

ИССЛЕДОВАНИЯ В БАССЕЙНЕ БАЙКАЛА

УДК 551.89, 550.93

DOI: 10.15372/GIPR20240407

О.М. ХЛЫСТОВ*, Е.Е. КОНОНОВ**

*Лимнологический институт СО РАН,
664033, Иркутск, ул. Улан-Баторская, 3, Россия, oleg@lin.irk.ru

**Институт географии им. В.Б. Сочавы СО РАН,
664033, Иркутск, ул. Улан-Баторская, 1, Россия, ekon@7395.ru

МЕЗОРЕНДЕРФ ПОДВОДНОГО АКАДЕМИЧЕСКОГО ХРЕБТА ОЗЕРА БАЙКАЛ (НА ОСНОВЕ НОВЫХ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ)

Приведены результаты анализа рельефа Академического хребта, выполненного с использованием массива детальных батиметрических данных, полученных с помощью многолучевого эхолота. Установлено, что на поверхности хребта и его бортах доминируют линейно вытянутые на северо-восток уступы разломной природы. Уступы формируют склоновые поверхности и придают асимметричную форму поперечному профилю хребта. Вершинная поверхность хребта в его юго-западной и центральной частях осложнена грядово-овражным, холмисто-котловинным рельефом, образование которого, предположительно, может быть связано с оползневыми процессами, разломной тектоникой, активной сейсмичностью территории. Прямоугольные или слабоизогнутые в плане формы в центральной части хребта могли быть созданы в результате расчленения уступа Академического разлома поперечными диагональными разломами. Некоторые из них могли унаследовать тектонический рисунок продольных и поперечных разрывных нарушений в фундаменте и осадочной толще. Предположение о формировании холмисто-котловинного рельефа и некоторых линейно вытянутых форм в результате деятельности донных течений не подтверждается проведенными исследованиями. Юго-восточный склон хребта осложнен в юго-западной части грядово-овражным рельефом, а в центральной — террасовидными ступенями тектонического происхождения, а также грядами комплексов грязевых вулканов. Образование оползней вблизи о. Большой Ушканый во второй половине голоценена связывается с сейсмотектонической активностью территории. Установленные особенности рельефа хребта показывают, что ведущая роль в его создании и дальнейшем развитии принадлежит тектоническим движениям разного возраста и современным сейсмотектоническим процессам.

Ключевые слова: Байкал, донный рельеф, реконструкции, разломная тектоника, грязевой вулкан, оползни.

О.М. KHLYSTOV*, Е.Е. KONONOV**

*Limnological Institute, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences,
664033, Irkutsk, ul. Ulan-Batorskaya, 3, Russia, oleg@lin.irk.ru

**V.B. Sochava Institute of Geography, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences,
664033, Irkutsk, ul. Ulan-Batorskaya, 1, Russia, ekon@7395.ru

THE MESORELIEF OF UNDERWATER ACADEMICIAN RIDGE IN LAKE BAIKAL (AS DEDUCED FROM THE LATEST INSTRUMENTAL DATA)

Presented are the results from analyzing the topography of Academician Ridge by using an array of detailed bathymetric data obtained with a multibeam echo sounder. It has been established that the surface of the ridge and its sides are dominated by fault ledges linearly elongated to the north-east. The benches form slope surfaces and give an asymmetrical shape to the transverse profile of the ridge. The summit surface of the ridge in its southwestern and central parts is complicated by ridge-ravine and hilly-hollow relief, the formation of which, presumably, may be associated with landslide processes, fault tectonics, and active seismicity of the territory. The rectilinear or slightly curved shapes in the central part of the ridge could have been cre-

ated as a result of the dissection of the Akademian fault scarp by transverse diagonal faults. Some of them could have inherited the tectonic pattern of longitudinal and transverse faults in the basement and sedimentary strata. The assumption about the formation of a hilly-hollow relief and some linearly elongated forms as a result of the activity of bottom currents is not confirmed by the conducted studies. The southeastern slope of the range is complicated in the southwestern part by ridge-gully relief, and in the central part by terrace-like steps of tectonic origin as well as ridges of mud volcano complexes. Formation of landslides near the Bolshoi Ushkany island in the second half of the Holocene is associated with the seismotectonic activity of the territory. The established features of the ridge's relief show that the leading role in its creation and further development belongs to tectonic movements of different ages and to modern seismotectonic processes.

Keywords: Baikal, bottom relief, reconstruction, fault tectonics, mud volcano, landslides.

ВВЕДЕНИЕ

Академический хребет является частью Ольхонско-Ушканской межвпадинной перемычки — орографической структуры между Средней и Северной котловинами оз. Байкал. Перемычка представляет собой сложное образование, включающее надводные горсты Ольхонский и Ушканый и подводный горст Академического хребта, ограниченные с юго-востока зоной Ольхонского разлома, с северо-запада — Ушканским и частично Зундукским разломом. Поднятие Академического хребта состоит из двух структурных подблоков — северо-западного и юго-восточного, отделенных друг от друга вытянутым на северо-восток уступом Академического разлома [1–5]. Асимметричная поперечная форма хребта позволила связать его образование с процессами рифтогенного разломообразования, благодаря которым блок хребта был сброшен под урез озерных вод по поверхности листрического разлома [6].

Результаты геофизических исследований и глубоководного бурения донных отложений Академического хребта показали, что условия осадконакопления на юго-восточном подблоке во время формирования вскрытой осадочной толщи были спокойными и постоянными начиная с середины плиоценена [7, 8]. Объяснить это можно тем, что хребет уже в то время представлял собой изолированную структурную возвышенность, расположенную выше донных поверхностей соседних котловин, что исключает попадание на нее турбидитов, а все отложения на поверхности хребта формировались путем гемипелагического осадконакопления [8].

По итогам проведенного детального непрерывного сейсмоакустического профилирования в 1997–1998 гг. на поверхности северо-западного подблока на глубине более 250 м были выделены отрицательные формы рельефа и участки повышенной мощности осадочной толщи, не связанные с рельефом кровли фундамента. Их образование, предположительно, является следствием деятельности придонных течений [3]. Высказанное предположение требует верификации с помощью детальной площадной съемки рельефа дна с помощью многолучевых эхолотов и локаторов бокового обзора.

Съемка поверхности Академического хребта была выполнена в 2009 г. [9]. Массив полученных батиметрических данных, а также дополнительно привлеченные материалы электронной карты озера, составленной в рамках проекта ИНТАС [10], позволяют более детально проанализировать рельеф поверхности хребта. Целью работы является выяснение и уточнение морфологических особенностей рельефа Академического хребта и оценка роли эндогенных и экзогенных процессов в создании его современного облика.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДИКА

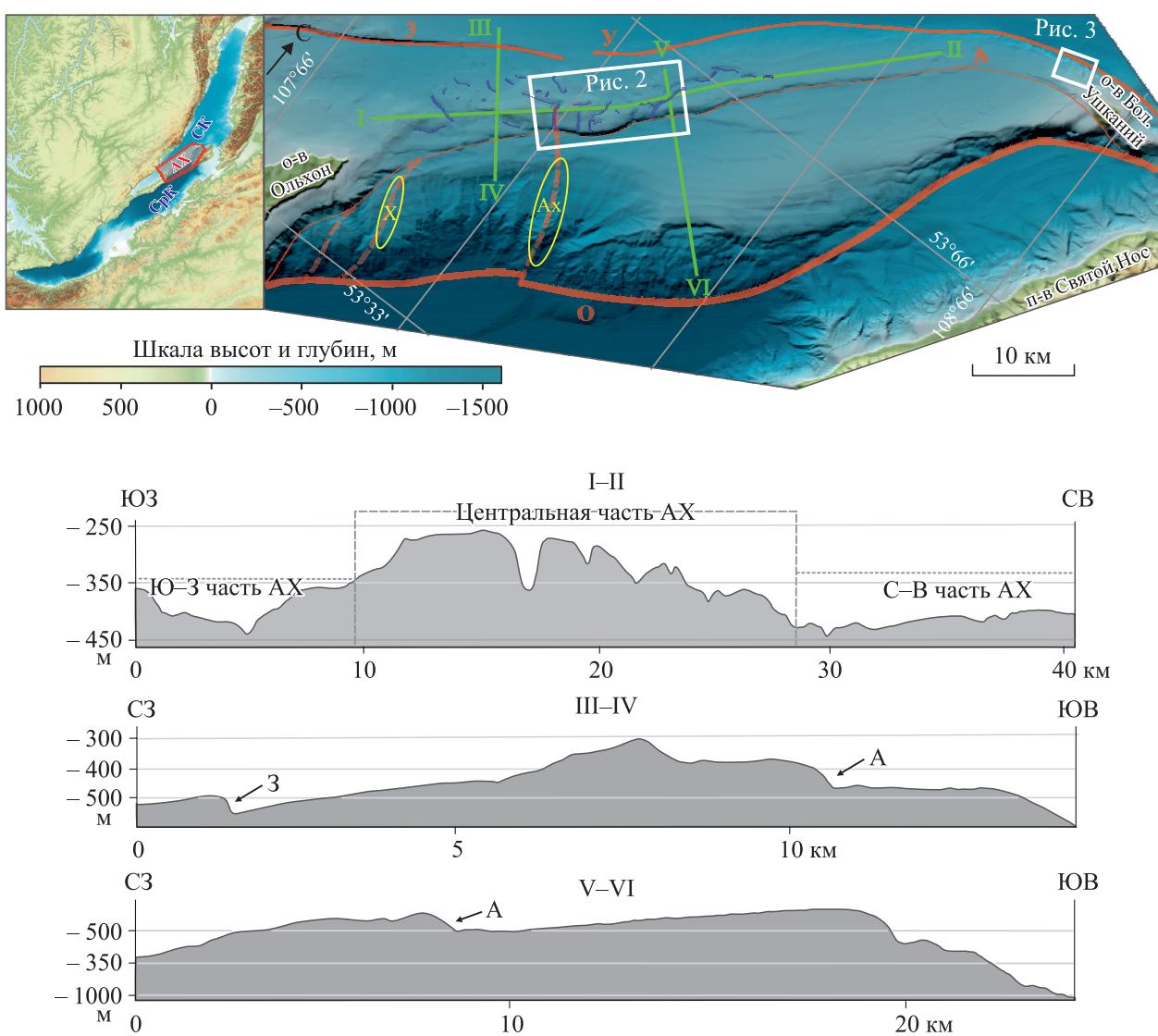
При выполнении полевых работ в 2009 г. использовалась система многолучевой эхолокации ELAC Sea Beam 1050 (с частотой 50 кГц), установленная на научно-исследовательском судне «Г. Титов» [9, 11]. В результате проведенных работ был получен массив высокодетализированных батиметрических данных для Южного и Среднего Байкала (включая всю площадь подводного Академического хребта) с разрешением от 1,5 м на глубине ~50 м и до 37 м на глубине ~1500 м (ширина диаграммы направленности $3 \times 3^\circ$). Две антенны решетки преобразователя устанавливались так, чтобы получить 120° поперечной полосы с зоной покрытия луча, равной четырем величинам глубины. Межгалсовые расстояния зависели от глубины, но всегда обеспечивали 20%-е перекрытие луча на соседних галсах. Профили скорости звука сформированы на основе показателей температуры, давления и минерализации, определенных при погружении зонда CTD. Непрерывный мониторинг скорости звука также велся по преобразователям для более точного управления лучом. Первоначальная обработка данных осуществлялась с помощью HDP Edit и HTTP Post бельгийскими коллегами [9]. Дальнейшая обработка и визуализация данных выполнялись посредством программного продукта IVS3D Fledermaus и

GlobalMapper. Полученные данные стали основой для проведения детального изучения донного рельефа Академического хребта, построения поперечных и продольных профилей, совместного анализа установленных комплексов форм донного рельефа.

Для уточнения и дополнительной заверки результатов исследования привлекались опубликованные материалы других авторов, что отражено в тексте.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Подводный Академический хребет протянулся на 70–75 км в северо-восточном направлении от о. Ольхон до архипелага Ушканы острова. В поперечнике размеры хребта варьируют от 15 до 25 км. Поверхность хребта неровная и залегает на глубине от 250 до 580 м ниже уровня озера (рис. 1). На северо-востоке хребта его поверхность начинает подниматься и выходит выше уреза воды в виде о. Большой Ушканий.



Поперечный профиль III–IV, построенный через юго-западную оконечность хребта, имеет асимметричную форму (см. рис. 1). На профиле четко выделяются крутые уступы Зундукского и Академического разломов. Уступ Зундукского разлома имеет высоту от 30 до 150 м, простирается на северо-восток и под углом 8–10° примыкает к северо-западному склону хребта, где кулисообразно переходит в Ушканский разлом, имеющий противоположный азимут падения (аккомодационная зона разломной системы) [4, 5]. Северо-западный склон Академического хребта по своим морфометрическим характеристикам неоднородный. В его юго-западной части склон пологий с крутизной 2–4° и незаметно переходит в донную поверхность Северной котловины. По мере продвижения на северо-восток крутизна склона возрастает до 8–10°, а при приближении к о. Большой Ушканий — до 25–30°. Здесь склон представлен хорошо выраженным в рельефе уступом Ушканского разлома, который почти на всем протяжении имеет северо-восточное простиранье. Практически на траверзе Ушканых островов уступ кулисообразно поворачивает на восток и огибает острова с северо-запада и севера. Хребет здесь обрывается к абиссальной поверхности Северной котловины крутым 400-метровым подводным уступом, на котором отмечаются оползневые цирки.

Особенности юго-восточного склона Академического хребта в значительной степени контролируются уступом Ольхонского разлома, который входит в систему тектонических уступов юго-восточного подблока хребта [2, 4–7]. Склон более крутой, чем северо-западный. Поверхность склона в его юго-западной части осложнена хорошо развитым грядово-овражным рельефом, который прослеживается практически от бровки склона до подножия. Глубина расчленения рельефа от 20 до 180 м. Поперечный профиль склона здесь слабовыпуклый: до глубины примерно 750 м крутизна склона 4,0–4,5°, а ниже — 10–12°. Максимальной глубины до 150–200 м подводные овраги достигают в средней, наиболее выпуклой части склона. Бровка описываемого склона, начиная от зоны сочленения Академического и Ольхонского разломов около о. Ольхон, на протяжении примерно 20 км протягивается прямолинейно на северо-восток, согласно простиранию уступа Академического разлома. Затем кромка дугообразно поворачивает на востоко-северо-восток и через 8,5–9,0 км вновь меняет свое направление на северо-восточное.

Примерно на траверзе п-ова Святой Нос характер юго-восточного склона меняется. Здесь его отдельные верхние участки имеют ступенчатое строение. Высота ступеней — от 50 до 200 м, их крутизна — 25–30°. Ступени имеют субгоризонтальную поверхность шириной до 600–700 м (см. рис. 1, профиль V–VI). Тыловые швы ступеней в плане практически прямолинейные, и их расположение совпадает с простирианием уступа Академического разлома.

Нижняя часть склона осложнена грядово-овражным рельефом с глубиной вреза 120–140 м, достигающим донной поверхности Средней котловины. При приближении к о. Большой Ушканий юго-восточный склон становится более крутым (35–40°) и постепенно понижается. Снижение высоты склона связано с тем, что на этом участке превышение поверхности Академического хребта над дном Средней котловины начинает сокращаться с 1100 м до 400–550 м, что обусловлено резким уменьшением глубин озерной котловины по направлению с юга на север. Напротив п-ова Святой Нос донная поверхность Средней котловины начинает резко сужаться и подниматься, и на расстоянии всего 5,0–5,5 км ее глубины уменьшаются с 1400–1450 м до 900–850 м. Котловина Среднего Байкала незаметно переходит в вытянутую на север (примерно на 30 км) впадину, имеющую в поперечном разрезе грабенообразный характер с практически плоским субгоризонтальным дном шириной от 5,5 до 7,5 км. Днище грабена местами осложнено долинами подводных каньонов протяженностью 7–9 км. Долины корытообразные с шириной днища от 100 м до 500 м и глубиной вреза 30–60 м.

Доминирующей морфоструктурой поверхности Академического хребта является уступ Академического разлома. Разлом в целом субпараллелен Ольхонскому и Ушканскому разломам и делит блок Академического хребта, как было отмечено выше, на два подблока — северо-западный и юго-восточный. Помимо структурной сегментации первого порядка, блок Академического хребта также раздроблен многочисленными вторичными поперечно-диагональными разломами [4]. Бровка уступа Академического разлома местами рассечена этими разломами, которые обнажают породы фундамента. Разломы визуально зафиксированы с помощью подводных аппаратов «Пайсис» [6] и «Мир» (личные наблюдения автора). Максимальной крутизны и высоты (до 200 м) уступ достигает в центральной части хребта (см. рис. 1). По мере приближения к о. Большой Ушканий высота уступа постепенно понижается до 20–30 м, а на расстоянии 11–12 км от острова уступ перекрывается чехлом донных осадков и практически исчезает, слившись с поверхностью хребта. В 5,5–6,0 км юго-западнее острова уступ вновь появляется на поверхности и достигает высоты 45–50 м, а его направление при приближении к острову меняется с северо-восточного на восточное, и уступ проходит южнее о. Большой

Ушканый. По данным В.Д. Маца и др. [4], на северо-востоке Академического хребта высота уступа Академического разлома вновь увеличивается, что в конечном итоге приводит к обнажению пород фундамента на Ушканых островах. В юго-западной части хребта уступ Академического разлома практически подходит к о. Ольхон и упирается в зону Ольхонского разлома у восточного склона острова [4, 5]. Переход Академического разлома к Ольхонскому проходит через серию поперечно-косых разломов, выраженных в рельефе в виде линейно вытянутых ложбин, грядообразных поднятий и впадин протяженностью 4–6 км и глубиной расчленения 20–70 м (см. рис. 1).

На продольном профиле I-II, пройденном преимущественно вдоль гребня уступа Академического разлома, хорошо видно, что юго-западная и центральная части поверхности Академического хребта более расчлененные, чем северо-восточная (см. рис. 1). Поверхность центральной части хребта расчленена поперечными грядово-овражными формами небольшой протяженности (2,5–3,0 км) и с глубиной расчленения 30–40 м. Подводные овраги имеют V-образный поперечный профиль, а гряды, их разделяющие, плосковершинные или островерхие. В плане эти овраги параллельны друг другу, что позволяет предположить их заложение по вторичным диагональным разломам (см. рис. 1, 2). Северо-западнее уступа Академического разлома широко распространены разноориентированные извилистые каналы, рвы, овраги. Некоторые из них открываются на уступе Академического разлома, некоторые слепые, не связанные с какими-то другими структурами (см. рис. 1, 2).

Как продолжение одного из оврагов на юго-восточном склоне Академического хребта обнаружена вытянутая на юго-восток положительная структура (гряды), получившая название Академхребет. Она представляет собой цепочку из кратеров и холмов грязевых вулканов, протягивающуюся вниз по склону [11], имеет ширину более 2 км, протяженность 6 км и расположена на глубине от 500 до 800 м (см. рис. 1). Гряды маркируют поперечный разлом между основными продольными сбросами Академического хребта, вдоль которого шло ее формирование [12]. У южной оконечности хребта, вблизи

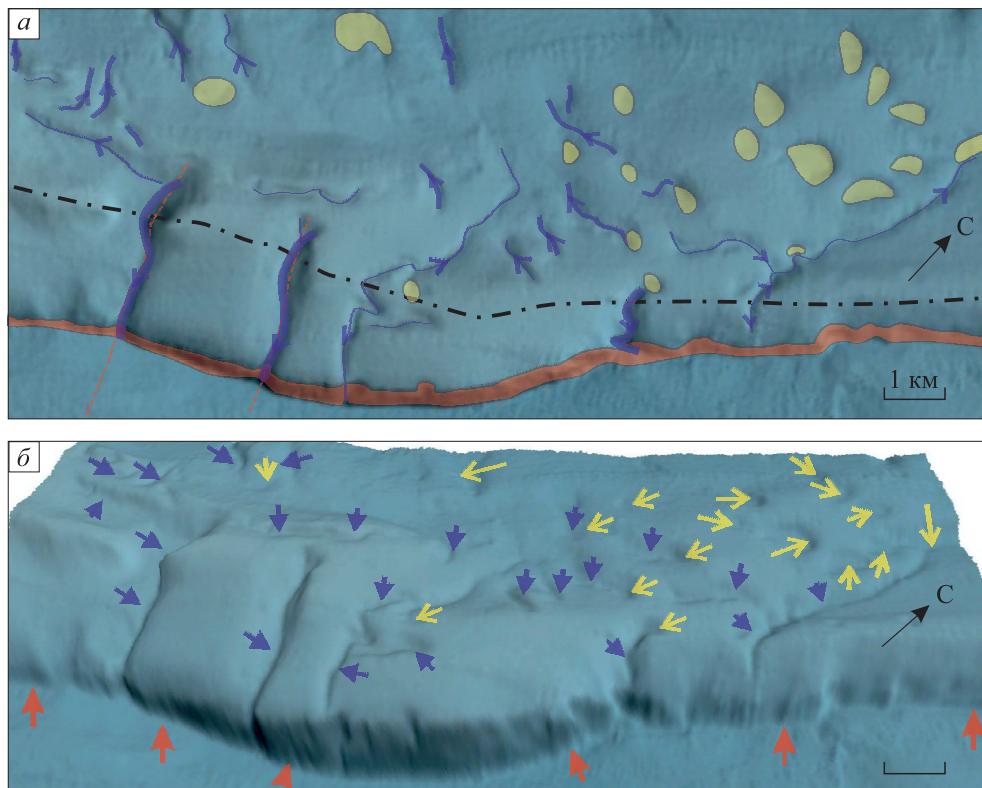


Рис. 2. Схема центральной части северо-западного подблока АХ (а) и 3D-изображение этого участка (б).

Красным цветом (а) и красными стрелками (б) показан эскарп Академического разлома; красная пунктирная линия (а) — второстепенные поперечные разломы. Синие линии (а) и стрелки (б) — каналы, рвы, овраги. Стрелки также указывают направления уклонов днищ линейно вытянутых форм. Желтым цветом выделены овальные понижения. Пунктиром с точкой отмечен гребень северо-западного подблока Академического хребта.

о. Ольхон, на стыке Академического и Ольхонского разломов, установлена еще одна косопоперечная хребту структура, также состоящая из нескольких кратеров и вершин, слитых в единый комплекс грязевых вулканов, получившая название Хобой [11]. Комплекс расположен на глубинах от 450 до 600 м (см. рис. 1).

На пологой части северо-западного подблока Академического хребта также распространены овальные по форме плоские понижения, достигающие в поперечнике размеров от нескольких десятков метров до 500–600 м и глубины 10–30 м. Некоторые понижения имеют наклон днища вниз по склону на северо-запад, север — в сторону абиссали Северной котловины. Территориально такие формы рельефа тяготеют к юго-западной и центральной частям Академического хребта и отсутствуют на глубине менее 250 м (см. рис. 1, 2). Следует отметить, что такие понижения практически полностью отсутствуют в пределах юго-восточного подблока хребта.

На северо-западном склоне Академического хребта, западнее о. Большой Ушканий, установлены три хорошо выраженных в рельефе оползня (рис. 3). Тыловой шов оползней расположен на глубине 300, 280, 220 м в направлении с запада на восток. Самый крупный из них (западный) имеет размеры 1,3 × 0,5 км, угол наклона поверхности оползня достигает 9°, высота стенок срыва — до 20–25 м. Верхняя часть тела западного оползня расположена на глубине около 300 м, а нижняя — на глубине 780 м. Керн (номер — st12, глубина 830 м), отобранный на донной поверхности Северной котловины, в 1,2 км от подошвы оползневого тела, представлен типично байкальским разрезом донных осадков. Сверху — серым диатомовым илом (0–139 см), а ниже — оливково-серой глиной. Совсем другой

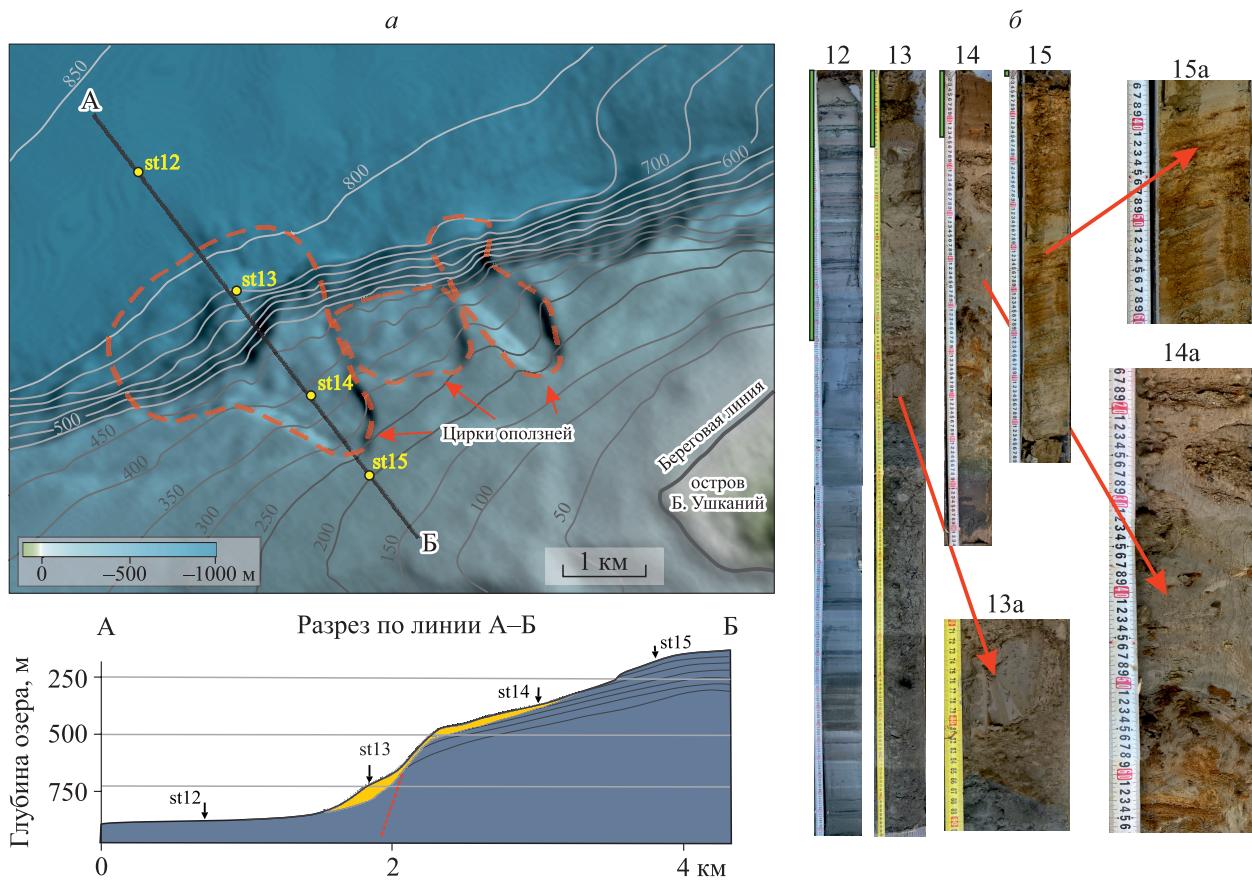


Рис. 3. Оползни в районе о. Большой Ушканий.

a — обзорная батиметрическая схема района оползней около о. Большой Ушканий и продольный геологический разрез (A–Б). Желтыми точками показаны места отбора кернов и их номера (st12–15); желтой пунктирной линией выделены границы поверхностей оползней; на схематическом геологическом разрезе А–Б указаны места отбора кернов, тело оползня (оттенки желтого цвета) и уступ разлома (красная пунктирующая линия). *б* — фотографии кернов с указанием цифрой их номеров (12–15). Стрелками показаны увеличенные участки кернов: 13а — с крупными обломками осадочных пород и граница смена цвета отложений, 14а — текстуры смятия, сползания, 15а — горизонтальное залегание слоев. Зеленым показаны интервалы диатомового ила.

литологический состав имеют отложения тела оползня в его нижней части, вблизи подошвы. Здесь керн (st13, глубина 750 м) сверху начинается маломощным прослоем диатомового ила (0–20 см), а ниже идет несортированная смесь плотной глины, среднезернистого и мелкозернистого песка. С поверхности дна до 86 см в глубину цвет донных отложений желтовато-коричневый, а с 86 до 189 см — серый. Такой разрез указывает на нестабильные или даже катастрофические условия осадконакопления у подножия склона. Керн (st14, глубина 390 м), взятый в верхней части оползневого тела, в 0,9 км от стенки срыва, имеет сверху маломощный диатомовый слой (0–14 см), а ниже состоит из плотных слоев глины с включениями крупнозернистого и среднезернистого песка, которые в низах керна полностью замещают глину. Весь разрез желтого и желтовато-коричневого цвета. Сверху в глинистом интервале (14–65 см) наблюдаются текстуры смятия и сползания, характерные для оползневых тел. Керн (st15, глубина 200 м), отобранный вне области оползня, выше по склону на глубине 200 м, также желтовато-коричневого цвета и имеет всего до 2 см диатомового слоя. Остальная часть разреза представлена алевритом, песком и отдельными слойками глины с горизонтальной слоистостью. Практическое отсутствие диатомового ила в этой точке дна связано с ее размывом и сносом в настоящее время из-за сезонных термоклиновых перемешиваний водных масс в мелководной части (до 250 м) вблизи о. Большой Ушканый.

Нашиими исследованиями еще раз подтверждена тектоническая природа многих элементов рельефа Академического хребта, описанных ранее другими авторами [1, 4, 6]. Наличие тектогенного уступа Академического разлома, практически параллельного бортам хребта, свидетельствует о неоднородности блока хребта, его расчленении в продольном направлении. Уступ разлома местами разрезан подводными оврагами, образование которых связано с поперечными диагональными разломами, чье существование установлено сейсмическими данными и во время погружений на глубоководных аппаратах [2]. Тектогенный характер хребта подчеркивается особенностями склоновых поверхностей в разных его частях. Юго-западная часть хребта имеет асимметричный поперечный профиль с пологим северо-западным склоном и относительно крутым юго-восточным. На северо-восточном окончании хребта оба склона очень крутые, представлены уступами разломов, а поперечный профиль хребта здесь горстоподобный.

Описанные выше особенности простирации кромки юго-восточного склона объясняются возможным сползанием в прошлом фрагмента этого склона, инициированным тектоническими подвижками. Плоскость сползания в настоящее время отмоделирована грядово-овражным рельефом. Ступени на юго-восточном склоне, отмечаемые на профиле III–IV, сбросовые и, по мнению В.Д. Маца и его коллег [4], по ним кровля фундамента постепенно углубляется от Академического разлома к Ольхонскому разлому по многочисленным ступенчатым продольным блокам разломов. Все перечисленные особенности рельефа Академического хребта подчеркивают его тектоническую природу, а его поперечная асимметрия свидетельствует о скольжении блока хребта по поверхности листрического разлома. Аналогичные смещения установлены для Ольхонского блока и всего Приольхонья [6].

На этом же склоне выделяются две крупные гряды, образованные в ходе грязевулканической активности и разгрузки газонасыщенного флюида через поперечные разломы на юго-восточном подблоке в четвертичное время. Обе гряды представляют собой слитые воедино и вытянутые по одной линии вниз по склону кратеры и холмы комплексов грязевых вулканов Академхребет и Хобой [11].

Распространенные на пологих склонах северо-западного блока Академического хребта понижения овальной формы, по нашему мнению, имеют просадочный генезис, что связано с динамической нестабильностью склоновых поверхностей в условиях высокой современной сейсмичности этого сегмента котловины. Не исключено их образование и в результате ослабления устойчивости грунтов в ходе разгрузок газонасыщенного флюида [12]. Наличие грязевых вулканов на хребте позволяет предполагать различную разгрузку газонасыщенного флюида в прошлом на северо-западном блоке, где обнаружены овальные котловины. Широко распространенные по Академическому хребту линейные понижения в рельефе могут иметь разное происхождение. Прямолинейные или слабоизогнутые в плане формы в центральной части хребта могли быть созданы в результате расчленения уступа Академического разлома поперечными диагональными разломами. Во время сильных сейсмических толчков на поверхности склонов возможно появление линейных трещин-просадок, которые могут унаследовать тектонический рисунок продольных и поперечных разрывных нарушений в фундаменте и осадочной толще (см. рис. 1, 2). Часть линейных понижений образована за счет разрастания и слияния овальных котловин (см. рис. 2), что может также свидетельствовать о начале оползневых процессов.

С. Черамикола с коллегами [3] считают, что внешняя форма и внутренняя геометрия наблюдаемых на хребте рвов и пологих поднятий имеют много общего с крупномасштабными дрейфами глубоководных отложений, и интерпретируют описанные особенности поднятий и линейных форм как мелкомасштабные озерные наносы, образующиеся в результате размыва и переноса осадочного материала придонными течениями. Анализ детальной батиметрической карты показал, что интерпретированная ими по данным детального непрерывного сейсмоакустического профилирования как единая, ориентированная через хребет система каналов на самом деле оказалась случайным пересечением профилем одного или нескольких овальных понижений или коротких, слепых и разноориентированных оврагов-рвов. Большинство линейно вытянутых отрицательных форм рельефа формировались в результате просадки и обрушения стенок вдоль разрывного нарушения, а не под влиянием придонных течений. Тем не менее определенную роль придонных течений в прошлом и настоящем в формировании некоторых крупных каналов в центральной части Академического хребта до конца исключать нельзя. Для получения однозначного ответа необходимы современные измерения течений и высокоразрешающие исследования кернов вокруг и внутри каналов, секущих частично хребет, достигая уступа Академического разлома (см. рис. 2).

Образование описанных оползней вблизи о. Большой Ушканый связывается с сейсмотектонической активностью территории [5], провоцирующей возникновение этих форм. Облик оползней явно молодой. Исходя из средней скорости осадконакопления на Академическом хребте (4 см в 1 тыс. лет [8]), можно предположить, что оползни были сформированы во второй половине голоцене, так как 14–20 см диатомового ила, перекрывающего оползневые массы, могли накопиться максимум за 3–5 тыс. лет. Тем не менее это не исключает участия в их возникновении подводных разгрузок газа вблизи этого участка склона, как было показано на примере Красноярского оползня в Южной котловине озера [12].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Новые высокоразрешающие батиметрические данные в совокупности с уже имеющимися материалами разнонаправленных исследований дали возможность выделить на поверхности Академического хребта ранее недоступные для исследований мелкие детали рельефа — оползни, каналы, овраги, рвы, овальные котловины. Образование большинства этих мезоформ обусловлено в той или иной мере сейсмотектонической ситуацией в районе хребта. Овальные понижения преимущественно сформировались в результате просадки осадочного покрова в ходе сейсмических событий или могли быть связаны с разгрузкой газонасыщенного флюида в прошлом. Другие, как правило прямолинейные или слабоизогнутые в плане, оврагоподобные формы созданы в результате расчленения уступа Академического разлома поперечными диагональными разломами. Формирование подводного грядово-овражного рельефа на юго-восточном склоне Академического хребта связано с гравитационными потоками, развитыми на этом склоне.

Детализация рельефа хребта не подтвердила главенствующую роль придонных течений в формировании отрицательных форм современного подводного рельефа этого участка озера. Отмеченные вдоль склонов хребта и на его поверхности однонаправленные линейно вытянутые уступы, террасо-видные поверхности и оползни вблизи о. Большой Ушканый своим образованием также обязаны сейсмотектонической истории развития этого района.

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки России в рамках темы государственного задания Лимнологического института СО РАН (0279–2021–0006).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Zonenshain L.P., Savochnikov L.A. Geodynamics of the Baikal rift zone and plate tectonics of Asia // Tectonophysics. — 1981. — Vol. 76. — P. 1–45.
2. Казьмин В.Г., Гольмшток А.Я., Клитгорт К. Строение и развитие района Академического хребта по данным сейсмических и подводных исследований (Байкальский рифт) // Геология и геофизика. — 1995. — Т. 36, № 10. — С. 164–176.
3. Ceramicola S., Rebescu M., De Batist M., Khlystov O. Seismic evidence of small-scale lacustrine drifts in Lake Baikal (Russia) // Marine Geophysical Researches. — 2001. — Vol. 22. — P. 445–464.

4. Mats V.D., Khlystov O.M., De Batist M., Ceramicola S., Lomonosova T.K., Klimansky A. Evolution of the Academic Ridge Accommodation Zone in the central part of the Baikal Rift, from high-resolution reflection seismic profiling and geological field investigations // Intern. Journ. of Earth Sciences. — 2000. — Vol. 89 (2). — P. 229–250.
5. Khlystov O.M., Mats V.D., Vorobyeva S.S., Klimanskii A.V., De Batist M., Ceramicola S. Structure and evolution of the underwater Akademichesky Ridge (Baikal) // Russian Geology and Geophysics. — 2000. — Vol. 41 (6). — P. 819–824.
6. 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.
7. Moore T.C. Jr., Klitgord K.D., Golmshtok A.J., Weber E. Sedimentation and subsidence patterns in the central and north basins of Lake Baikal from seismic stratigraphy // GSA Bulletin. — 1997. — Vol. 109, N 6. — P. 746–766.
8. Kuzmin M.I., Karabanov E.B., Kawai T., Williams D., Bychinskii V.A., Kerber V.E., Kravchinskii V.A., Bezrukova E.V., Prokopenko A.A., Geletii V.F., Kalmychkov G.V., Goreglyad A.V., Antipin V.S., Khomutova M.Yu., Soshina N.M., Ivanov E.V., Khursevich G.K., Tkachenko L.L., Solotchina E.P., Yoshida N., Gvozdikov A.N. Deep drilling on Lake Baikal: main results // Russian Geology and Geophysics. — 2001. — Vol. 42, N 1–2. — P. 8–34.
9. 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. — Vol. 32 (5–6). — P. 383–394.
10. De Batist M., Canals M., Sherstyankin P., Alekseev S. A new bathymetric map of Lake Baikal // INTAS Project 99-1669 Team 2002 [Электронный ресурс]. — <http://www.lin.irk.ru/insta/index.html> (дата обращения 20.03.2024).
11. Хлыстов О.М., Минами Х., Хачикубо А., Ямашита С., Де Батист М., Наудтс Л., Хабуев А.В., Ченский А.Г., Губин Н.А., Воробьев С.С. Возраст грязевой брекчии грязевых вулканов Академического хребта озера Байкал // Геодинамика и тектонофизика. — 2017. — Т. 8, № 4. — С. 923–932. — DOI: 10.5800/GT-2017-8-4-0324
12. Кудаев А.А., Ахманов Г.Г., Хлыстов О.М., Видищева О.Н., Соловьева М.А., Корост Д.В. Флюидоразгрузка как фактор устойчивости склоновых отложений на примере субаквального оползня «Красноярский», озеро Байкал // Вестн. Моск. ун-та. Сер. Геология. — 2023. — № 3. — С. 1–25.

Поступила в редакцию 04.12.2023

После доработки 14.03.2024

Принята к опубликованию 11.07.2024