

УДК 551.217 + 551.243

НОВЫЕ НАХОДКИ ГРЯЗЕВОГО ВУЛКАНИЗМА У СЕВЕРО-ЗАПАДНОГО ПОБЕРЕЖЬЯ ОЗ. БАЙКАЛ ПО ДАННЫМ ПОДВОДНОЙ ВИДЕОСЪЕМКИ

© 2023 г. О. В. Лунина^{1,*}, К. М. Кучер², Т. В. Наумова², Т. Я. Ситникова²

Представлено академиком РАН Е.И. Гордеевым 08.08.2023 г.

Поступило 08.08.2023 г.

После доработки 10.08.2023 г.

Принято к публикации 16.08.2023 г.

Представлены новые данные о местонахождении в оз. Байкал проявлений грязевого вулканизма, сопровождаемого выбросами газа. Разрывные деформации дна со следами излившихся разжиженных осадков обнаружены в заливе Малая Коса и Горячинской губе в Северобайкальской впадине на глубинах 105–163.6 м. Породы, обнажающиеся в протяженных уступах и грязевых кратерах, представлены преимущественно высокопористыми глинами. Местами встречаются выступы валунно-галечных отложений. Области распространения грязевого вулканизма приурочены к зоне динамического влияния Северобайкальского разлома, свидетельствуя о его активности в настоящее время. На недавнее извержение газонасыщенного флюида и грязи указывает нарушенность не только глин, но и покрывающих их мягких осадков. На глубинах 157–162 м в Горячинской губе в них обнаружены конусообразные постройки размером $\sim 5 \times 5$ см с кратером в вершинной части. Подобные грифоны были выявлены в бухте Солонцовой вдоль прямолинейных разрывов напротив одноименной палеосейсмодислокации. Необходимо продолжить изучение выявленных мелководных проявлений грязевого вулканизма и разрывных деформаций дна путем постановки комплексных геолого-геофизических исследований.

Ключевые слова: грязевой вулканизм, газ, разлом, подводная видеосъемка, озеро Байкал

DOI: 10.31857/S2686739723601813, **EDN:** IYIVXA

Изучение дна оз. Байкал основывается преимущественно на батиметрических и сейсмических данных и, по объективным причинам, практически недоступно прямым наблюдениям. Подводные геологические обследования были выполнены только с глубоководных обитаемых аппаратов “Пайсис” (1990–1992) и “Мир” (2008–2010) на глубинах более 300 м. Наряду с ними комплекс геолого-геофизических работ, проведенных с поверхности, показал наличие грязевого вулканизма в южной части оз. Байкал и на Академическом хребте, а также позволил получить представление о литологическом составе и свойствах грязевой брекчии, размерах и формах построек, составе выделяющихся газов и обитающих рядом сообществ беспозвоночных и рыб [1–6]. Эти знания создали основу для интерпретации новых данных о строении рельефа и происходящих процессах на

дне оз. Байкал, которое все еще недостаточно изучено.

С появлением телеуправляемых необитаемых подводных аппаратов (ТНПА) появились новые возможности в исследованиях донных ландшафтов. В связи с этим нами проведены рекогносцировочные исследования с целью поиска деформаций дна оз. Байкал и признаков активности Северобайкальского разлома, расположенного вдоль северо-западного побережья озера. Исследования проводились ТНПА “Ровбилдер РБ-300”, который может работать в зонах глубин до 200 м. Робот оснащен камерой для видео- и фотосъемки, а также системой подводной гидроакустической навигации, которая принимает акустический сигнал с географическими координатами от датчиков, расположенных на четырех буйках, образующих навигационную сеть. Это позволяет определять местоположение прибора под водой, и, следовательно, записывать трек движения ТНПА.

Яркие следы грязевого вулканизма были обнаружены на двух участках в Северобайкальской впадине. Первый из них расположен в пределах Черемшано-Болсодейского сегмента Северобайкальского разлома между мысами Малая и Большая Косы (рис. 1). В этом месте приуроченные к

¹Институт земной коры Сибирского отделения Российской академии наук, Иркутск, Россия

²Лимнологический институт Сибирского отделения Российской академии наук, Иркутск, Россия

*E-mail: lounina@crust.irk.ru

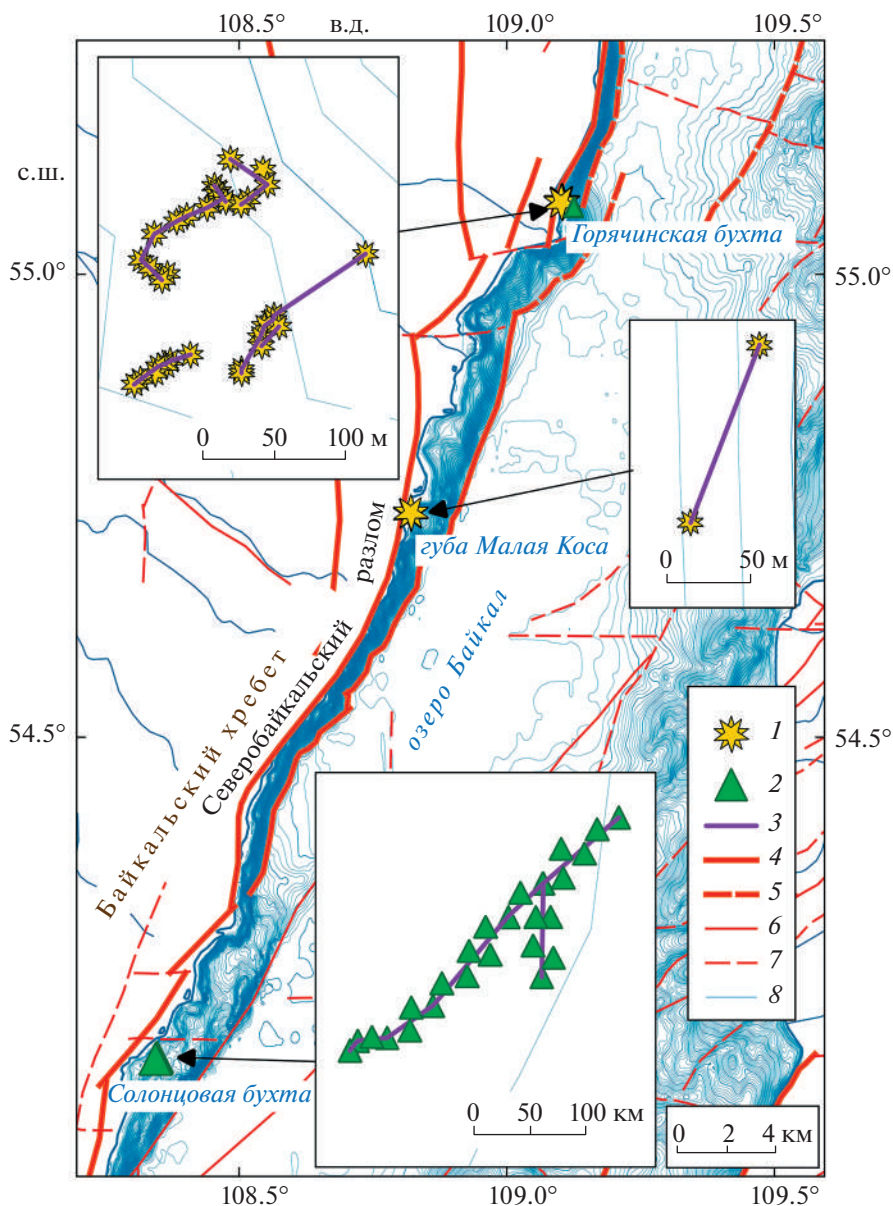


Рис. 1. Местоположение проявлений грязевого вулканизма и сопутствующих разрывных деформаций на дне оз. Байкал. 1 – кратеры грязевых вулканов и сопутствующие деформации; 2 – конусообразные постройки; 3 – наблюдаемые и интерпретируемые разрывы; 4–7 – плиоцен-четвертичные разломы: сейсмоактивные достоверные (4) и предполагаемые (5), другие достоверные (6) и предполагаемые (7); 8 – изобаты.

нему сейсмогенные разрывы, представленные рвами и уступами высотой в несколько метров, наиболее близко расположены к берегу оз. Байкал [7]. Первые признаки свежих деформаций дна обнаружены в ~900 м от осевой линии Северобайкальского разлома в районе точки с координатами 54.74225° с.ш. и 108.82049° в.д. На глубине 158.3 м встречены трещины длиной не менее 1 м, а на глубине 157.8 м – структура с отверстием в центральной части. В результате последующих погружений ТНПА подобные формы, интерпретированные нами как потухшие грязевые вулка-

ны, разрывающие и приподнимающие толщи осадков, были выявлены на глубинах от 122.1 до 163.6 м (рис. 2). Обнажающиеся верхние слои представлены окисленными коричневыми глинами, имеющими пористость более 50%. Размер пор варьировал от нескольких до 5 см. Сверху глины покрыты мелкодисперсными осадками, включающими копеподный детрит, частички слюды и минералов зеленого цвета.

На поверхности осадков отмечены беспозвоночные животные: амфиподы, брюхоногие моллюски и плоские черви – планарии. На нижней

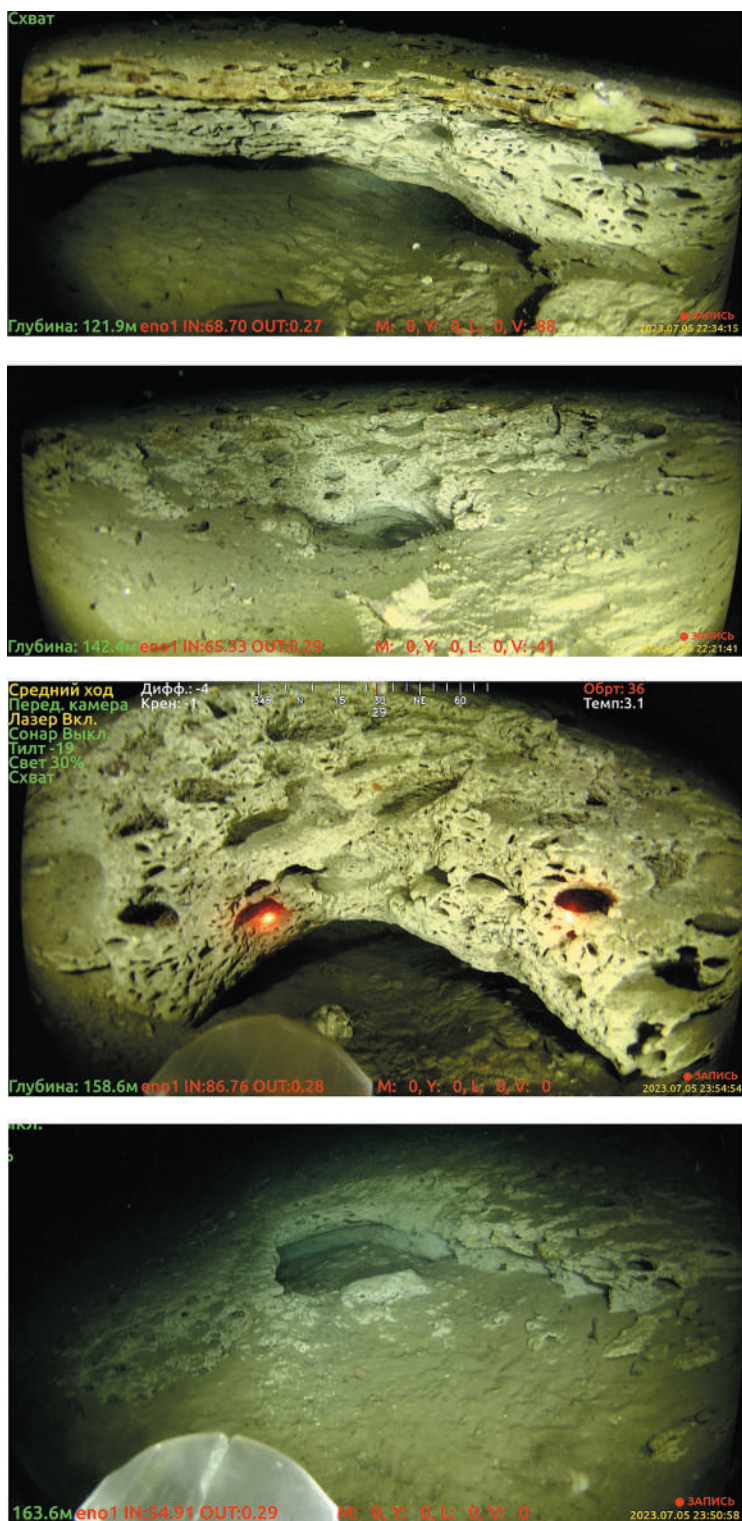


Рис. 2. Фрагменты грязевых вулканов и обнажающихся в них пористых глин в губе Малая Коса на глубинах 121.9, 142.4, 158.6 и 163.6 м (сверху вниз соответственно). Ширина инструмента для захвата грунта 7 см.

поверхности внутри центральных отверстий — кратеров — прятались коттоидные рыбы. Местами на отдельных окатанных обломках находились губки. Судя по высокой пористости отложений,

во время извержения грязевой смеси происходила разгрузка газа в пузырьковой форме. Выше и ниже указанных глубин грязевых выбросов не наблюдалось, что предполагает их сосредоточение в

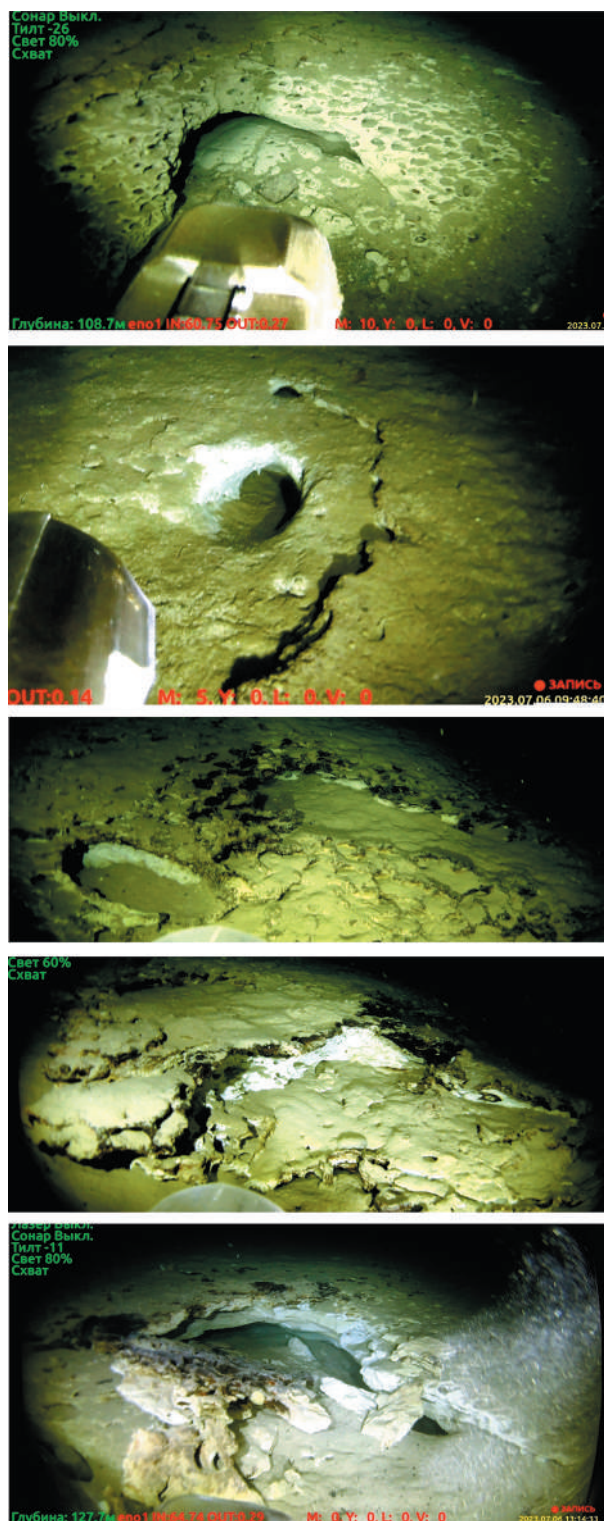


Рис. 3. Фрагменты грязевых вулканов и сопутствующих разрывных деформаций в пористых глинах в Горячинской губе на глубинах 108.7, 113.4, 126.0, 126.5 и 127.7 м (сверху вниз соответственно). Ширина инструмента для захвата грунта 7 см.

зоне север-северо-восточного простирания шириной в первые десятки метров.

Второй участок с обширными проявлениями грязевого вулканизма обнаружен в Горячинской бухте в районе точки с координатами 55.07817° с.ш. и 109.10296° в.д., в 400–650 м от берега и 650 м от главного сместителя Северобайкальского разлома [8] (рис. 1). В 1 км южнее расположены Котельниковские термальные источники с температурой 71–81°С. Деформации дна на этом участке прослежены более детально, поэтому, очевидно, мы наблюдали их большее разнообразие (рис. 3). При первом же спуске ТНПА на глубине 132 м была отмечена разрывная структура в высокопористых глинах, аналогичная по внешнему виду тем, которые были описаны в точках между мысами Малая и Большая Косы. При подъеме до глубины 120.7 м весь крутопадающий склон был усеян грязевыми вулканами. Отложения в месте внедрения газонасыщенного флюида интенсивно трещиноваты. Местами отмечено выдавливание нижележащего валунно-галечного слоя, верх которого припорошен мягким илом. При первом погружении ТНПА грязевые структуры исчезли на глубине 110 м, произошло выполаживание склона до 7°. Всего было осуществлено шесть заходов на глубины от 162 до 91 м.

По результатам погружений на втором участке отмечено несколько особенностей в строении дна. По направлению к мысу Котельниковскому глубина озера уменьшается и грязевые вулканы встречаются на меньших глубинах (до 106 м). Структуры имеют кратеры диаметром от нескольких сантиметров до первых метров. Повсюду они сопровождаются хрупкими деформациями дна. Вмещающие глины имеют высокую пористость, в то время как в центральной части грязевых вулканов видна визуальна однородная масса (иногда с крупными обломками), излившаяся из ниже залегающих осадочных толщ. На нескольких интервалах между глубинами 125 и 153 м наряду с грязевыми вулканами зафиксированы обнаженные уступы крутизной более 60°, разделенные площадками с уклоном от 5° до 25°. Фауна макробеспозвоночных и рыб на поверхности осадков обедненная по сравнению с таковой в бухтах Солонцово́й и Малая Коса. Между тем присутствуют амфиподы и брюхоногие моллюски и местами на твердых поверхностях — колонии губок белого цвета.

Примечательным наблюдением в Горячинской губе на глубине 157.9 м была находка поля конусообразных построек, состоящих из окисленных мягких разуплотненных илистых осадков (рис. 4, верхнее фото). Холмики диаметром у основания и высотой по ~5 см имеют заостренную форму по сравнению с крупными формами грязевых вулканов. В вершинной части для них харак-

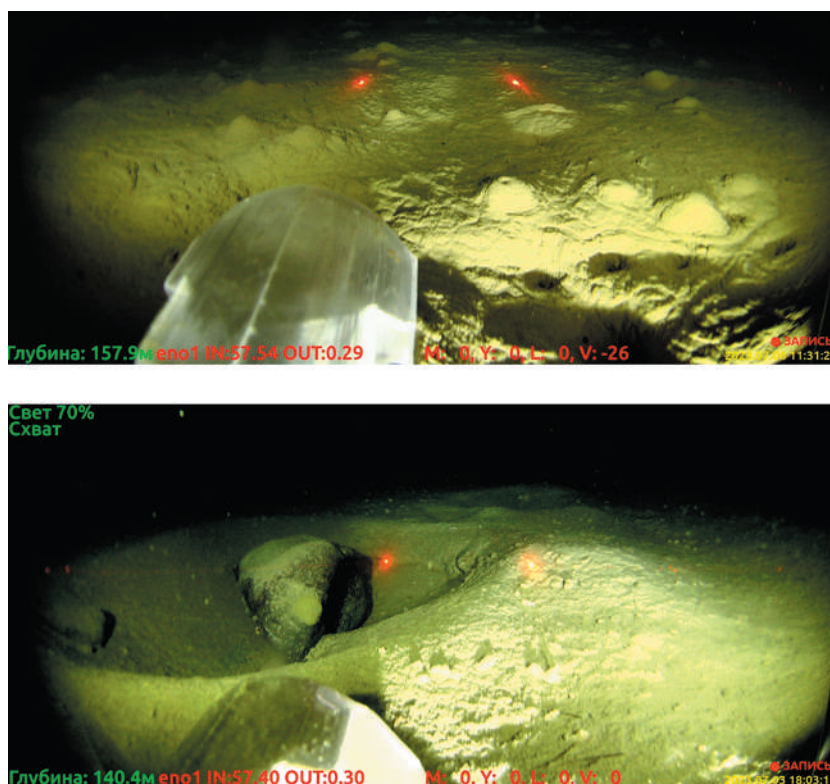


Рис. 4. Конусообразные постройки из мягких разуплотненных илистых осадков в Горячинской губе на глубине 157.9 м (вверху) и Солонцовской бухте на глубине 140.4 м (внизу). Валун в кратере, по-видимому, был выброшен под давлением из нижележащего слоя. Расстояние между красными лазерными лучами 20 см.

терно углубление в виде кратера. Предполагается, что грифоны могли быть созданы в результате выхода газа или минеральных вод. Подобные структуры более крупных размеров также наблюдались в мягких илах на глубинах 135–141 м в бухте Солонцовой (рис. 4, нижнее фото) вдоль прямолинейных разрывов напротив Солонцовской палеосейсмодислокации, приуроченной к Северобайкальскому разлому. Уменьшение размеров и количества конусообразных построек в Горячинской губе на глубине 161 м свидетельствует об их приуроченности к всяческому крылу сбросового уступа в зоне динамического влияния Северобайкальского разлома.

Наличие навигационной системы позволило откартировать положение обнаруженных деформаций дна в Горячинской губе, которые выстраиваются в пять разрывов северо-восточного простирания. Намечаются также поперечные структуры, что в целом соответствует разломно-блоковой делимости земной коры в Байкальской рифтовой зоне (рис. 1, врезка в левом верхнем углу).

Проведенные исследования с помощью ТНПА позволили обнаружить новые области проявления грязевого вулканизма в мелководной зоне северной части оз. Байкал, сопровождаемого разрывными деформациями и выбросами газа. Об-

наруженные структуры приурочены к зоне динамического влияния Северобайкальского разлома, свидетельствуя о его активности в настоящее время. На недавнее извержение газонасыщенного флюида и грязи указывает нарушенность не только глин, но и покрывающих их мягких илов. Кроме того, во многих местах дно залито грязевой массой. Необходимо продолжить изучение выявленных областей грязевого вулканизма и разрывных деформаций дна путем постановки комплексных геолого-геофизических исследований с батиметрическими измерениями рельефа дна и различными видами вещественного анализа образцов керна. Особый интерес представляют биологические исследования живых организмов с целью выяснения особенностей развития жизни в условиях абиотических изменений.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы выражают благодарность О.М. Хлыстову за обсуждение работы, а также Н.В. Максимовой, Т.А. Щербаковой и экипажу научно-исследовательского судна ЛИН СО РАН “И.Д. Папанин” за сотрудничество на борту корабля.

ИСТОЧНИКИ ФИНАНСИРОВАНИЯ

Подводная видеосъемка проведена в ходе совместных экспедиционных работ в рамках государственных заданий Института земной коры и Лимнологического института Сибирского отделения Российской академии наук на 2021–2025 гг. (проекты № FWEF-2021-0009, 0279-2021-0007, 0279-2021-0004).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Khlystov O.M., Minami H., Hachikubo A., Yamashita S., De Batist M., Nauds L., Khabuev A.V., Chenskiy A.G., Gubin N.A., Vorobyeva S.S.* Age of mud breccia from mud volcanoes in Academician Ridge, Lake Baikal // *Geodynamics & Tectonophysics*. 2017. V. 8 (4). P. 923–932 (In Russian). <https://doi.org/10.5800/GT-2017-8-4-0324>
2. *Хлыстов О.М., Нишио Ш., Манаков А.Ю., Сугияма Х., Хабеев А.В., Белоусов О.В., Грачев М.А.* Опыт картирования кровли приповерхностных газовых гидратов озера Байкал и извлечение газа из них // *Геология и геофизика*. 2014. Т. 55 (9). С. 1415–1425.
3. *Khlystov O.M., De Batist M., Minami H., Hachikubo A., Khabuev A.V., Kazakov A.V.* The Position of Gas Hydrates in the Sedimentary Strata and in the Geological Structure of Lake Baikal // *World Atlas of Submarine Gas Hydrates in Continental Margins*. Eds. Mienert J., Tréhu A.M., Liu Ch-Sh., Berndt C., Camerlenghi A. Switzerland: Springer Nature, 2023. P. 465–474.
4. *Исаев В.П.* Грязевой вулкан Тельный в озере Байкал // *Известия ИГУ. Серия наук о Земле*. 2015. Т. 11. С. 30–37.
5. *Hachikubo A., Minami H., Sakagami H., Yamashita S., Krylov A., Kalmychkov G., Poort J., De Batist M., Manakov A., Khlystov O.* Characteristics and varieties of gases enclathrated in natural gas hydrates retrieved at Lake Baikal // *Scientific reports*. 2023. V. 13. 4440. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-31669-7>
6. *Ситникова Т.Я., Сиделева В.Г., Кияшко С.И., Земская Т.И., Механикова И.В., Хлыстов О.М., Хальзов И.А.* Сравнительный анализ сообществ макробеспозвоночных и рыб, ассоциированных с метановым и нефте-метановым сипами в абиссали оз. Байкал // *Успехи современной биологии*. 2017. Т. 137. № 4. С. 373–386.
7. *Денисенко И.А., Лунина О.В.* Сейсмогенные деформации Черемшано-Болсодейского участка Северобайкальского разлома // *Вопросы инженерной сейсмологии*. 2023. Т. 50. № 3. С. 17–43.
8. *Luina O.V.* The digital map of the Pliocene–Quaternary crustal faults in the Southern East Siberia and the adjacent Northern Mongolia // *Geodynamics & Tectonophysics*. 2016. V. 7 (3). P. 407–434 (In Russian). <https://doi.org/10.5800/GT-2016-7-3-0215>

NEW FINDINGS OF MUD VOLCANISM IN NORTHWEST COAST OF LAKE BAIKAL BASED ON UNDERWATER VIDEO RECORDING

O. V. Lunina^{a, #}, K. M. Kucher^b, T. V. Naumova^b, and T. Ya. Sitnikova^b

^a*Institute of the Earth's Crust, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Irkutsk, Russian Federation*

^b*Limnological Institute, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Irkutsk, Russian Federation*

[#]*E-mail: lounina@crust.irk.ru*

Presented by Academician of the RAS E.I. Gordeev August 8, 2023

We present new data on manifestations of mud volcanism accompanied by gas emissions in Lake Baikal. Brittle deformations of the bottom with traces of erupted liquefied sediments were found in the Malaya Kosa Bay and the Goryachinskaya Bay in the North Baikal depression at depths of 105–163.6 m. The deposits outcropping in the extended scarps and mud craters are mainly represented by highly-porous clays. In places there are ledges of boulder-pebble sediments. The areas of the mud volcanism distribution are confined to the damage North Baikal fault zone, indicating its current activity. Disturbance of the clays and soft sediments covering them indicates the recent eruption of gas-saturated fluid and mud. At depths of 157–162 m in the Goryachinskaya Bay, cone-shaped structures ~5 × 5 cm in size with a crater in the top part were found in them. Similar griffons were revealed in the Solontsovaya Bay along rectilinear faults opposite the paleoseismic rupture of the same name. It is necessary to continue studying the revealed shallow-water manifestations of mud volcanism and rupture deformations of the bottom by staging complex geological and geophysical studies.

Keywords: mud volcanism, gas, fault, underwater video recording, Lake Baikal