

**"NOVOSIBIRSK" MUD VOLCANO AND EVIDENCE OF ITS ACTIVATIONS (LAKE BAIKAL)**O.M. Khlystov , A.V. Khabuev 

Limnological Institute, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 3 Ulan-Batorskaya St, Irkutsk 664033, Russia

ABSTRACT. An integrated study of mud volcanoes in the World Ocean is important for making assessment of potential geological-ecological disasters caused by rapid large-volume gas discharge into the water column and mud volcano eruptions at the bottom. The study of mud-volcanic activity in the past and determination of its periodicity are pioneering for the Baikal. The mud volcanoes and other hydrate-bearing structures are largely concentrated in the Middle Baikal basin along the tectonic faults. The most representative example of these phenomena is the "Gydratny" fault, four of six structures along which are mud volcanoes. An integrated geological-geophysical study (seismoacoustic and hydroacoustic sounding and geological sampling) of the "Novosibirsk" mud volcano, the largest and well-pronounced feature of the lake bottom relief, confirmed its structural identity with classical submarine mud volcanoes. The "Novosibirsk" mud volcano possesses all major elements of other single hydrate-bearing mud volcanoes of the lake which include volcanic cone in the bottom relief, vertical acoustically not transparent feeding channel, mud-volcanic breccia, gas saturation, and gas hydrates. This makes it one of the reference hydrate-bearing mud volcanic-type structures of Lake Baikal.

The analysis of the bottom hydroacoustic profiling yielded evidence of the Late Pleistocene mud-volcanic eruptions shaped as two layers-flows at sub-bottom depths of 15 and 26 m (30 and 50 kyr ago, respectively). The presence of mud-volcanic breccia beneath the thin Holocene diatomic silt deposits testifies to the Holocene mud volcano activation due to the warm fluid rising from the depths to the volcano roots along the active segment of the tectonic fault in accordance with the model of the "Baikal-type" mud volcanism. Using the "Novosibirsk" mud volcano and the "Gydratny" fault as an example, it can be shown that the past tectonic activity of the Baikal basin may be determined based on the knowledge of the structure and evolution of the mud volcanoes of the lake.

KEYWORDS: mud volcano; bottom sediment; bathymetry; side-scan sonar; single-channel seismic survey; fault; Lake Baikal

FUNDING: The study was done as part of the state assignment of the Limnological Institute SB RAS (0279-2021-0006).



EDN: ODTPEK

SHORT COMMUNICATION**Correspondence:** Oleg M. Khlystov, khloleg45@yandex.ru

Received: April 27, 2023

Revised: July 3, 2023

Accepted: July 12, 2023

FOR CITATION: Khlystov O.M., Khabuev A.V., 2024. "Novosibirsk" Mud Volcano and Evidence of Its Activations (Lake Baikal). *Geodynamics & Tectonophysics* 15 (1), 0739. doi:10.5800/GT-2024-15-1-0739

ГРЯЗЕВОЙ ВУЛКАН «НОВОСИБИРСК» И СВИДЕТЕЛЬСТВА ЕГО АКТИВИЗАЦИЙ (оз. БАЙКАЛ)

О.М. Хлыстов, А.В. Хабуев

Лимнологический институт СО РАН, 664033, Иркутск, ул. Улан-Баторская, 3, Россия

АННОТАЦИЯ. Комплексное изучение грязевых вулканов в Мировом океане имеет важное значение для оценки потенциальных геолого-экологических катастроф, связанных с быстрой разгрузкой большого объема газа в водную толщу и излиянием грязевулканических масс на дне. Изучение активности грязевого вулканизма в прошлом и определение ее периодичности являются пионерными исследованиями на Байкале. Наибольшее количество грязевых вулканов и других гидратоносных структур сосредоточено в Средней котловине озера вдоль тектонических нарушений. Наиболее представлен из них разлом Гидратный, вдоль которого из шести структур четыре являются грязевыми вулканами. Комплексное геолого-геофизическое исследование (сейсмическое, гидроакустическое зондирование и геологическое опробование) самого крупного и хорошо выраженного в рельефе дна озера грязевого вулкана «Новосибирск» подтвердило идентичность его строения с классическими морскими грязевыми вулканами. Он обладает всеми основными элементами других одиночных гидратоносных грязевых вулканов озера, к которым относится конус вулкана в рельефе дна, вертикальный акустически «немой» подводный канал, грязевулканическая брекчия, газонасыщенность и газовые гидраты. Это делает его одной из опорных гидратоносных структур грязевулканического типа оз. Байкал.

Анализ данных гидроакустического профилирования дна выявил свидетельства извержений грязевого вулкана в конце плейстоцена в виде двух слоев-потоков на поддонной глубине 15 и 25 м (30 и 50 тыс. лет назад соответственно). Наличие грязевулканической брекчии под маломощными голоценовыми диатомовыми илами свидетельствует об активизации грязевого вулкана в голоцене в ходе поступления теплого флюида с глубин к корням вулкана вдоль активного сегмента тектонического нарушения согласно модели байкальского типа грязевого вулканизма. На примере грязевого вулкана «Новосибирск» и разлома Гидратный показано, что для установления активности тектонических систем Байкальской впадины в прошлом можно использовать знания о строении и эволюции грязевых вулканов озера.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: грязевой вулкан; донные осадки; батиметрия, гидролокатор бокового обзора; сейсмическое профилирование; разлом; оз. Байкал

ФИНАНСИРОВАНИЕ: Работа выполнена в рамках госзадания Лимнологического института СО РАН (0279-2021-0006).

1. ВВЕДЕНИЕ

Грязевой вулканизм в морях и на суше связан с активизацией процессов сжатия на глубине (до нескольких километров), накоплением энергии (аномально высокого пластового давления (АВПД)) и ее высвобождением через извержение вдоль зон тектонических нарушений в активных окраинных областях, зонах сжатия аккреционных комплексов, надвиговых поясах, пассивных окраинах, глубоких осадочных бассейнах, связанных с границами активных плит, а также в дельтовых районах [Dimitrov, 2002; Aliyev, 2006; Mazzini, Etiope, 2017]. Изучение подводных грязевых вулканов имеет важное значение для оценки потенциальных геолого-экологических катастроф, связанных с быстрой разгрузкой большого объема парникового газа в водную толщу и атмосферу, усиливающих потепление климата, а также для оценки масштабов излияний грязевулканических масс (сопочная брекчия), изменяющих ландшафты дна и разрушающих подводные технические сооружения (морские платформы, нефте- и газопроводы, кабели связи) [Milkov et al., 2003]. Для Байкала – единственного в мире пресноводного озера, где были найдены газовые гидраты и открыт связанный

с ними байкальский тип грязевого вулканизма, знания об активности грязевых вулканов в прошлом могут быть косвенным свидетельством активности тектонических нарушений и геотермального импульса. Байкальские грязевые вулканы, в отличие от «классических» морских, не связаны со сжатием и формируются вследствие аномально высокого порового давления (АВПоД), возникающего в ходе разложения скоплений газовых гидратов на нижней границе их стабильности (максимум 450 м ниже дна). Дестабилизация газовых гидратов происходит за счет дополнительного тепла, поступающего по трещиноватым зонам разлома совместно с растворами [Khlystov et al., 2019].

В настоящее время на дне озера открыто 29 гидратоносных грязевых вулканов, их основное количество обнаружено в Средней котловине [Khlystov et al., 2022]. Морфология и строение некоторых из них частично рассмотрены в литературе, но требуют дополнительного анализа и нового понимания их эволюции в связи с открытием байкальского типа механизма образования грязевых вулканов на оз. Байкал.

В статье приведен обновленный анализ комплекса геолого-геофизических данных грязевого вулкана

«Новосибирск», уточнены его основные характеристики, дана оценка активности во времени, а также рассмотрены опорные элементы его строения, присущие для гидратоносного грязевого вулканизма оз. Байкал.

2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Геофизическая съемка дна в районе грязевого вулкана «Новосибирск» проведена в 2002 г. глубоководным гидролокатором бокового обзора (ГБО) с частотой 30 кГц и акустическим профилографом с частотой 5 кГц в системе СОНИК-3, одноканальным непрерывным сейсмоакустическим профилированием (НСП) с источником звука «воздушная пушка «Ship 3л»». Работы выполнялись с борта научно-исследовательского судна (НИС) «Г.Ю. Верещагин» в ходе совместных бельгийско-российских экспедиций. ГБО двигался на глубине в 100–150 м над дном. За один проход судна ГБО давал информацию о поверхности дна в полутенях с горизонтальным разрешением 35 см полосой, ширина которой составляла до 1.5 км. Профилограф зондировал донные отложения под курсом судна на глубину до 100 м ниже дна в зависимости от типа осадка, с вертикальным разрешением до 10 см. Проникновение НСП составило >500 м в донные отложения ниже дна, при вертикальном разрешении 2–3 м.

Первые высокоразрешающие батиметрические данные этого района получены многолучевым эхолотом (МЛЭ) ELAC SeaBeam 1050 с частотой 50 кГц в 2009 г. с борта НИС «Титов». МЛЭ имел максимальный угол полосы 120°. Запись данных осуществлялась с помощью программы Hydrostar ONLINE, а первоначальная обработка данных производилась с помощью Hdp и HDPE Post от компании «L3 Communications ELAC Nautik GmbH». Дальнейшая обработка данных и визуализация осуществлялись с помощью программного комплекса IVS 3D Fledermaus. Среднее разрешение в районе исследования по горизонтали не превышало 40 м, по вертикали – 30 см [Cuylaerts et al., 2012]. В 2019 г. была выполнена дополнительная съемка самого вулкана МЛЭ Koningsberg EM710S [Khabuev et al., 2020].

Геологическое опробование проводилось с 2005 по 2019 г. гравитационными ударными трубками длиной до 5 м и весом до 800 кг. Диаметр керна составлял 98 мм. В работе использовано 30 кернов, полученных в рамках совместных российско-японских экспедиций «Multi-phase Gas Hydrate Project» и экспедиций ЛИН СО РАН при выполнении государственного задания.

3. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Морфология дна. Грязевой вулкан «Новосибирск» находится в центральной части Средней котловины озера на краю поднятого блока разлома Гидратный [Khlystov, 2019; Solovyeva et al., 2020; Khabuev et al., 2020; Vidishcheva et al., 2021]. К данному разлому приурочены еще пять гидратоносных структур [Khlystov et al., 2022; Seminsky et al., 2022], включая грязевые вулканы «Ухан», «Санкт-Петербург-2» и «Санкт-Петербург-3», открытый в 2022 г. (рис. 1, а). Все они осложня-

ют как рельеф дна на поднятом и опущенном блоках, так и эскарп самого разлома. В районе грязевого вулкана «Новосибирск» эскарп разлома Гидратный представляет собой уступ высотой 60 м с азимутом простирания СВ 60° и углом падения 19° на юго-западе и 15° на северо-востоке от грязевого вулкана.

По батиметрическим данным грязевой вулкан «Новосибирск» выражен в рельефе дна положительной возвышенностью овальной формы с максимальным диаметром 700 м. Вершина поднятия неровная, имеет углубление (кратер) диаметром 450 м, глубиной 15–20 м [Khabuev et al., 2020]. Максимальная высота вулкана над дном достигает 15 м, увеличивая высоту уступа разлома до 75 м. По гребню кратера имеются понижения в его восточной, юго-восточной и юго-западной части с максимальной глубиной до 5 м, шириной до 200 м. В районе юго-восточного понижения на эскарпе разлома расположен выступ, являющийся южной частью грязевого вулкана. Крутизна выступа круче уклона уступа разлома на 4–8° и доходит до 23°. На батиметрической схеме хорошо видны вышеописанные элементы рельефа (рис. 1, б). Также на южном склоне вулкана и у подножья уступа разлома, напротив грязевого вулкана, благодаря изменению интенсивности сигнала обратного рассеивания (тени) на мозаике ГБО прослеживаются крутые стенки каньонов и оползневых тел (рис. 1, в).

На профилограмме (линия профиля 2002-04) тело грязевого вулкана представлено акустически прозрачным (немым) типом сигнала. На контакте с грязевым вулканом нижние рефлекторы слоистого разреза изогнуты, верхние примыкают к телу вулкана практически без изгиба. На юго-запад от основного «прозрачного» тела грязевого вулкана прослеживаются два акустически прозрачных слабонаклоненных слоя на глубине 15 и 25 м ниже поверхности дна, мощностью 5 и 12 м соответственно. Оба слоя налегают на слоистую часть разреза (рис. 2).

Сейсмическое профилирование. На сейсмических временных разрезах НСП грязевой вулкан «Новосибирск» характеризуется поднятием в рельефе и низкочастотным отраженным от дна сигналом. Вниз по разрезу прослеживается вертикальный подводящий канал, для которого характерна низкоамплитудная хаотическая волновая картина. На севере, в поднятом блоке, он имеет резкий и прямолинейный контакт с горизонтально залегающими рефлекторами. Южная часть вулкана перекрывает осадочную толщу на опущенном блоке и осложняет склон уступа разлома Гидратный. В опущенном блоке и грязевом вулкане по изогнутости и искажению сигнала трассируются тектонические нарушения зоны данного разлома. Вдоль одного из них проходит южная граница подводящего канала в районе подножья уступа (рис. 3).

Геологическое опробование. Грязевой вулкан «Новосибирск» геологически изучался благодаря детальному опробованию с помощью гравитационных труб с 2005 по 2019 г. В работе использовано 30 основных

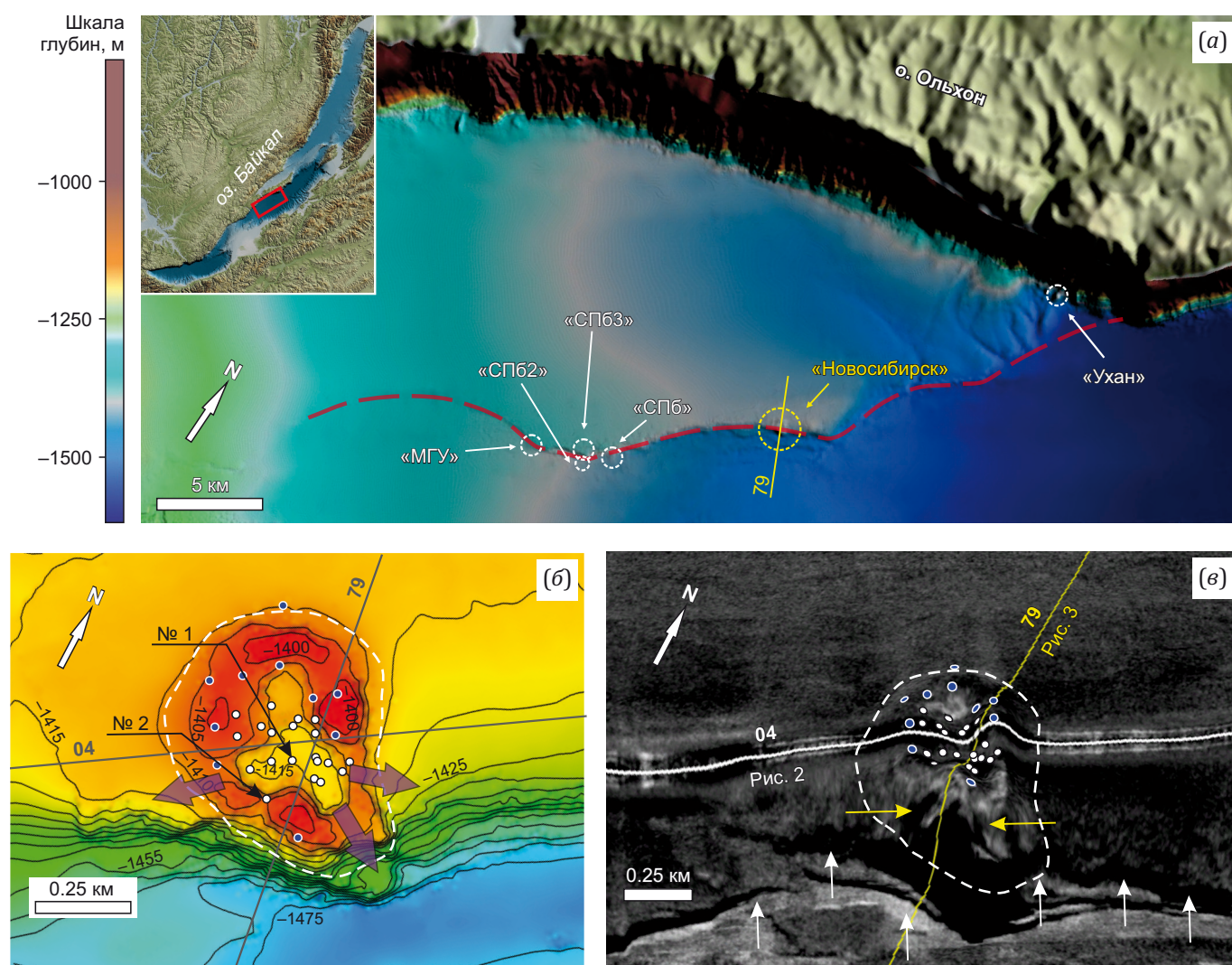


Рис. 1. Обзорная карта района работ и схемы фактического материала.

(а) – батиметрическая схема части Средней котловины в зоне разлома Гидратный (красный пунктир), грязевого вулкана «Новосибирск» (желтый пунктир) и других гидратоносных структур (белый пунктир). На врезке красным прямоугольником показан район исследования. (б) – батиметрическая схема грязевого вулкана «Новосибирск» (белый пунктир) ([Khabuev et al., 2020] с дополнениями). Сиреневыми стрелками показаны места понижений гребня кратера, номерами – профили и керны, представленные на рис. 2, 3, 4. (в) – 3D вид совмещенной мозаики ГБО и батиметрической схемы района грязевого вулкана (белый пунктир). Желтые стрелки – каньоны на южном склоне вулкана, белые – оползни и каньоны в основании вулкана, подножья уступа разлома.

Цветные точки на (б) и (в) – места пробоотбора: синие – керны с типичным байкальским разрезом донных отложений; белые – с грязевулканической брекчией и газовыми гидратами. Линия 04 – линия движения судна и высокоразрешающего профилографа 2002–04 (рис. 2), линия 79 – сейсмический профиль 2002–079 (рис. 3).

Fig. 1. Overview map of the study area and schemes of the actual material.

(a) – bathymetric scheme of a part of the Central basin in the "Gydratny" fault zone (red dotted line), "Novosibirsk" mud volcano (yellow) and other hydrate-bearing structures (white). The inset shows the research area with a red rectangle. (b) – bathymetric scheme of the "Novosibirsk" mud volcano (white dotted line) ([Khabuev et al., 2020], with additions). Purple arrows show the depressions along the crest of the crater, the numbers are the profiles and cores shown in Fig. 2, 3, 4. (c) – 3D view of the combined side scan sonar mosaic and bathymetric scheme of the mud volcano (white dotted line). Yellow arrows show canyons on the southern slope of the volcano, white arrows show landslides and canyons at the base of the volcano and at the base of the fault scarp.

Colored dots on (b) and (c) – sampling sites: blue – cores with a typical Baikal section of bottom sediments; white – cores with mud-volcanic breccia and gas hydrates. Line 04 is a line of vessel movement and high-resolution profiler 2002–04 (Fig. 2), line 79 is seismic profile 2002–079 (Fig. 3).

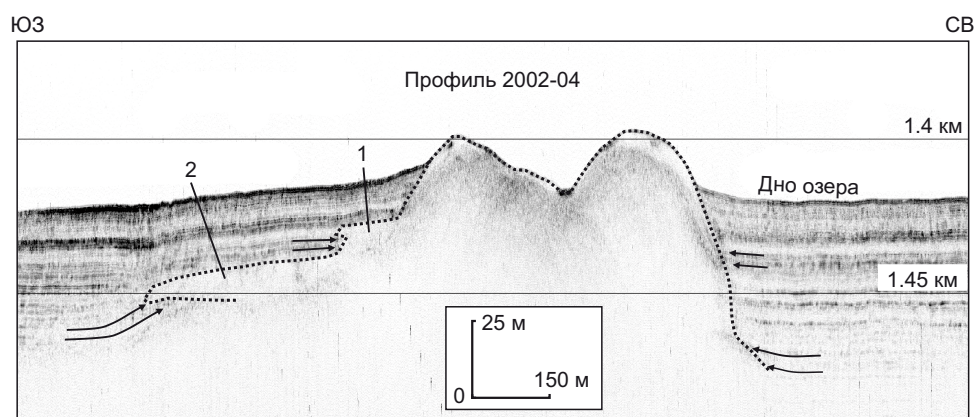


Рис. 2. Разрез высокоразрешающего 5 кГц профилографа по линии 2002-04. Пунктиром показана граница грязевого вулкана «Новосибирск», цифрами – слои-потоки, стрелками – направление слоев осадочной толщи.

Fig. 2. A section of a high-resolution profiler (5 kHz) along line 2002-04. The dotted line shows the "Novosibirsk" mud volcano border; the figures show the layers-flows, the arrows show the geometry of sedimentary strata.

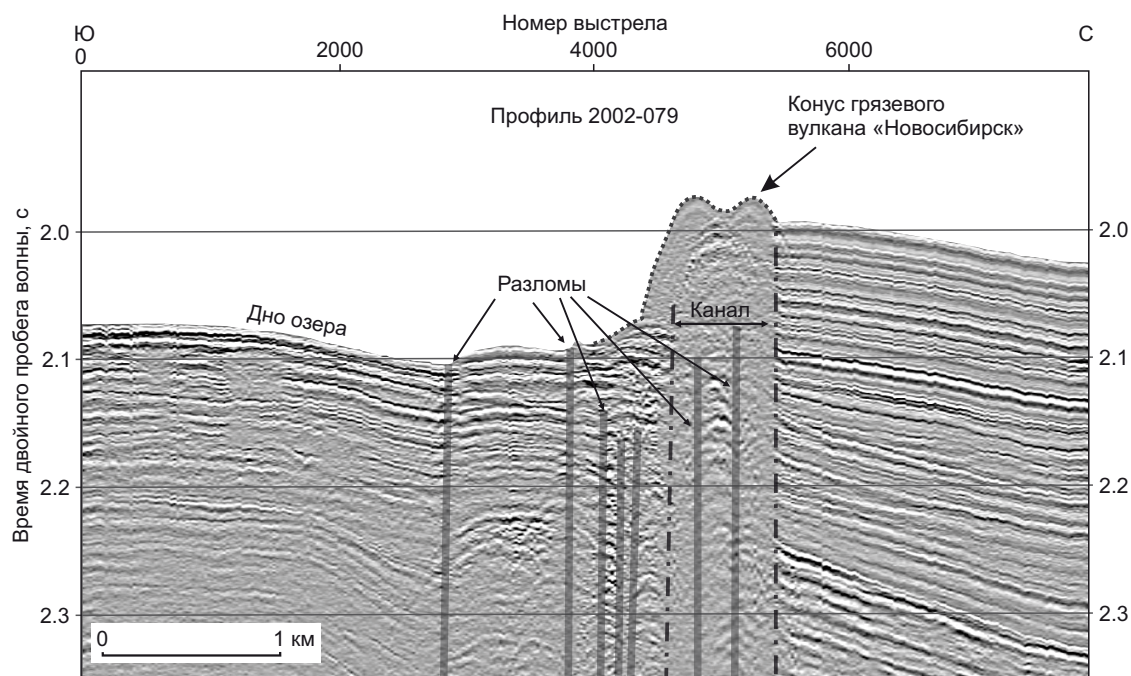


Рис. 3. Сейсмический профиль 2002-079.

Точками обозначена поверхность грязевого вулкана; точка с пунктиром – границы акустически прозрачного подводящего канала; сплошные серые линии – тектонические нарушения.

Fig.3. Seismic profile 2002-079.

The dots indicate the surface of a mud volcano; a dashed-dotted line – the boundaries of an acoustically transparent feeding channel; solid gray lines are tectonic faults.

кернов, характеризующих все типы осадконакопления района и грязевого вулкана. Керны отобраны вне склона конуса и на нем, гребне и внутри кратера грязевого вулкана. Десять из них (см. рис. 1) представляли собой типичный байкальский разрез поверхностного слоя донных отложений озера: сверху вниз вскрыт алевритово-пелитовый, диатомовый ил с окисленной (коричневой) верхней частью голоценового возраста, ниже – плейстоценовая серая алевритовая глина. Типичные осадки располагались по периферии кратера

и на внешней стороне конуса грязевого вулкана, за исключением восточной стороны. Оставшиеся 20 кернов (белые точки) отобраны внутри кратера и имеют в своем разрезе интервалы с грязевулканической брекчией (см. рис. 1, б, в; рис. 4). Такой интервал представлял собой неслоистую, перемешанную текстуру осадка, где в однородной алевритисто-глинистой матрице серого цвета хаотично располагались угловатые или окатанные обломки плотной и сухой глины размером от первых миллиметров до пяти сантиметров. Кроме

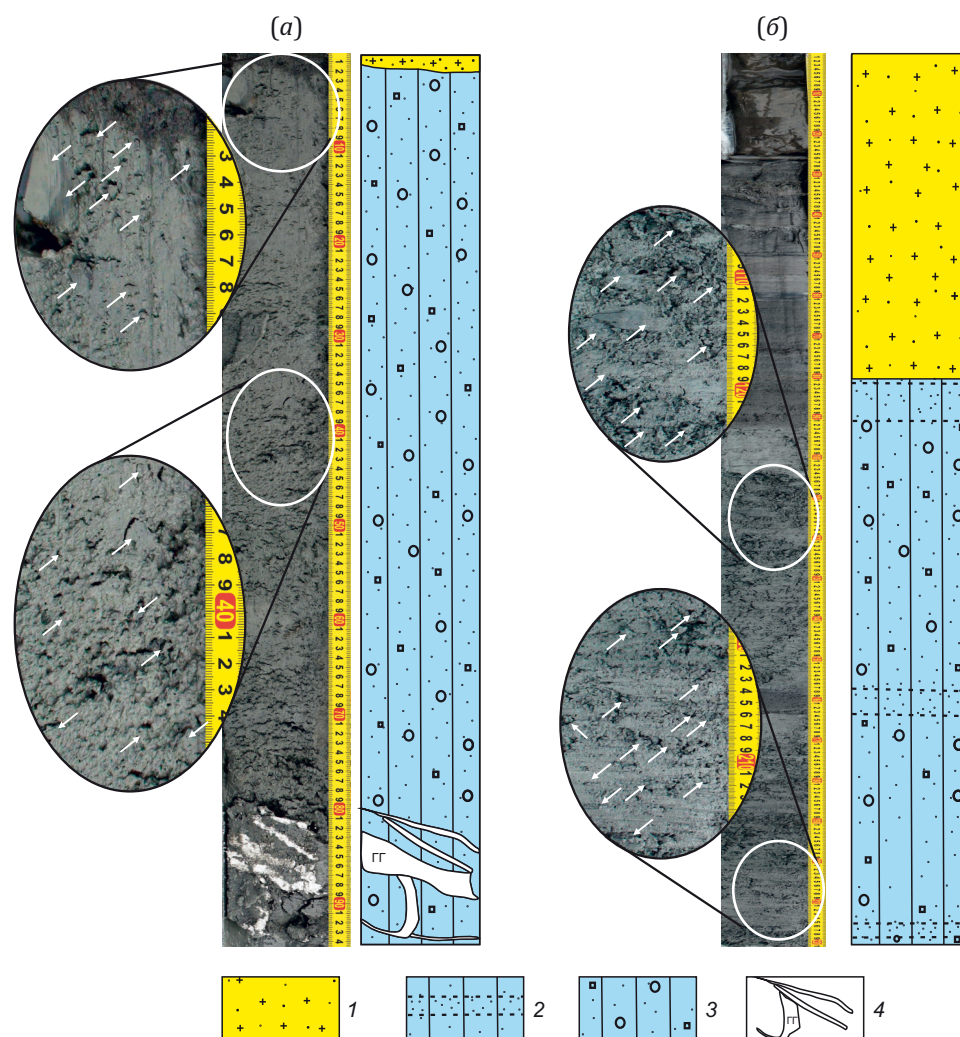


Рис. 4. Фотографии и литологическое описание кернов с грязевулканической брекчией и газовыми гидратами.

(а) – керн № 1 (st2GC18), (б) – керн № 2 (st2GC4). На врезках: примеры грязевулканической брекчией отмечены белыми стрелками (включения плотной глины в алевритисто-глинистой матрице). 1 – диатомовый, алевритово-пелитовый ил; 2 – алевритистая глина с прослоями алевритово-песчанистой глины; 3 – грязевулканическая брекчия; 4 – газовые гидраты.

Fig. 4. Photographs and lithological description of cores with mud-volcanic breccia and gas hydrates.

(а) – core № 1 (st2GC18), (б) – core № 2 (st2GC4). In the insets: examples of mud-volcanic breccia are marked with white arrows (inclusions of dense clay in a silt-clay matrix). 1 – diatomaceous, aleuritic-pelitic silt; 2 – siltstone clay interlayered with siltstone-sandy clay; 3 – mud-volcanic breccia; 4 – gas hydrates.

того, пять кернов содержали газовые гидраты в виде линз и прослоев. Скопления газовых гидратов перекрыты донными отложениями мощностью более 0.7 м без окисленной части. Ближе к центру и напротив понижения с востока и юго-востока грязевулканическая брекчия перекрыта слоем диатомового ила всего в несколько сантиметров (рис. 4).

4. ОБСУЖДЕНИЕ

Детальный анализ батиметрических и сейсмических данных в сочетании с мозаикой ГБО и профилограммой 2002 г. подтвердил и детализировал выявленные ранее элементы строения грязевого вулкана «Новосибирск» и окончательно показал, что он имеет классическую форму подводных морских грязевых вулканов. На поверхности дна он выражен крупным

конусом с кратером наверху. Ниже дна, по данным НСП и профилографа, имеет подводящий канал, характеризующийся «немыми» (прозрачными, однородными) интервалами в сейсмической записи. Как и у морских грязевых вулканов, подобный сейсмический рисунок указывает на то, что канал грязевого вулкана «Новосибирск» сложен газонасыщенной грязевулканической брекчией [Cuylaerts et al., 2012; Khabuev et al., 2020]. Погребенные потоки-излияния у морских вулканов часто образуют на глубине ответвления от основного тела вулкана (структура «елка» (christmas tree)) [Dimitrov, 2002; Mazzini, Etiope, 2017]. Подобный тип сейсмоакустического сигнала и рисунок отмечены на записях профилографа через грязевой вулкан «Новосибирск» в виде слоев 1 и 2 на поддонной глубине 15 и 25 м (см. рис. 2). Наличие погребенных немых слоев,

идущих от основного тела вулкана, является доказательством растекания потоков грязевулканического материала в прошлом. И это указывает на неоднократность его извержений, время которых можно оценить, исходя из средней скорости осадконакопления в этом районе. Мощность слоистого разреза выше слов 1 и 2 составляет 15 и 25 м. Если принять среднюю скорость осадконакопления для Средней котловины 50 см за 1000 лет [Colman et al., 1996], то время излияний первого и второго потоков, т. е. время активизаций, можно оценить ориентировочно около 30 и 50 тыс. лет назад соответственно. Изгиб нижней части слоистого разреза рядом с телом грязевого вулкана свидетельствует о начальной стадии прорыва или новом мощном импульсе грязевулканического процесса – о выдавливании материала с глубины к поверхности дна. Отсутствие подобных изгибов в верхней части разреза не отрицает его активизаций в последующие времена, а говорит о мелкомасштабности, маломощности (короткий слой 2) поступления грязевулканического материала по уже существующим каналам внутри тела грязевого вулкана.

Отмеченные на склоне вулкана каньоны (мозаика ГБО, см. [рис.1, в](#)) могут быть каналами растекания грязевулканических потоков в прошлом или начавшейся эрозии этих потоков в настоящем. Каньон и оползни в подножье уступа связаны с тектонической активностью разлома. Четкие границы говорят о молодости их образования и указывают на нестабильную обстановку осадконакопления вблизи грязевого вулкана. Все это может служить косвенным доказательством связи тектонической активности разлома и вулкана. Явным свидетельством недавней (голоцен – современное время) активизации грязевого вулкана «Новосибирск» является: 1) характер распределения грязевулканической брекчии на бровке и внутри кратера грязевого вулкана; 2) перекрытие брекчии современным диатомовым илом слоем в несколько сантиметров; 3) наличие скоплений газовых гидратов (см. [рис. 1, б, в; рис. 4](#)). Если бы активизация происходила в доголоценовый период, то газовые гидраты растворились бы без подпитки газом, восходящим с глубины. Также грязевулканическая брекчия была бы погребена под слоем как голоценового диатомового ила, так и плейстоценовой алевролитистой глины, накопившихся в пелагической части озера, как это произошло на гребне кратера и внешнем склоне конуса грязевого вулкана. Кроме того, по данным гидрологов ЛИН СО РАН, в 2019 г. над вулканом «Новосибирск» наблюдалась разгрузка газа в виде факела на эхограмме (устное сообщение Макарова М.М.), а в районе вулкана отмечалась повышенная концентрация метана и его гомологов [Vidishcheva et al., 2021]. Таким образом, все это свидетельствует о выдавливании грязевулканической массы в центральной части жерла вулкана не позднее голоцена и продолжающихся сопутствующих процессах грязевого вулканизма (дегазация грязевулканического потока) в настоящее время.

Как было сказано ранее, на Байкале реализуется особый, байкальский тип грязевого вулканизма, который связан с разложением скоплений газовых гидратов на нижней границе их стабильности из-за подвода тепла по разломам, т.е. обусловленный тектонической и геотермической активностью района [Khlystov et al., 2019], поэтому вполне закономерно можно утверждать, что любая активизация грязевого вулканизма на Байкале является свидетельством активности зон тектонических нарушений Байкальской впадины на том или ином его участке. Оценочное время извержений грязевого вулкана «Новосибирск», наличие свежих каньонов и оползней около грязевого вулкана позволяют говорить о возможной активизации тектонических процессов и подъеме теплого флюида с глубинной части осадочного разреза к поверхности дна озера на одном из сегментов разлома Гидратный несколько десятков тысяч лет назад и в голоцене.

Подводящий канал и ответвления, немые записи в сейсмическом сигнале, конус и кратер в батиметрии дна, грязевулканическая брекчия, газонасыщенность и газовые гидраты в геологическом разрезе являются отдельными или групповыми элементами гидратоносных грязевых вулканов не только вдоль разлома Гидратный, но и вдоль остальных грязевулканических структур на дне Байкала [De Batist et al., 2002; Khlystov, 2006; Cuylaerts et al., 2012; Khlystov et al., 2019; Khabuev et al., 2020]. Таким образом, грязевой вулкан «Новосибирск», являясь по форме и строению аналогом морских грязевых вулканов и совмещая в себе все элементы грязевых вулканов озера, может быть опорной одиночной гидратоносной структурой грязевулканического типа для оз. Байкал.

5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Комплексные исследования грязевого вулкана «Новосибирск» подтвердили наличие в его строении большинства элементов, присущих морским грязевым вулканам. Он также обладает всеми элементами других байкальских грязевых вулканов, что позволяет считать его опорным гидратоносным грязевым вулканом оз. Байкал.

Совокупность геологических и дистанционных методов исследования грязевого вулкана «Новосибирск» позволила оценить время его извержений в позднем плейстоцене (около 30 и 50 тыс. лет назад), а также в голоцене. Находки грязевулканической брекчии практически на поверхности дна внутри кратера свидетельствуют о недавнем излиянии (активизации) в ходе поступления теплого флюида с глубин к корням вулкана по трещинам в зоне разлома Гидратный, согласно модели байкальского типа грязевого вулканизма.

Дальнейшее исследование и мониторинг морфологии и геологии всех гидратоносных грязевых вулканов Байкала являются важной задачей для возможной оценки тектонической и геотермической активности Байкальской впадины в прошлом и настоящем.

6. ЗАЯВЛЕННЫЙ ВКЛАД АВТОРОВ / CONTRIBUTION OF THE AUTHORS

Авторы внесли эквивалентный вклад в подготовку рукописи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией.

Both authors made an equivalent contribution to this article, read and approved the final manuscript.

7. РАСКРЫТИЕ ИНФОРМАЦИИ / DISCLOSURE

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов, связанного с этой рукописью.

Both authors declare that they have no conflicts of interest relevant to this manuscript.

8. ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

Aliyev A.I., 2006. Mud Volcanoes – Centers of Periodic Discharging of Fast Plunging Sedimentary Basins and Important Criteria of Gas Potential Prognosis of Large Depths. *Russian Oil and Gas Geology* 5, 26–32 (in Russian) [Алиев А.И. Грязевые вулканы – очаги периодической газогидродинамической разгрузки быстропогружающихся осадочных бассейнов и важные критерии прогноза газоносности больших глубин // Геология нефти и газа. 2006. № 5. С. 26–32].

Colman S.M., Jones G.A., Rubin M., King J.W., Peck J.A., Orem W.H., 1996. AMS Radiocarbon Analyses from Lake Baikal, Siberia: Challenges of Dating Sediments from a Large, Oligotrophic Lake. *Quaternary Science Reviews* 15 (7), 669–684. [https://doi.org/10.1016/0277-3791\(96\)00027-3](https://doi.org/10.1016/0277-3791(96)00027-3).

Cuylaerts M., Naudts L., Casier R., Khabuev A.V., Belousov O.V., Kononov E.E., Khlystov O.M., De Batist M., 2012. Distribution and Morphology of Mud Volcanoes and Other Fluid Flow-Related Lake-Bed Structures in Lake Baikal, Russia. *Geo-Marine Letters* 32, 383–394. <https://doi.org/10.1007/s00367-012-0291-1>.

De Batist M., Klerkx J., Van Rensbergen P., Vanneste M., Poort J., Golmshtok A., Kremlev A., Khlystov O., Krinitsky P., 2002. Active hydrate destabilization in Lake Baikal, Siberia? *Terra Nova* 14, 436–442. <https://doi.org/10.1046/j.1365-3121.2002.00449.x>.

Dimitrov L., 2002. Mud Volcanoes – The Most Important Pathway for Degassing Deeply Buried Sediments. *Earth-Science Reviews* 59 (1–4), 49–76. [https://doi.org/10.1016/S0012-8252\(02\)00069-7](https://doi.org/10.1016/S0012-8252(02)00069-7).

Khabuev A.V., Solovyeva M.A., Gubin N.A., Chensky A.G., Akhmanov G.G., Khlystov O.M., 2020. The Structure of the Mud Volcano Novosibirsk Based on the Results of Geological and Geophysical Studies. *Limnology and Freshwater Biology* 4, 922–923. <https://doi.org/10.31951/2658-3518-2020-A-4-922>.

Khlystov O.M., 2006. New Findings of Gas Hydrates in the Baikal Bottom Sediments. *Russian Geology and Geophysics* 47 (8), 972–974.

Khlystov O.M., 2019. Gas Hydrate Bearing Capacity and Tectonics of Central Baikal. In: *Marine Research and Education. Proceedings of the VII International Conference (November 19–22, 2018, Moscow)*. Vol. II (IV). PolyPRESS, Tver, p. 41–42 (in Russian) [Хлыстов О.М. Гидратоносность и тектоника средней котловины озера Байкал // Морские исследования и образование (MARESEDU-2018): Труды VII международной научно-практической конференции (19–22 ноября 2018 г., Москва). Тверь: ПолиПРЕСС, 2019. Т. II (IV). С. 41–42].

Khlystov O.M., De Batist M., Minami H., Hachikubo A., Khabuev A.V., Kazakov A.V., 2022. The Position of Gas Hydrates in the Sedimentary Strata and in the Geological Structure of Lake Baikal. In: J. Mienert, C. Berndt, A.M. Tréhu, A. Camerlenghi, C.-S. Liu (Eds), *World Atlas of Submarine Gas Hydrates in Continental Margins*. Springer, Cham, p. 465–471. https://doi.org/10.1007/978-3-030-81186-0_39.

Khlystov O.M., Poort J., Mazzini A., Akhmanov G.G., Minami H., Hachikubo A., Khabuev A.V., Kazakov A.V., De Batist M., Naudts L., Chensky A.G., Vorobeva S.S., 2019. Shallow-Rooted Mud Volcanism in Lake Baikal. *Marine and Petroleum Geology* 102, 580–589. <https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2019.01.005>.

Mazzini A., Etiope G., 2017. Mud Volcanism: An Updated Review. *Earth-Science Reviews* 168, 81–112. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2017.03.001>.

Milkov A.V., Sassen R., Apanasovich T.V., Dadashev F.G., 2003. Global Gas Flux from Mud Volcanoes: A Significant Source of Fossil Methane in the Atmosphere and the Ocean. *Geophysical Research Letters* 30 (2), 1037. <https://doi.org/10.1029/2002GL016358>.

Seminsky K.Zh., Cheremnykh A.S., Khlystov O.M., Akhmanov G.G., 2022. Fault Zones and Stress Fields in the Sedimentary Fill of Lake Baikal: Tectonophysical Approach for Seismic and Hydroacoustic Data Interpretation. *Russian Geology and Geophysics* 63 (7), 840–855. <https://doi.org/10.2113/RGG20204293>.

Solovyeva M.A., Akhmanov G.G., Mazzini A., Khabuev A.V., Khlystov O.M., 2020. The Gydratny Fault Zone of Lake Baikal. *Limnology and Freshwater Biology* 1, 368–373. <https://doi.org/10.31951/2658-3518-2020-A-1-368>.

Vidishcheva O.N., Akhmanov G.G., Solovyeva M.A., Mazzini A., Khlystov O.M., Egoshina E.D., Kudaev A.A., Korost D.V., Poludetkina E.N., Morozov N.V., Grigorev K.A., 2021. Hydrocarbon Gas Seepage along the Gydratny Fault (Lake Baikal). *Moscow University Geology Bulletin* 76, 353–365. <https://doi.org/10.3103/S0145875221040116>.