



Научная статья

УДК 551.78+552.57

<https://doi.org/10.21285/2686-9993-2021-44-3-285-292>



Находки углей Танхойского поля в донных отложениях Южного Байкала

Олег Михайлович Хлыстов^a, Андрей Владимирович Вайнер-Кротов^b,
Алексей Валерьевич Китаев^c, Татьяна Владимировна Погодаева^d

^{a,d}Лимнологический институт СО РАН, г. Иркутск, Россия

^bИркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск, Россия

^cБайкальский государственный заповедник, п. Танхой, Россия

Автор, ответственный за переписку: Хлыстов Олег Михайлович, khloleg45@yandex.ru

Резюме. Целью данного исследования было охарактеризовать первые находки угленосных глин и углей в донных отложениях Южного Байкала и провести их сопоставление с угленосными наземными отложениями Танхойского поля. Сравнительный анализ литологического состава и цвета донных отложений и наземных разрезов, а также содержание органического углерода и палинологический анализ позволили провести их корреляцию. На 900-метровой глубине озера авторами было обнаружено залегание угленосной толщи в *in situ* (st56), после чего проведена их стратиграфическая корреляция с наземной частью угленосной танхойской свиты. Обнаруженные обломки углей в донных отложениях практически по всей линии распространения Танхойского поля, особенно угли в коренном залегании на подводном склоне южной котловины на глубинах озера до 1300 м, доказывают распространение угленосной области танхойской свиты в подводной части озера на протяжении всего склона (5–15 км от берега) и подтверждают площадь распространения Танхойского палеозера на значительной области контура современного Южного Байкала. Находки угленосной толщи на этих, а также разных поддонных глубинах, то есть при различных условиях по давлению и температуре, позволяют предположить, что сами угли и угленосные аргиллиты могут являться объектом генерации вторично-микробного метана. Это необходимо учитывать при поисках скоплений газовых углеводородов и газовых гидратов, а также в оценках цикла метана в озере Байкал.

Ключевые слова: угли, метан, неогеновая танхойская свита, Южный Байкал

Финансирование: работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 19-17-00226 «Реконструкция механизмов формирования проблематичных аутигенных карбонатов в обстановках диагенеза и катагенеза, связанных с генерацией / окислением углеводородов».

Благодарности: авторы благодарны доктору географических наук Е. В. Безруковой и П. П. Летуновой за проведение палинологического анализа и определение споро-пыльцевых спектров.

Для цитирования: Хлыстов О. М., Вайнер-Кротов А. В., Китаев А. В., Погодаева Т. В. Находки углей Танхойского поля в донных отложениях Южного Байкала // Науки о Земле и недропользование. 2021. Т. 44. № 3. С. 285–292. <https://doi.org/10.21285/2686-9993-2021-44-3-285-292>.

Original article

Occurrence of Tankhoy field coals in South Baikal bottom sediments

Oleg M. Khlystov^a, Andrey V. Vainer-Krotov^b, Aleksey V. Kitaev^c, Tatiana V. Pogodaeva^d

^{a,d}Limnological Institute, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Irkutsk, Russia

^bIrkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia

^cBaikal State Nature Reserve, Tankhoy, Russia

Corresponding author: Oleg M. Khlystov, khloleg45@yandex.ru

Abstract. The purpose of the study is to describe the first finds of coal-bearing clays and coals in the bottom sediments of the southern basin of Lake Baikal and compare them with terrestrial coal-bearing deposits of the Tankhoy field. Comparative analysis of the lithological composition and colour of bottom sediments and terrestrial sections, as well as the concentration of organic carbon and conducted palynological analysis allowed their correlation. At the lake's depth of 900 m the



authors discovered a coal-bearing strata in situ (st 56), which later was stratigraphically correlated with the terrestrial coal-bearing part of the Tankhoy suite. The fragments of coal found in bottom sediments basically along the entire Tankhoy field, especially bedrock coals on the underwater slope in South Baikal up to 1300 m deep prove the distribution of the coal-bearing part of the Tankhoy suite in the sublacustrine part of the lake throughout the entire slope (from 5 to 10 km offshore) and confirm the distribution area of the Tankhoy paleolake over a significant area of the contour of modern southern basin of Lake Baikal. The finds of coal-bearing strata on these and other various sub-bottom depths, i.e. under various pressure and temperature conditions, suggest that coals themselves and coal-bearing mudstones may be a generation facility of secondary microbial methane. This should be taken into account when searching for gas hydrocarbon and gas hydrate accumulations as well as assessing methane cycles in Lake Baikal.

Keywords: coals, methane, Neogene Tankhoy suite, Southern Baikal

Funding: this work was supported by the Russian Science Foundation grant 19-17-00226 "Reconstruction of formation mechanisms of problematic authigenic carbonates in diagenesis and catagenesis settings associated with hydrocarbon generation / oxidation".

Acknowledgements: the authors thank Doctor of Geographical Sciences E. V. Bezrukova and P. P. Letunova for carrying out of the palynological analysis and determination of the spore/pollen spectra.

For citation: Khlystov O. M., Vainer-Krotov A. V., Kitaev A. V., Pogodaeva T. V. Occurrence of Tankhoy field coals in South Baikal bottom sediments. *Nauki o Zemle i nedropol'zovanie = Earth sciences and subsoil use*. 2021;44(3):285-292. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2686-9993-2021-44-3-285-292>.

Введение

Осадочные угленосные отложения Танхойского третичного поля прослеживаются на южном берегу Байкала вдоль подножия хребта Хамар-Дабан в междуречье Шанхаихи и Мысовки непрерывной полосой шириной до 8 км [1]. В последние годы в результате дополнительных биостратиграфических и литолого-фациальных исследований были уточнены строение и история развития этих отложений посредством детализации возрастных границ перестройки рельефа Прибайкалья от олигоцена до плиоцена [2–4].

Вдоль береговой полосы Южного Байкала известно несколько естественных обнажений угленосных толщ видимой мощностью в десятки метров. Они также подсечены скважинами до глубин 400 и более метров. Мощности угольных пластов колеблются от 0,6 до 7 м [1, 3].

Отложения достаточно хорошо изучены с биостратиграфической точки зрения. В работе И. М. Мащук и Н. И. Акулова [2] подробно охарактеризован один из опорных разрезов танхойской свиты по реке Осиновке – разрез Шахтерская горка, где в естественных обнажениях описаны слои угля мощностью до 2,5 м. Слои угля наклонены в сторону озера и перекрыты «голубыми» глинами. Цвет последних на контакте с углями меняется и переходит к черно-коричневым оттенкам. Угли в основном представлены витринитом. По палинологическим данным установлено,

что возраст танхойской свиты, содержащей эти угольные пласты, олигоцен-раннемиоценовый. Формирование свиты происходило в древнем Танхойском бассейне, в пределах которого преобладал озерно-болотный ландшафт. На возвышенных предгорных равнинах произрастали хвойно-широколиственные леса, состоящие из дуба (*Quercus*), бука (*Fagus*), вяза (*Ulmus*), падуба (*Ilex*). Примесью в этих лесах являлись сосна (*Pinus*), пихта (*Abies*), ель (*Picea*), кедр (*Cedrus*) и тсуга (*Tsuga*).

Другой опорный разрез, вскрытый при строительстве дороги в районе реки Мишихи, подробно описан в работе А. Аль-Хамуда с соавторами [4, 5]. В разрезе выделено шесть пачек, и определено время их формирования: 1) полифациальная, охристая (верхний эоцен, пыльца широколиственных пород); 2) «синих» глиен (верхний олигоцен, пыльца широколиственных пород); 3) алевроитовая с прослоями бурого угля (нижний миоцен, пыльца темнохвойных и широколиственных пород); 4) песчано-алевритовая с фрагментами «синих» глиен (средний – верхний миоцен, пыльца светлохвойных сосново-лиственничных и темнохвойных лесов с хорошо развитым травянокустарниковым подлеском); 5) песчаная; 6) валунно-галечная (квартер, споры и пыльца растительности, близкой к современной). Третья пачка отнесена к танхойской свите, четвертая – к осиновской.

Общая мощность неогеновых отложений танхойской свиты на суше достигает несколь-



ких сотен метров. Предполагается также подводное продолжение отложений, которое оценивается в подводной части озера до 1,5 км [6, 7]. Однако до сих пор вещественных доказательств распространения танхойской свиты под водами озера на восточном склоне и абиссальной равнине Южного Байкала не было. Исключение составляет визуальное наблюдение с глубоководных аппаратов «Мир» углей в склоне подводной возвышенности Муринская банка на глубине 850 м [8].

Известно, что на дне озера Байкал присутствуют скопления углеводородов в виде нефти, газа и газовых гидратов [9–11]. Чаще всего это метан. В газовых гидратах он отличается аномальным разнообразием изотопного состава углерода (от -20 до -70 ‰), что ставит вопрос об источниках или объектах его генерации [12–14]. Если для средней котловины озера наличие на дне природных нефтепроявлений может дать ответ на этот вопрос, то для Южного Байкала вопрос остается открытым. Недавно в одном из грязевых вулканов южного Байкала (Кедр) был обнаружен вторично-микробный метан. Авторы предполагают, что его образование связано с присутствием в нижележащем разрезе отложений угленосной неогеновой танхойской свиты, которая и может быть одним из генераторов такого аномального метана в газовых гидратах. Подобное явление, при котором угли могут быть источником такого метана, обнаружено в одном из гидратоносных районов возвышенности Элберт (Аляска, США) [14, 15]. Тем не менее вещественных доказательств распространения танхойской свиты под водами Южного Байкала не было, как и доказательств наличия угленосной толщи на поддонных глубинах, где по температурному режиму (50–70 °С) может генерироваться подобный метан [16]. Для Южного Байкала это глубины от сотен метров до двух километров ниже дна озера.

Таким образом, целью данной работы стал поиск вещественных доказательств распространения угленосной части танхойской свиты в подводной части озера посредством характеристики первых находок угленосных глин и углей в донных отложениях Южного Байкала.

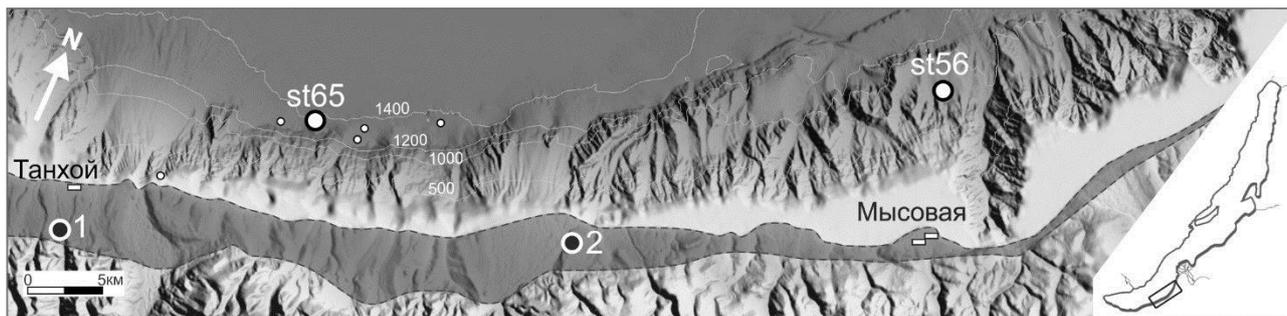
Материалы и методы исследования

Объектом исследования являлось пространственное распределение находок угля танхойской свиты на различных глубинах в первых метрах донных отложений южного склона одноименной котловины озера Байкал. Методика исследования заключалась в анализе цифровой модели рельефа дна, построенной по высокоразрешающим батиметрическим данным и данным дистанционного зондирования суши, поиске положительных форм и их геологическом опробовании гравитационными трубами диаметром 127 мм и длиной до 5 м (аналог однорейсового ударно-канатного бурения). Работы проводились на участке подводного склона и абиссальной равнины на траверзах между станциями Танхой и Мысовая. Всего было отобрано семь кернов, в которых встречены образцы углей (рисунок).

Палинологический анализ и определение содержания органического углерода производились по стандартным методикам, приведенным в публикациях [17, 18]. Образцы проходили предварительную пробоподготовку. Для палинологического анализа определялся количественный и качественный состав споро-пыльцевых спектров на микроскопе. Для содержания органического углерода использовался метод каталитического высокотемпературного окисления образца при 950 °С с последующим определением углекислого газа с помощью инфракрасного детектора на высокотемпературном анализаторе углерода Vario TOC Cube.

Результаты исследования и их обсуждение

Первоначально геологическое опробование велось с целью открытия новых гидратоносных подводных структур разного размера (гидратных холмов или грязевых вулканов). Но в ряде кернов были вскрыты слои с угловатыми обломками угля размерами до нескольких сантиметров в поперечном сечении. Угли были темно-серые, черные матовые с тончайшими пропластками блестящего угля. Обломки углей были встречены в кернах как в турбидитовых слоях на склоне и границе



Цифровая модель рельефа части Южного Байкала

Серой заливкой показана площадь распространения угленосных отложений на суше;
черные круги с белой окантовкой – места обнажений углей танхойской свиты на суше:

1 – Шахтерская горка, 2 – Мишиха;

белые круги с черной окантовкой – керны с обломками угля на склоне;

st65 и st56 – керны на подводных возвышенностях

Digital elevation model of a part in the southern basin of Lake Baikal

Grey tint shows the distribution area of coal-bearing deposits on land;

black circles with white edging indicate sites of Tankhoy suite coal outcrops on land:

1 – Shakhtyorskaya gorka, 2 – Mishikha;

white circles with black edging indicate cores with coal fragments on slope;

st65 and st56 are the cores on sublacustrine elevations

с абиссальной равниной (глубина до 1400 м) на небольших буграх высотой менее 5 м, так и на подводных возвышенностях высотой более 10 м на глубинах 1300 м (st65) и 900 м (st56). В керне st65 они лежали в перемешанном слое, состоящем из мелких (от 1 до 5 мм) обломков плотной «голубой» глины в матрице из вязкой серой глины с примесью песка. Мощность слоя составила 5 см. Этот слой был перекрыт слоистыми серыми глинами и оливково-серым диатомовым илом. Возможно, этот слой является дистальной частью грязевулканического потока. В керне st56 был вскрыт разрез, в котором на слое угля залежали прослойки углистых и алевролитистых глин темно-коричневого, темно-серого цветов. Выше них располагались «голубые» глины, которые перекрывались серыми алевролитистыми глинами и метровым слоем оливково-серого диатомового ила. Такое положение и сочетание углей и глин говорит об их залегании *in situ*. Подобное чередование отмечается и нами, и другими исследователями на обнажении Шахтерская горка [2]. Трубка пробоотборника не смогла пробить весь слой угля, но, судя по другим кернам этого района, плотные «голубые» глины распространены по всей возвышенности и под углями стоит также ожидать наличие подобных глин.

В темно-коричневых глинах на обнажении Шахтерская горка и керне st56 определено

содержание органического углерода. Оно составило 5,91 и 4,01 % соответственно. Стоит отметить, что в обычных глинах Южного Байкала этот показатель колеблется в интервале 0,33–0,53 % [19].

Дополнительно для стратиграфической привязки угленосных аргиллитов и «голубых» глин керна st56 был выполнен палинологический анализ, который показал, что область осадконакопления представляла собой болотисто-озерный ландшафт, где присутствовали березово-еловые редколесья, ольховниковые группировки, сосна и кедр сибирский. Обнаружены зерна пыльцы теплолюбивых древесных растений: тсуги (*Tsuga*), липы (*Tilia*), дуба (*Quercus*), ильмы (*Ulmus*).

Таким образом, литологический состав и присутствие внешне схожих углей, цвет глин, содержание органического углерода, близкий состав пыльцы сухопутных и подводных обнажений является косвенным доказательством одновозрастности наземных разрезов и нижней части керна st56, эта часть может быть отнесена к неогеновой угленосной части отложений Танхойского поля (танхойская и осиновская свиты).

О распространении угленосных толщ Танхойского поля подробно говорилось во введении к работам [1–4]. В последнее время возможное наличие углей под толщей донных отложений стало объектом исследования для



понимания их участия в генезисе вторично-микробного метана и углеводородогенерации в целом на Южном Байкале [13]. Однако находок коренного залегания глин и углей танхойской свиты в глубоководной части озера (кроме склона Муринской банки (850 м)) обнаружено не было. Отобранные нами обломки углей в донных отложениях на траверзе от станции Танхой до Мысовой (практически по всей линии распространения Танхойского поля), а особенно угли в коренном залегании на подводном склоне южной котловины (на глубинах до 1300 м ниже уровня озера), доказывают распространение угленосной части Танхойского поля (отложения танхойской свиты) в подводной части озера на протяжении всего склона (5–15 км от берега) и подтверждают площадь распространения Танхойского палеоозера как значительную часть современного Южного Байкала [20].

Столь разнообразное расположение находок угленосной толщи (или ее следов) по глубине озера (до 1300 м) и поддонной глубине (1 м – ~1 км) позволяет предположить, что сами угли и угленосные аргиллиты могут находиться в различных условиях по давлению и температуре и являться субстратом для генерации дополнительных газообразных угле-

водородов, что подтверждено находками вторично-микробного метана на одном из грязевых вулканов Южного Байкала – вулкане Кедр [13]. Сами же угленосные толщи (угли и «голубые» глины) могут попадать в зону корней грязевого вулканизма в Южном Байкале и быть частью грязевулканической брекчии, выброшенной на поверхность дна озера.

Заключение

По литологическим, геохимическим, палинологическим данным и общему строению вскрытый подводный разрез с угольным пластом относится к верхней части танхойской свиты и является неглубокозалегающим коренным выходом данной свиты, перекрытым метровым голоценовым слоем диатомового ила. Столь неглубокое залегание угленосных древних отложений под дном наряду с глубинным их распространением важно для поиска углей в грязевулканической брекчии грязевых вулканов этой части озера, их необходимо учитывать и при поисках скоплений метана и газовых гидратов. Угли и угленосные аргиллиты могут являться объектом генерации вторично-микробного метана, что также необходимо учитывать в оценках цикла метана в озере Байкал.

Список источников

1. Литология третичных отложений юго-западной части Байкальской рифтовой зоны / отв. ред. Н. А. Логачев. М.: Наука, 1972. 120 с.
2. Машук И. М., Акулов Н. И. Олигоценные отложения байкальской рифтовой впадины // Геология и геофизика. 2012. Т. 53. № 4. С. 461–475.
3. Рассказов С. В., Лямина Н. А., Лузина И. В., Черняева Г. П., Чувашова И. С., Усольцева М. В. Отложения Танхойского третичного поля, Южно-Байкальская впадина: стратиграфия, корреляции и структурные перестройки в Байкальском регионе // Геодинамика и тектонофизика. 2014. Т. 5. № 4. С. 993–1032. <https://doi.org/10.5800/GT-2014-5-4-0165>.
4. Аль Хамуд А., Рассказов С. В., Чувашова И. С., Трегуб Т. Ф., Волков М. А., Кулагина Н. В. [и др.]. Временные вариации состава кайнозойских отложений на Танхойской тектонической ступени Южного Байкала // Известия Иркутского государственного университета. Серия «Науки о Земле». 2019. Т. 30. С. 108–129. <https://doi.org/10.26516/2073-3402.2019.30.108>.
5. Аль Хамуд А., Рассказов С. В., Чувашова И. С., Трегуб Т. Ф., Рубцова М. Н., Коломиец В. Л. [и др.]. Опрокинутая эоцен-нижнеплиоценовая аллювиальная толща на южном берегу оз. Байкал и ее неотектоническое значение // Геодинамика и тектонофизика. 2021. Т. 12. № 1. С. 139–156. <https://doi.org/10.5800/GT-2021-12-1-0518>.
6. Hutchinson D. R., Golmshtok A. Y., Zonenshain L. P., Moore T. C., Scholz C. A., Klitgord K. D. Depositional and tectonic framework of the rift basins of Lake Baikal from multichannel seismic data // Geology. 1992. Vol. 20. Iss. 7. P. 589–592. [https://doi.org/10.1130/0091-7613\(1992\)020<0589:DATFOT>2.3.CO;2](https://doi.org/10.1130/0091-7613(1992)020<0589:DATFOT>2.3.CO;2).
7. Мац В. Д., Уфимцев Г. Ф., Мандельбаум М. М., Алакшин А. М., Поспеев А. В., Шимараев М. Н. [и др.]. Кайнозой Байкальской рифтовой впадины: строение и геологическая история. Новосибирск: Гео, 2001. 249 с.
8. Хлыстов О. М., Кононов Е. Е., Минами Х., Казаков А. В., Хабуев А. В., Губин Н. А. [и др.]. О рельефе и генезисе подводной возвышенности Муринская банка (Южный Байкал) // География и природные ресурсы. 2016. № 5. С. 109–116. [https://doi.org/10.21782/GIPR0206-1619-2016-5\(109-116\)](https://doi.org/10.21782/GIPR0206-1619-2016-5(109-116)).
9. Khlystov O. M., De Batist M., Shoji H., Hachikubo A., Nishio S., Naudts N., et al. Gas hydrate of Lake Baikal: discovery and varieties // Journal of Asian Earth Sciences. 2013. Vol. 62. P. 162–166. <https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2012.03.009>.



10. Конторович А. Э., Каширцев В. А., Москвин В. И., Бурштейн Л. М., Земская Т. И., Костырева Е. А. [и др.]. Нефтегазоносность отложений озера Байкал // Геология и геофизика. 2007. Т. 48. № 12. С. 1346–1356.

11. Khlystov O. M., Khabuev A. V., Minami H., Hachikubo A., Krylov A. A. Gas hydrates in Lake Baikal // *Limnology and Freshwater Biology*. 2018. Vol. 1. P. 66–70. <https://doi.org/10.31951/2658-3518-2018-A-1-66>.

12. Калмычков Г. В., Покровский Б. Г., Хачикубо А., Хлыстов О. М. Геохимические характеристики метана из осадков подводной возвышенности Посольская банка (озеро Байкал) // Литология и полезные ископаемые. 2017. № 2. С. 121–129. <https://doi.org/10.7868/S0024497X17020057>.

13. Hachikubo A., Minami H., Yamashita S., Khabuev A., Krylov A., Kalmychkov G. [et al.]. Characteristics of hydrate-bound gas retrieved at the Kedr mud volcano (southern Lake Baikal) // *Scientific Reports*. 2020. Vol. 10. P. 14747. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-71410-2>.

14. Калмычков Г. В., Егоров А. В., Хачикубо А., Хлыстов О. М. Углеводородные газы подводного нефтегазового проявления Горевой утес (оз. Байкал, Россия) // Геология и геофизика. 2019. Т. 60. № 10. С. 1488–1495. <https://doi.org/10.15372/GiG2019110>.

15. Lorenson T. D., Collett T. S., Hunter R. B. Gas geochemistry of the Mount Elbert Gas Hydrate Stratigraphic Test Well, Alaska North Slope: implications for gas hydrate

exploration in the Arctic // *Marine and Petroleum Geology*. 2011. Vol. 28. Iss. 2. P. 343–360. <https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2010.02.007>.

16. Milkov A. V. Worldwide distribution and significance of secondary microbial methane formed during petroleum biodegradation in conventional reservoirs // *Organic Geochemistry*. 2011. Vol. 42. Iss. 2. P. 184–207. <https://doi.org/10.1016/j.orggeochem.2010.12.003>.

17. Безрукова Е. В., Тарасов П. Е., Кулагина Н. В., Абзаева А. А., Летунова П. П., Кострова С. С. Палинологическое исследование донных отложений озера Котокель (район озера Байкал) // Геология и геофизика. 2011. Т. 52. № 4. С. 586–595.

18. Погодаева Т. В., Ходжер Т. В., Жученко Н. А., Григорьев М. Н., Панов В. С., Максимов Г. Т. Поступление органического вещества в залив Буор-Хая (море Лаптевых) // Геология и геофизика. 2017. Т. 58. № 5. С. 739–752. <https://doi.org/10.15372/GiG20170505>.

19. Выхристюк Л. А. Органическое вещество донных осадков Байкала. Новосибирск: Наука, 1980. 80 с.

20. Хлыстов О. М., Кононов Е. Е., Минами Х., Казаков А. В., Хабуйев А. В., Губин Н. А. [и др.]. Новые данные о рельефе подводного южного склона Южно-Байкальской котловины // География и природные ресурсы. 2018. № 1. С. 59–65. [https://doi.org/10.21782/GIPR0206-1619-2018-1\(59-65\)](https://doi.org/10.21782/GIPR0206-1619-2018-1(59-65)).

References

1. Logachev N. A. *Lithology of Tertiary sediments in the south-western part of the Baikal rift zone*. Moscow: Nauka; 1972. 120 p. (In Russ).

2. Mashchuk I. M., Akulov N. I. Oligocene deposits of the Baikal Rift Valley. *Geologiya i geofizika*. 2012;53(4):461-475. (In Russ).

3. Rasskazov S. V., Lyamina N. A., Luzina I. V., Chernyaeva G. P., Chuvashova I. S., Usoltseva M. V. Sediments in the tertiary Tankhoi field, South Baikal basin: stratigraphy, correlation and structural transformations in the Baikal region. *Geodinamika i tektonofizika = Geodynamics & Tectonophysics*. 2014;5(4):993–1032. (In Russ.). <https://doi.org/10.5800/GT-2014-5-4-0165>.

4. Al Hamoud A., Rasskazov S. V., Chuvashova I. S., Tregub T. F., Volkov M. An., Kulagina N. V., et al. Temporal compositional variations of Cenozoic sediments on the Tankhoi tectonic step, the Southern Baikal. *Izvestiya Irkutskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya "Nauki o Zemle" = Bulletin of Irkutsk State University. Series "Earth Sciences"*. 2019;30:108-129. (In Russ.). <https://doi.org/10.26516/2073-3402.2019.30.108>.

5. Al Hamoud A., Rasskazov S. V., Chuvashova I. S., Tregub T. F., Rubtsova M. N., Kolomiyets V. L., et al. Overturned Eocene – Lower Pliocene alluvial stratum on the southern coast of Lake Baikal and its neotectonic significance. *Geodinamika i tektonofizika = Geodynamics & Tectonophysics*. 2021;12(1):139-156. (In Russ.). <https://doi.org/10.5800/GT-2021-12-1-0518>.

6. Hutchinson D. R., Golmshtok A. Y., Zonenshain L. P., Moore T. C., Scholz C. A., Klitgord K. D. Depositional

and tectonic framework of the rift basins of Lake Baikal from multichannel seismic data. *Geology*. 1992;20(7):589-592. (In Russ.). [https://doi.org/10.1130/0091-7613\(1992\)020<0589:DATFOT>2.3.CO;2](https://doi.org/10.1130/0091-7613(1992)020<0589:DATFOT>2.3.CO;2).

7. Mats V. D., Ufimtsev G. F., Mandel'baum M. M., Alakshin A. M., Pospeev A. V., Shimaraev M. N., et al. *The Baikal basin in the Cenozoic: structure and geologic history*. Novosibirsk: Geo; 2001. 249 p. (In Russ).

8. Khlystov O. M., Kononov E. E., Minami H., Kazakov A. V., Khabuev A. V., Gubin N. A., et al. Topography and genesis of the Murinskaya Banka underwater upland (Southern Baikal). *Geografiya i prirodnye resursy*. 2016;5:109-116. (In Russ.). [https://doi.org/10.21782/GIPR0206-1619-2016-5\(109-116\)](https://doi.org/10.21782/GIPR0206-1619-2016-5(109-116)).

9. Khlystov O. M., De Batist M., Shoji H., Hachikubo A., Nishio S., Naudts N., et al. Gas hydrate of Lake Baikal: discovery and varieties. *Journal of Asian Earth Sciences*. 2013; 62:162-166. <https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2012.03.009>.

10. Kontorovich A. E., Kashirtsev V. A., Moskvin V. I., Burshtein L. M., Zemskaya T. I., Kostyrev E. A., et al. Petroleum potential of Baikal deposits. *Geologiya i geofizika*. 2007;48(12):1346-1356. (In Russ).

11. Khlystov O. M., Khabuev A. V., Minami H., Hachikubo A., Krylov A. A. Gas hydrates in Lake Baikal. *Limnology and Freshwater Biology*. 2018;1:66-70. <https://doi.org/10.31951/2658-3518-2018-A-1-66>.

12. Kalmychkov G. V., Pokrovsky B. G., Hachikubo A., Khlystov O. M. Geochemical characteristics of methane from sediments of the underwater high Posolskaya Bank (Lake Baikal). *Litologiya i poleznye iskopaemye*.



2017;2:121–129. (In Russ). <https://doi.org/10.7868/S0024497X17020057>.

13. Hachikubo A., Minami H., Yamashita S., Khabuev A., Krylov A., Kalmychkov G., et al. Characteristics of hydrate-bound gas retrieved at the Kedr mud volcano (southern Lake Baikal). *Scientific Reports*. 2020;10:14747. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-71410-2>.

14. Kalmychkov G. V., Egorov A. V., Hachikubo A., Khlystov O. M. Hydrocarbon gases of the Gorevoi Utes underwater oil-gas seep (Lake Baikal, Russia). *Geologiya i geofizika*. 2019;60(10):1488-1495. (In Russ). <https://doi.org/10.15372/GiG2019110>.

15. Lorenson T. D., Collett T. S., Hunter R. B. Gas geochemistry of the Mount Elbert Gas Hydrate Stratigraphic Test Well, Alaska North Slope: implications for gas hydrate exploration in the Arctic. *Marine and Petroleum Geology*. 2011;28(2):343-360. <https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2010.02.007>.

16. Milkov A. V. Worldwide distribution and significance of secondary microbial methane formed during petroleum biodegradation in conventional reservoirs. *Organic*

Geochemistry. 2011;42(2):184-207. <https://doi.org/10.1016/j.orggeochem.2010.12.003>.

17. Bezrukova E. V., Tarasov P. E., Kulagina N. V., Abzaeva A. A., Letunova P. P., Kostrova S. S. Palynological study of Lake Kotokel' bottom sediments (Lake Baikal region). *Geologiya i geofizika*. 2011;52(4):586-595. (In Russ).

18. Pogodaeva T. V., Khodzher T. V., Zhuchenko N. A., Grigoriev M. N., Panov V. S., Maksimov G. T. Input of organic matter to the Buor-Khaya Gulf (Laptev Sea). *Geologiya i geofizika*. 2017;58(5):739-752. (In Russ). <https://doi.org/10.15372/GiG20170505>.

19. Vykhristyuk L. A. *Organic matter of Lake Baikal bottom sediments*. Novosibirsk: Nauka; 1980. 80 p. (In Russ.).

20. Khlystov O. M., Kononov E. E., Minami H., Kazakov A. V., Khabuev A. V., Gubin N. A., et al. New evidence on the relief of the southern underwater slope in the South Baikal basin. *Geografiya i prirodnye resursy*. 2018;1:59-65. (In Russ.). [https://doi.org/10.21782/GIPR0206-1619-2018-1\(59-65\)](https://doi.org/10.21782/GIPR0206-1619-2018-1(59-65)).

Информация об авторах / Information about the authors



Хлыстов Олег Михайлович,
 заведующий Лабораторией геологии озера Байкал,
 старший научный сотрудник,
 Лимнологический институт СО РАН,
 г. Иркутск, Россия,
khloleg45@yandex.ru,
<https://orcid.org/0000-0002-6128-708x>.

Oleg M. Khlystov,
 Head of the Laboratory of Lake Baikal Geology,
 Senior Researcher,
 Limnological Institute, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences,
 Irkutsk, Russia,
khloleg45@yandex.ru,
<https://orcid.org/0000-0002-6128-708x>.



Вайнер-Кротов Андрей Владимирович,
 старший преподаватель кафедры физической культуры,
 Иркутский национальный исследовательский технический университет,
 г. Иркутск, Россия,
vainierkrotov@mail.ru.

Andrey V. Vainer-Krotov,
 Senior Lecturer of the Department of Physical Education,
 Irkutsk National Research Technical University,
 Irkutsk, Russia,
vainierkrotov@mail.ru.



Китаев Алексей Валерьевич,
 начальник научного отдела,
 Байкальский государственный заповедник,
 п. Танхой, Россия,
kitav1986@mail.ru.

Aleksey V. Kitaev,
 Head of the Science Division,
 Baikal State Nature Reserve,
 Tankhoy, Russia,
kitav1986@mail.ru.



Погодаева Татьяна Владимировна,
кандидат геолого-минералогических наук,
старший научный сотрудник Лаборатории гидрохимии и химии атмосферы,
Лимнологический институт СО РАН,
г. Иркутск, Россия,
tatyana@lin.irk.ru,
<https://orcid.org/0000-0002-4596-671X>.

Tatiana V. Pogodaeva,
Cand. Sci. (Geol. & Mineral.),
Senior Researcher of the Laboratory of Hydrochemistry and Atmospheric Chemistry,
Limnological Institute, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences,
Irkutsk, Russia,
tatyana@lin.irk.ru,
<https://orcid.org/0000-0002-4596-671X>.

Вклад авторов / Contribution of the authors

Хлыстов О. М., Вайнер-Кротов А. В., Китаев А. В. собрали полевой материал, совместно с Погодаевой Т. В. проанализировали его и подготовили публикацию.

Khlystov O. M., Vainer-Krotov A. V., Kitaev A. V. collected field material and together with Pogodaeva T. V. analyzed it and prepared the publication.

Конфликт интересов / Conflict of interests

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
The authors declare no conflicts of interests.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.
The final manuscript has been read and approved by all the co-authors.

Информация о статье / Information about the article

Статья поступила в редакцию 13.04.2021; одобрена после рецензирования 15.07.2021; принята к публикации 19.08.2021.

The article was submitted 13.04.2021; approved after reviewing 15.07.2021; accepted for publication 19.08.2021.