

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ВОД СУШИ С ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДОЙ

УДК 551.435.36

ТИПИЗАЦИЯ И СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ БЕРЕГОВ ОЗЕРА БАЙКАЛ

© 2020 г. Е. А. Козырева^а, А. В. Кадетова^а, А. А. Рыбченко^а,
В. А. Пеллинен^{а, *}, А. А. Светлаков^а, Ю. С. Тарасова^а

^аИнститут земной коры СО РАН,
Иркутск, 664033 Россия

*e-mail: vadim.a.pellinen@yandex.ru

Поступила в редакцию 23.10.2018 г.

После доработки 23.10.2019 г.

Принята к публикации 12.11.2019 г.

Представлены основные берегоформирующие факторы, характерные для озера Байкал, основные типы и подтипы берегов озера, а также современное их состояние. Сложное геологическое строение предопределило разнообразие типов берегов озера. Выделяются следующие типы берегов: структурно-абразионный, абразионный, аккумулятивный, биогенный, техногенный. Каждый тип берега по-разному реагирует на природно-техногенные колебание уровня и другие берегоформирующие факторы.

Ключевые слова: типы берегов, уловенный режим, абразионо-аккумулятивные процессы, озеро Байкал.

DOI: 10.31857/S0321059620040070

ВВЕДЕНИЕ

Озеро Байкал – уникальный природный объект, в котловине которого сосредоточено ~20% мировых запасов поверхностных пресных вод и более 80% запасов в России. Байкал – самое глубокое пресное озеро на планете Земля [5]. В 1996 г. озеро было внесено в список объектов Всемирного наследия ЮНЕСКО, а 2006 г. Правительством Российской Федерации утверждены границы Байкальской природной территории [23]. На берегах древнейшего озера сохранено разнообразие ландшафтов, памятников природы и археологии, эндемиков фауны и флоры [5]. В настоящее время территории вокруг озера используются как для хозяйственных, так и для рекреационных целей. До 2014 г. вблизи озера действовало 12 особо охраняемых территорий. Однако в настоящее время они административно объединены в два учреждения – “Заповедное Прибайкалье” и “Заповедное Подлесье” [21, 22].

В работе рассматривается береговая зона оз. Байкал, где происходят основные преобразования геологической среды в сложившихся современных природно-техногенных условиях и факторах, и развиваются экзогенные процессы, формируя современный облик побережья озера. Работы по классификации берегов включают в себя систематизацию и оценку характера развития береговых процессов. Формирование морских берегов, берегов озер и искусственных водо-

емов – результат сложных взаимодействий водной составляющей и вмещающих горных пород, результирующими в развитии берега становятся две группы процессов: абразия и аккумуляция. Общие закономерности в создании берегов предопределяются как раз развитием этих двух групп процессов, а их взаимодействие с другими экзогенными процессами в береговой зоне формирует различные подтипы берега с абразионной или аккумулятивной составляющей.

Классификация берегов и картографирование береговой зоны Байкала предпринимались ранее при составлении карт “Геоморфология и динамика берегов” для Атласа Иркутской области и карты “Морфология и динамика берегов озера Байкал” [8, 18]. В ходе многолетних исследований были выделены основные типы берегов: абразионные и аккумулятивные. А.В. Пинегин в 1976 г. с учетом структурно-тектонических особенностей формирования Байкальской рифтовой впадины предложил выделять дополнительно структурно-абразионный тип берега [18]. А.Б. Иметхеновым в своих работах детально исследованы особенности кайнозойских отложений и развитие берегов оз. Байкал [10]. А.А. Рогозиным детализирована информация по отдельным участкам береговой зоны Байкала с проявлением аккумулятивных форм [24]. Исследования Б.П. Агафонова посвящены изучению формирования и особенностей развития процессов абра-

Таблица 1. Классификация байкальских берегов

Группа	Тип
Абразионные	Структурно-абразионный
	Абразионный
Аккумулятивные	Аккумулятивный
	Биогенный
Укрепленные	Техногенный

зии, оползней, обвалов и осыпей и их вклада в динамику осадочных отложений Байкальской впадины [2].

В настоящей работе берега оз. Байкал вслед за предшественниками рассматриваются в двух классификационных группах, основных типах и их подтипах (табл. 1). Каждый тип берега имеет свои геолого-геоморфологические особенности и проявляет определенную реакцию на изменения положения уровня воды в водоеме, дополнительные техногенные воздействия и другие берегоформирующие факторы.

ФАКТОРЫ ФОРМИРОВАНИЯ БЕРЕГОВ оз. БАЙКАЛ

Уровеньный режим Байкала

Одним из ключевых факторов, влияющих на формирование берегов, является колебание уровня водоема. За период инструментальных наблюдений за уровнем воды в оз. Байкал в естественных условиях отмечалось повышение уровня с весны до осени и его понижение с поздней осени до весны. Минимальные положения уровней в 98% случаев приходились на апрель, максимальное положение уровня оз. Байкал приходилось на декабрь. За период естественного режима озера максимум уровня наблюдался в 1932 г. и достигал абсолютной отметки в 456.8 м, а минимум — в 1904 г. (454.83 м). Амплитуда многолетних колебаний уровня достигала 1.97 м.

С 1961 г. после создания Иркутского водохранилища положение уровня воды в озере и его колебания зависят от технического регулирования на фоне природно-климатических особенностей естественного формирования водного баланса озера [16], поскольку произошло объединение резервуаров озера и долинного водохранилища, что привело к искусственному повышению уровня

воды в оз. Байкал на 1.2 м. Это оказало ведущую роль на переформирование береговой зоны озера. После искусственного повышения уровня воды амплитуда годовых колебаний уровня уменьшилась, но в многолетнем разрезе — увеличилась. Максимальные отметки уровня воды на Байкале при техническом регулировании достигаются в осенний период (сентябрь—октябрь). Минимальные уровни воды характерны для весеннего периода, после зимней сработки объема водой массы ГЭС.

В отдельные периоды уровень воды при техническом регулировании достигал самых высоких отметок за последние 200 лет наблюдений (1962—1963, 1973—1974, 1988—1989 гг.). Реакция берегов озера на повышение уровня незамедлительная и отмечается активизацией абразионного процесса. Временные снижения уровня (1971—1972 и 1975—1982 гг.) способствовали затуханию процессов абразии, ее интенсивность снижалась. Однако все береговые экзогенные геологические процессы ритмично активизируются в периоды очередного подъема уровня, особенно активно развитие процессов отмечается при уровне, превышающем НПГ на 0.2—0.3 м, во время штормов и ветроволнового нагона в осенний период [10].

В марте 2001 г. отметки уровня были установлены в пределах 1 м средней водности (минимальный 456, максимальный 457 м). Как показали результаты натурных наблюдений, выполняемых в период с 2001 по 2014 г. в пределах береговой зоны на ключевых участках, установленные ограничения по амплитуде колебания уровня озера привели к определенной стабилизации абразионного процесса [12, 13].

В последние годы природно-климатические аномалии, маловодность нескольких лет привели к понижению уровня воды в Байкале до критических отметок и принятию Постановления правительства Российской Федерации о форсировании отметок уровня озера [19]. В документе установлены дифференцированные максимальный (457.85 м) и минимальный (455.54 м) уровни воды в оз. Байкал в условиях экстремально высокой и экстремально низкой водности. Таким образом, данное постановление привело к увеличению диапазона колебаний уровней с 2.01 до 2.31 м. Как считают власти, это позволит избежать угрозы чрезвычайной ситуации и обеспечить водо-, тепло- и энергоснабжение населения, объектов экономики и социальной сферы региона. Возможность наполнять озеро до максимальных отметок (>457.85 м) создаст условия, способствующие переработке береговых склонов, активизации абразионных процессов береговой линии, проявлению сопутствующих береговых процессов в соответствии с новым положением уровня.

Ветроволновые условия

Большой вклад в особенности развития береговой зоны вносят ветроволновые условия водоема. Ветровой режим на Байкале характеризуется сезонной периодичностью направления и силой преобладающих ветров. В холодном сезоне ветры направлены с суши на озеро, а в теплое время года — с озера на сушу. Наиболее сильны ветра западных румбов, к ним относятся Горный и Сарма, которые достигают в порывах силы урагана — 40–50 м/с. Повторяемость и длительность сильных ветров (40–50 м/с) зависит от общих синоптических условий района. Максимальные скорости ветров отмечаются в апреле–мае и ноябре. Волнение на озере наблюдается почти непрерывно. [4, 11]. Высота волн зависит от скорости ветра, длительности его действия и разгона — расстояния, на котором ветер продолжает воздействовать на бегущую волну. Наибольшее влияние волновой нагрузки на береговую линию отмечается при максимальном уровне.

Геолого-структурные условия

Байкальская впадина — самая крупная и древняя по возрасту заложения байкальского типа впадина в структуре внутриконтинентальной Байкальской рифтовой системы. Впадина ограничена разломами и представляет собой грабен, где погружение фундамента максимально у северо-западного борта, более крутого, чем южный и юго-западный борта. Самые крупные разломы: главный Саянский и Приморский имеют древнее докайнозойское заложение и были активизированы в кайнозое. Разломы представляют собой ветви глубинного краевого шва, разделяющего Сибирскую платформу и Саяно-Байкальскую складчатую область [17]. Неотектонические движения крупных структурных блоков Сибирской платформы и Саяно-Байкальской горной области предопределили геоморфологический облик современной котловины оз. Байкал и ее береговых склонов.

Геологическое строение береговой зоны Байкала чрезвычайно разнообразно, в нем участвуют магматические, метаморфические и осадочные породы от архейского до четвертичного возраста. По периметру береговой линии оз. Байкал преобладают скальные породы — трещиноватые, сильно выветрелые, рыхлые и слабо литифицированные отложения занимают меньшие по площади территории, чем коренные.

МЕТОДИКА РАБОТ

Работа выполнена на основе комплексного подхода, сочетающего сбор, анализ и интерпретацию натурных данных и лабораторных исследований, опубликованных литературных и фондовых

материалов. Для оценки современного состояния берегов Байкало-Иркутской гидротехнической системы авторами использован метод ключевых участков.

В результате сбора и обобщения архивных, фондовых и опубликованных материалов определены ключевые участки (рис. 1) береговой линии с распространением типично унаследованных природных форм проявления экзогенных процессов и их активизации под действием техногенных факторов. Подобрана и проанализирована информация о современном состоянии берегового склона и параметрах активизации процессов в разные временные периоды. На ключевых участках выполнено дешифрирование береговой зоны и сравнительный анализ разновременных аэрофото- и космоснимков. Это позволило провести количественный анализ параметров склонов и проследить динамику изменений положения береговой линии во времени. Для детального исследования рельефа береговой зоны в данной работе применялась аэрофотосъемка, выполненная с дистанционно пилотируемых летательных аппаратов (ДПЛА), служивших для получения аэрофотоснимков с разрешением 3840 × 2160 пикселей. Полеты запрограммированы при помощи специальных программных инструментов. Высота съемки составила 100 м над уровнем оз. Байкал. Перекрытие фотографии составило 80%. Выполненные работы позволили создать высококачественные ортофотоснимки и трехмерные модели ключевых участков.

Экспедиционные исследования позволили охарактеризовать современное состояние и параметры активизации береговых процессов. Выполнен анализ влияния сложившейся техногенной нагрузки на динамику развития береговых процессов. Для оценки современной скорости развития экзогенных процессов на ключевых участках проводятся ежегодные мониторинговые наблюдения, включающие инструментальные измерения: морфометрию склонов и форм проявления процессов, эхолотирование подводной части склона, тахеометрическую, GPS- и аэрофотосъемку. Построение профилей берегового склона ключевых участков, надводной и подводной его частей позволяют проследить динамику развития процессов. Результаты натурных наблюдений могут быть экстраполированы на сходные по геолого-геоморфологическим условиям участки и служат основой построения математических моделей, прогнозных расчетов формирования береговых склонов.

В целях изучения литологических особенностей горных пород, слагающих береговой склон, проведен отбор проб для лабораторных исследований. Определены гранулометрический состав,

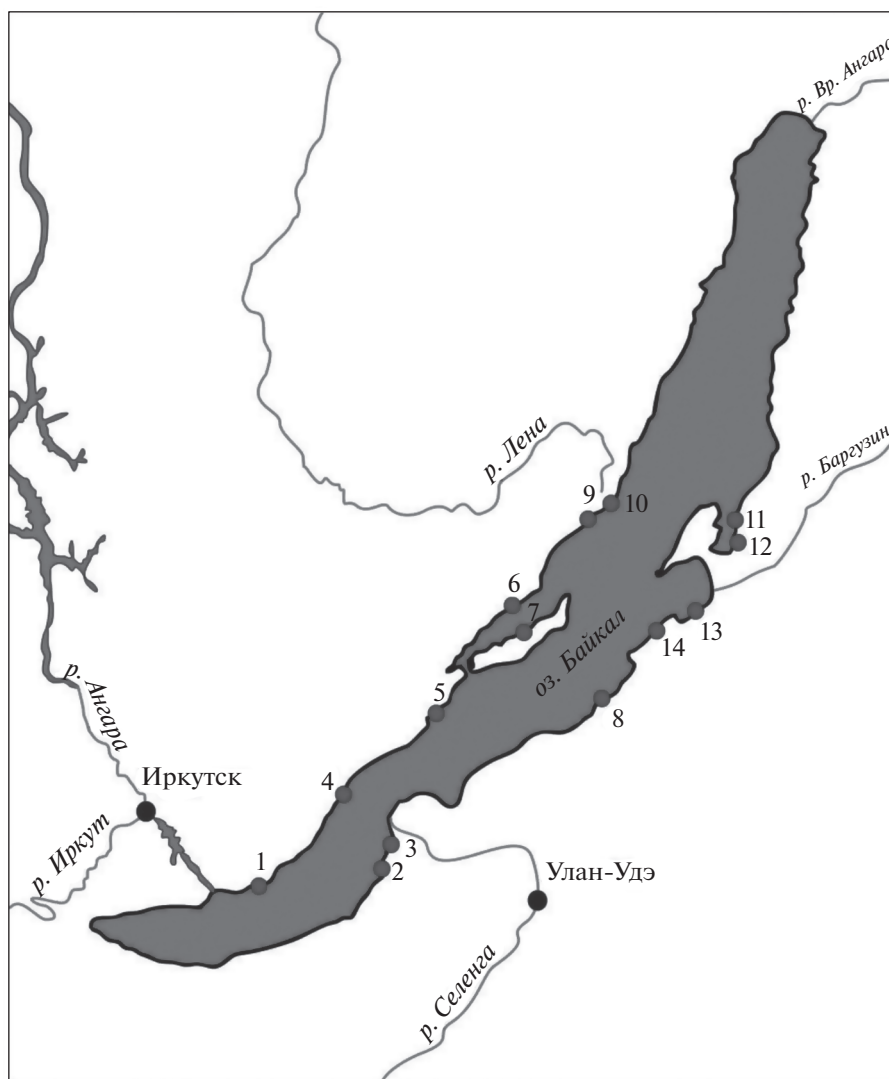


Рис. 1. Ключевые участки побережья оз. Байкал: 1 – Толстый, 2 – Гремячий, 3 – Боярский, 4 – Песчанка, 5 – Куяда, 6 – Ото-Хушун, 7 – Хейрем, 8 – Рытый, 9 – Мохайка, 10 – Торфяной берег, 11 – Святой нос, 12 – Максимиха, 13 – Катково, 14 – Гремячинск.

физико-механические свойства, особенности химического состава горных пород и отложений.

При обследовании береговой линии в основу картографирования типов побережья положена генетическая классификация О.К. Леонтьева [14], которая была использована предыдущими исследователями береговой зоны Байкала [4, 8, 18].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Современную морфологию береговых зон Байкала определяют такие процессы, как абразия, аккумуляция, оползни, обвалы, ветровой перенос песков и др. [2, 3, 26, 27].

Береговые склоны Байкальской впадины имеют единое, преимущественно сбросово-тектони-

ческое происхождение, после образования глубоководного Байкала склоны оказались в резко различных условиях экзогенного развития [1]. В современных условиях после периода длительной технической эксплуатации водоема на озере развиваются четыре основные генетические типы берегов.

Абразионная группа берегов

Структурно-абразионный тип берега

Данный тип характерен для побережья, где выражены геоструктурные элементы: зоны разломов, плоскости смещения, синклинали и антиклинали. Структурно-абразионный тип берега представлен в основном магмати-

ческими и метаморфическими горными породами, весьма устойчивыми к воздействию волн и агентам выветривания. По классификации Ю.Д. Шуйского и Г.А. Семионовой, по степени сопротивляемости абразии кристаллические сланцы, мрамора, гнейсы раннепротерозойского возраста, слагающие берега Байкала, относятся к I–II классу с возможной скоростью абразии клифа до 1 см в год [30]. Данный тип берегов практически не размываем. Структурно-абразионные берега распространены по основной акватории, формируют мысовые части, продолжая в общем плане черты регионального структурно-тектонического рисунка, пространственно совпадая с зонами разломов и разрывов, оконтуривших борта байкальской впадины [18, 24].

Структурно-абразионный берег оз. Байкал представляет собой крутые, субвертикальные клифы, достигающие высоту 190 м. В зоне воздействия волн ведущая роль в разрушении коренных пород отводится механической работе волн и процессам физико-химического выветривания. В рельефе склона это проявляется образованием волноприбойных ниш, гротов, козырьков и других отрицательных форм в береговой зоне.

Анализ динамики берегов на участках данного типа берега не выявил заметного отступления береговой бровки. При дешифрировании аэрофотоматериалов разных лет (1953 г. – до наполнения, 1984 г. – эксплуатационный период) для территории побережья Байкала, где распространены структурно-абразионные берега, и при сопоставлении их с космоснимками 2000-х гг. выявлено стабильное положение бровки склонов. Роль волнения вдоль береговой линии сводится к выносу из волноприбойной зоны продуктов выветривания горных пород [24] и их сносу [1]. По результатам сопоставления видно, что береговой откос практически не изменил своего положения. В профиле склона зачастую отсутствует пляж. Отмечается распространение небольших прислоненных аккумулятивных террас, подводный склон крутой, характеризуется значительным увеличением глубины в прибрежной зоне. Подводный береговой склон не только сохраняет крутизну надводной части, но и нередко превышает ее, что объясняется меньшим воздействием эрозионно-денудационными процессами под водой.

Хорошо выраженный структурно-абразионный тип берега распространен в пределах п-ова Святой Нос. Ключевой участок Святой Нос представляет собой крутой склон с узким пляжем шириной 8–10 м. Общий уклон надводного склона 40° – 43° . Склон сложен гнейсами, кристалосланцами и мраморами. На участке преобладают процессы выветривания. Из-за сланцеватой структуры гнейсы подвержены выветриванию и легко раскалываются вдоль сланцеватых плоскостей.

Пляж представлен валунно-галечным материалом размером до 10 см. Максимальная высота волнения на участке достигает 3 м [4].

На юго-западном побережье этот тип берега протягивается от м. Лиственничного до м. Голого с небольшими пропусками. Разрывы структурного берега вызваны врезами долин, ослабленных зон по трещиноватости, подходящих под более пологим углом к побережью. Например, бух. Песчаная является таким разрывом в структурно-абразионном берегу. Гранит в бух. Песчаной глубоко и не равномерно выветрен, это древняя кора выветривания, срезанная берегом Байкала в прошлые эпохи. Карманы и ниши продуктов выветривания приурочены к системам сближенных трещин (рис. 2) [28].

На западном побережье оз. Байкал структурно-абразионный склон представлен на ключевом участке Хайрем. Горные породы здесь представлены кварц-эпидот-амфиболовыми сланцами. Общий уклон склона 60° – 65° . Пляжная зона сложена валунно-галечными отложениями, достигает ширины 9.6 м. Подводный склон прислоненной аккумулятивной террасы – незначительных размеров, на расстоянии 12 м от уреза погружается на глубину 15 м.

В целом, повышение уровня и эксплуатационный период водоема не оказывают на берега структурно-абразионного типа заметного влияния. Нужно отметить, что хозяйственное освоение этих берегов затруднено в силу значительных углов уклона побережья и отсутствия выровненных площадок. При крутизне 40° – 50° надводные склоны подвержены денудации, на подводном склоне практически отсутствуют аккумулятивные отложения в силу постоянного сноса продуктов выветривания [1].

Абразионный тип берега

Абразионные берега на Байкале распространены широко, подтипы разнообразны. Общей характеристикой абразионного типа берега является, в первую очередь, наличие абразионного уступа. Как правило, участки абразионного типа характеризуются также развитием экзогенных процессов в пределах берегового уступа, наличием пляжа или аккумулятивной террасы и приглубого подводного склона.

Абразионные процессы развиваются в аккумулятивных шлейфах, на озерно-речных террасах, делювиально-пролювиальных и моренных равнинах у подножья гор [1]. Мощности супесчано-глибовых отложений в абразионном клифе достигает 10–12 м.

Абразионный клиф, как правило, отвесный. Ширина пляжа достигает 10 м. В зоне пляжа отмечаются следы вторичных абразионных уступов.

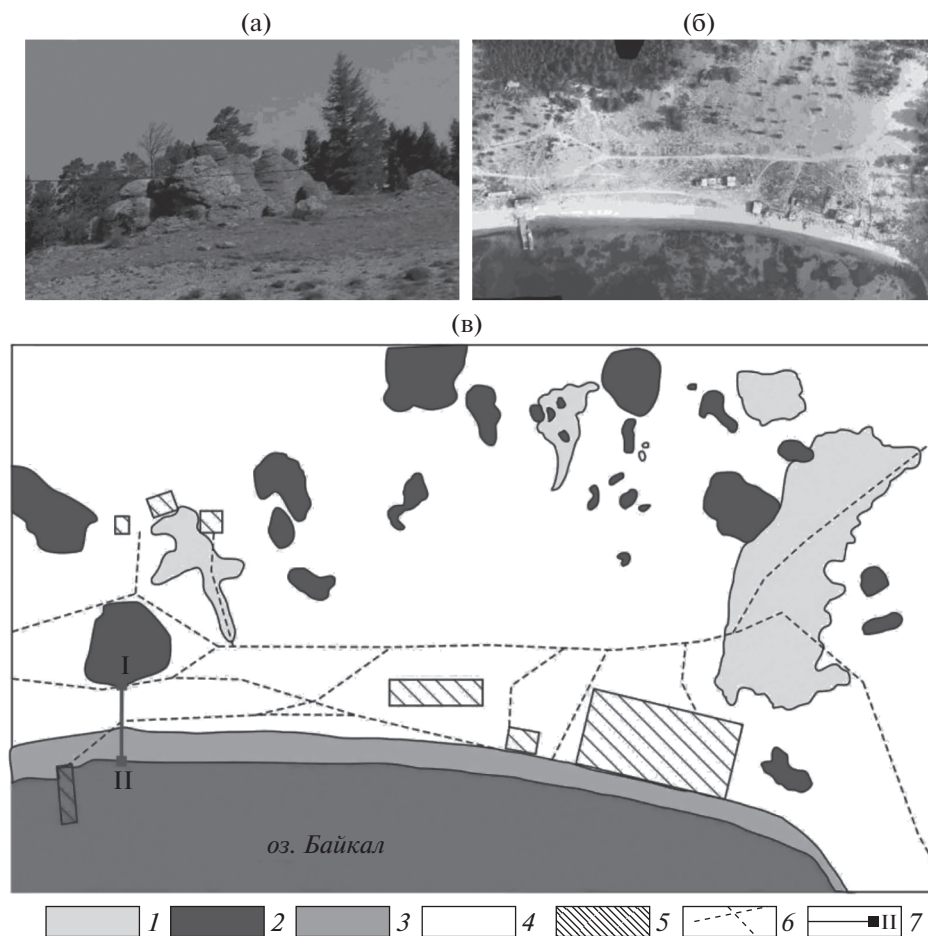


Рис. 2. Участок Песчанка: а – выходы коренных пород (гранитные останцы); б – ортофотоплан участка; в – схема расположения элементов рельефа и активности эолового процесса: 1 – активные эоловые поля, 2 – гранитные останцы, 3 – пляж, 4 – заросшие мелкой растительностью песчаные массивы, 5 – инфраструктура (дома, пирс), 6 – тропы, 7 – измераемый профиль.

Размываемый материал, поступивший в волноприбойную зону с абразионного клифа, быстро рассортировывается волнами и вдольбереговыми потоками. Часть материала задерживается в прибрежной зоне, где разрушается волновыми процессами до состояния дресвы, песка, частичек илистых размерностей [1]. Устойчивость абразионных склонов к размывам обеспечивается шириной подводной аккумулятивной террасы и уклоном отмели, наличием или отсутствием крупноглыбового материала в зоне волноприбоя.

Абразионный участок берега в Максимихе в Баргузинском заливе представлен коренными породами максимихинской свиты (амфиболитовые гнейсы, сланцы), перекрытыми озерно-аллювиальными отложениями [10]. В гранулометрическом составе отложений берега преобладают крупно- и средне-песчаные фракции размером 0.5–0.25 мм. Обнаженные озерные отложения при высоких уровнях воды в водоеме размываются,

формируют абразионные ниши, нависающие карнизы. У основания склона рыхлый материал быстро размывается и сносится вниз по аккумулятивной террасе. Горные породы в основании уступа сильно выветрелые, трещиноватые. Абразионный уступ вертикальный. Ширина пляжа достигает 3 м. Приглубый склон, сложенный коренными породами, обнажен, без перекрывающего рыхлого чехла. Уклон подводного берегового склона 8° – 10° .

Участки по юго-восточному склону Байкала сложены неоген-четвертичными отложениями и подвержены развитию абразии. Переслаивание песков, супеси, суглинков и глин способствует формированию оползней, сплывов и при высоких положениях уровня воды – интенсивному отступанию и разрушению клифа. В районе станции Боярский участок берега – абразионного типа развития. Абразионный клиф разрушается в виде нависающих карнизов. Уклон склона равен

45°, ширина пляжа доходит до 25 м, отмечены элементы вторичных уступов. По гранулометрическому составу в пляжевой зоне преобладают крупные песчаные частицы (43.7%).

Исследования абразионного типа берегов, выполненные на восточном побережье Байкала в первый период эксплуатации и высоких уровней, показали, что сильный размыв берегов наблюдается на участках побережья, занятых второй (4–6 м) байкальской террасой, сложенной комплексами аллювиальных, аллювиально-озерных, аллювиально-дельтовых отложений песчаного и супесчано-суглинистого состава [10]. Значительный размыв порядка 1.5–3.0 м характерен для первой террасы Байкала и низких шлейфов, состоящих из суглинков, песков и глин. Слабее подвержены разрушению те уступы террас, у основания которых обнажаются глинистые неогеновые отложения и коренные породы из кристаллических сланцев и гнейсов. В результате абразионной деятельности и постоянного проявления оползания и оплывания отложений со времени поднятия уровня воды берег разрушился, создавая угрозу целостности полотна железной дороги, которая проходит вдоль берега Байкала [9, 28].

В зависимости от особенностей геолого-литологического строения и локальной морфологии береговой зоны формирование абразионных берегов сопровождается развитием береговых процессов. Сочетание абразионного процесса с другими рельеформирующими процессами позволяет выделять следующие подтипы абразионных берегов.

Абразионно-оползневой подтип

Абразионно-оползневой подтип берега распространён на юго-восточном побережье озера от ст. Танхой до ст. Боярский. Активное развитие оползней на данном участке зависит от уровня режима и особого литологического строения побережья – комплекса аллювиальных, аллювиально-дельтовых отложений песчаного и супесчано-суглинистого состава, предрасположенных к развитию оползней [10].

Берега абразионно-оползневого типа распространены на западе о. Ольхон, там встречаются береговые склоны, пораженные оползнями с различным типом и механизмом смещения, это небольшие блочные оползни в скальных породах, сплывы и мелкие оползни-потоки поверхностных рыхлых отложений. В бухтах со значительным чехлом рыхлых отложений формируются более крупные оползни. Активизация оползней спровоцирована абразионной деятельностью в сочетании с наличием в разрезе супесчано-глинистых отложений.

В районе м. Саса оползневые деформации развиты на склоне высотой ~70 м. Этот крупный оползень сложного типа развивается в аллювиально-дельтовых отложениях неоген-четвертичного возраста, представленных супесчано-глинистым материалом. Мощная толща озерных глин, алевритов, песков в этом районе – естественный выход озерных отложений раннего Байкала [24]. Оползневой цирк на участке возник сразу после повышения уровня в озере после наполнения Иркутского водохранилища. При дешифрировании аэрофотоснимков 1958 г., сделанных непосредственно после первых катастрофических смещений, четко видна первая оползневая ступень. Долгое время на протяжении периода эксплуатации оползень прирастал новыми ступенями и обновлял свой контур и оползневые формы. К настоящему времени цепочка оползневых цирков имеет протяженность 380–400 м и регрессивно захватывает склон на 340 м вглубь. Оползневые цирки четко разделены межоползневыми гребнями и бровками срыва. Объем смещающихся горных масс оползня Саса составляет ~3000000 м³. В результате эхолотирования подводной части склона на глубине 1.2–1.4 м в 50 м от уреза зафиксирован вал выпирания высотой до 0.5 м, протягивающийся параллельно склону. По трем профилям эхолотирования выделены площадные контуры оползневой формы, имеющей продолжение в подводной части склона. Зона смещения оползня в районе м. Саса имеет такое положение в разрезе, что ее нижняя часть расположена гипсометрически ниже уровня Байкала или попадает в зону переменного обводнения.

Повышение уровня Байкала выше максимальных регулируемых отметок (457 м над уровнем моря) приводит к увлажнению основания склона и провоцирует оползневые подвижки – обновление форм. С 2005 г. обновления форм не отмечено. В настоящее время абразионно-оползневой склон находится в стадии относительной стабилизации и размыва сошедших к урезу оползневых масс.

Значительную протяженность на о. Ольхон имеют абразионно-оползневые склоны, связанные с развитием солифлюкционных оползней. Солифлюкционными оползнями медленного течения поражены склоны заливов Харалгай и Баян-Шунген. Многолетнемерзлые породы (ММП), несмотря на их фрагментарно залегание, оказывают значительное влияние на интенсивность развития деформаций байкальских склонов. В пределах берегового склона отмечено распространение линз многолетнемерзлых пород в неустойчивом термодинамическом состоянии – высокотемпературные грунты (–0.1°). Деформированные склоны с длительной активной стадией смещения глинистых пород имеют четкие грани-

цы в плане, общий уклон оползневых масс составляет 15° – 18° . На склоне развита серия разрывных нарушений, ориентированных вдоль склона. На пляж поступает рыхлый материал оползневых языков.

Особенности литологического строения и температурный режим грунтов во многом определяют проявление оползней солифлюкционного типа на береговом склоне. В результате мониторинга установлено, что оползневые смещения на участке Харалдай достигают порядка 4 см в год в верхней части разреза (до глубины 3 м). За эксплуатационный период на абразионно-оползневом склоне бровка берегового уступа отступила на 10 м [12].

Абразионно-обвальный, осыпной подтип

Абразионно-обвальный, осыпной подтип берега имеет распространение на восточном побережье и в северной части озера – на склонах Байкальского и Баргузинского хребтов, где горные структуры наиболее близко сопряжены с береговой линией и имеют обнажения горных пород на склонах. Водораздел Байкальского хребта между озером и р. Леной проходит в 3–4 км от берега Байкала. Превышения склонов Байкальского хребта над уровнем воды озера изменяются от 1300 до 2200 м, а уклоны достигают 60° – 85° . Повышенная сейсмичность и климатические особенности региона влияют на активизацию обвальных процессов, особенно на обнаженных крутых горных склонах, ориентированных к Байкалу. На склонах, сложенных ледниковыми отложениями, развиваются осыпи, обвалы. При формировании обвалов непосредственно на клифе вдоль пляжа образуется естественная каменная наброска, гасящая временно энергию волнения, снижая нагрузку на склон.

Абразионно-эоловый подтип

Абразионные берега с эоловой переработкой развиваются в пределах распространения песчаных полей в береговой зоне. Поля неогеновых песчано-глинистых отложений и мел-палеогеновая кора выветривания кристаллических пород архейского возраста в верхней части разреза хорошо отсортированы и представлены среднезернистыми кварцевыми песками. Проявления эолового процесса на берегах Байкала представлены как древними, так и современными формами. Образование древних эоловых форм относится к верхнему плейстоцену – началу голоцена и связано с сильным иссушающим влиянием ветров в период оледенения. Проявление современного эолового процесса в условиях более влажного климата связано с остепнением отдельных участков, нарушением растительного покрова. В дина-

мике развития эоловых процессов выделяется два цикла: до подъема уровня воды в связи с наполнением Иркутского водохранилища, т.е. в естественных, природных условиях, и после создания плотины Иркутской ГЭС, т.е. в процессе техногенеза. В результате нарушения природного равновесия в береговой зоне ветровой эрозии подверглись наиболее древние эоловые формы [2]. Динамика современных эоловых процессов дифференцирована и зависит от состава и свойств субстрата, скоростей ветрового режима [30].

Унаследованные эоловые формы широко распространены вдоль западного побережья о. Ольхон и характеризуются разнообразными формами проявления процесса. В настоящее время на острове отмечаются 7 песчаных массивов, два из которых в южной части представлены развеваемым покровом крупнозернистых песков в типично степном ландшафте. Наиболее крупный по объему песчаного материала и по мощности отложений – массив Нюрганский (урочище Песчанка), простирающийся в юго-западной части побережья Нюрганская Губа [3].

На восточном побережье от м. Горевой Утес до м. Тонкого по основной акватории Байкала распространены эоловые поля. Развитие эоловых процессов на восточном берегу оз. Байкал связано с интенсивной вырубкой леса, абразионным процессом и воздействием на открытую поверхность ветров северо-западных и западных румбов. Осушенные отмели и клиф при низких уровнях подвергаются дефляции и служат источником поступления песчаного материала выше по склону [7].

В районе м. Каткова распространен дюнный комплекс. Уклон поверхности песчаного поля составляет 6° – 7° , поле простирается от уреза на расстоянии 330 м. В пляжевой зоне прослеживается серия вторичных уступов. Высота абразионного уступа достигает 1 м, клиф значительно переработан дефляцией – эоловым процессом. На локальных участках пляжа отмечено образование лагун, отделенных от озера пересыпью.

Развитие современных эоловых процессов на восточном побережье Байкала началось в результате вырубки леса. Оголение поверхности древних эоловых форм привело к их перевеванию и началу повторного формирования дюн. За период 1951–1980 гг., после повышения уровня Байкала, дистальные концы дюн в районе Каткова продвигались в сторону лесного массива со скоростью от 0.17 до 2.93 м/год [7]. Приращение площади песчаного массива в настоящее время происходит как за счет вовлечения древних дюнных песков в эоловую переработку и наступление на лесной массив, так и за счет активных аккумулятивных процессов в береговой зоне.

Абразионно-аккумулятивный подтип

Абразионно-аккумулятивный подтип берега распространен в местах развития унаследованных аккумулятивных форм. На берегах Байкала абразионно-аккумулятивный берег выделен на локальных участках западного побережья: прол. Малое Море и от м. Ото-Хушун до м. Котельниковского. Аккумулятивные террасы представлены петлевыми косами и разными формами. Мысы, являющиеся конусами выноса, на оконечностях или в их волновой тени которых сформировались аккумулятивные террасы, сложены сериями береговых валов, отчленяющих лагуны [23].

В Малом море отмечен ряд петлевидных кос. Участок Ото-Хушун представляет собой крупный вал, отчленяющий лагуну, один из самых крупных на Байкале. Коса-стрелка формировалась вдольбереговыми потоками наносов юго-восточного направления. По материалам исследователей [4, 24] известна эволюция косы в прошлые периоды ее существования. После поднятия уровня она частично была разрушена [24], в том числе из-за избытка галечного материала для строительных нужд.

На современном этапе коса Ото-Хушун пополняется наносами, приносимыми вдольбереговыми течениями. Ее дистальный конец нарастает и смещается в сторону склона. При продольных ветрах северо-восточного или юго-западного направлений на восточном берегу Байкала у конусов Рытый, Шартла, Заворотный, Елохин, Котельниковский и других перемещение наносов осуществляется от основания к концевым частям, где затем происходит частичная аккумуляция транспортируемого материала [15].

Усиление абразии после подъема уровня Байкала привело к увеличению рыхлообломочного материала, поступающего во вдольбереговую поток наносов. Большинство аккумулятивных форм восстановили свои прежние (унаследованные) формы и размеры или увеличили объем. Однако некоторые аккумулятивные формы разрушаются абразией из-за недостатка «питающих» наносов. Динамика абразионно-аккумулятивных форм на участках берега зависит от локальных гидродинамических условий, которые и определяют объем вовлекаемого валунно-галечного материала [18].

Каменная коса в бух. Заворотной сформировалась из конуса выноса р. Заворотной в результате переноса взвешенного материала течениями северо-восточных направлений [15]. С повышением уровня береговой вал на косе Заворотной к 1971 г. был затоплен и размыв, площадь косы сократилась. При понижении уровня воды в Байкале сформировался новый вал, и позже таких валов стало несколько. Дистальный конец косы

удлинился, продолжая заворачивать в сторону бухты. Динамика абразионно-аккумулятивных берегов зависит от колебаний уровня [18]. Формирование аккумулятивных форм с питанием вдольбереговыми наносами зависит от сочетания гидродинамических условий и положения уровня воды в многолетнем и годовом режиме. Параметры форм и объемы переноса меняются во времени и пространстве. За период эксплуатации водоема механизм развития аккумулятивных форм не изменился, меняется скорость аккумуляции материала во времени. Это подвижные, динамичные береговые формы, требующие детальных исследований и контроля состояния, фиксации изменений и зависимости состояния от уровня режима и локальных условий.

Каждая из унаследованных аккумулятивных форм уникальна, все они являются природными берегосохраняющими объектами, и их исследования требуют детального анализа многофакторности процесса. Плановое положение может меняться, объем и состав зависит от гидродинамических условий и их изменчивости от сезона, года и направленности ветров.

Аккумулятивная группа берегов

Аккумулятивный тип берега на Байкале приурочен к дельтовым участкам рек. Наибольший по протяженности аккумулятивный участок – Селенгинское побережье, окаймленное с одной стороны зал. Провал, а с другой – сором Истокским. Аккумулятивные берега расположены на юге озера между населенными пунктами Култук и Слюдянка, в районе рек Голоустной, Бугульдейкой, в Баргузинском и Чивыркуйском заливах, на севере оз. Байкал – в районе рек Верхней Ангары и Кичеры [18].

Повышение уровня оз. Байкал в связи с созданием Иркутского водохранилища привело к перестройке гидрологических и экзогеодинамических условий в пределах дельтовых участков. Так, перешеек Мягкая Карга, прошедший длительную историю формирования, на современном этапе испытывает влияние общих сейсмотектонических движений, деградации полей многолетнемерзлых грунтов и техногенного колебания уровня воды. Весь перешеек подвержен заболоченности, при нормальном подпорном уровне низменные участки подтоплены. Перешеек Мягкая Карга адаптировался к новым уровенным условиям озера, произошла перестройка профиля склона. Аккумулятивные берега формируются в новых условиях. Происходит привнос вдольбереговыми потоками песчаного материала на пляж и чередование его с илистым материалом, что прослеживается в разрезе пляжевых отложений. На подводном склоне отмечены участки концентрации ила и торфяные поля.

Аккумулятивный бар Ярки на севере оз. Байкал находится также в стадии трансформации. Особые ветро-волновые условия создают предпосылки для развития абразии в пределах южного пляжа бара. Уничтожение древесного и растительного покрова стало причиной активизации эолового переноса песчаного материала. Техногенное преобразование русел рек при строительстве Байкало-Амурской магистрали привели к снижению поступления твердого стока в реках, питающих бар. В настоящее время бар Ярки находится в стадии трансформации с элементами деградации песчаного массива. В сложившихся условиях повышения и регулирования уровня воды в Байкале бар, не успевая приспособиться к новому уровню, т.е. переместиться вверх по склону лагуны, испытывает разрушение. На размыв оказывает влияние также недостаток для сохранения бара поступающих наносов из рек Верхней Ангары и Кичеры [6]. Значительная часть песка, поставляемая волнами от устья Верхней Ангары, уходит в промоину протяженностью 2.3 км, благодаря чему наращивается ширина мелководья со стороны Ангарского сора. Аналогичная картина имеет место и в промоине между первым и вторым фрагментами острова-бара. Восточные концы фрагментов-островов в промоинах интенсивно размываются. Уменьшение количества перемещаемого во вдольбереговом потоке материала приводит к тому, что волновая энергия расходуется не на перенос частиц, а на абразию дна и берегов. Изменения параметров по профилю песчаного бара за период с 1976 по 2006 г. показали, что средняя скорость размыва по профилю составляет $\sim 16 \text{ м}^3/\text{г}$. с 1 погонного метра берега. Размытый материал частично аккумулируется на мелководье ($\sim 10 \text{ м}^3/\text{г}$. на 1 погонный метр), частично поступает на глубину, перехватываясь подводными ложбинами и каньонами, и уходит за пределы района бара. Почти 60% размытого материала аккумулируется на мелководье, а 40% уходит за пределы береговой зоны. Современные потоки наносов у о. Ярки – важный фактор, объясняющий динамику острова-бара, а с учетом и других факторов – его эволюцию [20].

Биогенный тип берега

Биогенный тип берега развивается на берегах озера в заливах и бухтах, где волнение не оказывает заметного влияния на перемещение водных масс и переформирование подводного берегового склона. В таких местах отмечается небольшая глубина и созданы защищенные от ветро-волновых воздействий условия для хорошей прогреваемости вод, роста растительности и ее накопления.

Уклон профиля устойчивого биогенного берега не превышает 5° . Распространены такие берега в заливах, лагунах. Унаследованный биогенный

тип берега представлен небольшими участками в заливах Провал, Чивыркуйский, в районе Верхней Ангары, в основном это болотистые участки, торфяники.

Биогенный тип берега выделен на участке в Чивыркуйском заливе. Ключевой участок в бух. Безымянной сложен унаследованными торфяными отложениями. Примерная мощность 2–3 м. При повышении уровня формируется абразионный уступ, высота которого достигает 0.9–1.5 м. Пляж шириной до 5 м представлен толщей торфянных отложений, перекрытых незначительным чехлом песка – 5–10 см. На подводном береговом склоне также встречаются торфяные поля, глубже которых – глина и илистые отложения. Выше берегового клифа распространена болотная растительность с кочкарником и редколесьем.

Формирование устойчивого биогенного типа берега – длительный процесс накопления постоянно присутствующей биомассы. Потому протяженность выделенных биогенных берегов незначительна относительно общей протяженности берегов Байкала.

Техногенные берега

За период активного освоения и использования берегов оз. Байкал были выполнены работы по укреплению участков берега с максимальными размывами. Укрепление берегов на Байкале выполнялось активными методами, направленными на снижение нагрузки на склон, – бунами, волноломами, и пассивными методами – волноотбойными стенками, ряжами, укрепленными пирсами.

На участке берега от порта Байкал до ст. Мысовой 60% берега контролируется линейными, берегоукрепительными и припортовыми сооружениями (юго-западный и юго-восточный склоны озера). Возведены волноотбойные стенки, волноломы и другие сооружения. Отрезок Кругобайкальской железной дороги, за исключением мысовых участков, зарегулирован берегоукрепительными сооружениями, а также укреплен восточный склон на наиболее сложных участках, где фиксировались значительные размывы. На севере Байкала в районе Нижнеангарска от устья р. Сырой Малокон до р. Кичеры выполнена отсыпка пляжа крупноглыбовым материалом со стороны Тыйской аккумулятивной равнины. На участке Турка возведены современные укрепления, портовые сооружения с применением новых материалов и технологий берегоукрепления.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

В результате анализа накопленного фактического материала на ключевых участках оз. Байкал

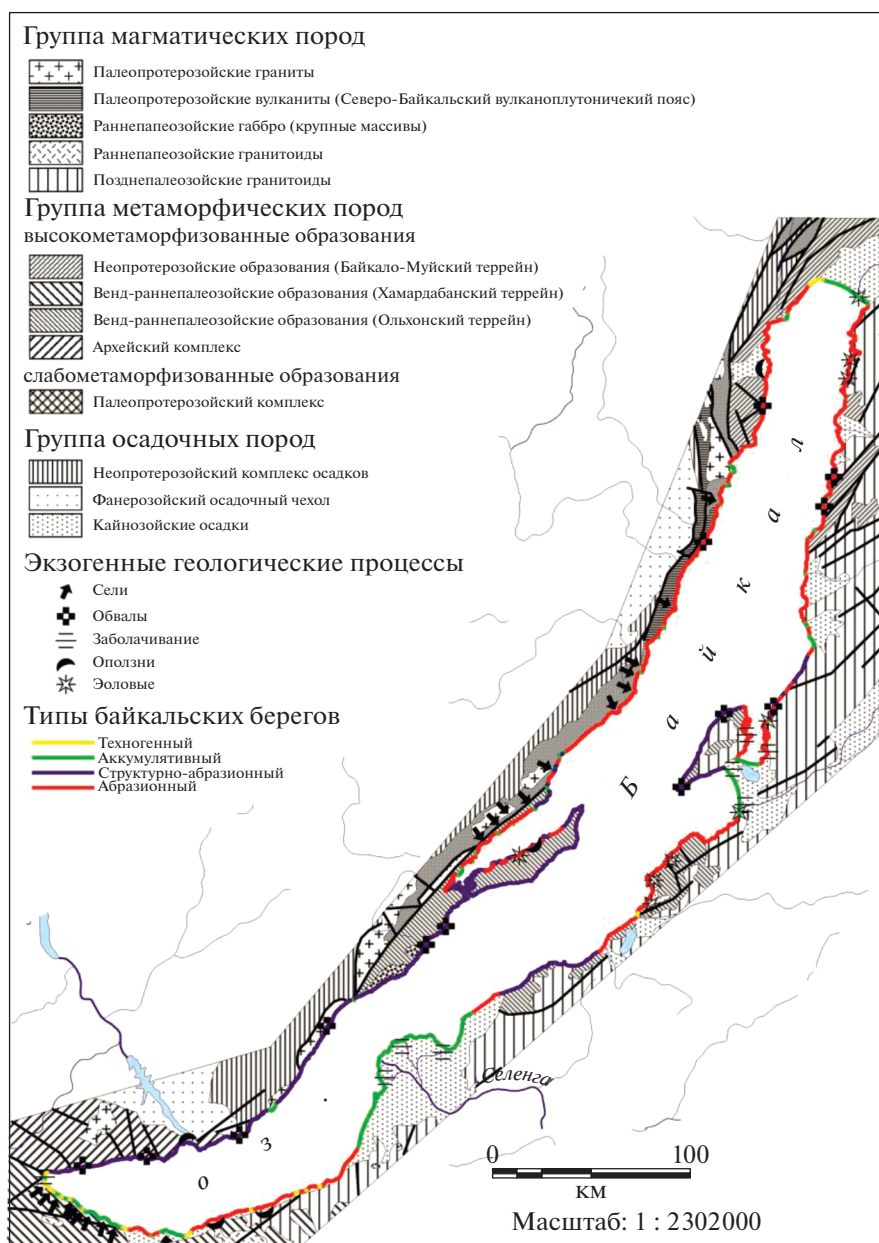


Рис. 3. Карта побережья оз. Байкал с типами берегов (составители Е.А. Козырева, А.А. Рыбченко).

установлено, что высокие показатели размыва берегов характерны для периода после повышения уровня на 1.2 м. Также размывы фиксировались в периоды высокого уровня в озере и на этапах существенного изменения колебаний уровня в многолетнем ходе – с 1971 по 1995 г., когда амплитуда изменений уровня воды в водоеме составляла 2.09 м. 8.10.1973 уровень достиг отметки 457.41 м, в мае 1982 г. снизился до 455.32 м, поднявшись к октябрю 1983 г. до 457 м, а к сентябрю 1988 г. – 457.41 м. Годовые колебания по-прежнему находились в районе 1 м. Нестабильное положение уровня воды в озере в многолетнем

ходе и его положение на высоких отметках усиливало абразионный процесс, что отразилось на высоких показателях размыва первого периода эксплуатации.

После 1995 г. произошло некоторое снижение уровня в озере и стабилизировались в течение года максимальные и минимальные эксплуатационные уровни. В марте 2001 г. Постановлением правительства Российской Федерации за № 234 были определены предельные отметки уровня воды в период средней водности в оз. Байкал при осуществлении хозяйственной и иной деятельности: минимальная – 456, максимальная – 457 м.

До 2015 г. годовые и многолетние колебания уровня не превышали 1 м. Согласно Постановлению Правительства РФ от 27.12.2017 [19] увеличена многолетняя амплитуда колебания уровня с 2.01 до 2.31 м, что возвращает режим озера к этапу колебаний, составляющих >2 м. Это будет способствовать возобновлению активизации абразионного процесса.

ВЫВОДЫ

На основе систематизации накопленного фондового и опубликованного материала о состоянии берегов оз. Байкал на разных этапах исследований выполнен анализ изменений состояния береговой зоны. В результате экспедиционных работ последних лет, выполненных на ключевых участках береговой зоны озера, получены новые данные о современном состоянии берегов и выполнена их типизация, актуализация данных протяженности. На основе цифровой модели рельефа оз. Байкал детализирована и составлена карта типов берегов оз. Байкал (рис. 3). Общая протяженность береговой линии оз. Байкала составила 2074.17 км: структурно-абразионных 717.95, абразионных 906.28, аккумулятивных 421.78 и техногенных 28.16 км. Результаты данных исследований после 2014 г. с использованием широкого комплекса методов и современных технологий – новый этап изучения всего побережья озера, особенностей формирования экзогенных процессов и эволюционных преобразований уникального природного объекта – оз. Байкал.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Агафонов Б.П. Надводные и подводные склоны Байкальской впадины // Морфология рельефа. М.: Науч. мир, 2004. С. 158–169.
2. Агафонов Б.П. Экзолитодинамика Байкальской рифтовой зоны. Новосибирск: Наука, 1990. 176 с.
3. Агафонов Б.П., Акулов Н.И. О природе подвижных песков на Ольхоне // Изв. РАН. Сер. геогр. 2006. № 5. С. 101–108.
4. Байкал (атлас) / Под ред. Г.И. Галазий. М.: ФСГК России, 1993. 160 с.
5. Беркин Н.С., Макаров А.А., Рунок О.Т. Байкаловедение. Иркутск, 2009. 292 с.
6. Вика С., Козырева Е.А., Тржицинский Ю.Б., Щипек Т. Острова Ярки на Байкале – пример современного преобразования ландшафтов. Иркутск; Сосновец: ИЗК СО РАН, фак. наук о Земле Силезского ун-та, 2006. 69 с.
7. Вика С., Намазов Б.Ц., Овчинников Г.И., Снытко В.А., Щипек Т. Пространственная структура эоловых урочищ восточного побережья озера Байкал. Иркутск: ИГ СО РАН, 2003. 76 с.
8. Гречищев Е.К., Ладохин Н.П., Леонтьев О.К., Мякокин В.С. Карта геоморфология и динамика берегов. Атлас Иркутской области. М.; Иркутск: ГУГиК, 1962. 182 с.
9. Иметхенов А.Б. Катастрофические явления в береговой зоне Байкала. Улан-Удэ: Изд-во БГУ, 1994. 85 с.
10. Иметхенов А.Б. Позднекайнозойские отложения побережья озера Байкал. Новосибирск: Наука, 1987. 150 с.
11. Инженерная геология Прибайкалья / Отв. ред. Г.Б. Пальшин. М.: Наука, 1968. 191 с.
12. Козырева Е.А., Пеллинен В.А., Мазаева О.А., Хабидов А.Ш. Типы берегов острова Ольхон на озере Байкал // Геоморфология. 2014. № 3. С. 74–84.
13. Козырева Е.А., Рыбченко А.А., Щипек Т., Пеллинен В.А. Солифлюкционные оползни побережья острова Ольхон // Вестн. ИргТУ. 2011. № 4. С. 41–49.
14. Леонтьев О.К. Основы геоморфологии морских берегов. М.: Изд-во МГУ, 1961. 418 с.
15. Лут Б.Ф. Геоморфология дна Байкала и его берегов. М.: Наука, 1964. С. 5–123.
16. Матарзин Ю.М. Гидрология водохранилищ. Учебник по направлению “Гидрометеорология” и специальности “Гидрология”. Пермь: ПГУ, 2003. 296 с.
17. Парфеевец А.В., Саньков В.А. Напряженное состояние земной коры и геодинамика юго-западной части Байкальской рифтовой системы. Иркутск; Новосибирск: Гео, 2006. 151 с.
18. Пинегин А.В., Рогозин А.Н., Лещиков Ф.Н., Кулиш Л.Я., Якимов А.А. Динамика берегов озера Байкал при новом уровне режиме. М.: Наука, 1976. 88 с.
19. Постановление Правительства Российской Федерации № 1667 от 27 декабря 2017 г. “О максимальных и минимальных значениях уровня воды в озере Байкал в 2018–2020 годах”.
20. Потемкина Т.Г., Ярославцев Н.А., Петров В.А. Современные потоки наносов у острова Ярки (Северный Байкал) // Успехи современ. естествознания. 2008. № 8. С. 113–114.
21. Приказ Минприроды России № 251 от 18.07.2013 “О реорганизации подведомственных Министерству природных ресурсов и экологии Российской Федерации государственных учреждений”.
22. Приказ Минприроды России № 743 от 14.09.2011 “О реорганизации подведомственных Министерству природных ресурсов и экологии Российской Федерации государственных учреждений”.
23. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 27 ноября 2006 года № 1641-р. “Об утверждении границ Байкальской природной территории и ее экологических зон”.
24. Рогозин А.А. Береговая зона Байкала и Хубсугула: Морфология, динамика и история развития. М.: Наука, 1993. 167 с.
25. Рязанов Г.В. Геологические памятники Байкала. Новосибирск: Наука, 1993. 160 с.

26. *Тржцинский Ю.Б.* Техногенная активизация абразионно-аккумулятивных процессов на берегах Байкала // *Геоэкология*. 1993. № 6. С. 80–85.
27. *Тржцинский Ю.Б., Козырева Е.А., Мазаева О.А., Хак В.А.* Современная экзогеодинамика юга Сибирского региона. Иркутск: ИЗК СО РАН, 2007. 155 с.
28. *Флоренсов Н.А.* К морфологии берегов Северного и Среднего Байкала // *Геоморфология дна Байкала и его берегов*. М.: Наука, 1964. 143 с.
29. *Хандуева В.Д.* Геоэкологические проблемы южного побережья озера Байкал. Автореф. дис. ... канд. геогр. наук. Улан-Удэ: БГУ, 2007. 22 с.
30. *Шуйский Ю.Д.* Проблемы исследования баланса наносов в береговой зоне морей. Л.: Гидрометеиздат, 1986. 240 с.
31. *Ovchinnikov G.I., Snytko W., Szczypiek T.* Dynamics of contemporary aeolian processes in selected points of taiga and steppe landscapes in eastern Siberia // *Dynamiczne aspekty geomorfologii eolicznej*. Sosnowiec, 2001. P. 37–46.