

ГЕОМОРФОЛОГИЯ

УДК 551.462:(282.256.341)

ГЕОЛОГО-ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПОСОЛЬСКОЙ БАНКИ
И КУКУЙСКОЙ ГРИВЫ ОЗЕРА БАЙКАЛ

О.М. Хлыстов¹, Е.Е. Кононов^{1,2}, А.В. Хабурев¹, О.В. Белоусов¹,
Н.А. Губин³, М.А. Соловьева⁴, Л. Наудс^{5,6}

¹ Лимнологический институт СО РАН, 664033, Иркутск, ул. Улан-Баторская, 3, Россия

² Институт географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, 664033, Иркутск, ул. Улан-Баторская, 1, Россия

³ Иркутский национальный исследовательский технический университет, 664074, Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия

⁴ Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, 119234, Москва, Ленинские горы, 1, Россия

⁵ Renard Centre of Marine Geology (RCMG), Universiteit Gent, Belgium

⁶ Royal Belgian Institute of Natural Sciences—Operational Directorate Natural Environment (RBINS—OD Nature), Ostend, Belgium

Детальные геолого-геофизические исследования подводного рельефа озера Байкал с использованием высокоразрешающего одноканального сейсмоакустического профилирования, батиметрической съемки с помощью многолучевого эхолота ELAC SeaBeam 1050 и материалы, полученные с помощью ГОА «Мир», позволили детализировать морфологические особенности подводных возвышенностей Посольская банка и Кукуйская грива и предположить, что они представляют собой фрагменты когда-то единой поверхности дельты Селенги. Современный рельеф этих возвышенностей является результатом совместной деятельности тектонических и подводных эрозионных процессов. Предполагается, что возраст отложений в нижней части склона Кукуйской гривы не древнее 1.8 млн лет.

Авандельта, геоморфология дна, донные отложения, возраст, оз. Байкал.

GEOLOGICAL AND GEOMORPHOLOGICAL CHARACTERISTICS OF THE POSOLSKY BANK
AND THE KUKUY GRIVA, LAKE BAIKAL

O.M. Khlystov, E.E. Kononov, A.V. Khabuev, O.V. Belousov, N.A. Gubin, M.A. Solovyeva, and L. Naudts

Detailed geological and geophysical investigations of the underwater topography of Lake Baikal, based on single-channel high-resolution seismic profiling and bathymetric survey using an ELAC SeaBeam 1050 multibeam echosounder, as well as the data obtained during diving of MIR deep-sea manned underwater submersibles determined the morphological characteristics of the Posolsky Bank and Kukuy Griva elevations suggesting that their elevated parts are fragments of the once common delta surface of the Selenga River. The current relief of these structures resulted from the joint activity of tectonic and underwater erosive processes. Sediments at the base of the slope of the Kukuy Griva are likely to be no older than 1.8 Ma.

Delta front, bottom geomorphology, bottom sediments, age, Lake Baikal

ВВЕДЕНИЕ

Батиметрическая история исследований оз. Байкал началась еще в 1798 г., когда горные инженеры Е. Копылов и С. Сметанин выполнили 28 замеров глубины в промежутке от р. Ангара до устья р. Селенга. По их материалам в 1821 г. был опубликован батиметрический профиль Байкала, а более обстоятельные сведения об этих промерах нанесены на рукописный план Байкала, который называется «Чертеж, представляющий ту часть Байкала, где проходит путь судов со свинцом между устьями рек Селенги и Ангары» [Бузо, 1951]. Во второй половине XIX в. Б. Дыбовским по промерам в Южной котловине озера составлена «Карта оз. Байкал с показанием линий промеров и профилей. Масштаб 20 верст

в английском дюйме» [Дыбовский и др., 1897]. После гидрографической экспедиции под руководством Ф.К. Дриженко 1898—1903 гг. опубликованы две работы [Лочия..., 1908; Атлас..., 1902]. С 1925 г. под руководством Г.Ю. Верещагина было начато систематическое геоморфологическое исследование дна Байкала и получены данные, ставшие основой для создания первых карт батиметрии всего оз. Байкал [Верещагин, 1947]. В 1962 г. А.А. Рогозиным и Б.Ф. Лутом создана батиметрическая карта м-ба 1 : 300 000, на которой была дана прорисовка подводных возвышенностей Посольской банки и Кукуйской гривы. В 1973—1974 гг. Главным управлением навигации и океанографии Министерства обороны СССР (ГУНиО) была опубликована карта под названием «Северная и южная часть озера Байкал». Позже, с 1979 по 1985 г., ГУНиО самостоятельно осуществило новую съемку всего озера и опубликовало в 1992 г. батиметрическую карту оз. Байкал в м-бе 1 : 200 000 [ГУНиО МО СССР..., 1992]. В 1999—2002 гг. проведена переработка всего имеющегося батиметрического и сейсмоакустического материала и создана новая цифровая батиметрическая карта оз. Байкал [De Batist et al., 2002]. В 1990-х годах также были выполнены геолого-геофизические исследования на Посольской банке [Зоненшайн и др., 1995; Scholz, Hutchinson, 2000; Коллектив..., 2004] и получены новые данные по строению и возрасту этой возвышенности. На сегодняшний день в публикациях практически нет данных о возрасте или внутреннем строении Кукуйской гривы. Несмотря на это обстоятельство, неоднократно выдвигались версии о тектонической природе этих возвышенностей и их связи с разломами и блоками, выделяемыми в дельте р. Селенга [Замараев, Самсонов, 1959; Казенкина, Ладохин, 1961], позже они были развиты на основе геофизических исследований [Хромовских, 1965; Зорин, 1971; Сейсмогеология..., 1981; Морозова и др., 1999]. В 2003 г. академик Н.А. Логачев предположил, что: «... на северо-восточном фланге дельты вероятным аналогом Посольской банки является Кукуйская грива (минимальная глубина 180 м) — узкое клинообразное поднятие, ограниченное с юго-востока глубоким (до 700 м) надразломным Кукуйским каньоном. Расположенные симметрично по отношению к дельте оба эти поднятия, возможно, связаны общим разломом, не имеющим морфологической выраженности в авандельте из-за быстрой аккумуляции наносов Селенги» [Логачев, 2003, с. 396]. Позже, в работе А.А. Щетникова [Shchetnikov et al., 2012] был дан детальный обзор морфотектонических данных Усть-Селенгинской депрессии, включая эти подводные возвышенности.

Таким образом, к концу прошлого столетия батиметрические данные дали возможность уверенно выделить крупные подводные возвышенности с обеих сторон дельты Селенги и с помощью изолиний показать их общий облик. Анализ сейсмических данных позволил охарактеризовать банку как тектонически поднятый блок. Тем не менее имеющихся данных оказалось недостаточно для детального анализа морфологических особенностей возвышенностей и полного понимания их генезиса.

МЕТОДИКА РАБОТ И РЕЗУЛЬТАТЫ

Для уточнения геолого-геоморфологических особенностей Посольской банки и Кукуйской гривы в 2005 г. было выполнено высокоразрешающее одноканальное сейсмоакустическое профилирование (НСП) в районе Кукуйской гривы. НСП проведено с использованием электроискрового источника волн типа «СПАРКЕР». В качестве источника использовался разрядник СОНИК-4М12 с частотой излучения от 250 до 500 Гц и энергий импульса 0.8—1.2 кДж. Длина косы составляла 15 м и состояла она из 15 гидрофонов, объединенных параллельно в один канал. Это позволило получить временные разрезы осадочных отложений мощностью до 300 м с разрешающей способностью до 1 м [Khlystov et al., 2007; Ramesh et al., 2013].

В 2009 г. выполнена высокоразрешающая батиметрическая съемка дна озера с помощью многолучевого эхолота ELAC SeaBeam 1050. Две антенные решетки преобразователя с номинальной частотой 50 кГц устанавливались так, чтобы получить 120° поперечной полосы с соответствующей зоной покрытия луча (т. е. поверхности, начиная от которой велась запись глубинного зондирования), составляющей 1.5 × 1.5 м на ~50 м глубины и 37 × 37 м на ~1500 м глубины (ширина диаграммы направленности 3 × 3°). Профили скорости звука для разных районов озера были сформированы на основе показателей температуры, давления и минерализации, полученных при погружениях зонда STD. Непрерывный мониторинг скорости звука также велся по преобразователям для более точного управления лучом. В общей сложности было получено 56 810 951 опорная точка, расположенные вдоль 12 600 погонных километров промерных профилей и охватывающие площадь примерно в 15 000 км², в том числе подводные возвышенности Посольская банка и Кукуйская грива. Полученные данные увеличили детальность наблюдений в 4 раза по сравнению с ранее имевшимися батиметрическими данными.

В 2008—2010 гг. были проведены подводные работы на южных склонах Посольской банки и Кукуйской гривы с использованием глубоководных обитаемых аппаратов (ГОА) «Мир». Был проведен поиск выходов древних отложений и отбор проб для оценки их возраста и генезиса (рис. 1). Со склона Посольской банки отобраны три образца донных отложений (ПБ1, ПБ2, ПБ3) из обнажений на глубинах

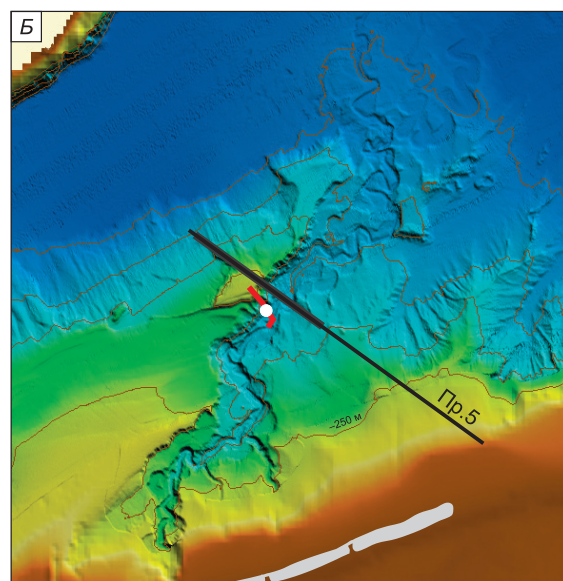
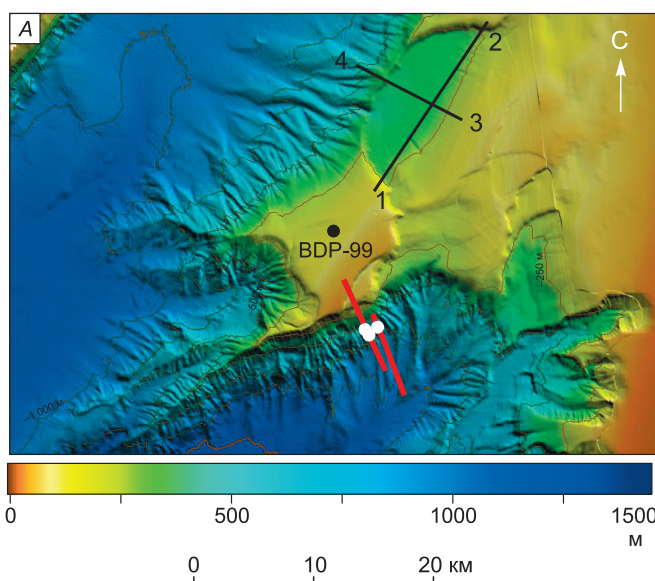
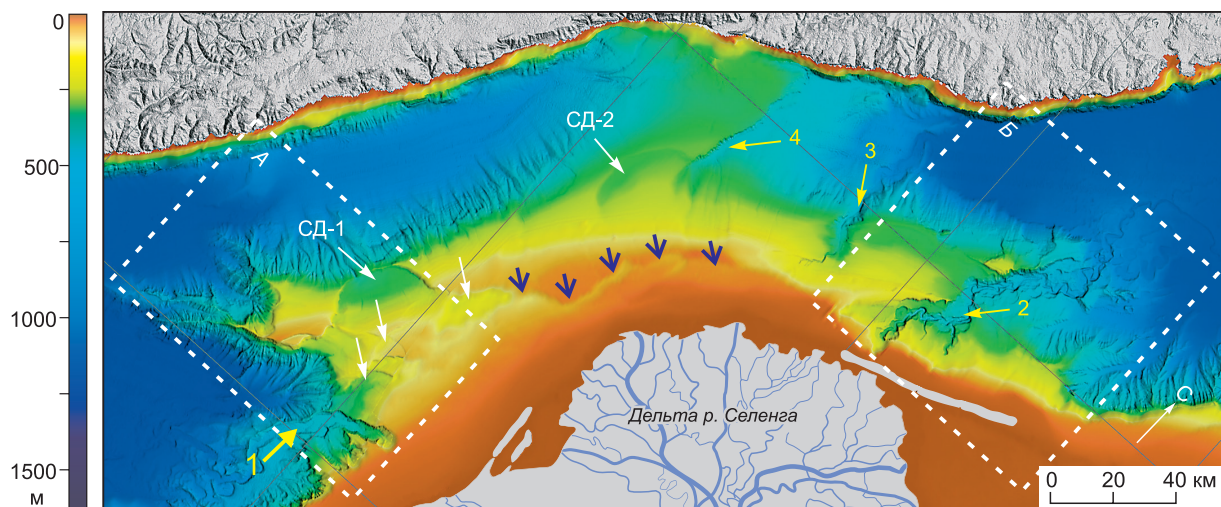


Рис. 1. Схема района исследования и фактического материала.

Батиметрическая схема авандельты р. Селенга составлена по данным проектов ASTER GDEM, INTAS- 99-1669, многолучевого профилирования 2009 г. Контурами выделены Посольская банка (А) и Кукуйская грива (Б), стрелками с номерами и названиями — эрозивные формы рельефа. Белые стрелки — концентрические структуры; синие — ров, разделяющий авандельту; желтые — каньоны (1 — Посольский, 2 — Кукуйский, 3 — Средний, 4 — Харауз).

Черная линия на врезке А — батиметрический профиль, на врезке Б — сейсмоакустический профиль; красная линия с точками — маршрут наблюдений ГОА «Мир»; белые кружки — места отбора проб; черная точка — скв. BDP-99.

629, 644 и 651 м, что составляет 595, 610 и 616 м от вершины подводной возвышенности. Обнаружить на более низких горизонтах выходы осадков в коренном залегании (*in situ*) не удалось. В нижней части юго-восточного склона Кукуйской гривы на глубине 627 м (447 м от вершины) на границе с одноименным каньоном отобран образец осадков (КГ1), который на сегодня является самым древним из отложенных возвышенности. По всем образцам был выполнен палинологический анализ, а по материалу образцов Посольской банки (ПБ2) и Кукуйской гривы (КГ1) проведен минералогический анализ.

МОРФОЛОГИЯ АВАНДЕЛТЫ

Исследования показывают, что на сегодняшний день поверхность древней авандельты имеет сложный характер. Посольская банка, Кукуйская грива и другие фрагменты авандельты — практически самостоятельные, отделенные друг от друга поверхности. Тем не менее очертания древней авандельты прослеживаются довольно четко и имеют характерную для дельт форму округлого сегмента. Поверх-

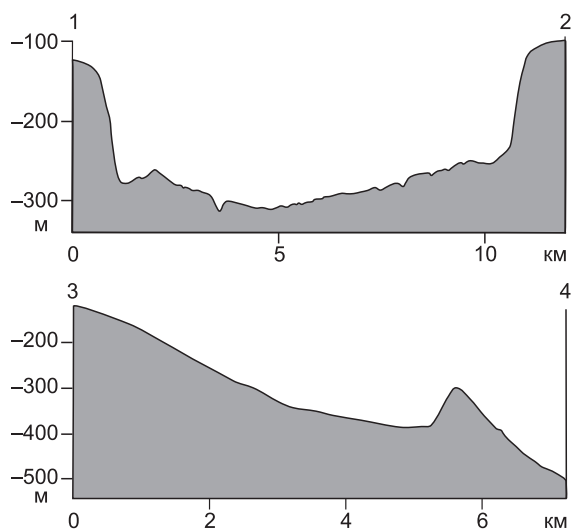


Рис. 2. Батиметрические профили через структуру СД-1.

ность авандельты неоднородна и ее можно, в значительной мере условно, по особенностям строения разделить на две части: внешнюю сильнодеформированную (северо-запад, северо-восток и юго-запад) и внутреннюю часть (юго-восток) более ровную, измененную в значительно меньшей степени. Четко выраженной в рельефе границы между названными частями авандельты нет (см. рис. 1).

Главной особенностью внешней части авандельты является широкое распространение концентрических структур. Для выяснения происхождения структур были построены ряды продольных и поперечных батиметрических профилей самых крупных из них,

расположенных северо-восточнее вершинной поверхности Посольской банки (СД-1, СД-2). Полученный поперечный профиль Пр.1-2 структуры СД-1 имеет субвертикальные стенки высотой примерно 150—170 м. Поверхность дна структур неровная с перепадами до 30—50 м (рис. 2). Профиль 3-4 протягивается через структуру СД-1 с северо-запада на юго-восток и имеет длину около 7 км. В целом профиль полого падает на северо-запад. Его юго-восточное окончание плавно переходит в поверхность авандельты, а северо-западное окончание представляет собой резкий, почти отвесный уступ высотой около 80—90 м. Структура СД-2 по своим плановым очертаниям аналогична СД-1, но морфометрические показатели несколько отличаются. Борты структуры более пологие и имеют высоту от 20 до 60 м. Сравнение продольных батиметрических профилей с геофизическими профилями, полученными А. Урабе и его коллегами [Urabe et al., 2004], показывает их идентичность. Они также падают на запад, северо-запад и имеют субвертикальную стенку с западной стороны профиля.

С северо-востока, северо-запада и юго-запада авандельта заканчивается свалом глубин, представленным крутым склоном, в значительной мере преобразованным развитыми здесь долинами каньонов (Посольский, Харауз, Средний и Кукуйский), склоновыми процессами и многочисленными оползневыми деформациями (см. рис. 1). Здесь же, у северо-восточной окраины концентрической структуры СД-2 (каньон Харауз), прекрасно просматривается четко выраженный в рельефе озерного дна явно тектонический уступ северо-северо-восточного простирания. Протягивается уступ примерно на 16 км до северо-западного берега озера. Его высота на всем протяжении почти не изменяется и достигает примерно 200—220 м. Вдоль его восточного склона четко прослеживается понижение. Юго-восточное окончание этого понижения представляет собой русло формирующегося каньона Харауз глубиной более 100 м.

МОРФОЛОГИЯ КУКУЙСКОЙ ГРИВЫ И ОДНОИМЕННОГО КАНЬОНА

К северу-востоку от современной дельты Селенги расположена подводная возвышенность — Кукуйская грива, имеющая форму клиновидного выступа с острым гребнем, вытянутым вдоль центральной части озера. Грива протягивается на восток, северо-восток на 10.0—10.5 км. В поперечнике, в наиболее широкой юго-западной части, она достигает 6.5 км, в центральной части грива сужается до 3 км, а на северо-восточном окончании вновь расширяется до 4.5 км. Относительные отметки вершинной поверхности гривы над дном озера постепенно растут с 170—180 м на северо-восточном окончании до 750—770 м на юго-западе. Сама вершинная поверхность в целом ровная и плоская с небольшим уклоном на север-северо-восток, чем и обусловлено уменьшение относительных отметок гривы в этом направлении (см. рис. 1).

В поперечном профиле грива имеет асимметричное строение. Северо-западные склоны гривы пологие (от 6 до 10°), поверхность их неоднородная, неровная. В центральной части этого склона прекрасно выражены следы гигантского оползня. Максимальная ширина оползневого цирка, в его нижней части, около 3 км, а высота боковых стенок отрыва — 100—120 м. Верхний край оползня захватил и деформировал значительную часть вершинной поверхности гривы. Юго-восточные склоны более крутые (от 25 до 40°), часто обрывистые, что связано с тем, что у юго-восточного окончания гривы проходит Кукуйский каньон, который подрезает гриву. Общая протяженность каньона с учетом всех изгибов его русла достигает приблизительно 55 км. Ширина каньона варьирует от 2.0 до 4.5 км. Юго-восточнее каньона расположены два участка с грязевыми вулканами [Cuylaerts et al., 2012; Khlystov et al., 2013] (рис. 3).

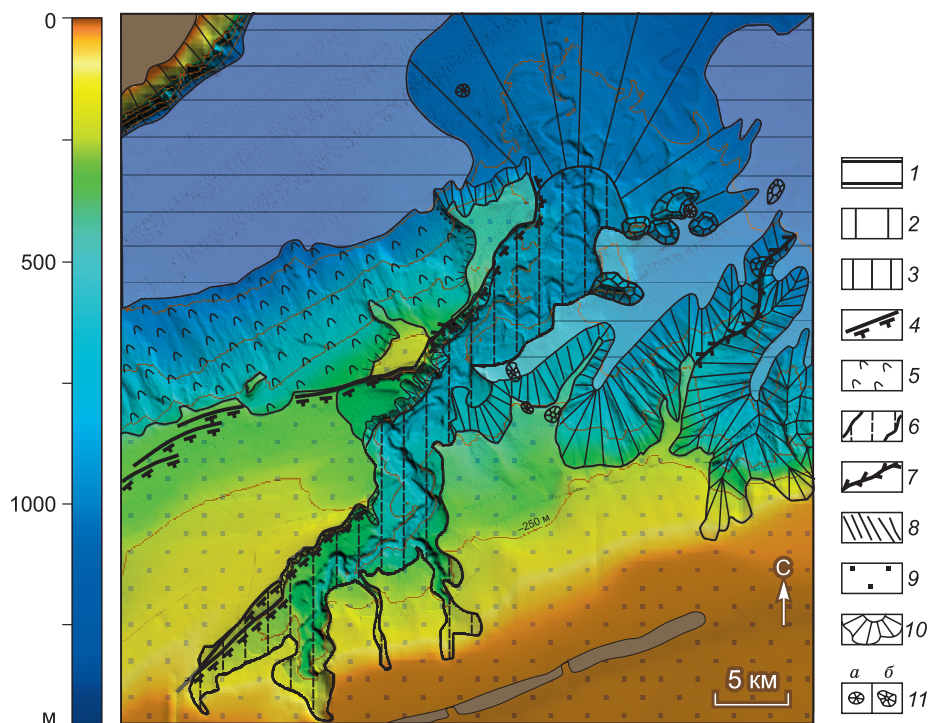


Рис. 3. Подводная возвышенность Кукуйская грива и Кукуйский каньон.

Батиметрическая схема выполнена в цвете, геоморфологическая схема — штриховкой. 1 — поверхность озерной котловины; 2 — склон с крутизной менее 5° ; 3 — склон с крутизной более 5° ; 4 — стенки оседания; 5 — оползневые элементы; 6 — каньон; 7 — гребень подводных отрогов; 8 — система трещин оседания; 9 — фрагменты вершинной поверхности (авандельты); 10 — конус выноса; 11 — подводные структуры: а — грязевого вулкана, б — покмарка.

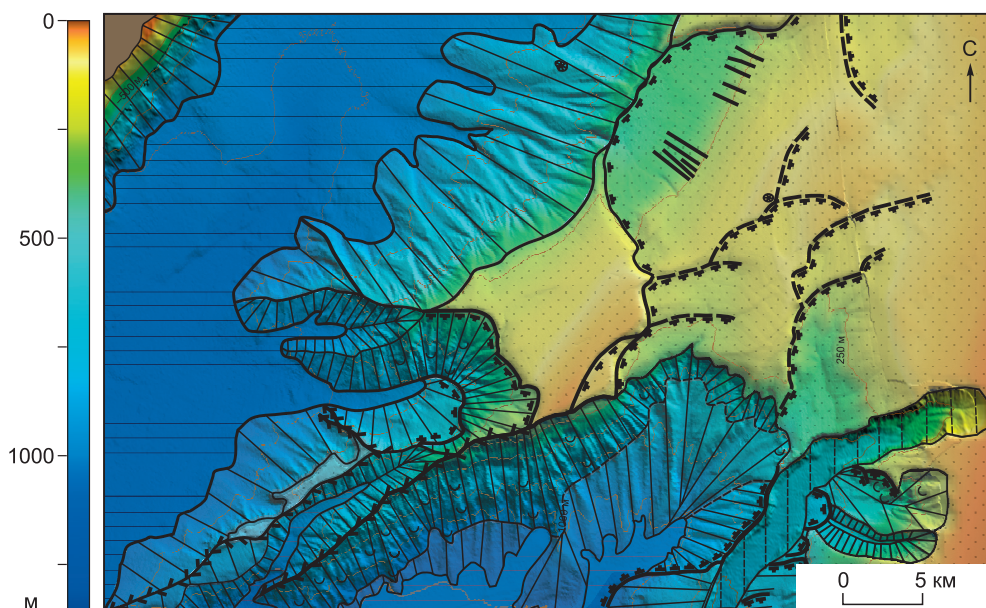


Рис. 4. Подводная возвышенность Посольская банка и Посольский каньон.

Батиметрическая схема выполнена в цвете, геоморфологическая схема — штриховкой.

Усл. обозн. см. на рис. 3.

Южным ограничением Кукуйской гривы является прекрасно выраженный в рельефе уступ северо-восточного простирания с максимальной высотой 100—120 м. Уступ, изгибаясь, прослеживается в юго-западном направлении в пределах поверхности дельты Селенги на протяжении примерно 2 км, затем его высота постепенно снижается до полного исчезновения.

МОРФОЛОГИЯ ПОДВОДНОЙ ВОЗВЫШЕННОСТИ ПОСОЛЬСКАЯ БАНКА

Морфологические характеристики и внутреннее строение Посольской банки были достаточно подробно рассмотрены в работе [Naudts et al., 2012]. Напомним, что Посольская банка располагается юго-западнее дельты Селенги, примерно в 20 км от восточного берега озера, и представляет собой вытянутое с востока, северо-востока на запад, юго-запад подводное поднятие с максимальными отметками над окружающими пространствами дна озера до 1200—1250 м. Вершинные поверхности банки располагаются сегодня на глубинах около 35—50 м от уреза озерных вод.

Рельеф юго-западного окончания вершинной поверхности банки является первичным, наиболее древним, элементом и представляет собой уцелевший от разрушения останец авандельты с характерной, падающей на северо-запад поверхностью осадконакопления. Размеры останца авандельты 6.5×6.2 км. Рельеф поверхности довольно сложный и неоднородный (см. рис. 1). В северо-восточной части поверхность сильно деформированна и представляет собой систему концентрических в плане структур: сейсмогравитационных ступеней или блоков отседания (рис. 4). Аналогичные структуры описаны О.К. Леонтьевым для берегов некоторых морей [Леонтьев, 1955]. Названные отрицательные структуры отделяют сохранившийся фрагмент Посольской банки от внутренней части авандельты.

Описанные структуры отделены друг от друга четко выраженными в рельефе субвертикальными стенками отрыва высотой от 25 до 130 м. На поверхности структур зафиксированы трещины отседания. Эти трещины прекрасно выражены в рельефе. Трещины простираются преимущественно на СЗ $310\text{—}320^\circ$, их максимальная протяженность до 1.2 км, а глубина 7—8 м. Молодыми элементами рельефа Посольской банки являются склоны. Характер склонов неоднороден, они отличаются по крутизне, по степени развития подводно-эрозионных мезо- и микроформ на их поверхности. Пологие склоны с крутизной от 2.5 до 8° развиты с северо-западной стороны банки. Более крутые склоны (от 15 до 20°) распространены на юго-востоке и юго-западе, где максимально развиты подводно-эрозионные процессы, которые местами практически полностью уничтожили исходную поверхность авандельты и только по гребневидным отрогам и отдельным небольшим фрагментам можно предположительно реконструировать первичные очертания Посольской банки. В нижней части банки ее склоны через слабозаметный шлейф подножия плавно переходят в субгоризонтальную поверхность дна озера. Важной геоморфологической особенностью склонов юго-восточной части банки является аномально высокая степень расчлененности и северо-восточное простирание самых больших линейных эрозионных форм. Практически везде в верхних частях склонов сохранились довольно крутые фрагменты стенок блоков отседания.

Крупной и хорошо отслеживаемой формой рельефа является Посольский каньон, расположенный юго-восточнее банки и берущий начало от Посольского сора. В своей верхней части он пересекает бортовые элементы озерной впадины, направляясь на запад-юго-запад, затем резко поворачивает на юго-запад. Посольский каньон имеет прекрасно выраженные, очень крутые борта, ширина его изменяется в пределах от 1.0 до 1.8 км, а глубина от 250 м в верхней части каньона и до 30—40 м в низовье.

На пересечении концентрических структур имеется покмарк диаметром 150 м, ниже по склону за структурой СД-1 расположен грязевой вулкан [Cuylaerts et al., 2012; Khlystov et al., 2013].

РЕЗУЛЬТАТЫ ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКИХ И ПАЛИНОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПОСОЛЬСКОЙ БАНКИ И КУКУЙСКОЙ ГРИВЫ

Геофизические данные по Кукуйской гриве четко показывают наклоны слоев в сторону от дельты р. Селенга, что связано как с синседиментационными, так и постседиментационными процессами. С юго-юго-восточной стороны гривы прослеживается серия сбросов, ниже которых, у подножия Кукуйской гривы, заложен одноименный каньон. С противоположной стороны гривы как в рельефе, так и во внутреннем строении донных отложений видны следы оползневых процессов в виде хаотичных, смятых рефлекторов или ступенчатых форм поверхности дна (рис. 5).

Гранулометрический и минералогический анализы, выполненные для проб ПБ2 (Посольская банка) и КГ1 (Кукуйская грива) показали, что обр. КГ1 представлен известковым аргиллитом (17.3 % — карбонат), а обр. ПБ2 — мергелем (52.3 % — карбонат). Процентный состав тяжелой фракции в каждой пробе составил всего 0.004—0.005 %. В тяжелой фракции преобладают устойчивые минералы (магнетит, ильменит, группа гранатов, циркон, лейкоксен, эпидот, турмалин, рутил). Их содержание в пробе Кукуйской гривы — 67.6 %, а в пробе с Посольской банки — 72.6 %. Коэффициенты устойчивости, подсчитанные по минералам тяжелой фракции, также оказались очень близкими по величине — 1.5 и

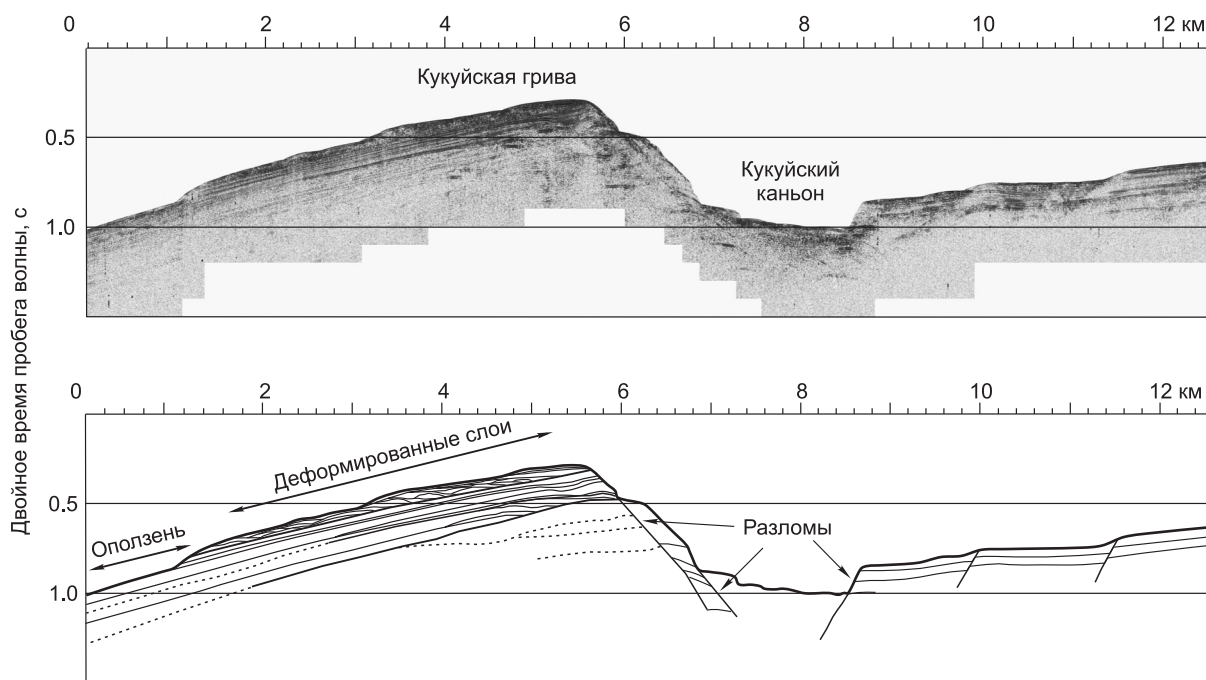


Рис. 5. Сейсмоакустический профиль № 5 и его интерпретация, проходящий через Кукуйскую гриву и каньон.

1.36 соответственно. В обоих образцах в легкой фракции содержится небольшое количество кварца 6.8 и 7.2 %, биотита 1.2 и 0.8 %, мусковита 0.4 и 0.8 %.

По данным палинологического анализа (П.П. Летунова ИАЭТ СО РАН), в образцах с Посольской банки преобладает пыльца древесных таксонов (41—61 %), много пыльцы травянистых семейства маревые *Chenolodiaceae* и рода полыни *Artemisia* (45—20 %), низкое содержание пыльцы тсуги (~1 %) и пыльцы широколиственных таксонов (1—4 %). В спектрах образца с Кукуйской гривы доминируют пыльца древесных растений (71 %) — пихты *Abies* (9 %), ели *Picea* (17 %) и сосны кедровой *Pinus subgenus Haploxyylon* (29 %). Присутствует также пыльца лиственных таксонов, таких как ольха *Alnus* sp. (1 %), лещина *Corylus* sp. (0.3 %) и ильм *Ulmus* sp. (0.3 %).

ОБСУЖДЕНИЕ

В ходе многоканального сейсмического профилирования было установлено, что кристаллический фундамент Посольской банки приподнят относительно впадины и представляет собой крупный ограниченный сбросами наклонный блок, который простирается с ЮЗ на СВ и перекрыт примерно 3-километровым покровом осадков [Scholz, Hutchinson, 2000], что позволило связать образование банки со смещениями по сбросам.

Проведенный анализ особенностей рельефа Посольской банки показывает, что наиболее характерными доминирующими рельефообразующими агентами являются активная сейсмичность территории и гравитационно-эрозионные процессы. Судя по свежести стенок отрыва, можно предположить, что смещение блоков вершинной поверхности произошло недавно и катализатором этого процесса могло быть одно или несколько землетрясений, столь характерных для БРЗ. Под воздействием сейсмических толчков, по-видимому, происходило гравитационное оседание или смещение блоков аккумулятивной толщи банки с нарушением равновесия склонов, что могло привести к их деформации, обрушениям и спровоцировать развитие оползневых процессов. Существование сбросовых и оползневых блоков местами придает рельефу склона Посольской банки ступенчатый характер. Высокая степень изрезанности склонов юго-восточной части банки, их повышенная крутизна и одинаковое, северо-восточное, простираение самых больших линейных эрозионных форм позволяет предположить их приуроченность к разломам.

Особенности геоморфологической поверхности внешней авандельты позволяют говорить, что отделение Посольской банки и Кукуйской гривы от внутренней авандельты было обусловлено резкой активизацией сеймотектонической деятельности на рассматриваемой территории. Это привело к об-

разованию целой серии концентрических по форме структур опускания между банкой и внутренней авандельтой и формированию тектонического уступа южнее Кукуйской гривы. Таким образом, рассматриваемые подводные возвышенности оказались изолированными от дальнейших этапов формирования дельты Селенги. Происхождение концентрических структур, расположенных преимущественно у верхнего края свала глубин авандельты, может быть сеймотектоническим. Вертикальные стенки структур, одинаковая их высота однозначно подтверждают высказанное предположение об их тектонической природе и, по-видимому, молодости, что доказывается степенью их сохранности (нет следов разрушения — промоин, обрушений на стенках). Одинаковая высота стенок возможна только в случае одновременного опускания всей поверхности, ныне занятой структурой, что невозможно связать с какими-то экзогенными факторами. Существование продольных трещин отседания, о которых говорилось выше, не противоречит высказанным соображениям о сеймотектонической (сейсмогравитационной) природе концентрических структур.

Особенности рельефа вершинной поверхности Кукуйской гривы, ее падение на восток, северо-восток в сторону наиболее глубоких центральных областей озера, незаметный плавный переход в поверхность дельты Селенги и наклон слоев на сейсмоакустических профилях однозначно свидетельствуют о дельтовом генезисе гривы (см. рис. 5). Многочисленные и неоднократно проявлявшиеся оползневые процессы на северо-западных склонах Кукуйской гривы эродировали большую часть поверхности, придав возвышенности вид вытянутой на восток, северо-восток довольно узкой гряды — гривы. Разрушение когда-то единой поверхности дельты в результате активных рифтогенных процессов сопровождалось формированием крупного Кукуйского каньона с юго-восточной стороны гривы. Ступенчатость юго-восточного склона гривы обусловлена, по-видимому, тем, что этот склон одновременно является бортовым элементом Кукуйского каньона, заложение и развитие которого связано с процессами рифтогенеза. Резкие коленообразные изгибы русла каньона, ступенчатость его бортов прямо свидетельствуют о причастности к его происхождению и дальнейшему развитию тектоники.

Свидетельством тектонической активности в этом районе является появление тектонического уступа высотой 100—120 м, почти полностью отделившего Кукуйскую гриву от поверхности дельты. По батиметрическим данным этот уступ примерно в 13—14 км юго-западнее от Кукуйской гривы исчезает и в рельефе уже не выражен.

Минералогический анализ отложений, отобранных из разных горизонтов на глубинах от поверхности осадконакопления 610 м на Посольской банке и 447 м на Кукуйской гриве, тем не менее показал их идентичность по многим параметрам. Они имеют примерно одинаковое содержание легкой фракции и близкие коэффициенты устойчивости, подсчитанные для тяжелой фракции, что может свидетельствовать о сходных климатических условиях формирования осадков. Доминирование устойчивых минералов и карбонатов в наших пробах являются показателями потепления и некоторого иссушения климата. Литологическая схожесть отложений и условий залегания по сейсмоакустическим данным также позволяет предположить одинаковые условия осадконакопления на обоих флангах древней дельты. Ввиду того, что выборка для минералогического анализа небольшая, изложенные выше предположения не бесспорны.

На сегодняшний день в литературе практически отсутствуют достоверные данные о характере и возрасте осадков, слагающих обсуждаемые возвышенности. Установлено, что с южной стороны Посольской банки на глубинах около 910, 873 и 590 м вскрываются плотные серые мелкозернистые песчаники и алевролиты, условно отнесенные к верхнему миоцену по единичной пыльце широколиственных пород [Зоненшайн и др., 1995]. Следует подчеркнуть, что авторы публикации допускают возможность переотложения древних осадков в месте отбора проб.

Отметим, что смешанные хвойные леса с относительно высоким видовым разнообразием с примесью широколиственных пород формировали ландшафты Байкальского региона в позднем миоцене — раннем плиоцене [Белова, 1985; Безрукова и др., 1999; Demske et al., 2005]. Однако низкое процентное содержание пыльцы тсуги и пыльцы широколиственных таксонов, а также повышение пыльцы травянистых, вероятно, свидетельствует о плиоцен-плейстоценовом возрасте вмещающих их отложений. Обилие пыльцы некоторых трав семейства маревых *Chenopodiaceae* и рода полыни *Artemisia* в образцах с Посольской банки, формирующих в современном растительном покрове преимущественно степные ассоциации, говорит о господстве открытых степных пространных и гораздо более сухом, чем современный, климате [Bezrukova et al., 2003; Demske et al., 2005]. В спектрах образца с Кукуйской гривы преобладает пыльца древесных растений — пихты, ели и сосны кедровой. Все три таксона в настоящее время формируют темнохвойно-таежный комплекс в горах Байкальского региона в условиях умеренно-холодного и влажного климата. Однако присутствие в спектрах пыльцы таких лиственных таксонов, как ольха, лещина и ильм, произрастающих сегодня южнее и восточнее Байкальского региона, позволяют сделать вывод о несколько более мягких, чем современные, условиях. Спектры подобного состава встречены в осадках оз. Байкал, возраст которых относится к межледниковьям плейстоцена [Shichi et

al., 2007]. Сравнение спорово-пыльцевых спектров проб ПБ1-3 и КГ1 со спектрами из отложений керна BDP-96-1 показало, что осадки с Посольской банки на горизонтах около 610 м от вершины могут быть отнесены к стадии А5 (2.6—2.35 млн лет) в палинологической записи бурового керна, т. е. к началу раннего плейстоцена*, а осадки Кукуйской гривы с горизонта 447 м — к стадии А3 (1.86—1.5 млн лет) — средней части раннего плейстоцена [Bezrukova et al., 2003]. Такие оценки возраста не противоречат данным скв. BDP-99, где в разрезе Посольской банки выделены три толщи, возраст которых достигает 1.2—1.3 млн лет на глубине 350 м, а скорости осадконакопления доходили до 1.7 м в 1000 лет [Коллектив..., 2004]. Позже эти же авторы указали, что такие скорости были присущи только средней части разреза, а в нижней скорость не превышала 0.6 м/1000 лет [Baikal..., 2005]. Простые подсчеты показывают, что средняя скорость осадконакопления в точке бурения была 25—30 см/1000 лет. Следовательно, на глубине 610 м от вершинной поверхности банки при сохранении названной средней скорости осадконакопления возраст осадков может быть от 2.0 до 2.4 млн лет, а возраст образца с Кукуйской гривы с глубины 447 м (от вершинной поверхности гривы) может быть в интервале 1.5—1.8 млн лет (если предположить, что условия осадконакопления на обоих флангах дельты были одинаковы). Наши расчеты возраста, основанные на допущении равномерности процесса и средней скорости осадконакопления на Кукуйской гриве и Посольской банке, также в достаточной мере условные.

Состав и строение нижней и средней толщи осадочного разреза скв. BDP-99 на Посольской банке [Коллектив..., 2004] и данные, полученные с подводных аппаратов, подтверждают вывод о том, что эта часть разреза была сформирована в авандельте древней Праселенги. Анализ новых батиметрических материалов, особенностей геоморфологического строения, сравнение сейсмоакустических разрезов, литолого-гранулометрических характеристик отложений, а также спорово-пыльцевые спектры проб показывают, что обе возвышенности на начальном этапе своего развития являлись элементами единой поверхности дельтовой системы Селенги и представляли ее авандельту. В результате активизации рифтогенных процессов приморской тектонической фазы [Мац, 2012] около 1.0—0.8 млн лет назад поверхность древней авандельты, вероятно, была разорвана тектоническими движениями. На северо-востоке и юго-западе от нее отделились фрагменты (Кукуйская грива и Посольская банка), которые стали развиваться автономно, а дельтовый режим осадконакопления сменился на пелагический, что подтверждено данными бурения для Посольской банки [Коллектив..., 2004]. Особенности современного рельефа этих возвышенностей позволяют сделать вывод, что огромную роль на начальной стадии их преобразований сыграли именно тектонические (сейсмические) процессы. Отделение названных фрагментов от единой древней авандельты достаточно четко отслеживается по концентрическим структурам, хорошо выраженным в районе Посольской банки, а также подчеркивается северо-восточным простираем наиболее крупных эрозионных форм рельефа, в том числе и долин каньонов, обновление которых, вероятно, обусловлено импульсами туйской тектонической фазой (120—150 тыс. л. н.) [Мац, 2012]. Современный облик рельефа подводных возвышенностей смоделирован в итоге взаимодействия сеймотектонических и подводных эрозионных процессов, имеющих место и в настоящее время.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Геоморфологический анализ батиметрических данных и особенностей осадконакопления Посольской банки и Кукуйской гривы позволяет сделать вывод, что они являются останцами древней единой дельтовой системы. В результате совместной деятельности тектонических, преимущественно сеймотектонических, и подводных эрозионных процессов древняя дельтовая поверхность была сильно преобразована — вершинная поверхность сильно перекошена, склоны приобрели местами сбросовый характер, были осложнены многочисленными оползнями, прорезаны руслами каньонов. В конечном итоге Посольская банка и Кукуйская грива стали вполне автономными структурами, не связанными с современным дельтовым процессом. Согласно последним решениям МСК [Gibbard et al., 2010; Жамойда, Леонтьева, 2012] о снижении возраста нижней границы плейстоцена до 2.588 млн лет, возраст мергелей Посольской банки на глубине 610 м от вершинной поверхности, по палинологическим данным, вероятно, не древнее начала раннего плейстоцена (2.58—1.80 млн лет), а аргиллитов Кукуйской гривы на горизонте 450 м ниже вершины не древнее средней части раннего плейстоцена (1.8—1.5 млн лет).

Гранулометрический и минералогический анализы выполнены в Институте земной коры Е. Поляковой, палинологический анализ образцов выполнен в Институте археологии и этнографии СО РАН П.П. Летуновой. Авторы благодарны д.г.н. Е.В. Безруковой за помощь в работе с палинологическими данными, а также академику М.А. Грачеву и проф. М. Де Батист за возможность проведения съемки многолучевым эхолотом на Байкале, капитану и экипажу НИС «Г. Титов» за качественное проведение

* Используются обновленная нижняя граница четвертичного периода (2.588 млн лет) [Gibbard et al., 2010; Гиббард, 2015], утвержденная на расширенном заседании Бюро МСК 7 апреля 2011 г. [Жамойда, Леонтьева, 2012].

этих работ, а также Фонду содействия сохранению озера Байкал за отбор проб грунта с помощью ГОА «Мир».

Работа была выполнена в рамках гос. задания № 0345-2014-0009 и № 0345-2015-0029. Батиметрические данные получены в рамках проектов Президиума РАН 17.8 (2009) и FWO Flanders project 1.5.198.09.

ЛИТЕРАТУРА

Атлас озера Байкал // Составлен Гидрографической экспедицией под начальством полковника Ф.К. Дриженко. СПб., Главное гидрографическое управление, 1902.

Безрукова Е.В., Кулагина Н.В., Летунова П.П., Шестакова О.Н. Направленность изменений растительности и климата Байкальского региона за последние 5 млн лет (по данным палинологического исследования осадков озера Байкал) // Геология и геофизика, 1999, т. 40 (5), с. 735—745.

Белова В.А. Растительность и климат позднего кайнозоя юга Восточной Сибири. Новосибирск, Наука, 1985, 158 с.

Бузо С. Первые исследователи глубин Байкала // Восточно-Сибирская правда, 1951 [<http://www.magicbaikal.ru/history/first-researchers-of-baikal-death.htm>].

Верещагин Г.Ю. Байкал. Научно-популярный очерк. Иркутск, ОГИЗ, 1947, 170 с.

Гиббард Ф.Л. Четвертичная система (период) и ее основные подразделения // Геология и геофизика, 2015, т. 56 (4), с. 873—875.

ГУНиО МО СССР. Карта озера Байкал на 4-х листах. СПб., 1992.

Дыбовский Б., Годлевский В. Физико-географические исследования на Байкале в 1869—1876 гг. // Труды Вост.-Сиб. отд. РГО., 1897, № 1, с. 1—62.

Жамойда А.И., Леонтьева Е.Н. Постановление о понижении уровня границы неогеновой и четвертичной систем // Постановления Межведомственного стратиграфического комитета и его постоянных комиссий. Вып. 41. СПб., Изд-во ВСЕГЕИ, 2012, с. 9—11.

Замараев С.М., Самсонов В.В. Геологическое строение и нефтегазоносность Селенгинской депрессии // Геология и нефтегазоносность Восточной Сибири. М., Гостехиздат, 1959, с. 435—474.

Зоненшайн Л.П., Казьмин В.Г., Кузьмин М.И. Новые данные по истории Байкала: результаты наблюдений с подводных обитаемых аппаратов // Геотектоника, 1995, № 3, с. 46—48.

Зорин Ю.В. Новейшая структура и изостазия Байкальской рифтовой зоны и прилегающей территории. М., Наука, 1971, 168 с.

Казенкина Г.А., Ладохин Н.П. Геоморфология и донные отложения залива Провал. Материалы по геологии мезокайнозойских отложений Восточной Сибири // Тр. Вост.-Сиб. геол. ин-та СО АН СССР, 1961, вып. 3, с. 35—48.

Коллектив участников проекта «Байкал-бурение». Высокоразрешающая осадочная запись по керну глубоководного бурения на Посольской банке в озере Байкал (BDP-99) // Геология и геофизика, 2004, т. 45 (2), с. 163—193.

Леонтьев О.К. Геоморфология морских берегов и дна. М., Изд-во Моск. ун-та, 1955, 378 с.

Лоция и физико-географический очерк озера Байкал / Ред. Ф.К. Дриженко. СПб., Главное гидрографическое управление, 1908, 443 с.

Логачев Н.А. История и геодинамика Байкальского рифта // Геология и геофизика, 2003, т. 44 (5), с. 391—406.

Мац В.Д. Возраст и геодинамическая природа осадочного выполнения Байкальского рифта // Геология и геофизика, 2012, т. 53 (9), с. 1219—1244.

Морозова Г.М., Дашевский Ю.В., Неведрова Н.Н., Грехов И.О. Глубинное распределение электропроводности и поле напряжений в земной коре Байкальского прогностического полигона // Геология и геофизика, 1999, т. 40 (3), с. 332—345.

Сейсмогеология и детальное сейсмическое районирование Прибайкалья / Ред. В.П. Солоненко. Новосибирск, Наука, 1981, 168 с.

Хромовских В.С. Сейсмогеология Южного Прибайкалья. М., Наука, 1965, 122 с.

Baikal Drilling Project Members. A new Quaternary record of regional tectonic, sedimentation and paleoclimate changes from drill core BDP-99 at Posolskaya Bank, Lake Baikal // Quat. Int., 2005, v. 136, p. 105—121.

Bezrukova E.V., Kulagina N.V., Letunova P.P., Karabanov E.B., Williams D.F., Kuzmin M.I., Kravivina S.M., Vershinin K.E., Shestakova O.N. Pliocene-Quaternary vegetation and climate history of the lake Baikal area, Eastern Siberia // Long continental records from Lake Baikal / Ed. K. Kashiwaya. Tokyo, Springer, 2003, p. 111—120.

Cuylaerts M., Naudts L., Casier R., Khabuev A.V., Belousov O.V., Kononov E.E., Khlystov O., De Batist M. Distribution and morphology of mud volcanoes and other fluid flow-related lake-bed structures in Lake Baikal, Russia // *Geo-Marine Letter*, 2012, v. 32, p. 383—394.

De Batist M., Canals M., Sherstyankin P., Alekseev S. & the INTAS Project 99-1669 Team. A new bathymetric map of Lake Baikal, 2002, <http://www.lin.irk.ru/insta/index.html>.

Demske D., Heumann G., Granoszewskic W., Nita M., Mamakowa K., Tarasov P., Oberhensli H. Late glacial and Holocene vegetation and regional climate // *Global Planet. Change*, 2005, v. 46, p. 255—279.

Gibbard P.L., Head M.J., Walker M.J.C., Subcommission on Quaternary Stratigraphy. Formal ratification of the Quaternary System/Period and the Pleistocene Series/Epoch with a base at 2.58 Ma // *J. Quat. Sci.*, 2010, v. 25, p. 96—102.

Khlystov O., Nishio S., Hitoshi H., Ramesh S., Rao D., Kalachand S., Manakov A. Results of gas hydrate search on Lake Baikal in 2005—2007 and further prospects // *Int. Conference on Gas Hydrate Studies, Abstracts*, 2007, p. 33.

Khlystov O.M., De Batist M., Shoji H., Hachikubo A., Nishio S., Naudts N., Poort J., Khabuev A., Belousov O.M., Manakov A.Y., Kalmychkov G.V. Gas hydrate of Lake Baikal: Discovery and varieties // *J. Asia Earth Sci.*, 2013, v. 62, p. 162—166.

Naudts L., Khlystov O., Granin N., Chensky A., Poort J., De Batist M. Stratigraphic and structural control on the distribution of gas hydrates and active gas seeps on the Posolsky Bank, Lake Baikal // *Geo-Marine Letter*, 2012, v. 32, p. 395—406.

Ramesh S., Rao D., Rao B., Sain K., Khlystov O., Grachev M., Kathirolu S. Gas hydrate exploration and sampling in Kukuya canyon, north of Selenga delta, Lake Baikal, Russia / Ed. R. Venkatachalapathy // *Earth Resources and Environment, Research Publishing, Singapore*, 2013, p. 132—140.

Scholz C.A., Hutchinson D.R. Stratigraphic and structural evolution of the Selenga Delta Accommodation Zone, Lake Baikal Rift, Siberia // *Int. J. Earth Sci.*, 2000, v. 89, p. 212—228.

Shchetnikov A.A., Radziminovich Ya.B., Vologina E.G., Ufimtsev G.F. The formation of Proval Bay as an episode in the development of the Baikal rift basin: A case study // *Geomorphology*, 2012, v. 117, p. 1—16.

Shichi K., Kawamuro K., Takahara H., Hase Y., Maki T., Miyoshi N. Climate and vegetation changes around Lake Baikal during the last 350,000 years // *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.*, 2007, v. 248, p. 357—375.

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 // *Quat. Res.*, 2004, v. 62, № 2, p. 214—222.

*Рекомендована к печати 26 апреля 2016 г.
И.С. Новиковым*

*Поступила в редакцию 23 апреля 2015 г.,
после доработки — 29 декабря 2015 г.*