomorphology, gas crystalline hydrates.

**Для цитирования:** Нестерова Е. Н. О положении объектов природной миграции углеводородов в геоморфологической зональности дна озера Байкал / Е. Н. Нестерова, М. А. Спиридонов, В. А. Шахвердов, Ю. П. Кропачев, Л. М. Буданов, О. В. Дронь, И. А. Неевин // Региональная геология и металлогения. – 2023. – № 95. – С. 71–87. DOI: 10.52349/0869-7892\_2023\_95\_71-87

**Введение.** Данная публикация подводит итог геоморфологических исследований на оз. Байкал, которые осуществлялись в период с 2015 по 2020 год. Целью проводимых работ являлось изучение влияния геоморфологической зональности дна оз. Байкал на закономерности размещения объектов природной миграции углеводородов.

Впадина оз. Байкал является частью Байкальской рифтовой зоны – крупнейшей на территории России и второй по размерам внутриконтинентальной рифтовой системой в мире после Восточно-Африканской. Впадина озера состоит из трех котловин – Северной, Центральной и Южной, разделенных двумя поднятиями – Академическим хребтом и Селенгинско-Бугульдейской перемычкой. Подводный Академический хребет, разделяющий Северную и Центральную котловины озера, является продолжением блока о. Ольхон, протягивается в северо-восточном направлении к Ушканьим островам, ограничен с северо-запада Академической, а с юго-востока – Ольхонской системами разломов. Селенгинско-Бугульдейская перемычка (Селенгская перемычка по Б. Ф. Луту [14]), в отличие от Ольхон-Академической, сфор-

мирована аллювиальными отложениями, главным образом р. Селенга и, в меньшей степени, р. Бугульдейка, расположенными на противоположных берегах озера. Глубина озера в районе Академического хребта – 300 м и более, Селенгинско-Бугульдейской перемычки – 45–400 м [12]. Наиболее глубоководной является Центральная котловина оз. Байкал, максимальная глубина определена именно в этой котловине и составляет 1642 м, максимальная глубина Южной котловины – 1446 м; Северная котловина относительно мелководна, глубины на севере Байкала, как правило, не превышают 900 м (максимальная глубина – 920 м) [2].

**Материалы и методы исследований.** В основе исследований лежат разработанные в отделе региональной геоэкологии и морской геологии ФГБУ «ВСЕГЕИ» методы комплексного геологического картирования морского шельфа, которые подразумевают сочетание как прямых геологических, так и геофизических методов наблюдения. Основные материалы для анализа рельефа дна озера и генетических условий его формирования

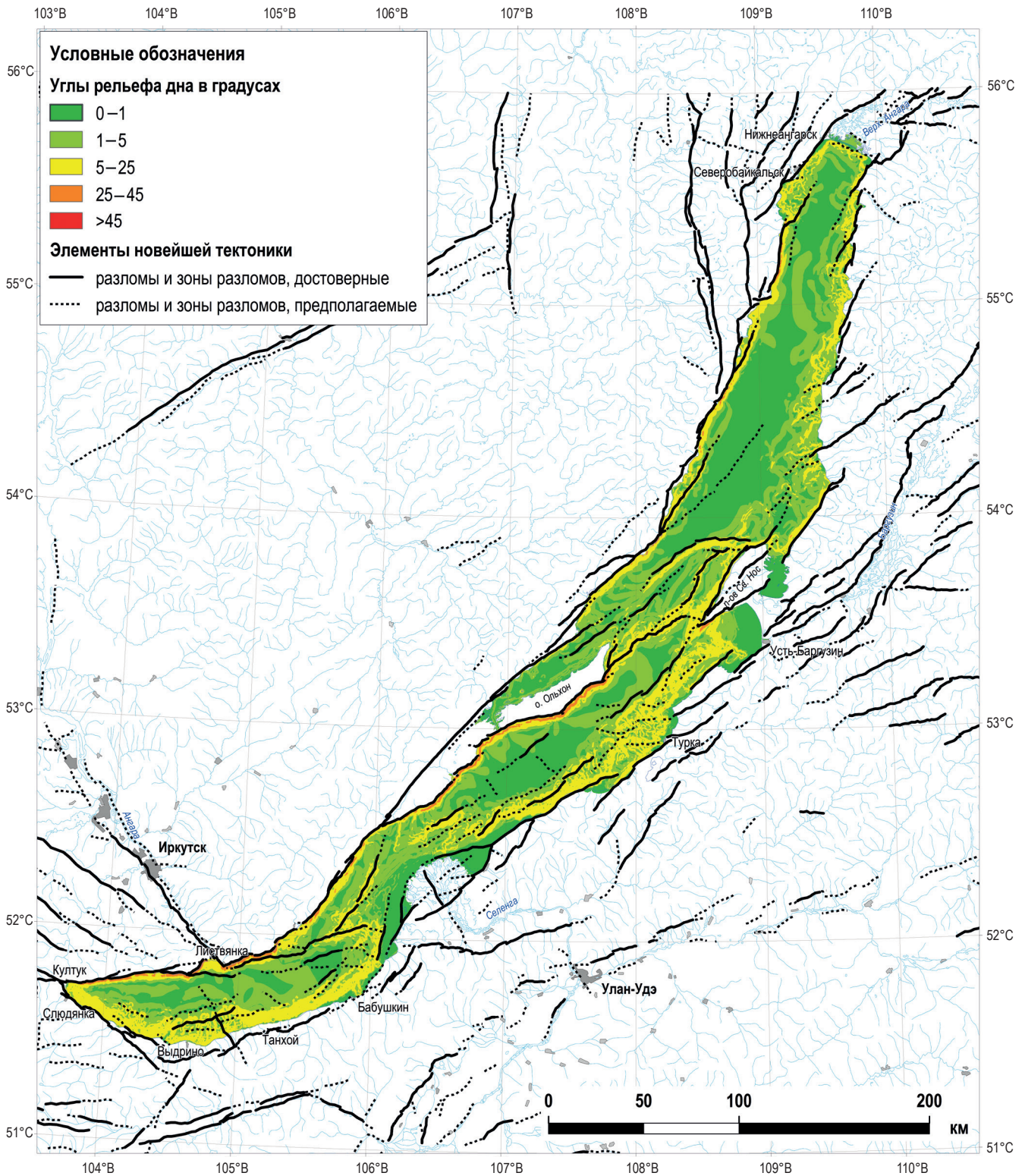


Рис. 1. Схема уклонов рельефа дна оз. Байкал с элементами новейшей тектоники

были получены в результате проведения больших объемов непрерывного сейсмоакустического профилирования (НСАП >2600 линейных км), гидролокации бокового обзора (ГЛБО >950 линейных км) и многолучевого эхолотирования (МЛЛЭ >4500 линейных км). Эти исследования позволили получить детальную информацию о строении релье-

фа дна и верхней части геологического разреза. В результате литолого-геохимических наблюдений на более чем 390 станциях, проведения подводных видеосъемок и изучения керна гравитационной и бентосной труб были получены данные о положении гидратсодержащих и перспективных структур.

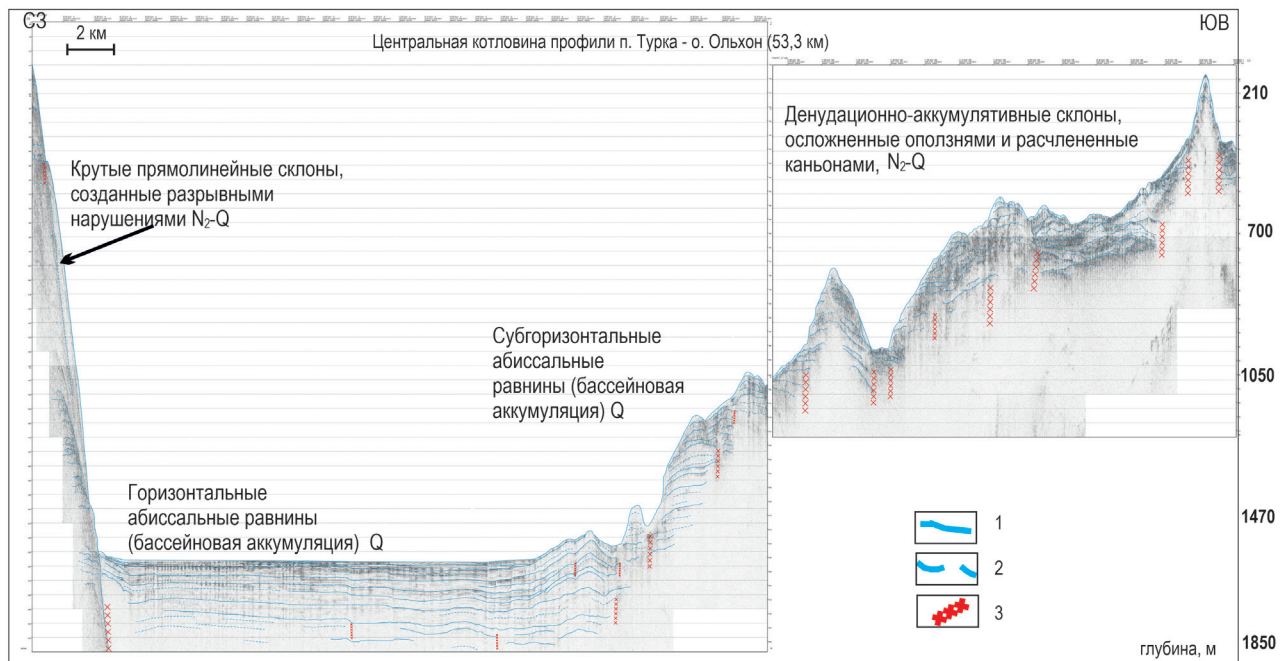


Рис 2. Сейсмоакустический профиль пос. Турка – о. Ольхон (ФГБУ «ВСЕГЕИ», 2019 г.)

1 – достоверные сейсмоакустические границы; 2 – предполагаемые сейсмоакустические границы; 3 – зоны тектонических нарушений

Кроме того, использовались многочисленные публикации, освещающие проблемы геоморфологии и геологического строения оз. Байкал [5; 9; 12; 14; 17 и др.]. Дополнительная информация, полученная в результате геолого-геофизических исследований ФГБУ «ВСЕГЕИ» позволила составить модели рельефа дна для отдельных участков акватории в районах проявления процессов, связанных с миграцией углеводородов. Наиболее представительные профили НСАП и детальные схемы, характеризующие различные типы рельефа дна этих участков акватории озера, рассмотрены ниже.

На основе батиметрической карты с помощью модуля ArcGIS «Spatial analyst» составлена схема уклонов рельефа дна, на которую были вынесены элементы новейшей тектоники (рис. 1). Анализ данной схемы отчетливо свидетельствует о том, что основные морфоструктуры донного рельефа определяются новейшими тектоническими движениями, вследствие чего они также учитывались для надежного определения положения границ площадных и линейных элементов структур геоморфологической карты.

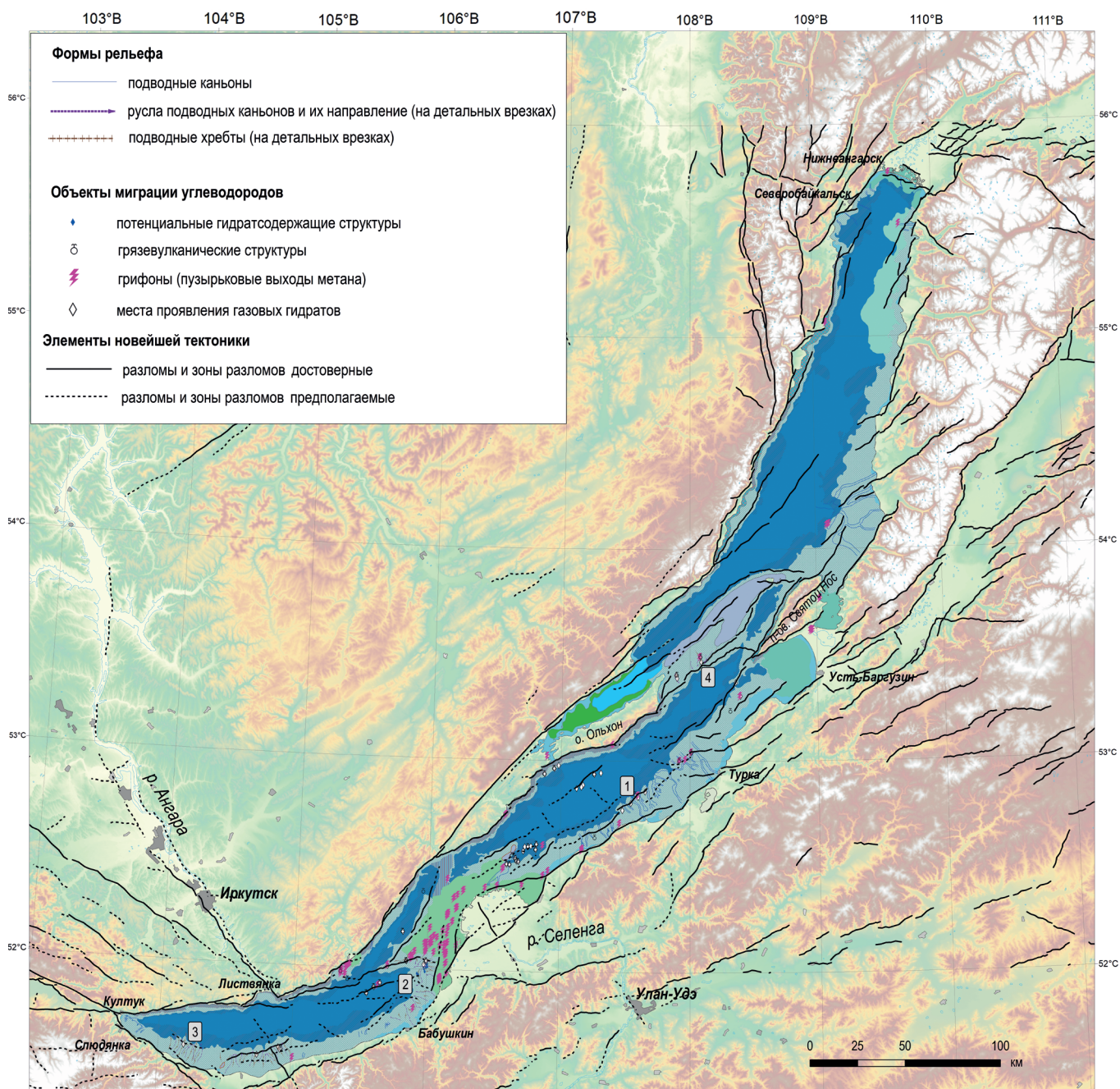
**Результаты и их обсуждение.** Характерной особенностью впадины оз. Байкал является асимметричность поперечного профиля, установленная еще Б. И. Дыбовским и В. А. Годлевским при промерных работах 1869–1876 гг. [8]. Как показало выполненное нами непрерывное сейсмоакустическое профилирование (НСАП), несмотря на общую четкую асимметричность впадины озера, на отдельных участках рельеф дна приобретает корытообразную форму с крутыми

склонами и практически плоским дном – профиль пос. Турка – о. Ольхон (рис. 2).

Главной задачей геоморфологического картирования является выделение генетически однородных поверхностей рельефа и осложняющих их проявлений эндо- и экзогенной геодинамики [18]. По этой причине важное значение придается современным геодинамическим процессам. В подводном рельефе дна Байкала прослеживаются многочисленные тектонические нарушения, активизированные в позднеплиоцен-четвертичное время [1]. Наиболее мощным является сброс Обручева, проходящий под крутым северо-западным склоном озера с амплитудой, достигающей 12 км (2 км над уровнем озера, ~1600 м в воде и ~8000 м в донных отложениях). Кроме традиционного анализа батиметрической карты привлекались результаты собственных геолого-геофизических исследований дна озера, проводившихся ФГБУ «ВСЕГЕИ» в полевых сезонах 2015–2020 гг. (гидролокация бокового обзора, НСАП, донный пробоотбор и др.), а также База данных активных разломов Евразии, созданная в Лаборатории неотектоники и современной геодинамики Геологического института РАН [1].

Всесторонний анализ полученных данных позволяет выделить следующие генетические типы рельефа дна оз. Байкал: тектонический, структурный, аккумулятивный и аккумулятивно-абразионный (рис. 3).

**Тектонический тип рельефа** представлен крутыми прямолинейными склонами, созданными разрывными нарушениями ( $N_2-Q$ ); относительно крутыми склонами, частично перекрытыми коллювиальными отложениями ( $Q$ ). Друг от друга они



Генетические типы рельефа:



Рис. 3. Геоморфологическая схема дна оз. Байкал, участки детальных исследований  
 1 – Таланка; 2 – Посольский каньон; 3 – Солзан; 4 – Академический хребет

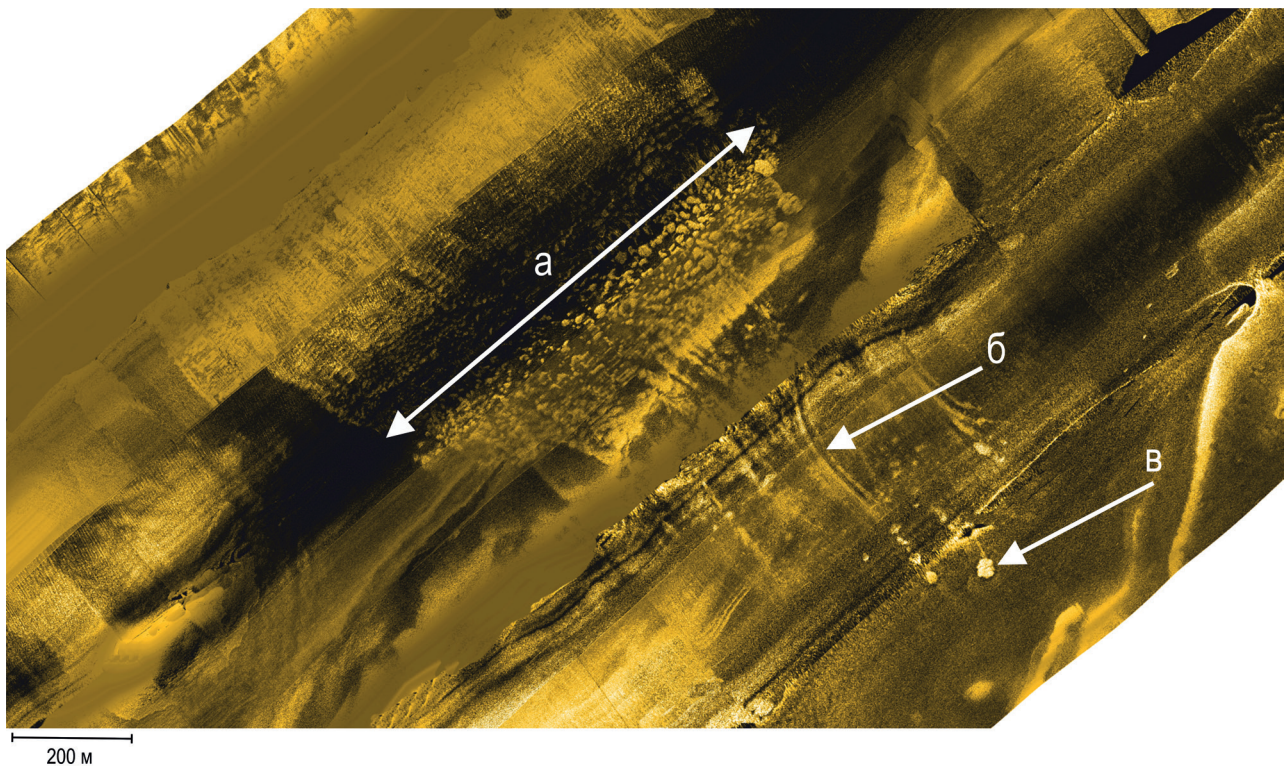


Рис. 4. Особенности строения дна берегового склона в бух. Солонцовая с проявлением оползневых процессов  
а – тело оползня; б – следы качения; в – блоки горной породы (мозаика по данным ГЛБО)

отличаются средней величиной углов наклона склонов (больше и меньше  $25^\circ$ ) и более четкой приуроченностью первых к разрывным нарушениям. Крутые склоны сложены кристаллическими и метаморфическими породами нижнего протерозоя, развиты на глубинах от 0 до 1000 м и более. Крутые прямолинейные склоны наиболее распространены вдоль северо-западного берега озера, который контролируется серией масштабных сбросов. В Южной и Центральной котловинах это – Обручевский, Приморский и Ольхонский. В Северной котловине – Зундукский, Онгуренский и Северобайкальский. Так, северо-западный борт Байкальской впадины на протяжении около 1500 км формируется Обручевским сбросом (угол наклона около  $45^\circ$ ), который и создает однообразие рельефных форм, слабую расчлененность и выровненность берегов с крутыми склонами. Еще более крутые углы склонов наблюдаются у о. Ольхон – до  $60^\circ$ . Соотношение средних уклонов северо-западного и юго-восточного бортов озера составляет 1 к 5. Если средняя крутизна подводного склона для западного берега –  $30\text{--}35^\circ$ , то для восточного она уменьшается до  $7\text{--}10^\circ$ . Однако на отдельных участках юго-восточного склона Байкала есть единичные нетипично крутые склоны [14]. Например, западный склон п-ова Святой Нос, сложенный кристаллическими породами нижнего протерозоя [7]. Подробные исследования коренных склонов проводились с помощью подводных обитаемых аппаратов «Пайсис» в 1990–1991 гг. [3]. Погружения происходили на траверзе мыса Бирхин, долины Бегул, в районе мысов

Средний и Северный Кедровые, о. Большой Ушканий и восточного склона о. Ольхон. В результате наблюдений были установлены зоны древних разломов вертикального и горизонтального направлений и связанные с ними зоны брекчирования и неотектонической трещиноватости, а также современные тектонические трещины скальвания и плоскости отрыва. Современные активные разломы в подводном рельефе проявлены в виде продольных склоновых рвов, зияющих трещин отрыва и отслоения склонов, тектоно-кластических даек и других мелких структурных форм. Во время подводных маршрутов повсеместно отмечались проявления гравитационных процессов: обвалы, оползни, осыпи, потоки обломков [3]. В качестве примера можно также привести данные, полученные нами в 2019 г. при проведении гидролокации бокового обзора (ГЛБО) в Северной котловине в бух. Солонцовая (рис. 4). На мозаике хорошо видно основное тело оползня, отдельные крупные блоки горной породы и следы их качения.

Активное современное эрозионно-тектоническое разрушение склонов впадины озера указывает на высокую скорость расширения впадины за счет деструкции западного побережья [3].

**Структурный тип рельефа** представлен поднятиями и возвышенностями разного генезиса:

- денудационные субгоризонтальные поверхности с расчлененными склонами (Q) (Кукуйская Грива, Посольская и Муринская Банки);
- денудационно-аккумулятивные приподнятые поверхности с крутыми склонами ( $N_2\text{--}Q$ ) (Академический хребет);

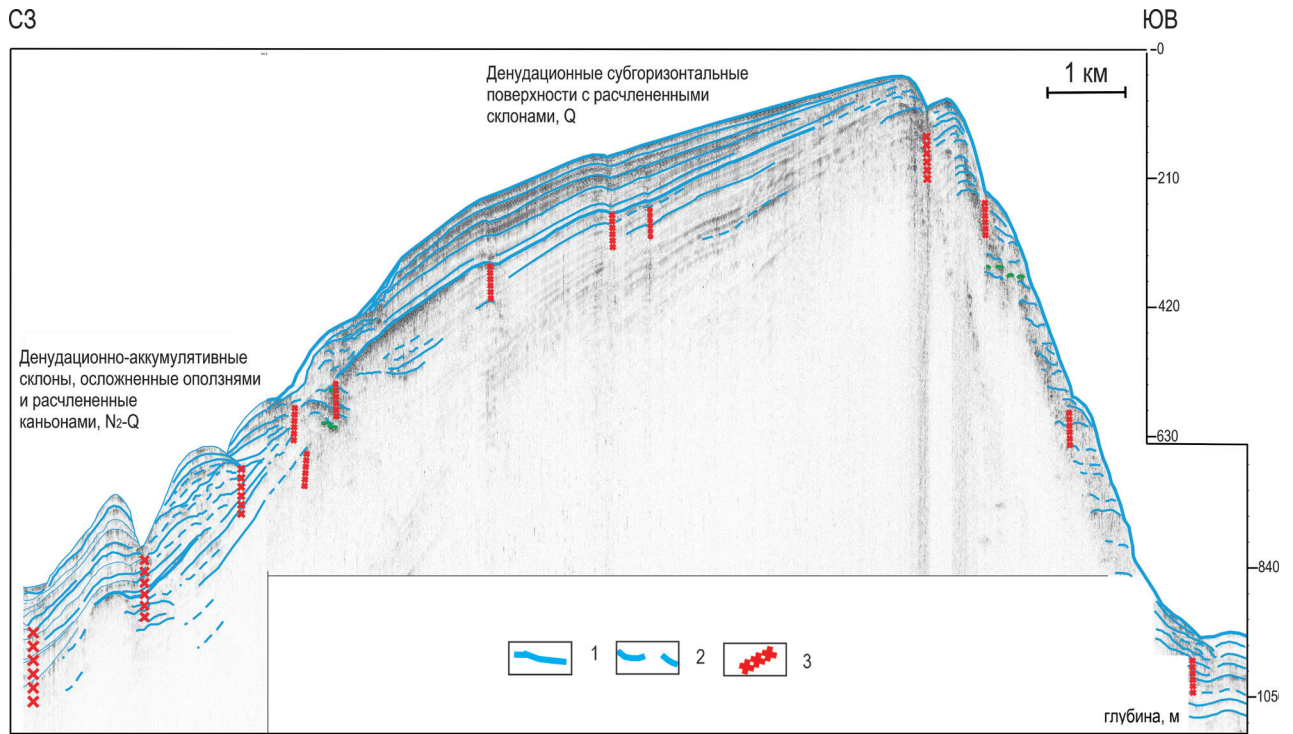


Рис. 5. Особенности рельефа дна Посольской Банки и ее склонов по результатам НСАП (профиль 30, 2018 г.)

1 – достоверные сейсмоакустические границы; 2 – предполагаемые сейсмоакустические границы; 3 – зоны тектонических нарушений

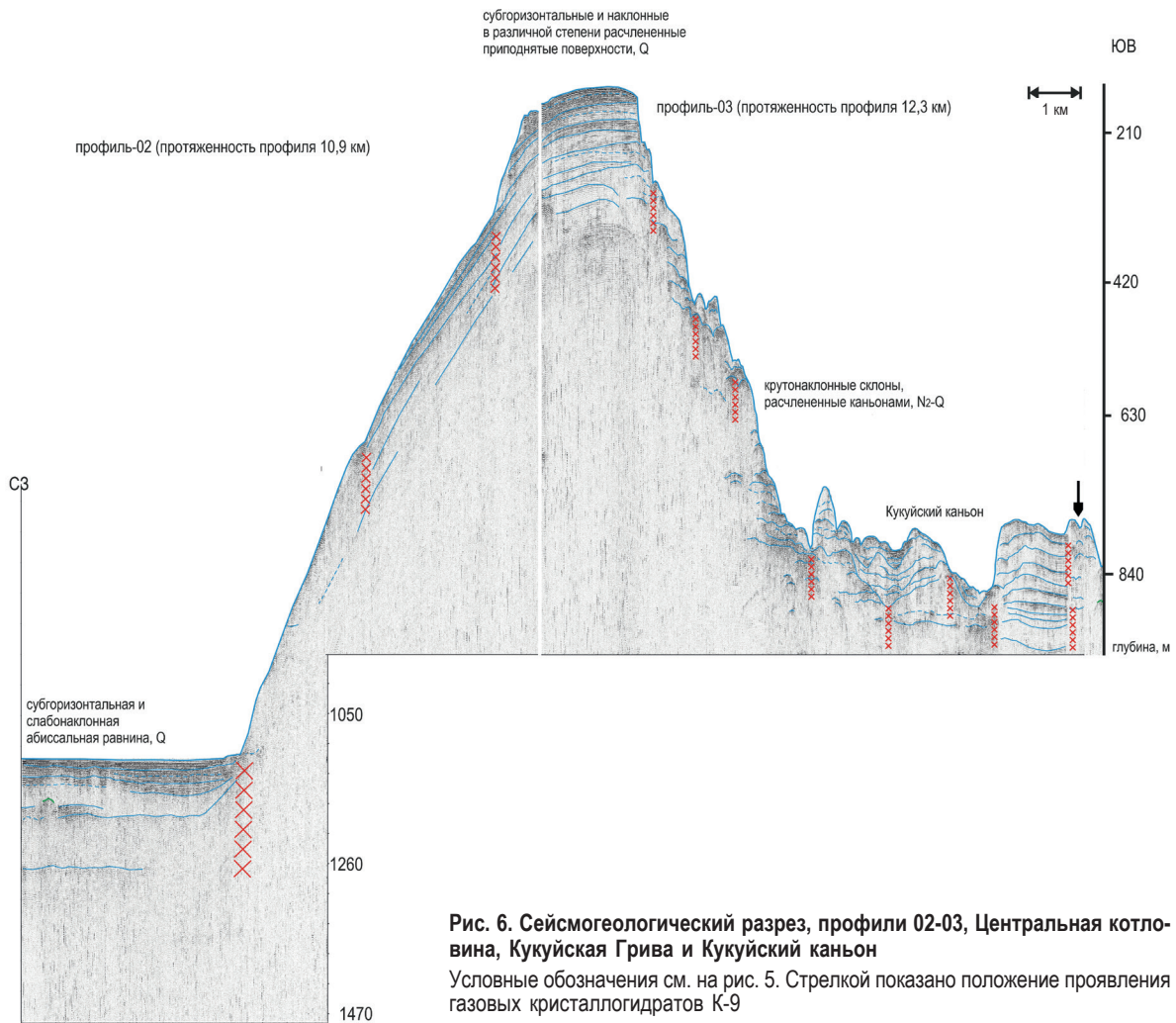


Рис. 6. Сейсмогеологический разрез, профили 02-03, Центральная котловина, Кукуйская Грива и Кукуйский каньон

Условные обозначения см. на рис. 5. Стрелкой показано положение проявления газовых кристаллогидратов К-9

– денудационно-аккумулятивные склоны (до 25°), осложненные оползнями и расчлененные каньонами (N<sub>2</sub>–Q);

– аккумулятивные приподнятые в разной степени расчлененные поверхности (Q) (Селенгинско-Бугульдейская перемычка).

Денудационные субгоризонтальные поверхности с расчлененными склонами (Q). Наиболее изучены локальные возвышенности – Посольская Банка и Кукуйская Грива. Они расположены симметрично относительно авандельты р. Селенга. Детальными геолого-геофизическими работами, проведенными в районе Посольской Банки и Кукуйской Гривы установлено, что современный рельеф этих возвышенностей является результатом совместных сейсмотектонических и подводных гравитационно-эрозионных процессов. Особенности осадконакопления Посольской Банки и Кукуйской Гривы свидетельствуют о том, что они являются реликтами древней единой дельтовой системы р. Селенга [5].

Посольская Банка – подводное поднятие овальной формы, расположенное к юго-западу от дельты Селенги, вытянутое с юго-запада на северо-восток, с вершиной – на глубинах 35–50 м. Рельеф поверхности осложнен сейсмогравитационными

ступенями высотой от 25 до 130 м и смещением блоков. Склоны отличаются по крутизне. Северо-западные (до 8°) – пологие, приурочены к Байкало-Бугульдейской зоне разломов, в то время как юго-восточные и юго-западные связаны с Обручевской зоной разломов и существенно более крутые – от 15 до 20° (рис. 5). Главной особенностью крутых склонов является их расчлененность. Почти повсеместно в их верхних частях сохраняются фрагменты стенок сбросов.

С юго-востока банку ограничивает Посольский каньон шириной от 1,00 до 1,8 км, глубиной до 250 м в верхней части и с крутыми бортами. К правому борту Посольского каньона приурочены проявления газовых кристаллогидратов, выявленные в 2018 г. [9]. Они сопровождаются проявлениями грязевулканических процессов.

Кукуйская Грива – подводное поднятие с острым гребнем, расположенное к северу от дельты Селенги, вытянутое в северо-восточном направлении. Северо-восточная оконечность возвышенности приподнята на 600 м относительно юго-западной и расположена на глубине 170–180 м, поперечный профиль поднятия – асимметричен с пологими северо-западными склонами и крутыми юго-восточными (от 25 до 40°). Склоны

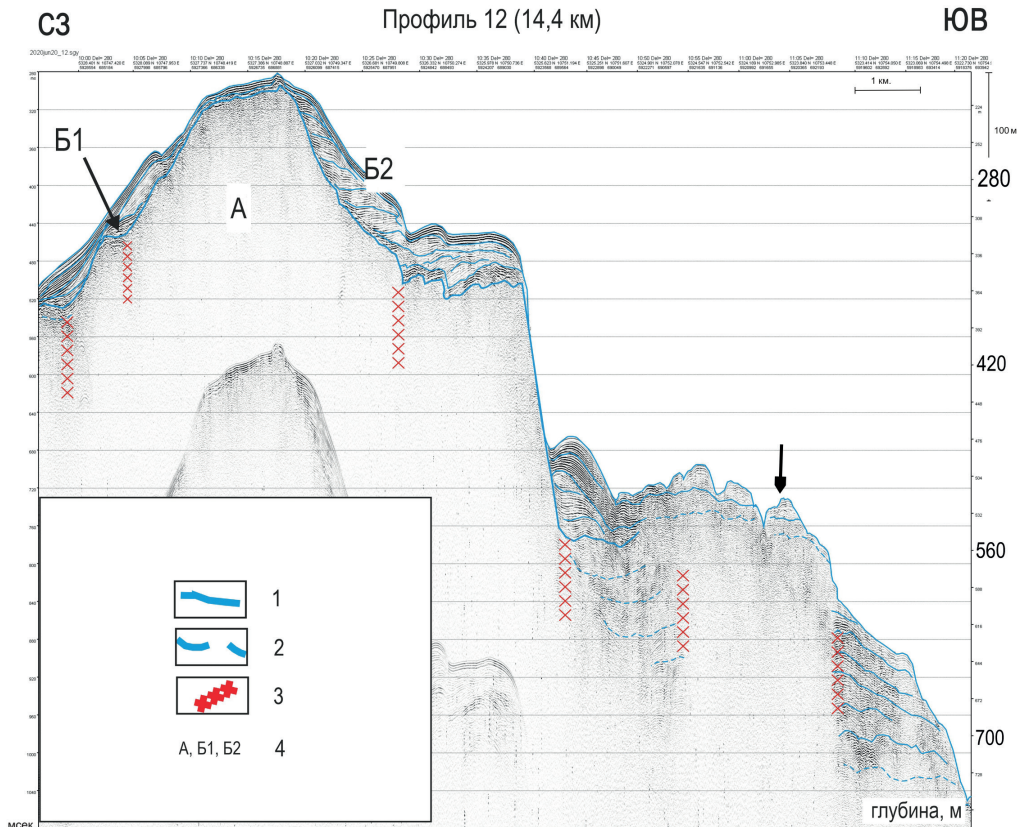
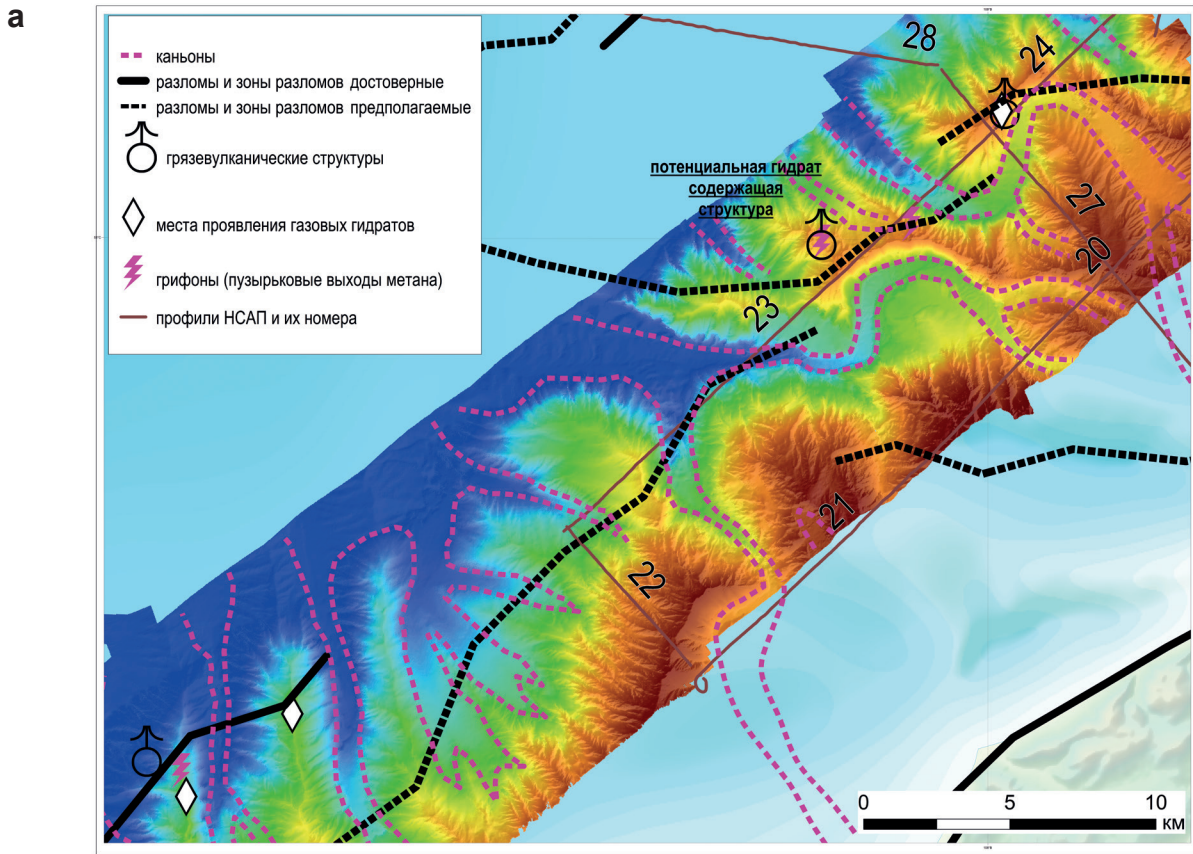
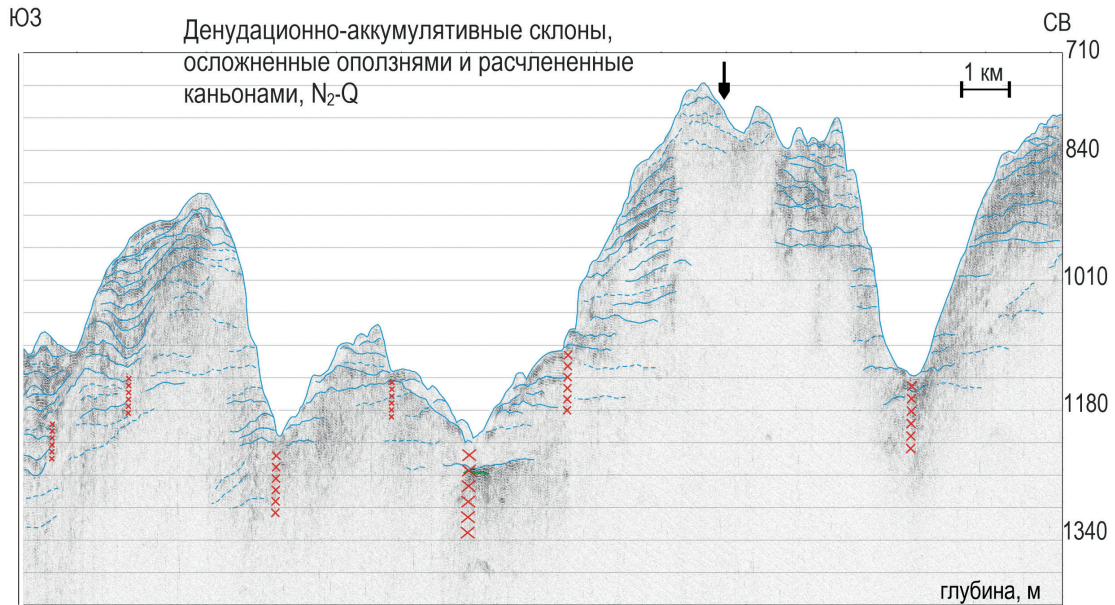


Рис. 7. Академический хребет: профиль НСАП через Академический хребет (ВСЕГЕИ, 2020 г.)

1 – достоверные сейсмоакустические границы; 2 – предполагаемые сейсмоакустические границы; 3 – зоны тектонических нарушений; 4 – сейсмостратиграфические комплексы и подкомплексы: А – нижний комплекс (нижний–средний миоцен), Б1 – нижний подкомплекс верхнего комплекса (верхний миоцен), Б2 – верхний подкомплекс верхнего комплекса (поздний плейстоцен – голоцен). Стрелкой показано положение проявления газовых кристаллогидратов Хубой



**б** профиль 23 (20,1 км)



**Рис. 8.** Участок Таланка, Центральная котловина озера

*а* – 3D модель рельефа дна; *б* – сейсмоакустический профиль 23, пересекающий долины каньонов в поперечном направлении. Условные обозначения см. на рис. 5. Стрелкой показано положение потенциально гидратсодержащей структуры

расчленены гравитационными процессами: на пологом склоне отмечаются следы оползня, крутой склон – обрывистый и контролируется тектоническим уступом высотой 100–120 м [5], который сопряжен с тектоническим нарушением, активизированным в позднеплиоцен-четвертичное время.

С этой стороны Грива ограничена Кукуйским каньоном шириной от 2,0 до 4,5 км и протяженностью 55 км. Борты каньона крутые, ступенчатые, дно каньона неровное, осложнено оползнями, на сейсмоакустических профилях отмечаются многочисленные тектонические нарушения (рис. 6).

К Кукуйскому каньону приурочены несколько проявлений газовых кристаллогидратов, которые сопровождаются грязевулканическими структурами [17].

Академический хребет – наиболее крупная положительная морфоструктура Байкала. Представляет собой *денудационно-аккумулятивную приподнятую поверхность с крутыми склонами*. Он ориентирован с юго-запада на северо-восток и разделяет Центральную и Северную котловины озера, являясь подводным продолжением блока о. Ольхон [12]. Хребет возвышается над котловиной Центральной впадины озера более чем на 1000 м, с северо-запада ограничен Академическим сбросом, с юго-востока – Ольхонским. Кроме того, на его морфологию влияет активизированная ветвь, отходящая от Зундукского разлома, которая, по сути, может считаться ветвью Академического разлома, отходящей в акваторию Малого моря. Вследствие чего, как показало сейсмоакустическое профилирование, северо-западный блок приподнят, а юго-восточный – опущен и образует дополнительную ступень. Поперечный профиль хребта асимметричен, юго-восточный склон осложнен оползнями (рис. 7) и поэтому отнесен нами уже к типу денудационно-аккумулятивных склонов, осложненных оползнями и расчлененных каньонами.

На этой относительно опущенной ступени, примыкающей к Ольхонскому разлому, где наблюдается активное развитие эрозионных процессов, расположены проявления газовых гидратов Хубой и Академическое и связанные с ними грязевулканические структуры. В результате сейсмоакустического профилирования юго-восточного склона нами выделен ряд новых потенциально гидратсодержащих структур, положение которых будет рассмотрено ниже при анализе детального участка Академический Хребет.

*Денудационно-аккумулятивные склоны (до 25°), осложненные оползнями и расчлененные каньонами ( $N_2-Q$ )* наиболее характерны для восточного берегового склона оз. Байкал и, в меньшей степени, для северо-западного. Рельеф склонов исключительно неровный, созданная оползнями поверхность и реликты более древних отложений озера переработаны эрозионными процессами с образованием V-образных каньонов, ложбин, уступов, у подножия склонов формируются выпуклые в разрезе веерообразные конусы выноса осадков каньонов. Сложное строение рельефа склонов было установлено уже на стадии проведения промерных работ и подробно описано в монографии Б. Ф. Лута [14], детальные исследования отдельных участков склонов с использованием современной геофизической аппаратуры и методов обработки информации проводились сотрудниками ЛИН СО РАН и нами, начиная с 2015 г. [5; 9; 17]. В результате наших геолого-геоморфологических исследований установлены основные особенности морфологии денудационно-аккумулятивных склонов, осложненных оползнями и расчлененных каньонами, и состава

слагающих их осадков. Так, положение каньонов четко контролируется тектоническими нарушениями. Они являются продолжением речных долин на суше, имеют крутые склоны с глубиной вреза до 400 м при ширине до 1 км и более, по мере удаления от берега каньоны могут объединяться и прослеживаться до глубин 1000 м, образовывать конусы выноса осадков. Крутизна склонов каньонов максимальна в верхней части берегового склона. Борта осложнены оползнями. У берега каньоны прорезают абразионную озерную террасу, сложенную грубообломочными осадками (пески и пески с гравием), ниже – песчано-алевритито-пелитовые илы склона и еще ниже – биогенно-терригенные илы с прослоями турбидитов абиссальной равнины.

В результате исследований было выявлено, что основные объекты, связанные с миграцией углеводородов (гидратсодержащие и грязевулканические структуры), приурочены к денудационно-аккумулятивным склонам, осложненным оползнями и расчлененным каньонами. Поэтому целесообразно рассмотреть особенности строения этого геоморфологического типа рельефа на примере некоторых районов детальных исследований, связанных с такими объектами как Таланка, Посольский Каньон, Солзан, Академический Хребет.

Участок детальных исследований Таланка расположен у восточного берега Центральной котловины озера на относительно крутом склоне (менее 25°) в интервале глубин от 400 до 1200 м. Многочисленные каньоны ориентированы в направлении, перпендикулярном берегу. На отдельных участках они изгибаются и меняют ориентировку на субширотную. Часть является продолжением речных долин, часть берет свое начало на склоне впадины. Ширина каньонов изменяется от 300 до 700 м в верхней части склона и от 500 м до 2,5 км у его подножия (рис. 8, а), глубина вреза – 300–400 м. Вниз по склону они объединяются. Борта каньонов, как правило, относительно крутые в пределах всего изученного участка, поперечные профили асимметричны. Тальвеги в подводной части приурочены к зонам тектонических нарушений (рис. 8, б). Каньоны прорезают склоны, образуя конусы выноса на абиссальной равнине. Борта сложены плотными глинами с прослоями песков и только местами перекрыты биогенно-терригенными пелито-алевритовыми илами. Все выявленные здесь объекты миграции углеводородов (гидратсодержащие и грязевулканические структуры, газовые грифоны) расположены на межканьонных гребнях при их пересечении активизированными тектоническими нарушениями (рис. 8, б). Береговая зона участка представляет собой аккумулятивно-абразионную пологую равнину, сложенную песками с гравием и галькой и галечными отложениями.

Детальные исследования в Южной котловине проводились на участке проявления гидратов Посольский Каньон в интервале глубин от 300 до 1000 м. Участок приурочен к юго-восточному склону Посольской Банки. В результате работ

ЛИН СО РАН на северо-западном борту каньона были выявлены два донных проявления газовых кристаллогидратов [19]. По этой причине район представляет большой интерес с точки зрения определения его геологического строения, сейсмоакустических признаков наличия гидратов и выделения перспективных структур на основе НСАП. Как показало геоморфологическое картирование, выявленные проявления гидратов расположены в пределах денудационно-аккумулятивного склона, осложненного оползнями и расчлененного каньонами (рис. 3). Рельеф дна берегового склона имеет сложное строение и характеризуется наличием выраженного каньона, который называется Посольским. Он имеет V-образную форму и контролируется тектоническими нарушениями. Ширина каньона достигает 2 км при глубине более 200 м (рис. 9). К основному руслу на востоке примыкают каньоны второго порядка. На стыке таких и более мелких структур формируются хребты (рис. 10).

Анализ волнового поля свидетельствует о том, что за пределами собственно склона каньона практически на всю информативную мощность разреза, которая в ряде случаев достигает 300 м, фиксируются достаточно устойчивые протяженные отражения. Волновое поле представлено серией стратифицированных отражений, что говорит о цикличности развития седиментационных процессов. Особенно это характерно для верхней части каньона. В нижней его части и у подножия склона можно наблюдать линзующуюся стратификацию акустических отражений. По нашему

мнению, такая картина волнового поля связана с обилием многократно повторяющихся оползневых и мутьевых процессов, в результате которых формировались образования межканьонных поднятий. В пределах тальвегов каньона присутствуют стратифицированные современные осадки.

При детальном исследовании было установлено, что направление тальвегов каньонов простираются как вкрест береговой линии, так и вдоль нее (рис. 3, 10). Связь каньонов с береговой речной сетью не столь очевидна по сравнению с другими районами. Вероятно, это связано с активным формированием пологонаклонной аллювиальной равнины (авандельты) р. Селенга. Обращает на себя внимание дугообразный хребет северо-восточного простирания, который является правым бортом каньона, ограничивающим его прорыв в сторону абиссальной равнины. Практически все выявленные нами потенциально гидратсодержащие объекты приурочены к этой структуре (рис. 10). Ряд перспективных структур зафиксирован и в пределах левого борта каньона.

Еще более активно гравитационно-денудационные процессы проявлены вдоль юго-восточного берегового склона в Южной котловине озера. Здесь фиксируется смещение значительных масс осадков вниз по денудационной поверхности склона [10].

На участке Солзан сейсмоакустические исследования структур берегового склона проведены на глубинах от 500 до 1000 м. Здесь определено положение основных русел подводных каньонов и хребтов (рис. 11). Они ориентированы вкрест береговой линии. Каньоны являются продолжением рек Солзан, Утулук, Лангатуй и др. Глубина врезов достигает 250 м при ширине 1–1,5 км. В нижней части денудационно-аккумулятивного склона каньоны имеют трапециевидный профиль и заполнены современными донными осадками мощностью более 60 м. Проявление гидратов Солзан и все выявленные потенциально гидратсодержащие структуры приурочены к осям подводных хребтов (рис. 11).

Как было отмечено ранее, юго-восточный склон Академического хребта, крутизна которого составляет до 25°, контролируется Ольхонским сбросом и осложнен рядом каньонов. Положение наиболее крупных из них показано на схеме (рис. 12). На изученном детальном участке склона локальные каньоны развиваются в юго-западном и южном направлениях и прослеживаются до глубин 1000 м. Их глубина в средней части склона достигает 200 м и более. Каньоны имеют V-образную форму, прорезают склоны, которые сложены осадками позднего плейстоцена – голоцена, и характеризуются незначительной мощностью современных осадков в своем русле. К подводным хребтам, сопряженным с каньонами под № 1 и 2 (рис. 12), приурочены донные проявления гидратов Хубой и Академический Хребет. В пределах подводного хребта, расположенного вдоль правого борта каньона № 3, имеющего сложное строение, нами установлено несколько потенциально

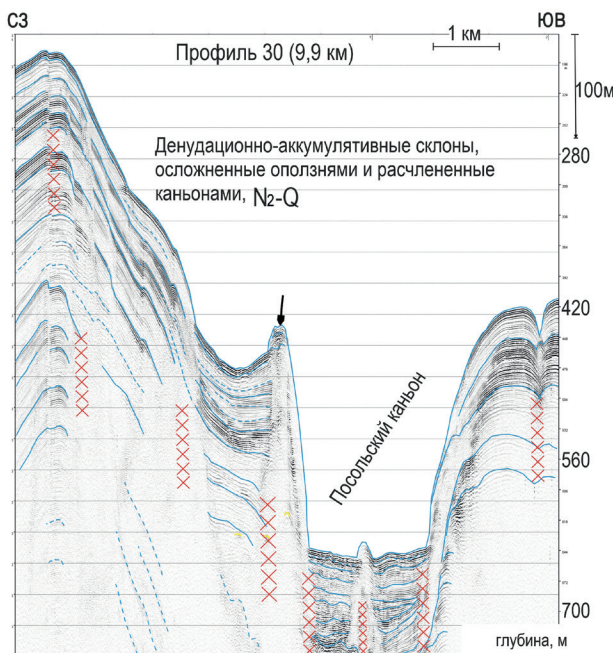
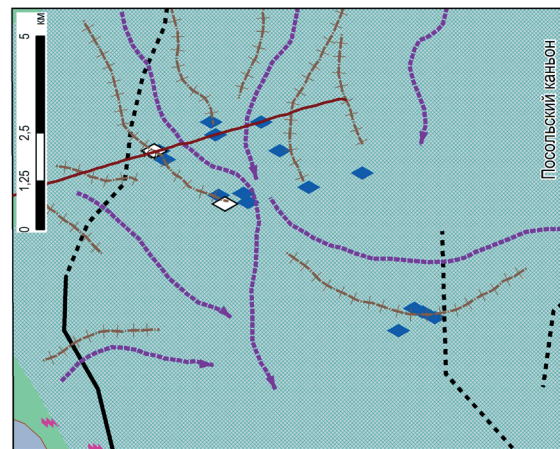


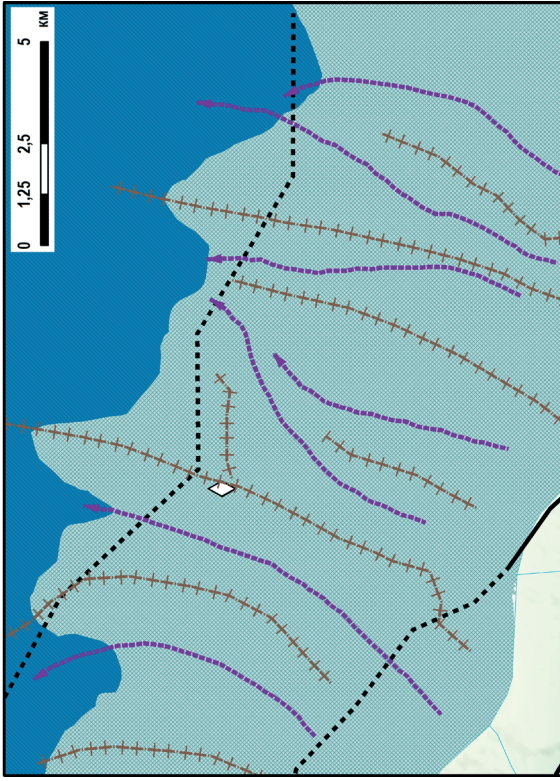
Рис. 9. Особенности рельефа дна юго-восточного склона Посольской Банки и Посольского каньона по результатам НСАП (сейсмоакустический профиль 30)

Условные обозначения см. на рис. 5. Стрелкой показано положение проявления газовых кристаллогидратов Посольский Каньон



- Генетические типы рельефа**  
**Структурный тип рельефа**
- Денудационные субгоризонтальные поверхности с расчлененными склонами (Q), Посольская Банка
  - Денудационно-аккумулятивные склоны (до 25°), осложненные оползнями и расчлененные каньонами (N-Q)
- Аккумулятивный тип рельефа**
- Пологонаклонные аллювиальные равнины (авандельта) (Q), Селенга
- Формы рельефа**
- русла подводных каньонов и их направление
  - подводные хребты
- Объекты миграции углеводородов**
- ◆ потенциальные гидратосодержащие структуры
  - грязевулканические структуры
  - ⚡ грифоны (пузырьковые выходы метана)
  - ◇ места проявления газовых гидратов
- Элементы новейшей тектоники**
- разломы и зоны разломов достоверные
  - - - - - разломы и зоны разломов предполагаемые
  - профиль НСАП № 30

Рис. 10. Фрагмент геоморфологической карты дна оз. Байкал, район проявления Посольский Каньон



- Генетические типы рельефа**  
**Структурный тип рельефа**
- Денудационные субгоризонтальные поверхности с расчлененными склонами (Q), Посольская Банка
  - Денудационно-аккумулятивные склоны (до 25°), осложненные оползнями и расчлененные каньонами (N-Q)
- Аккумулятивный тип рельефа**
- Субгоризонтальные абиссальные равнины (бассейновая аккумуляция) (Q) (средний этап 1,0-0,8 млн лет), угол 1-5°
- Формы рельефа**
- русла подводных каньонов и их направление
  - подводные хребты
- Объекты миграции углеводородов**
- ◆ потенциальные гидратосодержащие структуры
  - грязевулканические структуры
  - ◇ места проявления газовых гидратов
- Элементы новейшей тектоники**
- разломы и зоны разломов достоверные
  - - - - - разломы и зоны разломов предполагаемые

Рис. 11. Фрагмент геоморфологической карты дна оз. Байкал, район проявления Солзан

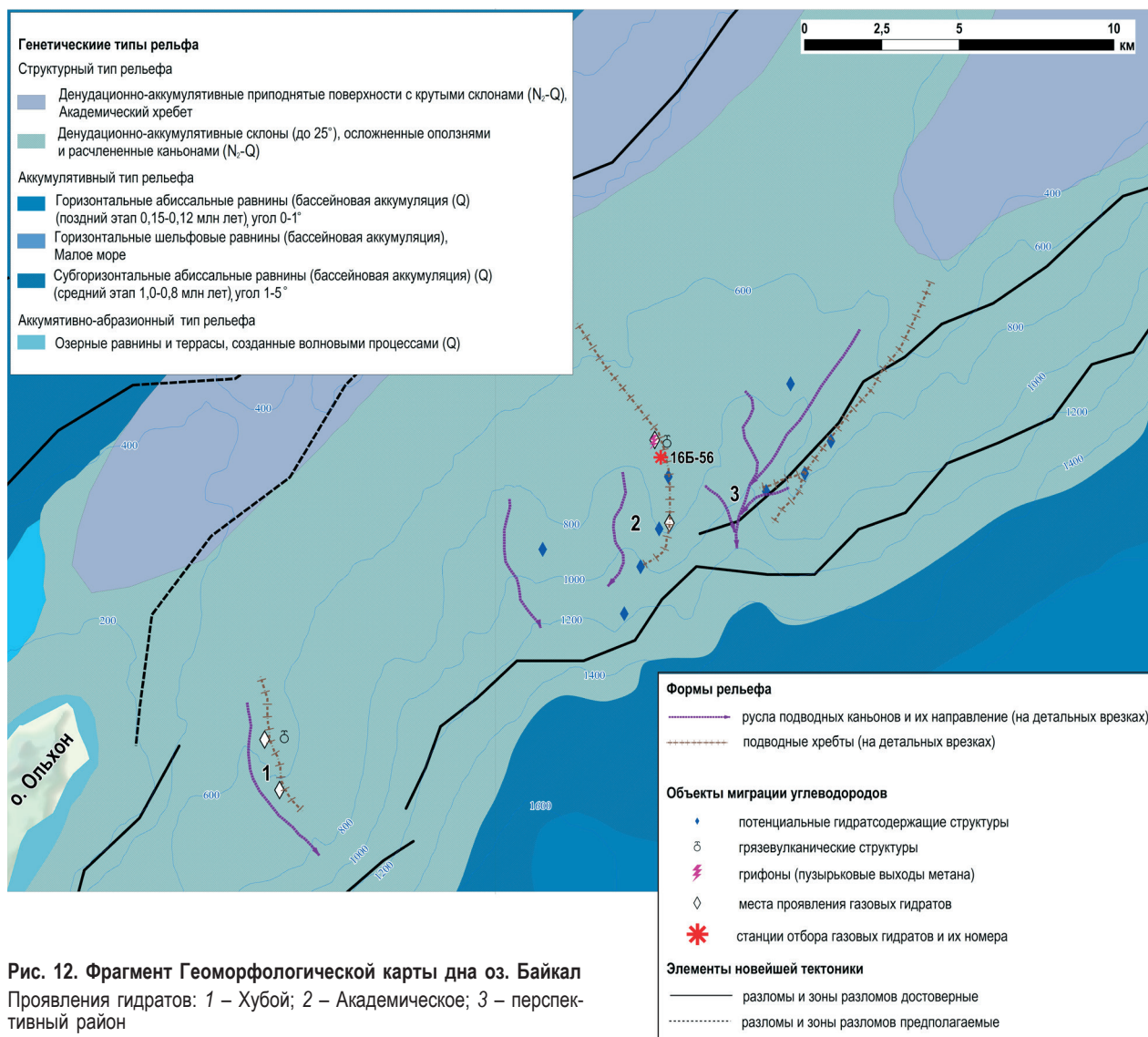


Рис. 12. Фрагмент Геоморфологической карты дна оз. Байкал  
Проявления гидратов: 1 – Хубой; 2 – Академическое; 3 – перспективный район

гидратосодержащих структур. Они располагаются в осевой его части, которая контролируется тектоническим нарушением юго-западного – северо-восточного простирания, являющегося одной из ветвей Ольхонского разлома. Данная структура по многим признакам схожа с геоморфологической позицией (рис. 12) выявленных ранее проявлений газовых гидратов [19].

Аккумулятивные приподнятые в разной степени расчлененные поверхности (Q). Селенгинско-Бугульдейская перемычка разделяет Южную и Центральную котловины оз. Байкал, глубина озера здесь уменьшается до 35–400 м. Тектоническая структура, контролирующая перемычку, отделена от Южной котловины субмеридиональным Байкало-Бугульдейским разломом. На восточном ее склоне выражен уступ на батиметрической карте, который отчетливо виден на схеме уклонов в рельефе дна, что говорит о его неотектонической активности. Поэтому несмотря на то, что он не отражен в Базе данных активных разломов Евразии [1], по нему нами проводится восточная грани-

ца области аккумулятивного поднятия, связанного с Селенгинско-Бугульдейской перемычкой.

Формирование осадочно-тектонической перемычки, по определению Н. А. Логачева, обусловлено сочетанием быстрого накопления осадков и неотектонических движений блоков кристаллического фундамента, что коренным образом отличает Селенгинско-Бугульдейскую перемычку от Академического хребта, являющегося продолжением структур о. Ольхон [12]. Это и дает основание для выделения перемычки в качестве самостоятельного геоморфологического типа рельефа. Главная роль в образовании осадочного покрова принадлежит отложениям р. Селенга, бассейн которой охватывает больше чем 70% области Байкальского водосбора. Скорость осадконакопления в голоцене на перемычке составляет 0,2–0,86 мм/год, что значительно превышает этот показатель на Академическом хребте (0,005–0,06 мм/год) [4]. Рельеф поверхности дна Селенгинско-Бугульдейской перемычки неровный, с многочисленными валами, ложбинами,

провалами грунта, грифонами, которые связаны с мелкими активированными тектоническими нарушениями в толще поверхностных осадков.

**Аккумулятивный тип рельефа:**

– горизонтальные абиссальные равнины (бассейновой аккумуляции) (Q – позднего этапа; 0,15–0,12 млн лет), угол наклона 0–1°;

– субгоризонтальные абиссальные равнины (бассейновой аккумуляции) (Q – среднего этапа; 1,0–0,8 млн лет), угол наклона 1–5°;

– горизонтальные шельфовые равнины (бассейновой аккумуляции) (Q – позднего этапа; 0,15–0,12 млн лет), угол наклона 0–1°, Малое море;

– субгоризонтальные и наклонные поверхности берегового склона шельфа (Q – позднего этапа; 0,15–0,12 млн лет), Малое море;

– пологонаклонные аллювиально-озерные равнины (Q): баргузинская, чивыркуйская, нижнеангарская;

– пологонаклонные аллювиальные равнины (авандельты) (Q) (Селенга, Бугульдейка, Голоустная);

– реликтовые пологонаклонные ледниково-озерные равнины (Q).

Генетически горизонтальные (0–1°) абиссальные (и шельфовые) равнины и субгоризонтальные (1–5°) абиссальные равнины представляют собой единое целое, формируясь в условиях бассейновой аккумуляции. Горизонтальные равнины приурочены к центральным частям котловин, граница между пологими и слабонаклонными равнинами достаточно условна, в плане часто имеет неровный, фестончатый характер, что связано с выровненными конусами выноса осадочного материала с прилегающих склонов; главное отличие заключается в последовательности их образования. *Абиссальные равнины* расположены на глубинах более 1200 м в Южной котловине озера; более 1400 м – в Центральной и более 800 м – в Северной. Поверхность равнин, как правило, ровная (рис. 2). Центральная котловина озера разделена незначительным перегибом поверхности дна на две части, выделенными при анализе уклонов дна этой части бассейна (рис. 1), на что также указывает и В. Ф. Лут [14]. Такое разделение единой котловины озера может быть связано с неотектоническими движениями, проявившимися по локальным разломам. Современное неотектоническое опускание котловин озера неравномерно: максимальные скорости отмечены в Центральной впадине озера, Южная и Северная прогибаются с одинаковой скоростью; Центральная и Южная котловины образуют единую зону опускания, а в Северной котловине зона максимального прогибания смещена в северную часть, захватывая прилегающую к берегу низменность [11]. Абиссальные равнины сложены биогенно-терригенными алевро-пелитовыми илами с прослоями турбидитов, чередование илов и турбидитов в разрезах говорит о периодической смене спокойных условий осадконакопления лавинной турбидитовой седиментацией, связанной с перемещением осадочного материала по подводным склонам. Можно предполагать, что

образование турбидитов в оз. Байкал связано с сейсмичностью района [4].

Образование абиссальных равнин в современных границах, очевидно, можно связывать с двумя подэтапами современного этапа развития байкальского рифта. А именно с временным интервалом 1,0–0,8 млн лет (средний подэтап), для которого характерно повышение уровня озера. Дальнейшее обособление центральных участков котловин происходило на позднем подэтапе (0,15–0,12 млн лет), когда снова активизировались поднятия плеч рифта и опускание дна [15].

Как показали исследования, все донные выходы газовых кристаллогидратов, выявленные на больших глубинах в Южной и Центральной котловинах в пределах абиссальных равнин, связаны с зонами неотектонической активизации (рис. 3, 13). В местах этих выходов в рельефе дна наблюдаются холмы конической формы и проявляются грязевулканические процессы.

*Горизонтальная шельфовая равнина* занимает значительную часть дна акватории Малого моря до глубин около 100 м. Ей соответствуют наиболее опущенные участки дна с хорошо выраженной стратификацией современных осадков, что выражается в виде отчетливых параллельных отражающих рефлексов на профилях НСАП (рис. 14), а также преимущественно алевро-пелитовым составом осадков. По мере приближения к береговой зоне рельеф дна меняется. В отличие от шельфовой равнины рельеф дна осложняется формами мезо- и микрорельефа, такими как валы, гряды и каналы стока. В составе современных донных отложений преобладают пески различной зернистости, в том числе и грубозернистые. Совокупность факторов позволяет выделить в этой части акватории субгоризонтальные и наклонные поверхности берегового склона шельфа (рис. 3).

*Пологонаклонные аллювиально-озерные равнины (Q)* расположены в пределах Баргузинского (до гл. 300 м) и Чивыркуйского (до гл. 20 м) заливов и устья р. Верхняя Ангара (до гл. 300 м) (рис. 3). Углы наклона склонов варьируют от 0–5° в заливах до 10–15° в устье Верхней Ангары. Со стороны озера озерно-аллювиальные равнины заливов ограничены крутыми уступами. В устье Верхней Ангары равнина постепенно сменяется абиссальной равниной. Современная поверхность равнин образована аллювиальными отложениями, частично переработанными волнами (до гл. 50 м) и, возможно, течениями; поверхность равнин исключительно неровная: подводные валы и оползни разделены глубокими ложбинами. Осадки представлены песками и алевритами.

*Пологонаклонные аллювиальные равнины (авандельты) (Q)* представляют собой подводное продолжение дельт рек Селенга, Бугульдейка и Голоустная (рис. 3). Именно для этих участков дна озера характерны наибольшие скорости седиментации [4]. На поверхности, сложенной мелкозернистыми и алевритовыми песками, на подводном береговом склоне наблю-

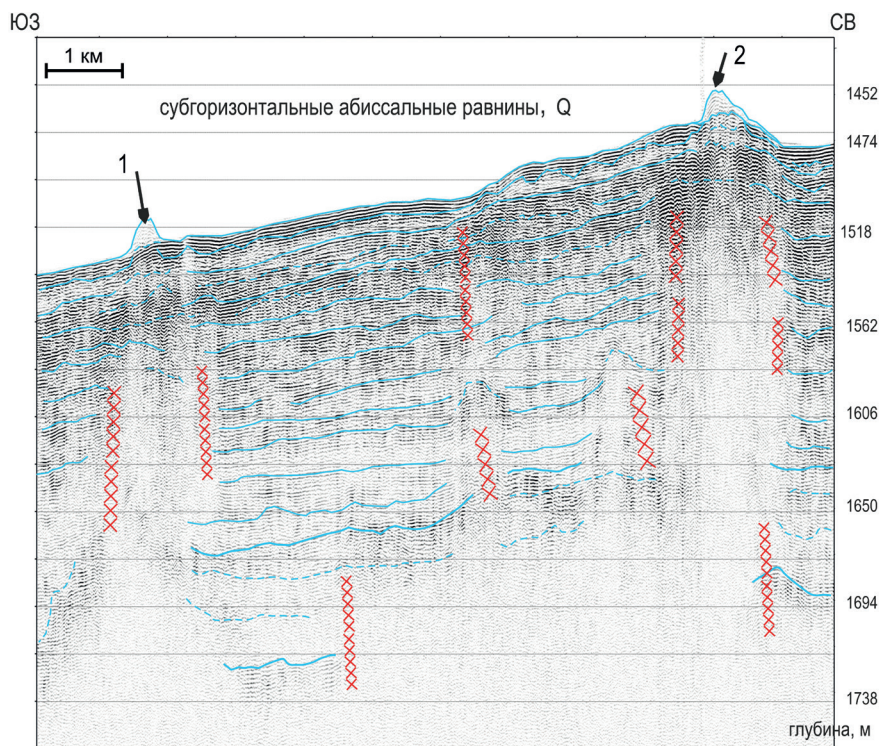


Рис. 13. Сейсмогеологический профиль 43 через проявления газовых кристаллогидратов Большой (1) и Маленький (2), Южная котловина  
Условные обозначения см. на рис. 5.

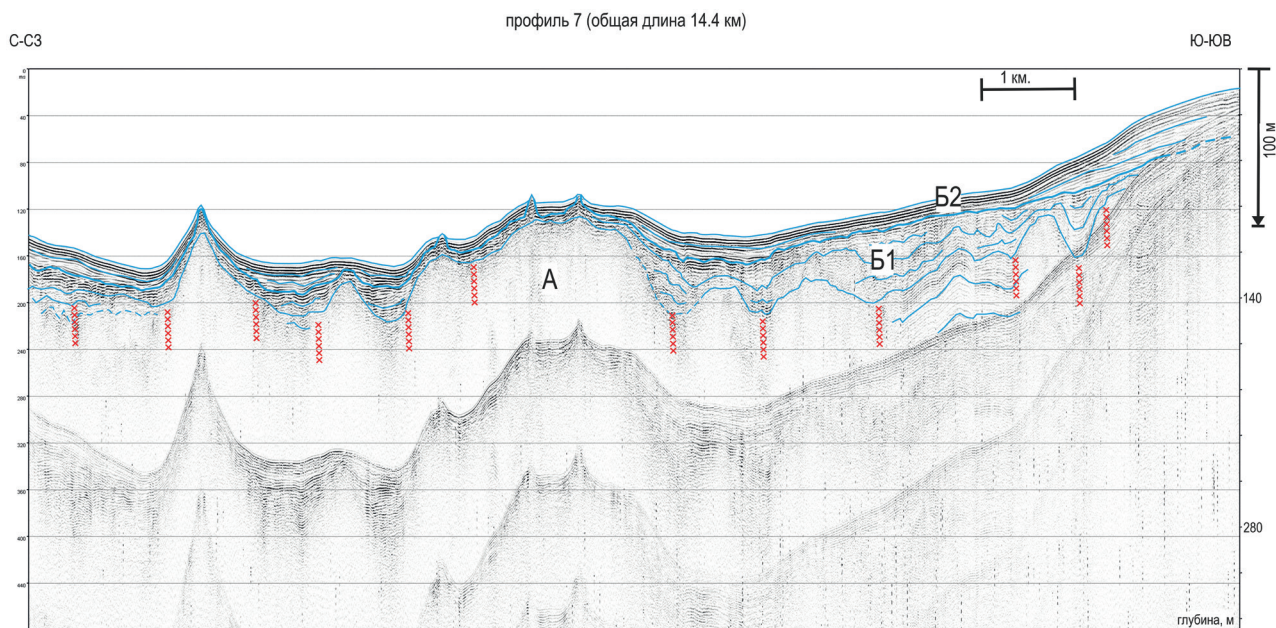


Рис. 14. Сейсмогеологический разрез по профилю 7, Малое море  
Условные обозначения см. на рис. 7.

даются характерные песчаные рифели, поверхность осложнена многочисленными ложбинами стока. Грифоны (пузырьковые выходы метана) отмечаются в разных частях склонов Южной и Центральной котловин, тяготея главным образом к дельте Селенги.

Реликтовые пологонаклонные ледниково-озерные равнины (Q), развитые в северо-восточной части Северной котловины озера, были выделены на основании анализа схемы уклонов рельефа дна (рис. 2), составленной на основе батиметрической карты с помощью модуля ArcGIS

«Spatial analyst». Было отмечено, что в северо-восточной части впадины на фоне практически ровного рельефа отмечаются одинаково ориентированные подковообразные формы с уклоном 1–5°. Форма этих образований близка к морфологии конечно-моренных подводных комплексов Баргузинского полупокровного ледника, которые приводятся в статье К. Г. Леви с соавторами [16]. Сартанское оледенение охватывало почти половину восточного склона Северной котловины озера, а моренные валы были обнаружены не только на суше, но и эхолотной и геофизической съемкой на дне Северного Байкала [16]. Конечные морены и ледниковые цирки отмечаются на геоморфологической схеме ГК-1000/3 листа N-49 [7]. По мнению В. Ф. Лута, влияние оледенения на морфологию подводного склона Байкала на северо-восточном берегу, очевидно, и подтверждается съемкой рельефа дна и грунтовым опробованием [14].

**Аккумулятивно-абразионный тип** рельефа представлен озерными равнинами и террасами, созданными волновыми процессами (Q) и локализованными в узкой прибрежной полосе шириной не более 2–2,5 км [14], у западного берега озера в зоне действия волн формируются обнажения коренных пород, частично перекрытые песчаным, гравийным и галечным материалом, а у восточных берегов резко возрастает доля песчаных осадков.

**Закключение.** Проведенные геолого-геоморфологические исследования показали, что важнейшими рельефообразующими факторами впадины оз. Байкал являются денудационно-тектонические, в том числе неотектонические, наиболее активно проявленные на западном склоне впадины, где наблюдаются свежие следы сбросов, зияющие трещины растяжения, пересечения продольных, секущих и поперечных трещин, развитие трогообразных рвов и т. д. Установлено интенсивное тектоническое разрушение западного склона впадины, что приводит к разрастанию впадины озера в западном направлении [3].

Различия в морфологии рельефа дна западного и восточного подводных береговых склонов озера проявляются в приуроченности крутых берегов к западному сбросовому выровненному берегу, а более пологих и широких склонов с активным проявлением гравитационных эрозионных процессов – к восточному. Эти морфологические особенности обусловлены строением наземного рельефа. Западные склоны Приморского и Байкальского хребтов образуют крутые подводные склоны. Горные хребты у восточного берега озера ориентированы под углом и чередуются с межгорными понижениями рельефа. Наиболее интенсивное проявление подводных эрозионных процессов характерно для склонов Южной котловины озера, поскольку весь юго-восточный берег Байкала является селеопасным районом, а на подводном береговом склоне отмечены многочисленные подводные каньоны, по которым перемещаются значительные массы осадочного материала [10; 14]. По нашим наблюдениям и материалам ЛИН

СО РАН, каньоны являются продолжением рек на суше, однако В. Ф. Лут отмечает, что в Южной в отдельных случаях связь отсутствует: многие реки с хорошо разработанными долинами (Мишиха, Мантуриха, Утулик, Безымянная и др.) не имеют подводного продолжения; и наоборот – в субэаральных условиях долина отсутствует или слабо выражена, а под водой есть хорошо выраженная в рельефе долина (подводная долина напротив ключа Межевой, «самостоятельные» долины в губе Мамай, междуречье Куркавочной и Половинки и др.) [14].

В северо-восточной части Северной котловины озера установлены следы последнего сартанского оледенения в виде конечных морен, сnivelированных перекрывающими их озерными осадками голоцена.

Современное неотектоническое опускание наиболее интенсивно проявилось в глубоководной части Центральной и Южной котловинах озера, в Северной – максимальное прогибание смещено относительно глубоководной части бассейна на север. Характер строения верхней части геологического разреза и данные опробования свидетельствуют о том, что прогибание и начало седиментационных процессов в Малом море отставало по времени от их проявления в прилегающей части Северной котловины. Этим определяются особенности геоморфологического устройства дна Малого моря.

Анализ положения объектов миграции углеводородов, в особенности придонных проявлений газовых кристаллогидратов, относительно генетических типов рельефа дна показывает, что могут быть выделены три основных типа проявлений. Наиболее распространен тип проявлений, приуроченных к денудационно-аккумулятивному склону, осложненным оползнями и расчлененным каньонами. В этих обстановках возникновение объектов определяется сочетанием мощных каньонобразующих и неотектонических процессов. К этому типу относятся проявления гидратов, приуроченные к юго-восточному склону оз. Байкал. Например, такие, как Кукуйский и Посольский Каньоны, Таланка, Турка, Кедровая и ряд других. Второй тип связан с денудационно-аккумулятивным поднятием Академический хребет. По нашему мнению, ведущими в этом случае процессами формирования проявлений выступают новейшие тектонические движения, которые способствуют выходу гидратов к поверхности дна – проявления Хубой и Академическое. Третий тип связан с новейшими тектоническими структурами в наиболее погруженных абиссальных (горизонтальные абиссальные равнины) районах Центральной и Южной котловин. Это такие проявления, как Большой, Маленький, Санкт-Петербург, Новосибирск и др. Все представленные типы сопровождаются грязевулканическими структурами. Выявленные признаки, сопровождающие проявления гидратов, могут применяться в качестве прогнозных критериев для выделения новых объектов.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. База данных активных разломов Евразии (и прилегающих акваторий) [Электронный ресурс] // Геологический институт Российской академии наук. Лаборатория неотектоники и современной геодинамики. – URL: <http://neotec.ginras.ru/database.html> (дата обращения: 04.05.2023).

2. Байкаловедение: учеб. пособие / Н. С. Беркин, А. А. Макаров, О. Т. Русинек. – Иркутск : Изд-во Иркутского гос. ун-та, 2009. – 291 с.

3. Бухаров А. А., Фиалков В. А. Геологическое строение дна Байкала: Взгляд из «Пайсиса». – Новосибирск : Наука, 1996. – 118 с.

4. Вологина Е. Г., Штурм М. Типизация голоценовых отложений и районирование бассейна озера Байкал // Геология и геофизика. – 2009. – Т. 50, № 8. – С. 933–940.

5. Геолого-геоморфологические особенности Посольской банки и Кукуйской гривы озера Байкал / О. М. Хлыстов, Е. Е. Кононов, А. В. Хабуев, О. В. Белосусов, Н. А. Губин, М. А. Соловьева, Л. Наудс // Геология и геофизика. – 2016. – Т. 57, № 12. – С. 2229–2239.

6. Глубоководное бурение на Байкале – основные результаты / М. И. Кузьмин, Е. Б. Карабанов, Т. Каваи, Д. Вильямс, В. А. Бычинский, Е. В. Кербер и др. // Геология и геофизика. – 2001. – Т. 42, № 1, 2. – С. 8–34.

7. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1 : 1 000 000 (третье поколение). Серия Алдано-Забайкальская. Лист N-49 – Чита. Объяснительная записка / Н. А. Фишев, К. М. Шелгачев, В. И. Игнатович, Ю. П. Гусев и др. – СПб. : Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2011.

8. Дыбовский Б. И., Годлевский В. А. Физико-географические исследования на Байкале в 1869–1975 гг. // Тр. Восточно-Сибирского отделения РГО. Байкальский сб., вып. 1. – 1897. – № 1. – С. 1–62.

9. Каньоны восточного берега Южного Байкала: морфология и генезис / О. М. Хлыстов, Е. Е. Кононов, Х. Минами, А. В. Казаков, А. Г. Ченский // География и природные ресурсы. – 2018. – № 1. – С. 59–65.

10. Карабанов Е. Б., Фиалков В. А. Подводные каньоны Байкала. – Новосибирск : Наука, 1987. – 103 с.

11. Карта новейшей тектоники Северной Евразии масштаба 1 : 5 000 000 / под ред. А. Ф. Грачева. – М. : МПР РФ, Российская академия наук, 1997.

12. Логачев Н. А. Главные структурные черты и геодинамика Байкальской рифтовой зоны // Физическая механика. – 1999. – № 1, 2. – С. 163–170.

13. Лунина О. В., Гладков А. С., Шерстянкин П. П. Новая электронная карта активных разломов юга Восточной Сибири // Докл. РАН. – 2010. – Т. 433, № 5. – С. 1–6.

14. Лут Б. Ф. Геоморфология Прибайкалья и впадины озера Байкал // Тр. Лимнологического института. – Новосибирск : Наука, 1978. – Т. 26 (46). – 213 с.

15. Мац В. Д. Возраст и геодинамическая природа осадочного выполнения Байкальского рифта // Геология и геофизика. – 2012. – Т. 53, № 9. – С. 1219–1244.

16. Модели эволюции озерных бассейнов Восточной Сибири в позднем плейстоцене и голоцене / К. Г. Леви, А. И. Мирошниченко, Е. А. Козырева, А. В. Кадетова // Известия Иркутского гос. ун-та. Серия «Геоархеология. Этнология. Антропология». – 2015. – Т. 11. – С. 55–85.

17. Новые данные о рельефе подводного южного склона Южно-Байкальской котловины / Е. Е. Кононов, О. М. Хлыстов, Х. Минами, А. В. Казаков, А. В. Хабуев, Н. А. Губин, А. Г. Ченский // География и природные ресурсы. – 2019. – № 1. – С. 60–69.

18. Тарноградский В. Д., Минами Е. А., Старченко В. В. Требования по созданию дополнительных карт и схем к комплексу Госгеолкарты-1000/3: геоморфологическая карта // Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский научно-исследовательский

геологический институт им. А. П. Карпинского» (ФГУП «ВСЕГЕИ»). – СПб., 2005. – 50 с.

19. Gas hydrates in Lake Baikal / O. M. Khlystov, A. V. Khabuev, H. Minami, A. Hachikubo, A. A. Krylov // Limnology and Freshwater Biology. – 2018. – No. 1. – Pp. 66–70. – DOI: 10.31951/2658-3518-2018-A-1-66 (70556).

## REFERENCES

1. Baza dannykh aktivnykh razlomov Evrazii (i priliegayushchikh akvatoriy) [Elektronnyy resurs] [Database of active faults in Eurasia (and adjacent water areas)]. *Geological Institute of the Russian Academy of Sciences. Laboratory of Neotectonics and Modern Geodynamics*. URL: <http://neotec.ginras.ru/database.html> (04.05.2023).

2. Berkin N. S., Makarov A. A., Rusinek O. T. *Baykalovedenie: ucheb. posobie* [Baikal study: textbook]. Irkutsk, Publishing house of Irkutsk State University, 2009, 291 p.

3. Bukharov A. A., Fialkov V. A. *Geologicheskoe stroenie dna Baykala: Vzglyad iz «Paysisa»* [Geological structure of the Baikal bed: A glance from Paysis]. Novosibirsk, Nauka, 1996, 118 p.

4. Vologina E. G., Sturm M. *Tipizatsiya golotsenovykh otlozheniy i rayonirovanie basseyna ozera Baykal* [Typification of Holocene deposits and zoning of Lake Baikal basin]. *Geology and Geophysics*, 2009, vol. 50, no. 8, pp. 933–940.

5. Khlystov O. M., Kononov E. E., Khabuev A. V., Belousov O. V., Gubin N. A., Solovyova M. A., Nauds L. *Geologo-geomorfologicheskie osobennosti Posol'skoy banki i Kukuyskoy grivy ozera Baykal* [Geological and geomorphological features of Posolskaya bank and Kukuy ridges of Lake Baikal]. *Geology and Geophysics*, 2016, vol. 57, no. 12, pp. 2229–2239.

6. Kuzmin M. I., Karabanov E. B., Kawai T., Williams D., Bychinsky V. A., Kerber E. V. et al. *Glubokovodnoye burenie na Baykale – osnovnye rezultaty* [Deep-water drilling in Baikal – main results]. *Geology and Geophysics*, 2001, vol. 42, no. 1, 2, pp. 8–34.

7. *Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossiyskoy federatsii. Mashtab 1 : 1 000 000 (tret'e pokolenie). Seriya Aldano-Zabaykal'skaya. List N-49 – Chita. Ob'yasnitel'naya zapiska* [State geological map of the Russian Federation of the third generation. Scale 1 : 1 000 000. Aldano-Zabaykal'skaya series. Sheet N-49 – Chita. Explanatory note]. Eds. N. A. Fischev, K. M. Shelgachev, V. I. Ignatovich, Yu. P. Gusev et al. St. Petersburg, Cartographic Factory VSEGEI, 2011.

8. Dybovsky B. I., Godlevsky V. A. *Fiziko-geograficheskie issledovaniya na Baykale v 1869–1975 gg.* [Physico-geographical researches on Baikal in 1869–1975]. *East Siberian Branch of the Russian Geographic Society, Baikalsky col.*, vol. 1, 1897, no. 1, pp. 1–62.

9. Khlystov O. M., Kononov E. E., Minami H., Kazakov A. V., Censky A. G. *Kan'ony vostochnogo berega Yuzhnogo Baykala: morfologiya i genezis* [Canyons of the eastern shore of the Southern Baikal: morphology and genesis]. *Geography and Natural Resources*, 2018, no. 1, pp. 59–65.

10. Karabanov E. B., Fialkov V. A. *Podvodnye kan'ony Baykala* [Underwater canyons of Baikal]. Novosibirsk, Nauka, 1987, 103 p.

11. *Karta noveyshey tektoniki Severnoy Evrazii mashtaba 1 : 5 000 000* [Map of newest tectonics of Northern Eurasia scale 1 : 5 000 000]. Ed. by A. F. Grachev. Moscow, Ministry of Natural Resources of the Russian Federation, Russian Academy of Sciences, 1997.

12. Logachev N. A. *Glavnye strukturnye cherty i geodinamika Baykal'skoy riftovoy zony* [Main structural features and geodynamics of the Baikal rift zone]. *Physical Mechanics*, 1999, no. 1, 2, pp. 163–170.

13. Lunina O. V., Gladkov A. S., Sherstyankin P. P. *Novaya elektronnaya karta aktivnykh razlomov yuga Vostochnoy Sibiri* [New electronic map of active faults in the south

of Eastern Siberia]. *Reports of the Academy of Sciences*, 2010, vol. 433, no. 5, pp. 1–6.

14. Lout B. F. Geomorfologiya Pribaykal'ya i vpadiny ozera Baykal [Geomorphology of the Baikal region and the Lake Baikal depression]. *Tr. Limnological Institute*. Novosibirsk, Nauka, 1978, vol. 26 (46), 213 p.

15. Matz V. D. Vozrast i geodinamicheskaya priroda osadochnogo vypolneniya Baykal'skogo rifta [Age and geodynamic nature of sedimentary fulfillment of the Baikal rift]. *Geology and Geophysics*, 2012, vol. 53, no. 9, pp. 1219–1244.

16. Levy K. G., Miroshnichenko A. I., Kozyreva E. A., Kadetova A. V. Modeli evolyutsii ozernykh basseynov Vostochnoy Sibiri v pozdnem pleystotsene i golotsene [Evolution Models of Lakes Basins of Eastern Siberia in Late Pleistocene and Holocene]. *Izv. of Irkutsk State University, Series «Geoarchaeology. Ethnology. Anthropology»*, 2015, vol. 11, pp. 55–85.

17. Kononov E. E., Khlystov O. M., Minami H., Kazakov A. V., Khabuev A. V., Gubin N. A., Chensky A. G. Novye dannye o rel'efe podvodnogo yuzhnogo sklona Yuzhno-Baykal'skoy kotloviny [New data on the relief of the underwater southern slope of the South Baikal Basin]. *Geography and Natural Resources*, 2019, no. 1, pp. 60–69.

18. Tarnogradsky V. D., Minima E. A., Starchenko V. V. Trebovaniya po sozdaniyu dopolnitel'nykh kart i skhem k kompletu Gosgeolkarty-1000/3: geomorfologicheskaya karta [Requirements for the creation of additional maps and schemes to the set of Gosgeol'karta-1000/3: geomorphological map]. *Federal State Unitary Enterprise «All-Russian Research Geological Institute name of A. P. Karpinsky (FGUP «VSEGEI»)»*. St. Petersburg, 2005, 50 p.

19. Khlystov O. M., Khabuev A. V., Minami H., Hachikubo A., Krylov A. A. Gas hydrates in Lake Baikal. *Limnology and Freshwater Biology*, 2018, no. 1, pp. 66–70, DOI: 10.31951/2658-3518-2018-A-1-66 (70556).

---

*Нестерова Елена Николаевна* – вед. специалист. <Elena\_Nesterova@vsegei.ru>

*Спиридонов Михаил Александрович* – доктор геол.-минерал. наук, гл. науч. сотрудник.  
<Michail\_Spiridonov@vsegei.ru>

*Шахвердов Вадим Азимович* – канд. геол.-минерал. наук, вед. науч. сотрудник.  
<Vadim\_Shakhverdov@vsegei.ru>

*Кропачев Юрий Петрович* – вед. инженер. <Yuri\_Kropachev@vsegei.ru>

*Буданов Леонид Михайлович* – канд. геол.-минерал. наук, науч. сотрудник. <Leonid\_Budanov@vsegei.ru>

*Дронь Олег Владимирович* – инженер I категории. <Oleg\_Dron@vsegei.ru>

*Неевин Игорь Александрович* – зам. зав. отделом. <Igor\_Neevin@vsegei.ru>

*Nesterova Elena Nikolaevna* – Leading Expert. <Elena\_Nesterova@vsegei.ru>

*Spiridonov Michail Aleksandrovich* – Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Chief Researcher.  
<Michail\_Spiridonov@vsegei.ru>

*Shakhverdov Vadim Azimovich* – Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Leading Researcher.  
<Vadim\_Shakhverdov@vsegei.ru>

*Kropachev Yuriy Petrovich* – Leading Engineer. <Yuri\_Kropachev@vsegei.ru>

*Budanov Leonid Mihajlovich* – Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Researcher.  
<Leonid\_Budanov@vsegei.ru>

*Dron Oleg Vladimirovich* – Engineer. <Oleg\_Dron@vsegei.ru>

*Neevin Igor Aleksandrovich* – Deputy Head of Department. <Igor\_Neevin@vsegei.ru>

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

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