УДК 551.462, 551.87:(282.256.341) DOI: 10.21782/GIPR0206-1619-2019-1(60-69)

Е.Е. КОНОНОВ*,, О.М. ХЛЫСТОВ*, Х. МИНАМИ***, А.В. КАЗАКОВ*,**, А.Г. ЧЕНСКИЙ****, Л. НАУДТС*****

*Лимнологический институт СО РАН,
664033, Иркутск, ул. Улан-Баторская, 3, Россия, ekon@7395.ru, oleg@lin.irk.ru, kazakov.gis@gmail.com
**Институт географии им. В.Б. Сочавы СО РАН,
664033, Иркутск, ул. Улан-Баторская, 1, Россия, ekon@7395.ru, kazakov.gis@gmail.com
***Технологический институт, г. Китами, Япония,
165 Koen-cho Китами, 090-8507, Хоккайдо, Япония, minamihr@mail.kitami-it.ac.jp
****Иркутский национальный исследовательский технический университет,
664074, Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия, chens-01@yandex.ru
*****Королевский бельгийский институт естественных наук,
г. Остенде, B-8400, Линиерегиментсплейн, 3-23, Бельгия, Lieven.Naudts@naturalsciences.be

КАНЬОНЫ ВОСТОЧНОГО БЕРЕГА ЮЖНОГО БАЙКАЛА: МОРФОЛОГИЯ И ГЕНЕЗИС

Изложена новая информация о каньонах и других морфологических особенностях подводного склона восточного берега южной котловины оз. Байкал, полученная в ходе высокоразрешающих батиметрических съемок дна с помощью многолучевых эхолотов ELACSeaBeam 1050 и Konengsberg EM710S. На базе сформированного массива батиметрических данных построена цифровая модель рельефа, для работы с которой использовалась связка сразу из нескольких программных продуктов, отвечающих за различные задачи. Путем анализа цифровой модели рельефа установлено, что ведущую первичную роль при создании основных, наиболее заметных, форм рельефа подводного склона играли тектонические процессы, благодаря которым образовалась грабенообразная впадина южнее Посольской банки, были сформированы тектогенные уступы у подошвы южного склона впадины и каньонообразные долины вдоль всего побережья. Определено, что необычное направление Посольского каньона поперек берегового склона и относительно небольшие размеры конуса выноса этого каньона объясняются историей тектонического развития данного участка береговой полосы: долина каньона в прошлом огибала с юго-востока свал глубин палеодельты р. Селенги и после формирования более молодой грабенообразной впадины сохранила древнее направление своего русла. Предположено, что тектонические опускания дна котловины инициировали подводно-эрозионные процессы. Это в конечном итоге привело к разрушению и размыву древних геоморфологических поверхностей и формированию грядово-ложбинного рельефа, долин каньонов, которые в настоящее время находятся на разных стадиях развития. Второстепенную, но заметную роль в рельефе склона играют оползневые формы, созданные в результате палеосейсмодислокаций, что, несомненно, усложнило геоморфологическую поверхность. Выдвинуто предположение, что созданные деятельностью каньонов конусы выносов, древние русла каньонов, оползневые тела могут быть перспективны для поиска гидратоносных структур в этой части озера.

Ключевые слова: *тектоника, подводный рельеф, картирование, геоморфология, палеореконструкции.*

E.E. KONONOV*,, O.M. KHLYSTOV*, H. MINAMI***, A.V. KAZAKOV*,**, A.G. CHENSKII****, L. NAUDTS*****

*Limnological Institute, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences,
664033, Irkutsk, ul. Ulan-Batorskaya, 3, Russia, ekon@7395.ru, oleg@lin.irk.ru, kazakov.gis@gmail.com
**V.B. Sochava Institute of Geography, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences,
664033, Irkutsk, ul. Ulan-Batorskaya, 1, Russia, ekon@7395.ru, kazakov.gis@gmail.com
***Kitami Institute of Technology, 165 Koen-cho Kitami, 090-8507 Hokkaido, Japan,
minamihr@mail.kitami-it.ac.jp
****Irkutsk National Research Technical University,
664074, Irkutsk, ul. Lermontova, 83, Russia, chens-01@yandex.ru
*****Royal Belgian Institute of Natural Sciences, Ostende, B-8400, 3de en 23ste Linieregimentsplein,
Belgium, Lieven.Naudts@naturalsciences.be

CANYONS OF THE EASTERN SHORE OF SOUTHERN BAIKAL: MORPHOLOGY AND GENESIS

We present new data on canyons and other morphological features of the underwater slope on the eastern coast of the southern basin of Lake Baikal obtained during high-resolution bathymetric surveys of the bottom using multibeam echosounders ELACSeaBeam 1050 and Konengsberg EM710S. Based on the array of bathymetric data generated, we have constructed a *digital elevation model for which we used at once several software products responsible for individual tasks. Analysis of the digital elevation model has indicated that tectonic processes played the leading role in the creation of the main, most noticeable forms of relief on the underwater slope. These processes formed a graben-like depression to the south of the Posol'skaya Bank and tectogenic scarps at the foot of the southern slope of the depression as well as canyon-shaped valleys along the entire coast. We have determined that the unusual direction of the Posol'skii canyon across the coastal slope and the relatively small size of the fan in this canyon are due to the history of the tectonic development of this part of the shoreline: in the past, the canyon valley skirted the continental slope of the Selenga river paleodelta from the southeast, and after the formation of a younger graben-like depression it preserved the old direction of its channel. We have suggested that underwater erosion processes initiated tectonic lowering of the floor of the basin. Ultimately, this resulted in the destruction and erosion of the ancient geomorphological surfaces and formation of the ridge and hollow relief and canyon valleys that are currently at different stages of development. Landslide forms resulting from paleoseismic dislocations play a secondary, yet a significant role in the relief of the slope, which undoubtedly complicated the geomorphological surface. It is assumed that the fans created by the activities of the canyons, the ancient channels of canyons and landslide bodies may be promising for the search for hydrate-bearing structures in this part of the lake.*

Keywords: *tectonics, underwater relief, mapping, geomorphology, paleoreconstructions.*

ВВЕДЕНИЕ

История батиметрических исследований оз. Байкал началась еще в XVIII в. [1]. В конце XIX, а затем на протяжении всего XX в. неоднократно проводились работы с целью создания батиметрических карт донной поверхности различных участков озерной котловины, где были отмечены некоторые особенности рельефа донной поверхности и впервые выделены крупные подводные каньоны [2–9]. В 1999–2002 гг. была создана первая цифровая батиметрическая карта всего оз. Байкал [10]. Мощный качественный толчок изучению донной поверхности озера дали международные исследования с использованием высокоточной геофизической аппаратуры, которые во многом изменили и чрезвычайно расширили представления о донном рельефе озера, позволили реконструировать процессы рельефообразования [11, 12]. В частности, было установлено, что формирование Муринской банки у южного побережья водоема связано с поднятиями бортов Байкальской впадины и опусканиями ее дна во время Тыйской тектонической фазы, начавшейся около 0,15 млн л. н. [13]. Образование Муринского каньона, моделирующего восточный склон банки, также спровоцировано тектоническими поднятиями. Батиметрические исследования в районе авандельты р. Селенги и данные по особенностям осадконакопления Посольской банки и Кукуйской гривы позволили сделать вывод о том, что они являются останцами когда-то единой древней дельтовой системы, которая в результате совместной деятельности тектонических и подводных эрозионных процессов была сильно преобразована. В конечном итоге Посольская банка и Кукуйская грива стали автономными структурами, не связанными с современным дельтовым процессом.

В данной статье представлены результаты интерпретации материалов батиметрических работ, проведенных в 2009 и 2015–2017 гг. на участке подводного склона, простирающегося от южной оконечности Посольской банки до района устья р. Мысовки (рис. 1). Главной целью наших исследований было установление на основе изучения морфологических особенностей данной поверхности механизмов образования и истории развития широко распространенных здесь каньонов и каньонообразных долин.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Изучение геолого-геоморфологических особенностей донного рельефа восточного склона южной котловины Байкала в 2009 г. было проведено с использованием многолучевого эхолота ELACSeaBeam 1050, а в 2015 г. — с помощью высокоразрешающего многолучевого эхолота Konengsberg EM710S [11, 12]. Полученный массив батиметрических данных обрабатывался с целью создания высокоточной гидрологически корректной цифровой модели рельефа (ЦМР), объединяющей в себе дно и побережье оз. Байкал. Для построения рельефа побережья применена открытая новейшая глобальная цифровая модель рельефа World 3D TopographicData (AW3D) компаний NTT DATA и RESTEC. До моделирования единой поверхности проводилась предварительная обработка каждой позиции из набора батиметрических и топографических данных по отдельности, направленная на удаление грубых ошибок и артефактов, улучшение аппроксимации рельефа, приведение данных систем высот к единому уровню озера [14, 15].

В качестве геоинформационной среды, позволяющей полноценно решать любые пространственные задачи, хранить и систематизировать большие массивы данных, а также обладать полноценным модулем для работы с ЦМР, использовалась связка сразу из нескольких программных продуктов, отвечающих за различные задачи. В качестве главной ГИС выбран программно-геоинформационный

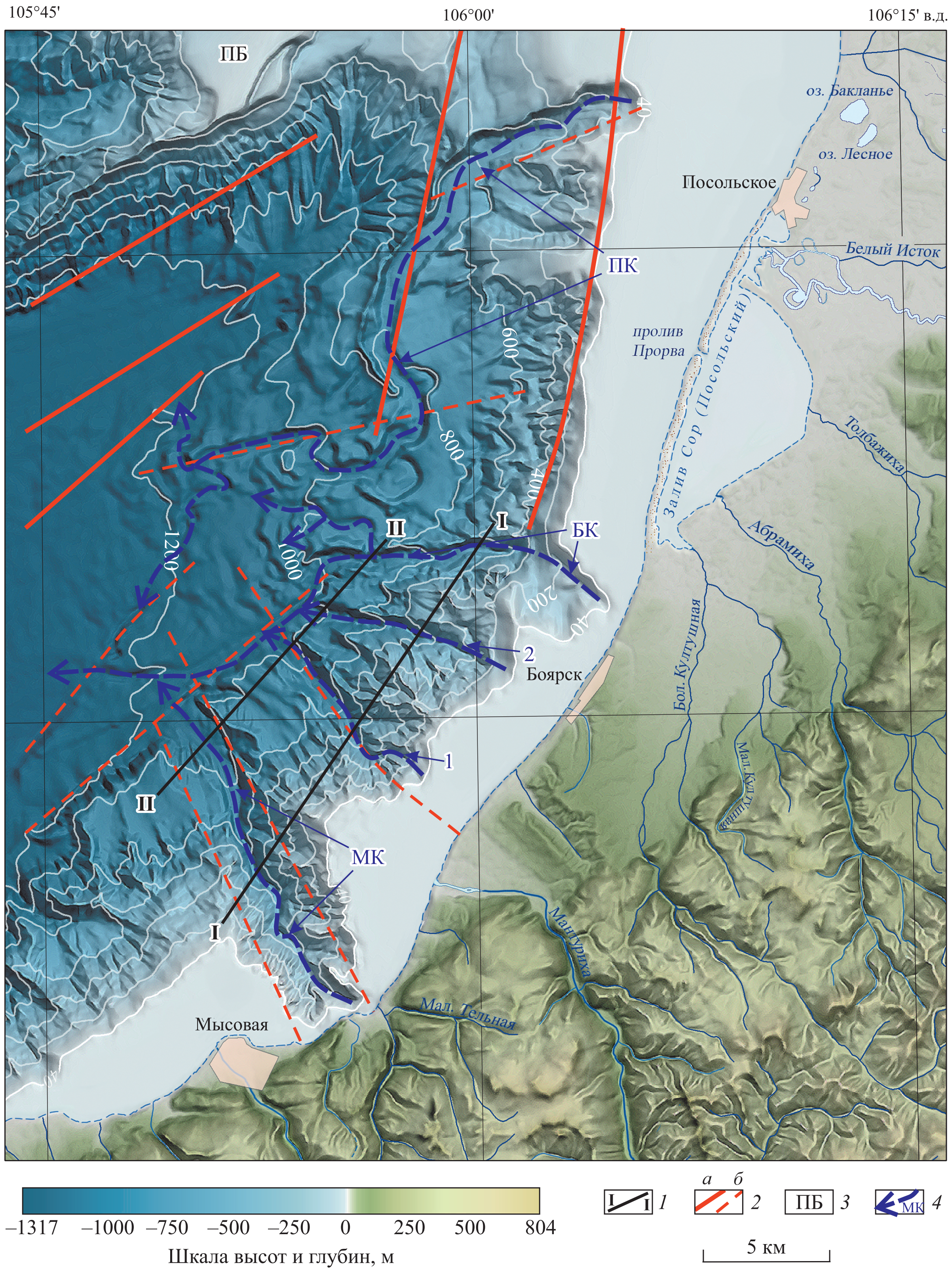

Рис. 1. ЦМР исследуемого участка по батиметрическим данным и AW3D данным.

1 — батиметрические профили. *2* — разломы, по [11]: *а* — достоверные, *б* — предполагаемые. *3* — подводная возвышенность Посольская банка (ПБ). Здесь и на рис. 2 каньоны: ПК — Посольский, БК — Боярский, МК — Мысовской, 1 — Первый, 2 — Второй.

комплекс на базе ArcGIS for Desktop 10.2 с включенным набором модулей для обработки и анализа растровых данных в формате Grid и для характеристики пространственного распределения, структур, процессов и отношений. Ведущим инструментом для работы с ЦМР в формате Grid, их анализа и геообработки была ГИС Saga версии 3.0.0. На ее основе проводилась фильтрация и чистка ошибок исходных ЦМР [14, 15].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Подводный склон изученной территории чрезвычайно изрезан и представлен преимущественно ложбинно-грядовым рельефом с глубиной вреза от 40 до 170 м. Заметными формами донного рельефа являются каньоны. Один из наиболее крупных — каньон Мысовский — располагается северо-восточнее устья р. Мысовки, почти напротив устья р. Большой Тельной. Проведенный анализ особенностей строения поперечных профилей (I—I, II—II) показал характер изменения морфологии долины каньона по мере удаления от береговой линии (рис. 2).

Самый верхний, наиболее близкий к береговой линии профиль (I—I) имеет ущельеобразную поперечную форму с очень узким днищем и глубиной вреза до 400 м. По мере удаления от берега глубина вреза каньона уменьшается сначала до 150—200 м, а затем до 100—120 м (II—II). Поперечный профиль приобретает трапециевидную форму с плоским днищем шириной до 400—500 м, что очень напоминает профиль типичного зрелого каньона. В прибрежной полосе активно развиваются процессы врезания, благодаря которым верховья каньона практически вплотную приблизились к береговой линии. В устьевой части каньона на расстоянии примерно 11,5—12 км от берега на глубине около 1000 м в рельефе дна прекрасно выражен прямолинейный уступ (Верхний) высотой 160—170 м, простирающийся на северо-восток 45° вкрест долине каньона. После пересечения уступа долина морфологически практически не выражена и представлена конусом выноса, который незаметно сливается с донной поверхностью. Глубже (1200—1350 м), на расстоянии 15,5—16 км от береговой линии, на границе с донными элементами озерной котловины отмечается еще один прямолинейный в плане

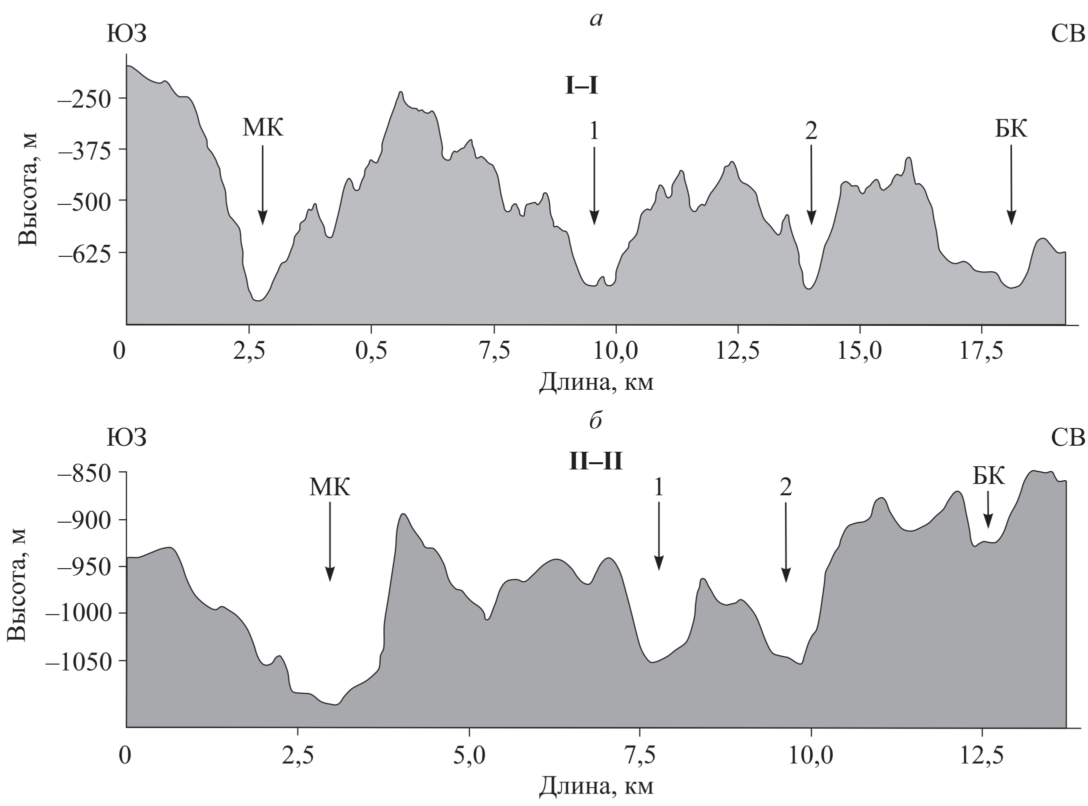

Рис. 2. Батиметрические профили, секущие каньоны.

а — профиль I—I, *б* — профиль II—II.

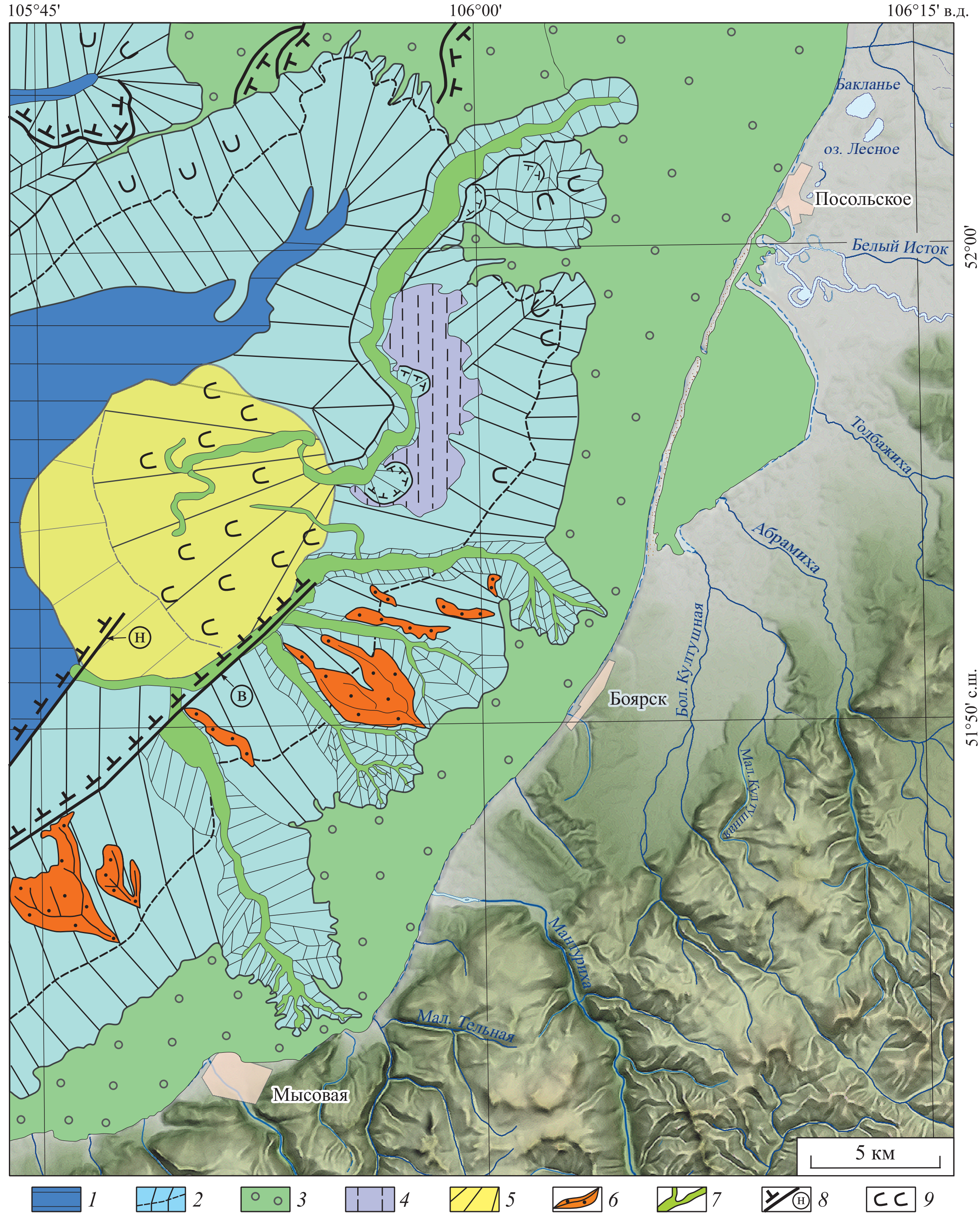

Рис. 3. Геоморфологическая схема исследуемой территории.

1 — современная глубоководная равнина; *2* — склоны (пунктир — граница изменения крутизны); *3* — фрагменты древних поверхностей шельфа, авандельты, пологого склона; *4* — субгоризонтальный участок склона и долины Посольского каньона; *5* — подводные конусы выноса; *6* — древние аллювиально-озерные образования; *7* — каньоны; *8* — тектонические уступы (в кружках буквами обозначены: В — Верхний, Н — Нижний); *9* — оползневые формы рельефа.

уступ (Нижний) высотой 60–70 м, протягивающийся с северо-востока, от дельты р. Селенги, на юго-запад за пределы картируемой территории (рис. 3).

Северо-восточнее, примерно в 19–19,5 км от Мысовского каньона, в рельефе склона хорошо просматривается еще один каньон, названный нами Боярским. Его долина в верховьях имеет северо-западное направление, затем, на расстоянии 4 км от береговой линии, резко поворачивает на запад и на протяжении примерно 9,5 км имеет прямолинейный характер, а поперечный профиль — трапециевидный, с глубиной вреза 50–70 м. На расстоянии 11 км от береговой линии русло каньона поворачивает на юго-запад и идет на протяжении около 7,5 км вдоль подножья Верхнего уступа. Этот отрезок долины каньона проходит вкрест падения подводного склона и пересекает устьевые части двух небольших каньонов и окончания вышерасположенных гряд и ложбин. Долина каньона здесь имеет асимметричную поперечную форму и слабо выражена в рельефе склона. Днище долины плоское, слабовогнутое, левый, юго-восточный борт каньона крутой, высотой 170–180 м, и представлен поднятым крылом Верхнего уступа, а правый невысокий, 5–15 м, слабо выражен в рельефе. Приустьевая часть долины каньона протяженностью около 4,5 км разрезает конус выноса Мысовского каньона, а затем Нижний уступ и имеет V-образный поперечный профиль. После пересечения Нижнего уступа долина каньона резко сужается и примерно в 2–2,5 км от уступа полностью исчезает. Общая протяженность каньона — 22–23 км (см. рис. 1).

На участке подводного склона между Мысовским и Боярским каньонами развит сложный грядово-ложбинный рельеф и установлено два небольших каньона. Первый (1) расположен примерно в 4 км северо-восточнее Мысовского, его верховья находятся на расстоянии 2,5 км от берега и состоят из двух эрозионных распадков. Днище распадков плоское, шириной до 300–350 м, а глубина вреза — от 50 до 120 м. После их слияния долина становится более широкой (500–800 м), глубина вреза возрастает до 170 м. В поперечном профиле долина имеет трапециевидную форму — с плоским дном и субвертикальными бортами, что по морфологии весьма напоминает аналогичные долины Кукуйского и Муринского каньонов (см. рис. 2) [11, 12]. Устьевая часть каньона пересекается долиной Боярского каньона в районе Верхнего уступа. Общая длина каньона 8,5 км.

На расстоянии 2 км от первого каньона на северо-восток в рельефе подводного склона хорошо выражен еще один каньон (2), который также образован в результате слияния двух распадков. Верховья распадков активно развиваются, в настоящее время находятся на расстоянии 2–2,5 км от береговой линии на глубинах чуть более 40 м. Левый (южный) распадок имеет протяженность до места слияния примерно 4–4,2 км, глубина его вреза 150–160 м. Правый (северный) распадок более длинный, его протяженность около 6–6,5 км, а глубина вреза до 250 м. Оба распадка имеют V-образный поперечный профиль, который в нижней части своих долин, недалеко от места слияния, становится трапециевидным (см. рис. 2). После их слияния долина каньона расширяется до 400–450 м, имеет плоское днище, крутые борта и глубину вреза до 120 м. Общая протяженность каньона около 7,5–8 км.

На участке южнее Посольской банки и до траверса Боярского каньона наиболее крупной и хорошо картируемой формой подводного рельефа является Посольский каньон, верховья которого расположены в районе напротив пос. Посольского (южнее поселка р. Большая Речка впадает в Посольский сор). Между каньоном и Посольской банкой находится четко выраженная в рельефе грабенообразная впадина, вытянутая с юго-запада на северо-восток. Долина каньона расположена на юго-восточном склоне впадины и пересекает его, направляясь сначала на запад-юго-запад, согласно падению склона, а затем резко поворачивает на юго-запад и идет почти вкрест падению склона. Только самая нижняя часть долины каньона поворачивает на запад и направляется к максимальным глубинам согласно падению склона. Низовья каньона в рельефе склона выражены нечетко. Русло здесь распадается на несколько сильно извилистых, местами прерывистых рукавов. Дельтовая часть каньона практически не идентифицируется, так как «теряется» в ложбинно-западинно-холмистом рельефе этой части склона (см. рис. 1).

Подводный склон, который пересекается руслом каньона, по особенностям строения геоморфологической поверхности можно достаточно уверенно разделить на три части: нижний склон, долина каньона и верхний склон. Нижний склон пологий, осложнен местами грядово-ложбинными формами. На юго-западном его окончании четко выражена в рельефе вытянутая сверху вниз по склону каньонообразная впадина протяженностью около 5 км и 500–600 м в поперечнике, с глубиной вреза 40–60 м. Борта впадины крутые и в продольном разрезе ступенчатые. На участке нижнего склона, южнее описанной впадины, широко распространены формы рельефа, морфологически очень похожие в поперечном разрезе на оползневые блоки, оплывины, а в плане некоторые из них имеют вееробразную форму, характерную для конусов выноса. Конусовидные формы простираются до глубин 1300—1350 м. Встречаются также вытянутые вниз по склону корытообразные котловины с глубиной вреза от 30 до 50 м и протяженностью от 1,7 до 3,5 км (см. рис. 1).

Следующий элемент рельефа описываемого склона — поверхность, занятая долиной Посольского каньона. На большем своем протяжении она идет поперек склона. На поперечных профилях хорошо видно, что русло каньона располагается на субгоризонтальной поверхности, которая, пересекая склон, плавно опускается к донным элементам озерной впадины. Максимальная ширина названной поверхности достигает 3—4,5 км. Посольский каньон имеет хорошо выраженные, очень крутые борта, ширина его изменяется в пределах от 0,5 до 1,5 км, а глубина вреза — от 220—240 м в верховьях каньона и до 30—40 м в низовьях. Общая протяженность каньона более 20 км. В тыловой части субгоризонтальная поверхность, на которой располагается долина каньона, переходит в верхний склон, который, в отличие от нижнего, более крутой и сильно изменен подводно-эрозионными и оползневыми процессами. По этой причине здесь доминируют ложбинно-грядовые, террасовидные и уступообразные формы рельефа. Стоит отметить, что изменение крутизны склона прослеживается на всем исследуемом участке и граница излома располагается на глубинах от 700 до 850 м, понижаясь между Боярским и Мысовским каньонами до глубины 950 м (см. рис. 1, 3).

Северо-западнее Посольского каньона расположено поднятие Посольской банки, которая является изолированным фрагментом древней авандельты р. Селенги [11].

На участке исследований было получено три керна с помощью прямоточной гравитационной стальной трубы. Длина отобранных колонок геологического разреза донных отложений оказалась небольшой — от 1 до 2,6 м. Керн ST43GC1 взят с донной поверхности на глубине 1128 м, место отбора располагается в северо-восточном окончании грабенообразной впадины, описанной в тексте данной работы. Керн ST44GC1 отобран на поверхности валообразной структуры, расположенной южнее Посольского каньона на глубине 905 м; керн ST45GC1 — в русле Боярского каньона на глубине 927 м. Колонка небольшая — около 1 м. Несмотря на то что керны получены на различной глубине и с разных элементов геоморфологической поверхности юго-восточного подводного склона котловины, в их разрезе сверху доминируют оливково-черные диатомовые илы с глинами (до 1 м), а в нижней половине разреза они сменяются глинистыми алевритами, глинами, иногда плотными, жирными и насыщенными газами. В средней и нижней частях колонок порой отмечаются тонкие прослои (3—7 см) более грубозернистого материала — песков и гравия. Следует также заметить, что подводные останцы, выделенные нами напротив рек Солзан, Кедровая, Большой и Малый Мамай, также сверху сложены плотными серыми глинами с примесью песчаного материала, и отмечено обильное газонасыщение донных отложений [16]. Похожий разрез донных отложений был получен в колонке CON01-605-3, взятой напротив рек Аносовки и Осиновки [17]. Верхняя часть колонки представляет собой диатомовые илы с серыми илистыми глинами (0—107 см). Ниже доминируют глины, в которых установлено несколько диатомовых прослоев, и цвет осадков постепенно изменяется от серого к темному оливково-серому.

Описанные особенности донного рельефа вдоль береговой полосы восточного берега южной котловины оз. Байкал показывают, что его формирование можно связать с тектоническими и подводно-эрозионными процессами. Об этом свидетельствует строение поперечных профилей гряд и ложбин, которые ближе к берегу более резко выраженные — ложбины ущельеобразные, а гряды остроконечные. По мере удаления от берега вершинные поверхности гряд и днища ложбин становятся более выровненными. Аналогичные профили через каньоны показывают похожую закономерность: для верховьев каньонов характерны V-образные очертания, а в низовьях долины каньонов расширяются и приобретают трапециевидную форму. Эти особенности рельефа объясняются тем, что в наиболее глубинных и удаленных от берега частях долины каньонов, как правило, уже сформировались, их продольный профиль достиг уровня устойчивого равновесия, и в настоящее время русла каньонов не углубляются, а расширяются. Описанные особенности ложбинно-грядового рельефа и долин каньонов связаны с развитием регрессивной эрозии, вызванной тектоническими опусканиями дна южной котловины. Наличие грядовых форм, вытянутых на 7—8 км от береговой линии в глубь котловины, позволяет предположить, что они могут быть останцами более древней аккумулятивной поверхности «Танхойского поля» [16].

Современное развитие Посольского, Боярского и двух малых каньонов, вероятно, не связано с деятельностью наземных водотоков, так как их верховья находятся на большом удалении от береговой линии. С другой стороны, реконструкции показывают: если исходить из предположения [12, 18, 19], что в стадию МИС 2 уровень озера был на 40–45 м ниже, чем сейчас, верховья каньонов могли в то время достигать береговой линии, и роль наземных потоков в их развитии могла быть значительной. Данный факт может служить косвенным свидетельством снижения уровня озера в прошлом.

Однако «спусковым крючком», инициировавшим развитие каньонов, следует считать тектонические процессы. О вероятности новейших тектонических подвижек вдоль юго-восточного и восточного берегов свидетельствует прямолинейный уступ высотой 170–180 м, простирающийся на 45° на северо-восток вкрест простирания каньонов и грядово-ложбинных форм, и уступ высотой 60–70 м, расположенный северо-западнее от первого и имеющий также северо-восточное простирание. Данные уступы явно тектогенные, и подвижки, о которых они свидетельствуют, могли привести к опусканию донной поверхности, что изменило базис эрозии, способствовало инициации регрессивной эрозии и формированию изрезанной поверхности подводного склона. В настоящее время подводно-эрозионные процессы активно приближаются к береговой линии, а в нижних частях долины каньонов уже сформировались и находятся в стадии устойчивого равновесия. Следует также отметить, что V-образный поперечный профиль нижней, приустьевой части долины Боярского каньона однозначно говорит о недавних тектонических подвижках на этом участке подводного склона. Нижняя часть долины каньона сейчас врезается, в том числе и в дельту Мысовского каньона, большая же часть долины Боярского каньона уже сформировалась и в настоящее время активно не развивается.

Особый интерес вызывают морфологические особенности Посольского каньона. Его зрелость, соотношения с окружающими склоновыми элементами восточного борта озера и отмеченной грабенообразной впадины говорят о том, что каньон является более древним элементом рельефа, чем активно развивающиеся склоновые элементы. Долина каньона, по нашему мнению, в недавнем геологическом прошлом огибала юго-западную часть авандельты р. Селенги, чем и объясняется направленность долины почти вкрест падению склона. В случае, если бы каньон был более молодой формой рельефа, чем расположенная ниже впадина, то он развивался бы вниз по склону, т. е. по самому рациональному, с точки зрения гидродинамики, направлению. В результате активизации тектонических процессов юго-восточная часть авандельты была опущена по сместителям разломов северо-восточного простирания [20], что привело к формированию грабенообразной впадины, а русло Посольского каньона сохранилось на юго-восточном склоне образовавшейся впадины, не изменив своего направления. В настоящее время подводно-эрозионные склоновые процессы интенсивно разрушают нижние части склонов впадины и уже достигли бортовых элементов каньона, которые, весьма вероятно, в скором времени будут разрушены этими процессами, что приведет к преобразованию долины каньона — изменению его направленности с юго-запада на запад. Субгоризонтальная поверхность, частично занимаемая долиной каньона, сформирована его меандрирующим руслом еще до образования грабенообразной впадины. Сбросовые ступени, отмечаемые на склоне выше каньона, могут представлять собой блоки подводных палеосейсмодислокаций, столь характерные для участка берега озера вблизи дельты р. Селенги [21].

Следует подчеркнуть, что оползневые структуры присутствуют выше и ниже русла Посольского каньона. О возможном сползании некоторых участков озерного склона могут свидетельствовать фрагменты древних русел, зафиксированных на поверхности конуса выноса каньона. Эти фрагменты по своим морфологическим и морфометрическим характеристикам близки к таковым типичной долины каньона, что указывает на их одинаковую природу и позволяет предположить, что они являются остатками бывшего русла Посольского каньона, которое в результате палеосейсмодислокаций смещалось или частично перекрывалось оползневыми телами, приводя к изоляции некоторых фрагментов русла и их отмиранию.

В целом приустьевая часть долины каньона в рельефе подводного склона слабо идентифицируется, «теряется» в сложном комплексе впадин и холмов, осложняющих рельеф подводного склона. Ниже этого комплекса донных форм прекрасно видны как минимум три уровня веерообразных структур, представляющих, по нашему мнению, фрагменты конуса выноса Посольского каньона. Их наличие позволяет наметить примерные очертания и размеры конуса выноса Посольского каньона. Предполагаемый конус выноса каньона простирается в глубь озера примерно на 10–11 км, а его ширина в дистальной части составляет 8–10 км, что намного меньше, чем у расположенного с противоположной стороны авандельты р. Селенги конуса выноса Кукуйского каньона, ширина которого около 26 км, длина — примерно 80 км [11, 22]. Данное обстоятельство можно объяснить более интенсивной тектонической активностью участка дна южной котловины в районе пересекаемого Посольским каньоном и быстрым нарастанием глубин (300–350 м на 7,5 км). Часть выносимого каньоном материала сразу же попадает на большие глубины, что препятствует формированию обширного конуса выноса, так как поступление материала компенсируется опусканием дна озера.

Большие размеры конуса выноса Кукуйского каньона объясняются другой тектонической обстановкой осадконакопления на северной стороне дельты р. Селенги. Здесь перепад глубин озерной котловины намного меньше — 700–750 м на 75–80 км [22] и, следовательно, условия для переноса и аккумуляции осадков более благоприятные. Важно еще одно обстоятельство. Напротив верховьев Кукуйского каньона расположены устьевые участки сразу нескольких проток р. Селенги, что резко увеличивает роль наземных потоков в развитии каньона и переноса осадков на более глубокие и удаленные элементы донной поверхности. С другой стороны, верховья Посольского каньона расположены на шельфе примерно в 7 км от береговой линии, что, конечно же, минимизирует, а скорее всего, и исключает роль водных потоков в развитии каньона, по крайней мере на современном этапе. Тем не менее даже относительно небольшие размеры конуса выноса Посольского каньона и вся область, связанная с прошлой и настоящей деятельностью каньона, могут быть перспективными для поиска мест разгрузки метана и скоплений газовых гидратов, как и территория Кукуйского каньона [11, 23].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изучение особенностей созданной нами цифровой модели рельефа восточного берега южной котловины Байкала показывает, что ведущую роль при формировании основных, наиболее заметных форм рельефа играли тектонические процессы, благодаря которым образовалась грабенообразная впадина южнее Посольской банки, созданы главные геоморфологические особенности долины Посольского каньона, коленообразный изгиб русла каньона Боярского, инициированы процессы формирования долин других каньонов, сформированы тектогенные уступы на глубинах 1000 и 1200–1350 м. Тектонические опускания дна котловины инициировали подводно-эрозионные процессы, что в конечном итоге привело к созданию грядово-ложбинного рельефа и долин каньонов. Формирование долин каньонов на значительном их протяжении практически завершилось. Исключение составляет нижняя часть долины каньона Боярского, где сейчас идет процесс вреза, вызванный, по-видимому, тектоническими подвижками на этом участке подводного склона. В верховьях каньонов продолжаются процессы регрессивной эрозии, в результате которых долины каньонов (Посольского и Боярского) постепенно приближаются к береговой линии.

Роль современных водотоков в развитии каньонов невелика из-за большой удаленности их верховий от береговой линии, но в геологическом прошлом, во время последнего оледенения, ввиду более низкого уровня озера верховья каньонов могли достигать береговой линии, а роль наземных потоков в их развитии могла быть более значительной.

Нижняя часть долины Посольского каньона сильно деформирована, местами практически не идентифицируется, что свидетельствует об отсутствии современной активности каньона. Наличие многочисленных фрагментов каньоно- и корытообразных вытянутых котловин ниже современного русла каньона может объясняться изменением направления его русла в прошлом.

Конусообразные структуры ниже устьевой части долины Посольского каньона, несомненно, свидетельствуют о его большой роли в прошлом по транзиту рыхлого материала от прибрежной полосы к донным элементам южной котловины. Сформированные каньоном толщи конуса выноса, оползневые тела, перекрывающие местами поверхность конуса, а также погребенные древние части русла каньона могут быть перспективными для поиска новых гидратоносных структур в этой части озера.

Специфика батиметрических исследований не позволяет одновременно производить работы по геологической заверке полученного материала, так как обработка батиметрических данных и создание ЦМР проводятся позже, в стационарных условиях. Только после формирования ЦМР установленные особенности донной поверхности могут быть заверены геологическими исследованиями. И это следующий этап работы, когда датирование выделенных форм рельефа будет наиболее обязательной, важной задачей.

Работа выполнена в рамках проектов Лимнологического института СО РАН (0345–2015–0029, 0345–2016–0007), *японского общества содействия науки* (JSPS) (KAKENHI № 16H05760 to H. M.), *президентского гранта Технологического института г. Китами, проектов Президиума РАН* (17.8) *и FWO Flanders project* (1.5.198.09).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Бузо С.** Первые исследователи глубин Байкала // «Восточно-Сибирская правда» 1951 [Электронный ресурс]. — http://www.magicbaikal.ru/history/first-researchers-of-baikal-depth.htm] (дата обращения 27.06.2016).
2. **Атлас** озера Байкал / Сост. Ф.К. Дриженко. — СПб.: Изд-во Гл. гидрограф. упр., 1902. — 34 с.
3. **Озеро** Байкал. Навигационная карта. М-б 1:200 000. — СПб.: Изд-во Гл. упр. навигации и картографии М-ва обороны СССР, 1992. — 4 л.
4. **Лут Б.Ф.** Геоморфология дна Байкала // Геоморфология дна Байкала и его берегов. — М.: Наука, 1964.— С. 5–123.
5. **Агафонов Б.П.** Экзолитодинамика Байкальской рифтовой зоны. — Новосибирск: Наука, 1990. — 176 с.
6. **Ладохин Н.П.** О рельефе дна южной части озера Байкал // Изв. АН СССР. Сер. геогр. — 1957. — № 4. — С. 74–82.
7. **Лоция** и физико-географический очерк озера Байкал / Под ред. Ф.К. Дриженко. — СПб.: Изд-во Гл. гидрограф. упр., 1908.— 443 с.
8. **Дыбовский Б., Годлевский В**. Физико-географические исследования на Байкале в 1869–1876 гг. // Труды Вост.-Сиб. отд. РГО. — 1897. — № 1. — С. 1–62.
9. **Карабанов Е.Б., Фиалков В.А.** Подводные каньоны Байкала. — Новосибирск: Наука, 1987. — 102 с.
10. **Batist M. de, Canals M., Sherstyankin P., Alekseev S.** A new bathymetric map of Lake Baikal [Электронный ресурс]. — http://www.lin.irk.ru/insta/index.html (дата обращения 15.07.2016).
11. **Хлыстов О.М., Кононов Е.Е., Хабуев А.В., Белоусов О.В., Наудс Л.** Геолого-геоморфологические особенности Посольской банки и Кукуйской гривы озера Байкал // Геология и геофизика. — 2016. — Т. 57, № 12. — С. 2229–2239.
12. **Хлыстов О.М., Кононов Е.Е., Минами Х., Казаков А.В., Хабуев А.В., Губин Н.А., Ченский Д.А., Ченский А.Г., Сутурин А.Н.** О рельефе и генезисе подводной возвышенности Муринская банка (Южный Байкал) // География и природ. ресурсы. — 2016. — Спец. вып. (№ 5). — С. 109–116.
13. **Мац В.Д., Уфимцев Г.Ф., Мандельбаум М.М.** Кайнозой Байкальской рифтовой впадины. Строение и геологическая история. — Новосибирск: Акад. изд-во «Гео», 2001. — 252 с.
14. **Хромых В.В., Хромых О.В.** Цифровые модели рельефа: Учеб. пособие. — Томск: ТМЛ-Пресс, 2007. — 178 с.
15. **Sun X., Rosin P.L., Martin R.R., Langbein F.C.** Fast and effective feature-preserving mesh denoising, IEEE Trans // Visualization and Computer Graphics. — 2007. — Vol. 13, N 5. — P. 925–938.
16. **Хлыстов О.М., Кононов Е.Е., Минами Х., Казаков А.В., Хабуев А.В., Губин Н.А., Ченский А.Г.** Новые данные о рельефе подводного склона Южно-Байкальской котловины // География и природ. ресурсы. — 2018. — № 1. — С. 59–65.
17. **Charleta F., Fagelb N., Batista M. de, Hauregardb F., Minneboa B., Meischnerc D.** Sedimentary dynamics on isolated highs in Lake Baikal: evidence from detailed high-resolution geophysical data and sediment cores // Global and Planetary Change. — 2005. — N 46. — P. 125–144.
18. **Urabe A., Tateishi M., Inouchi M.Y., Matsuoka H., Inoue T., Dmytriev A., Khlystov O.M.** Lake-level changes during the past 100,000 years at Lake Baikal, Southern Siberia // Quaternary Research. — 2004. — Vol. 62, N 2. — P. 214–222.
19. **Хлыстов О.М., Ханаев И. В., Грачёв М. А.** Свидетельства низкого стояния озера Байкал во время последнего оледенения // Докл. РАН — 2008. — Т. 422, № 2.— С. 254–257.
20. **Лунина О.В., Гладков А.С., Гладков А.А**. Систематизация активных разломов для оценки сейсмической опасности // Тихоокеанская геология. — 2012. — Т. 31, № 1. — С. 49–60.
21. **Татьков Г.И.** Провал на Байкале: полтора века спустя // Мир Байкала — 2011. — № 5 (29). — С. 58–61.
22. **Evangelinos D., Nelson C.H., Escutia C., Batist M. de, Khlystov O.M.** Late Quaternary climatic control of Lake Baikal (Russia) turbidite systems: Implications for turbidite systems worldwide // Geology. — 2017. — Vol. 45, N 2. — P. 179–182.
23. **Cuylaerts M., Naudts L., Casier R., Khabuev A.V., Belousov O.V., Kononov E.E., Khlystov O.M., Batist M. de.** Distribution and morphology of mud volcanoes and other fluid flow-related lake-bed structures in Lake Baikal, Russia // Geo-MarineLetter. — 2012. — Vol. 32. — P. 383–394.

Поступила в редакцию 1 февраля 2018 г.