

## ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ ПОБЕРЕЖЬЯ ОЗЕРА БАЙКАЛ

УДК 528

DOI: 10.15372/GIPR20220506

А.А. АЮРЖАНАЕВ\*, Е.Ж. ГАРМАЕВ\*, Б.З. ЦЫДЫПОВ\*,  
Б.В. СОДНОМОВ\*, В.Н. ЧЕРНЫХ\*, Ж.Б. АЛЫМБАЕВА\*, М.А. ЖАРНИКОВА\*,  
А.Г. СУПРУНЕНКО\*, С.Г. АНДРЕЕВ\*, Б.О. ГУРЖАПОВ\*, Э.А. БАТОЦЫРЕНОВ\*,  
С.А. САГ\*, А.К. ТУЛОХОНОВ\*, Т.К. САЛИХОВ\*\*

\*Байкальский институт природопользования СО РАН,  
670047, Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 8, Россия,  
aaayurzhanaev@yandex.ru, garend1@yandex.ru, bz61@binm.ru, sodnomov@binm.ru, geosibir@yandex.ru,  
alymbaeva@binm.ru, zharnikova@binm.ru, suprunenko03@mail.ru, baikal.andreev@gmail.com, bair.  
gurzhapov@yandex.ru, edikbat@gmail.com, saygaa@mail.ru, aktulohonov@binm.ru

\*\*Кокшетауский университет им. А. Мырзахметова  
020000, Кокшетау, ул. Ауезова, 189а, Казахстан, tuatai\_76@mail.ru

### МОДЕЛИРОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ БЕРЕГОВОЙ ЛИНИИ И ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ КОЛЕБАНИЙ УРОВНЯ ОЗЕРА БАЙКАЛ НА НАСЕЛЕННЫЕ ПУНКТЫ ВОСТОЧНОГО ПОБЕРЕЖЬЯ

*В условиях экстремально маловодных и многоводных лет граничные условия по уровню оз. Байкал, установленные Постановлением Правительства РФ № 234 от 26.03.2001 (в пределах 456–457 м ТО), объективно не могут быть соблюдены в силу ряда причин. Для объективной оценки влияния уровня воды на социально-экономическое и экологическое состояние прибрежных территорий необходимо провести моделирование положения береговой линии при разных его уровнях. На основании аналитического обзора работ составлен перечень населенных пунктов восточного побережья оз. Байкал, подверженных негативному влиянию колебаний уровня воды. Также приведены сведения о наличии уникальных природных объектов и развитой туристско-рекреационной инфраструктуры. Проведены полевые и камеральные работы по моделированию характеристик рельефа модельных территорий, заключающиеся в высоко-точной аэрофотосъемке с борта беспилотного летательного аппарата, создании ортофотопланов и цифровых моделей рельефа. Построены зоны затопления прибрежных территорий оз. Байкал при экстремально высоких уровнях водной поверхности (457,25, 457,50, 457,85 м ТО). Составлен перечень природных объектов, попадающих в зоны затопления: места гнездования редких видов орнитофауны, редкие и исчезающие виды растений, занесенные в Красные книги Республики Бурятия и России. Отмечен возможный негативный эффект на ихтиофауну водной экосистемы залива Посольский сор. Отрицательные последствия высокого уровня воды оз. Байкал выражаются и в гибели прибрежных лесов в результате переработки берегов абразионными процессами. Полученные результаты моделирования могут служить основой для расчетов потенциального ущерба экономическим и экологическим системам модельных территорий.*

**Ключевые слова:** озеро Байкал, экстремально высокий уровень, цифровая съемка рельефа, зоны затопления, уникальные природные объекты.

© 2022 Аюржанаев А.А., Гармаев Е.Ж., Цыдыпов Б.З.,  
Содномов Б.В., Черных В.Н., Алымбаева Ж.Б., Жарникова М.А.,  
Супруненко А.Г., Андреев С.Г., Гуржапов Б.О., Батоцыренов Э.А.,  
Саг С.А., Тулохонов А.К., Салихов Т.К.

A.A. AYURZHANAEV\*, E.Zh. GARMAEV\*, B.Z. TSYDYPOV\*,  
 B.V. SODNOMOV\*, V.N. CHERNYKH\*, Zh.B. ALYMBAEVA\*, M.A. ZHARNIKOVA\*,  
 A.G. SUPRUNENKO\*, S.G. ANDREEV\*, B.O. GURZHAPOV\*, E.A. BATOTSYRENOV\*,  
 S.A. SAT\*, A.K. TULOKHONOV\*, T.K. SALIKHOV\*\*

Baikal Institute of Nature Management, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences,  
 670047, Ulan-Ude, ul. Sakhyanovoi, 8, Russia, aaayurzhanaev@yandex.ru, garend1@yandex.ru,  
 bz61@binm.ru, sodnomov@binm.ru, geosibir@yandex.ru, alymbaeva@binm.ru, zharnikova@binm.ru,  
 suprunenko03@mail.ru, baikal.andreev@gmail.com, bair.gurzhapov@yandex.ru, edikbat@gmail.com,  
 sayгаа@mail.ru, aktulohonov@binm.ru  
 \*\*A. Myrzakhmetov Kokshetau University,  
 020000, Kokshetau, Auezov St., 189a, Kazakhstan, tuatai\_76@mail.ru

## MODELING OF SHORELINE CHANGES AND ASSESSMENT OF THE INFLUENCE OF LAKE BAIKAL WATER LEVEL FLUCTUATIONS ON SETTLEMENTS ALONG THE EASTERN COAST

*In conditions of extremely low- and high-water years, the boundary conditions for the level regime of Lake Baikal as established by resolution of the RF Government No. 234 of 3.26.2001 (within 456–457 m according to the Pacific Elevation System, PES) cannot be complied with objectively for a number of reasons. An objective assessment of the influence of the water level on the socio-economic and ecological state of the coastal territories requires a modeling of the position of the shoreline with its different levels. On the basis of an analytical overview of publications, we compiled a list of settlements located along the eastern coast of Lake Baikal which are experiencing the negative influence of water level fluctuations. Information regarding the existence of unique natural sites and a well-developed touristic-recreational infrastructure was also included. Field and laboratory work was made on modeling the characteristics of the topography of model territories involving high-precision aerial photographic imaging from an unmanned aerial vehicle, and the creation of orthophotomaps and digital elevation models. Flood zones of the coastal areas of Lake Baikal were constructed for extremely high levels of water surface (457.25, 457.50, and 457.85 m PES). We compiled the list of natural sites within the flood zone: nesting sites of rare species of the avifauna and rare and endangered plant species included in the Red Data Books of the Republic of Buryatia and Russia. The possible negative effect on the ichthyofauna of the aquatic ecosystem of the Posol'skii Sor Bay is pointed out. The negative consequences of the high water level in Lake Baikal also imply coastal forest dieback due to abrasion processes affecting the shores. The results obtained by modeling efforts can serve as a basis for calculating the potential damage to economic and ecological systems of model territories.*

**Keywords:** Lake Baikal, extremely high level, digital elevation mapping, flood zones, unique natural sites.

### ВВЕДЕНИЕ

В результате строительства гидроэлектростанций на р. Ангаре в 1956–1959 гг. средний уровень воды в оз. Байкал был поднят на 0,8–1,2 м (по разным оценкам) по отношению к естественному состоянию. Внутригодовые изменения уровня озера в его естественном режиме составляли 82 см, а после зарегулирования — 94 см [1]. Пуск в строй Иркутской ГЭС в 1956 г. повлек за собой ряд негативных последствий: произошло массовое разрушение береговой линии низменного восточного побережья (прибрежных лесов, зон отдыха, размыв пляжей и береговых сооружений), подтопление и затопление сельскохозяйственных угодий и населенных пунктов. Повсеместно был нанесен экологический ущерб природным комплексам озера [2–4]. В последующие годы наблюдались отметки, значительно превышающие нормальный подпорный уровень 457 м (ТО) (здесь и далее для определения уровня воды Байкала используется Тихоокеанская система высот — ТО), что также привело к целому ряду геоэкологических проблем [5, 6]. Так, интенсифицировались процессы абразии и переработки берегов, имели место случаи затопления ряда территорий, усилилось негативное воздействие вод на объекты инфраструктуры в прибрежной зоне.

С целью минимизации указанных негативных последствий Правительство Республики Бурятия по согласованию с Правительством Иркутской области инициировало принятие Постановления Правительства РФ от 26.03.2001 № 234 [7]. Данный подзаконный акт Федерального закона «Об охране озера Байкал» регламентировал внутригодовое колебание уровня озера в пределах 456–457 м. За период с 2001 по 2014 г. уровень воды в оз. Байкал ни разу не выходил за пределы установленного диапазона. В последующие годы отметка уреза воды четыре раза оказывалась ниже установленного минимального диапазона в период с 2015 по 2018 г. и два раза выше в 2020–2021 гг. В связи с этим

Правительство РФ было вынуждено вводить новые акты, приостанавливающие действие Постановления № 234 и расширяющие установленный диапазон колебаний уровня до отметок 455,54 и 457,85 м [8]. В результате подъема уровня сформировался новый гидрологический режим озера: в настоящее время его уровень зависит как от природных факторов, так и от гидроэнергетических параметров деятельности ГЭС [9, 10].

Проблеме уровня режима оз. Байкала посвящено значительное число работ, освещающих различные его аспекты от гидрологического моделирования до влияния на орнитофауну и др. [11–22]. Для актуализации оценки влияния колебания водной поверхности Байкала на социально-экономическое и экологическое состояние прибрежных территорий необходимо провести моделирование положения береговой линии озера при разных его уровнях с использованием как традиционных, так и современных методов, включая дистанционное зондирование и ГИС-технологии. В задачи исследования входило: 1) оценка вероятности затопления с выявлением геоморфологических рисков, в том числе в районах с наличием развитой туристско-рекреационной инфраструктуры и уникальных природных объектов для всех прибрежных населенных пунктов в пределах административных границ Республики Бурятия; 2) моделирование зон затопления территорий на ключевых участках при экстремально высоких уровнях воды; 3) определение природных объектов, подпадающих под негативное воздействие.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

**Источники данных.** Перечень прибрежных населенных пунктов в границах Республики Бурятия составлен по данным публичной кадастровой карты Росреестра РФ [23]. Их названия и типы приведены в соответствии с государственным каталогом географических названий ФГБУ «Центр геодезии, картографии и ИПД» [24].

Возможность затопления населенных пунктов установлена по топографическим картам. При этом предполагаемые риски возникают в случае, если границы населенных пунктов пересекают или расположены ниже горизонтали с отметкой 460 м в Балтийской общесоюзной системе высот (БС).

Потенциальные геоморфологические риски, связанные с трансформацией берегов, определялись на основе работ, посвященных изучению абразионных процессов, оползней, обвалов, осыпей, а также переработки берегов оз. Байкал после строительства ГЭС, их типизации и картографическому отображению и др. [2–4, 25–30].

Основой для выявления уникальных природных объектов (в том числе мест обитания редких видов флоры, фауны, ихтиофауны) послужили материалы многочисленных исследований, которые проводились в разные годы на побережье оз. Байкал. Критерии выделения таких объектов определены, в частности, в работах А.Б. Иметхенова [31–33]. Выделенные им на побережье оз. Байкал памятники природы, отдельные объекты или целые ландшафтные комплексы впоследствии официально утверждены в качестве особо охраняемых природных территорий [34], нанесены на карты. Уникальные геолого-геоморфологические образования, расположенные на берегу оз. Байкал, выделялись по тематическим геологическим картам [35]. Кроме того, многочисленные работы, посвященные флоре и фауне прибрежных территорий, позволили установить районы гнездования редких видов орнитофауны [36], произрастания исчезающих краснокнижных видов растений [37].

**Моделирование характеристик рельефа и зон затопления.** В ходе проведения экспедиционных работ выполнена цифровая аэрофотосъемка (АФС) модельных территорий — участков Максимиха, Гремячинск и Посольский сор.

Съемка проводилась с использованием беспилотного летательного аппарата DJI Mavic Pro, оборудованным RGB-камерой с разрешением 12 Мп, с трехосевой стабилизацией и углом обзора 78°. АФС проводилась с высоты 150 м, при этом размер пикселя ортофотоплана на местности при данной высоте полета не превышает 9 см, что приблизительно соответствует масштабу топографического плана 1:1000. При проведении АФС обеспечивалось продольное и поперечное перекрытие снимков не менее 70 %. АФС выполнялась при высоте Солнца над горизонтом в большинстве случаев более 50°, но не менее 15°. Также АФС проводилась при отсутствии облачности или при сплошной облачности среднего или верхнего ярусов.

Отсутствие в БПЛА высокоточного приемника Глобальной навигационной спутниковой системы (ГНСС) потребовало применения планово-высотного обоснования территории. До проведения АФС на территории съемки устанавливалась сеть опорных точек местности (опознаков) с плотностью, обеспечивающей не менее двух-трех опознаков на каждом снимке. Такая плотность обусловлена не-

Рис. 1. Измерение координат опознака с помощью высокоточного ГНСС-приемника.



обходимостью уменьшения высотной погрешности ЦММ. Отметим, что в данном исследовании количество опознаков, вероятно, было избыточным. Для выявления их оптимального количества требуются специальные исследования на тестовых полигонах с различными условиями рельефа и подстилающей поверхности. Ранее проведенные нами работы показали, что зачастую при съемке больших площадей минимальное число опознаков для корректной привязки и повышения точности геометрии модели должно быть значительно больше 10, как указано в руководстве пользователя Agisoft Metashape Professional [38]. В качестве опознаков нами использовались черно-белые квадраты для создания хорошо видимых на снимке точек (рис. 1). Плано-высотная привязка опознаков производилась с применением двух двухчастотных ГНСС-приемников EFT M1 Plus в режиме реального времени (Real Time Kinematic — RTK) с привязкой к пунктам государственной геодезической сети. В результате получены координаты и высотные отметки опознаков со среднеквадратической погрешностью измерения:  $2,5 \text{ мм} \pm 0,3 \text{ мм/км}$  в плане,  $5 \text{ мм} \pm 0,5 \text{ мм/км}$  по высоте. Эти данные использованы для корректной плано-высотной привязки в процессе обработки аэрофотоснимков в программном обеспечении (ПО) Agisoft Metashape Professional [38] (рис. 2). В результате работы Metashape получены цифровые модели местности (ЦММ) ключевых участков.

При проведении ГНСС-съемки опознаков также измерялся урез воды оз. Байкал. Полученные значения использовались для перевода высот из Балтийской системы высот, в которой проводились АФС и построение ЦММ, в Тихоокеанскую систему высот, в которой измеряется уровень воды

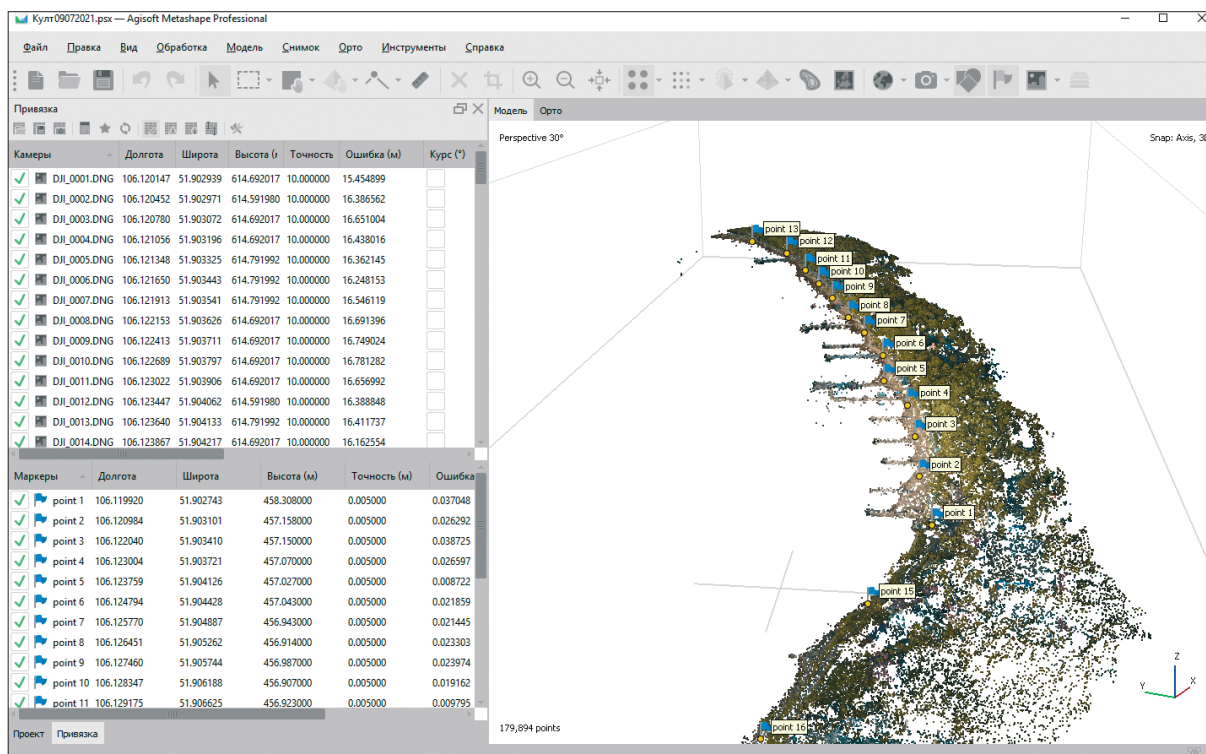


Рис. 2. Процесс обработки аэрофотоснимков в ПО Agisoft Metashape.

оз. Байкал. В ПО ArcGIS с помощью инструмента «Алгебра карт» получены ЦММ, пересчитанные в Тихоокеанской системе высот. Далее по скорректированной ЦММ построены изолинии 457,25, 457,50 и 457,85 м (ТО), на основе которых получены зоны затопления прибрежных территорий.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты изучения влияния колебания уровня воды оз. Байкал на населенные пункты, расположенные на побережье, представлены в табл. 1. Так как воздействию воды будут подвержены в первую очередь берега, а также территории с пониженным рельефом, которые потенциально попадают под затопление или подтопление грунтовыми водами, то прежде всего оценивались риски, связанные с этими процессами. Для района исследования характерно также наличие природных объектов, которые в большинстве своем хотя и не учтены в качестве ООПТ, но представляют значительный интерес с точки зрения изучения и сохранения уникальных экосистем. К ним относятся геологические и геоморфологические образования (песчаные косы у заливов, геологические разрезы и др.), места произрастания редких и исчезающих видов растений, обитания представителей краснокнижной фауны. Возможен экономический ущерб для хозяйствующих субъектов, поскольку здесь активно развивается туристско-рекреационная деятельность, а необходимая для этого инфраструктура (в том числе дома отдыха и турбазы) зачастую расположена непосредственно на побережье.

Таким образом, максимальному риску негативного воздействия будут подвержены те населенные пункты, где одновременно имеется вероятность затопления селитебных зон и туристской инфраструктуры, переработки берегов, а также повреждения уникальных природных объектов (см. табл. 1).

Полученные данные указывают на то, что для 19 из 37 поселений, расположенных на побережье, наблюдается риск затопления. Для остальных населенных пунктов вероятности прямого затопления при высоких уровнях нет, однако в некоторых из них будет наблюдаться выход на поверхность грунтовых вод. Следует отметить, что практически для всех населенных пунктов, где нет специальных берегозащитных сооружений (кроме пос. Давша), существуют риски трансформации берегов вследствие абразии. Наличие уникальных природных объектов отмечается на 30 исследуемых участках. Среди них выделяются точечные, такие как валун Черепаха, термальный источник Загаза и т. д., а также площадные — места произрастания черепоплодника почтишерстистого (*Craniospermum subvillosum*), береговые дюны и др. Наиболее значимыми районами с точки зрения разнообразия орнитофауны и ихтиофауны являются придельтовые участки побережья оз. Байкал. Это окрестности населенных пунктов Посольское, Исток, Истомино, Инкино, Оймур, Дубинино, Дулан (см. табл. 1).

Наличие относительно развитой туристско-рекреационной инфраструктуры характерно для побережий Баргузинского залива и Посольского сора, а также для поселений Прибайкальского района, городов Северобайкальск и Бабушкин. Негативные последствия трансформации природной среды и потенциальный экономический ущерб характерны и для северного Байкала. Здесь наибольшее влияние колебания уровня воды оказывают на прибрежные территории в районе пос. Нижнеангарск.

Вместе с тем даже для территорий, которые, казалось бы, не зависят от колебаний уровня воды в оз. Байкал, риски преобразования природной среды актуальны. Так, с. Исток, хоть и располагается на достаточно высоком берегу, не отличается массовым развитием туристско-рекреационной деятельности, но здесь под угрозой находится место, отнесенное к уникальным геологическим объектам, — «поющие» пески [35].

В качестве территорий для моделирования зон затопления при экстремально высоких уровнях воды оз. Байкал выбраны три участка: 1) Посольский сор (Кабанский район Республики Бурятия); 2) с. Гремячинск (Прибайкальский район); 3) с. Максимиха (Баргузинский район). Выбор их был обусловлен как подверженностью затоплениям, так и наличием уникальных природных объектов и туристско-рекреационной инфраструктуры. Залив Посольский сор имеет важное рыбохозяйственное и рекреационное значение, здесь построено множество туристических баз. Модельный участок с. Гремячинск — это часть побережья, расположенная вне заливов и бухт в средней котловине оз. Байкал. Для открытого Байкала свойственны особые гидрологические и климатические условия; подобные характерны для протяженной части побережья, а значит, на участке с. Гремячинск можно выявить общую специфику таких районов. Здесь выражены протяженные песчаные пляжи, характерные для восточного берега оз. Байкал и являющиеся популярным направлением туристов. Участок с. Максимиха расположен в северной части средней котловины. Для данной модельной территории также характерны своеобразный микроклимат и разнообразие ландшафтов — от низинных прибрежных болотных до горной тайги.

Таблица 1

Оценка влияния колебаний уровня воды оз. Байкал на прибрежные населенные пункты

Населенный пункт	Численность населения, чел. (на 01.01.2020)	Возможность затопления	Геоморфологические риски значительного преобразования берегов под действием экзогенных процессов	Наличие уникальных природных объектов (в том числе мест обитания редких видов флоры, фауны, ихтиофауны)	Наличие развитой туристско-рекреационной инфраструктуры
Северо-Байкальский район Республики Бурятия					
пос. Нижнеангарск	4723	+	+	+	–
пос. Давша	15	–	–	+	–
с. Холодная	406	–	+	+	–
с. Душкачан	60	–	+	+	–
с. Байкальское	638	–	+	+	+
г. Северобайкальск	25 800	–	+	–	+
Баргузинский район Республики Бурятия					
с. Катунь	6	+	+	+	–
п. Курбулик	110	+	+	+	+
с. Максимиха	313	+	+	+	+
пгт. Усть-Баргузин	7109	+	+	+	–
Прибайкальский район Республики Бурятия					
с. Гремячинск	962	+	+	+	+
пос. Турка	1417	+	+	+	+
с. Горячинск	960	–	+	+	+
Кабанский район Республики Бурятия					
пгт. Выдрино	4223	–	+	+	–
пос. Танхой	899	–	+	+	+
пос. ст. Кедровая	87	+	+	+	–
пос. ст. Переемная	86	–	+	+	–
пос. ст. Мишиха	70	+	+	+	–
пос. Речка Мишиха	17	+	+	+	–
пос. Прибой	37	+	+	+	–
бл./п. Ивановка	49	–	+	+	–
пос. Ключевка	1350	–	+	+	–
г. Бабушкин	4454	–	+	–	–
пос. Мантуриха	81	–	+	+	–
пос./ст. Боярский	144	–	+	–	–
с. Посольское*	756	+	+	+	+
с. Исток	244	–	+	+	–
с. Истомино	227	–	+	+	–
с. Инкино	104	+	+	+	–
с. Оймур	1306	+	+	+	–
с. Дубинино	322	+	+	+	–
с. Дулан	128	–	+	+	–
пос. Новый Энхэлук	166	+	+	–	+
с. Заречье	324	–	+	+	–
с. Сухая	414	+	+	–	–

Примечание. «+» – показатель присутствует, «–» – отсутствует.

\* Включая местности Култушная и Байкальский прибой.

В результате исследования получены зоны затопления между положением береговой линии при уровне 457 м и при уровнях 457,25, 457,5 и 457,85 м, площади которых представлены в табл. 2. Наибольшему затоплению подвержены села Посольское и Гремячинск; в последнем населенном пункте при высоких уровнях Байкала наблюдается выход грунтовых вод на поверхность (рис. 3). Отметим,

Таблица 2

Площади затопления модельных территорий при экстремально высоких уровнях воды оз. Байкал

Модельная территория	Длина измеренной береговой линии, м	Площадь затопления (га) от береговой линии при уровне 457 м до береговой линии при уровне		
		457,25 м	457,50 м	457,85 м
Гремячинск	1167	4,97 (3,9)*	7,46 (5,7)	10,06 (7,48)
Максимиha	1620	0,20	0,42	0,76
Посольский сор, в том числе	40 381	30,62	43,32	130,61
Посольское	4408	4,70	6,95	11,93
Култушная	2550	0,81	1,50	1,78
Байкальский Прибой	2385	0,77	1,07	1,71

\* В скобках указана зона подтопления.

что площадь застроенных территорий, попадающих под затопление, меньше указанных в табл. 2. В дальнейшем непосредственное количество домов и объектов инфраструктуры, находящихся в зоне затопления и подтопления, будет выявлено с помощью средств ГИС-приложений. Залив Посольский сор имеет длину береговой линии более 40 км, что выражается в обширной зоне затопления, — эти данные будут использованы для оценки воздействия колебаний уровня на продуктивность ихтиофауны.

На побережье оз. Байкал имеются ценные в ландшафтно-экологическом отношении объекты природы и территории, которые попадают в зону затопления или пострадают в результате подъема уровня воды в озере:

1. Места гнездования редких, в том числе занесенных в Красные книги Бурятии и России, видов орнитофауны. В границах территории исследования это: побережье залива Малый сор; устье р. Большая Речка; п-ов Карга (южная часть косы, отделяющая залив Посольский сор от оз. Байкал). Здесь гнездятся, а также встречаются на пролете: горбоносый турпан (*Melanitta deglandi*) (коса, п-ов Карга), турухан (*Philomachus pugnax*, численность непосредственно связана с уровнем воды озера), белощечная крачка (*Chlidonias hybrid*), азиатский бекасovidный веретенник (*Limnodromus semipalmatus*), черная кряква (*Anas poecilohyncha*), серая утка (*Anas strepera*), шилохвость (*Anas acuta*), широконоска (*Anas ciypeata*) и др. [36]. Одиночные гнезда перечисленных птиц встречались исследователями в разное время в низких заболоченных частях побережья Байкала, в устьях, впадающих в озеро рек.

2. Места произрастания редких и исчезающих видов растений, в том числе занесенных в Красную книгу Республики Бурятия [37].

На песчаных пляжах п-ова Карга и с. Гремячинск отмечены ценопопуляции редкого вида черепоплодника почтишерстистого — узколокального эндемика оз. Байкал и реликта палеогеновой ксерофитной древнесредиземноморской флоры

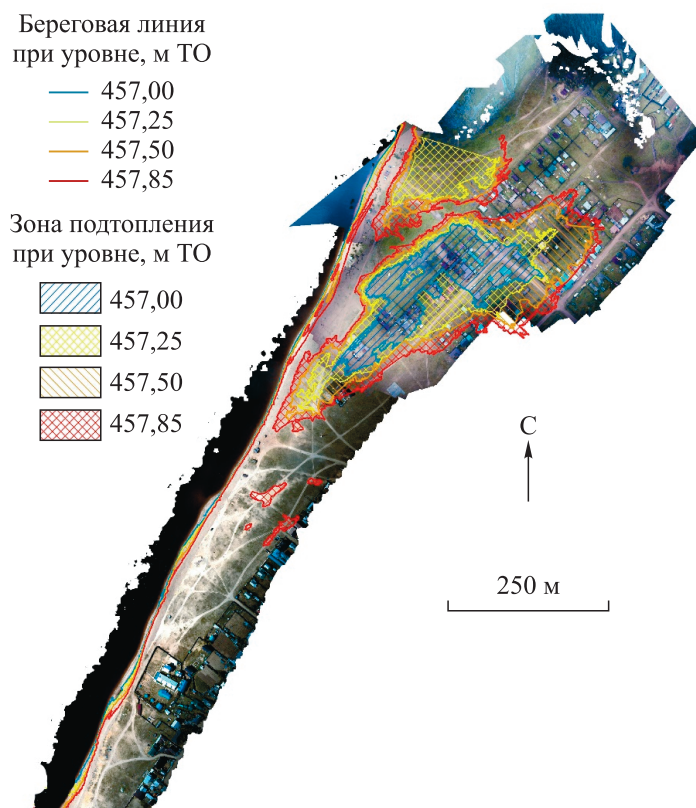


Рис. 3. Положение береговой линии и зон подтопления в пос. Гремячинск при различных уровнях оз. Байкал.

[39, 40]. Вид произрастает на береговых песчаных, прибойных валах и пляжах, слабозадернованных берегах, редко — на каменистых склонах [41, 42].

На побережье с. Гремячинск произрастает эндемик — верблюдка курчавокрылая (*Corispermum ulopterum*), встречающаяся только в прибойной песчаной полосе на восточном побережье оз. Байкал [43]. На песчано-галечниковых субстратах на урзе воды оз. Байкал в заплесковой зоне сел Посольское и Максимиха известны местонахождения луговика Турчанинова (*Deschampsia turczaninowii*). Кроме перечисленных видов, в лесах и приречных кустарниках с. Максимиха произрастает любка двулистная (*Platanthera bifolia*), в лесах береговой зоны с. Гремячинск — волчник обыкновенный (*Daphne mezereum*), некоторые другие виды флоры [37].

3. Песчаная коса, отделяющая Посольский сор от акватории оз. Байкал. Залив отличается своеобразием экосистем. Относительная изолированность, мелководность, значительно более теплая вода, чем в открытом Байкале, обуславливают интенсивное развитие водной растительности, что, в свою очередь, определяет благоприятные условия для соровой ихтиофауны. Кроме того, залив является районом выращивания искусственно инкубируемой посольской популяции омуля. В результате подъема уровня воды в оз. Байкал песчаная коса, отделяющая Посольский сор, будет перемыта в нескольких местах волноприбойной деятельностью. В результате низкая часть косы будет затоплена, увеличится размер северной прорвы, из-за чего изменится водообмен между открытым Байкалом и заливом. Соответственно, изменится и гидрологический режим сора, что отрицательно скажется на водной экосистеме залива, а также на выживаемости молоди омуля с пониженной резистентностью [44]. В конечном итоге это приведет к негативному эффекту для рыбохозяйственной деятельности.

4. Прибрежные леса, леса на низкой террасе оз. Байкал. В пределах территории исследования выделяются несколько участков разной протяженности, где в результате подъема уровня воды до отметок 457,25–457,85 м (ТО) будут наблюдаться активные абразионные процессы (особенно в период штормов), что приведет к обрушению берега вместе с древесно-кустарниковой растительностью лесов. Леса побережья пострадают на следующих участках: побережье залива Малый сор на протяженности 1,1 км; участок берега Посольского сора (1,2 км); участок леса в районе с. Максимиха (0,1 км).

Обследование участка берега к югу от Посольского сора, преобразованного абразионными процессами в период штормов осенью 2020–весной 2021 г., показало, что ширина обрушившегося берега в среднем составляет около 2 м. Очевидно, что трансформация берега под воздействием абразионных процессов произошла совсем недавно.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных исследований дана общая оценка геоморфологических рисков при высоких уровнях воды оз. Байкал, установлено возможное влияние береговых процессов на уникальные природные объекты и туристско-рекреационную инфраструктуру, а также вероятность затопления населенных пунктов Республики Бурятия, расположенных на побережье. На основе полученных цифровых моделей рельефа построены зоны затопления модельных участков при экстремально высоких уровнях водной поверхности — 457,25, 457,5 и 457,85 м (ТО). Определены природные объекты и территории, попадающие под негативное воздействие: места гнездования редких видов орнитофауны и произрастания растений, в том числе занесенных в Красные книги Республики Бурятия и России. Отмечен возможный негативный эффект на ихтиофауну водной экосистемы Посольского сора. Отрицательные последствия высокого уровня воды оз. Байкал выражаются в том числе в гибели прибрежных лесов в результате переработки берегов абразионными процессами. Исследованные ключевые участки и полученные данные лягут в основу расширенной региональной системы геоэкологического мониторинга Байкальского института природопользования СО РАН.

Проблема уровневого режима оз. Байкал в течение долгого времени неоднократно обсуждалась на площадках различного уровня. Спектр вопросов, необходимых для решения, охватывает различные научно-технические направления. Расчет экономического ущерба должен основываться на фактических оценках воздействия на хозяйственные и природные объекты, что требует привлечения специалистов из разных областей. Один из примеров нерешенных проблем — действие трех систем высотных отметок по оз. Байкал: Тихоокеанской, Балтийской непереуравненной и Балтийской уравненной. Несмотря на попытки перевода высотных отметок наблюдений за уровнем воды на постах оз. Байкал в государственную Балтийскую систему, на большинстве постов, являющихся труднодоступными, реперы не привязаны к госсети, а на постах, имеющих такие привязки, уровень воды не согласован между собой.



В настоящее время усилиями нескольких институтов СО РАН, ведомственных и образовательных учреждений выполняется научно-исследовательская работа «Влияние изменения уровня воды в оз. Байкал на состояние экосистемы озера, определение ущерба объектам экономики и инфраструктуры прибрежной территории Республики Бурятия, Иркутской области в зависимости от уровней озера и сбросов Иркутской ГЭС», которая направлена на разработку предложений по минимизации негативного влияния на природные и хозяйственные системы Республики Бурятия и Иркутской области.

*Работа выполнена в рамках государственного задания БИП СО РАН в части создания ЦМР и при финансовой поддержке Российского научного фонда (20-17-00207) в части оценки воздействия на природные комплексы.*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Атлас Байкала / Ред. Г.И. Галазий. — М.: Изд-во Федерал. службы геодезии и картографии России, 1993. — 160 с.
2. Пинегин А.В., Рогозин А.А., Лешиков Ф.Н., Кулиш Л.Я., Якимов А.А. Динамика берегов озера Байкал при новом уровненом режиме. — М.: Наука, 1976. — 88 с.
3. Агафонов Б.П. Экзолитодинамика Байкальской рифтовой зоны. — Новосибирск: Наука, 1990. — 176 с.
4. Иметхенов А.Б. Катастрофические явления в береговой зоне Байкала. — Улан-Удэ: Изд-во Бурят. гос. ун-та, 1994. — 85 с.
5. Бычков И.В., Никитин В.М. Регулирование уровня озера Байкал: проблемы и возможные решения // География и природ. ресурсы. — 2015. — № 3. — С. 5–16.
6. Гидроэнергетика и состояние экосистемы озера Байкал / Отв. ред. А.К. Тулохонов. — Новосибирск: Изд-во СО РАН, 1999. — 280 с.
7. Постановление Правительства Российской Федерации № 234 от 26 марта 2001 г. «О предельных значениях уровня воды в оз. Байкал при осуществлении хозяйственной и иной деятельности» [Электронный ресурс]. — <https://base.garant.ru/2157975> (дата обращения 10.11.2021).
8. Постановление Правительства Российской Федерации № 1667 от 27 декабря 2017 г. «О максимальных и минимальных значениях уровня воды в озере Байкал в 2018–2020 годах» [Электронный ресурс]. — <http://pub-licatation.pravo.gov.ru/Document/View/0001201712280076> (дата обращения 10.11.2021).
9. Галазий Г.И. Байкал в вопросах и ответах. — М.: Мысль, 1988. — 221 с.
10. Мониторинг состояния озера Байкал / Ред. Ю.А. Израэль, Ю.А. Анохин. — Л.: Гидрометеиздат, 1991. — 262 с.
11. Синокович В.Н. Проблемы регулирования уровня озера Байкал в условиях аномальной водности // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. — 2016. — № 1. — С. 42–51.
12. Хомчановский А.Л. Развитие береговых процессов при повышении уровня водоема (на примере озера Байкал) // Вестн. Камчат. регион. ассоциации «Учебно-научный центр». Сер. Науки о Земле. — 2019. — № 1 (41). — С. 99–107.
13. Болгов М.В., Бубер А.Л., Коробкина Е.А., Любушин А.А., Филиппова И.А. Озеро Байкал: экстремальные уровни как редкое гидрологическое событие // Водные ресурсы. — 2017. — Т. 44, № 3. — С. 392–406.
14. Петров В.А., Ярославцев Н.А. Влияние сгонно-нагонных явлений на морфологию устьев рек Северного Байкала // Инновационные системы. — 2014. — Т. 1, № 1. — С. 31–45.
15. Никитин В.М., Абасов Н.В., Бережных Т.В., Осипчук Е.Н. Риски маловодных и многоводных периодов для озера Байкал // География и природ. ресурсы. — 2016. — № 55. — С. 29–38.
16. Гармаев Е.Ж., Цыдыпов Б.З. Уровеньный режим оз. Байкал: состояние и перспективы в новых условиях регламентации // Вест. Бурят. гос. ун-та. Биология, география. — 2019. — № 1. — С. 37–43.
17. Чупин Р.В., Бобер В.А. Эффективность работы водозаборных сооружений населенных мест Прибайкалья // Изв. вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. — 2022. — Т. 12, № 2 (41). — С. 240–247.
18. Никитин В.М., Абасов Н.В., Бычков И.В., Осипчук Е.Н. Уровеньный режим озера Байкал: проблемы и противоречия // География и природ. ресурсы. — 2019. — № 4 (158). — С. 74–83.
19. Скрыбин Н.Г. Изменение уровня Байкала в связи со строительством Иркутской ГЭС и влияние его на экологию и численность уток // Рус. орнитол. журн. — 2018. — Т. 27, № 1681. — С. 5078–5079.
20. Пиотровский А.А., Зенгина Т.Ю. Изменение водного зеркала акватории Ангарского Сора в связи с природными и антропогенными колебаниями уровня воды в Байкале // Проблемы региональной экологии. — 2018. — № 2. — С. 102–108.
21. Фролов А.В., Выручалкина Т.Ю. Динамико-стохастическое моделирование многолетних колебаний уровня озера Байкал и стока реки Ангары // Водные ресурсы. — 2017. — Т. 44, № 3. — С. 264–274.
22. Мельников Ю.И. Избирательность гнездовых станций у водоплавающих птиц и ее причины // Изв. Иркут. ун-та. Сер. Биология. Экология. — 2010. — Т. 3, № 4. — С. 65–69.
23. Публичная кадастровая карта [Электронный ресурс]. — <http://pkk.rosreestr.ru> (дата обращения 20.05.2022).

24. **Государственный** каталог географических названий [Электронный ресурс]. — <https://cgkipd.ru/science/names> (дата обращения 20.05.2022).
25. **Атлас** озера Байкал. — Иркутск; М.: ГУГК, 1969. — 30 с.
26. **Гречишев Е.К., Ладохин Н.П., Леонтьев О.К., Мякокин В.С.** Геоморфология и динамика берегов: Карта м-ба 1:1 500 000 // Атлас Иркутской области. — М.; Иркутск: ГУГК, 1962. — С. 108–109.
27. **Иметхенов А.Б.** Позднекайнозойские отложения побережья озера Байкал. — Новосибирск: Наука, 1987. — 150 с.
28. **Рогозин А.А.** Береговая зона Байкала и Хубсугула. Морфология, динамика и история развития. — Новосибирск: Наука, 1993. — 168 с.
29. **Потёмкина Т.Г.** Литодинамика прибрежной зоны озера Байкал: Автореф. дис. ... канд. геогр. наук. — Иркутск, 2000. — 19 с.
30. **Козырева Е.А., Кадетова А.В., Рыбченко А.А., Пеллинен В.А., Светлаков А.А., Тарасова Ю.С.** Типизация и современное состояние берегов озера Байкал // Водные ресурсы. — 2020. — Т. 47, № 4. — С. 453–465.
31. **Иметхенов А.Б.** Памятники природы Бурятии. — Улан-Удэ: Бурят. кн. изд-во, 1990. — 156 с.
32. **Иметхенов А.Б.** Памятники природы Байкала. — Новосибирск: Наука, 1991. — 128 с.
33. **Иметхенов А.Б.** Природа переходной зоны на примере Байкальского региона. — Новосибирск: Изд-во Сиб. отд-ния РАН, 1997. — 231 с.
34. **Приказ** Минприроды РБ № 2-ПР от 12 января 2021 года «Об утверждении перечня особо охраняемых природных территорий регионального и местного значения Республики Бурятия по состоянию на 01.01.2021» [Электронный ресурс]. — [https://economy.buryatia.ru/mp/activities/detail.php?ELEMENT\\_ID=97248](https://economy.buryatia.ru/mp/activities/detail.php?ELEMENT_ID=97248) (дата обращения 20.05.2022).
35. **ГИС-атлас «Недра России»:** Бурятия. Полная цифровая модель / ВСЕГЕИ [Электронный ресурс]. — <https://vsegei.ru> (дата обращения 20.05.2022).
36. **Пыжьянов С.В., Тупицын И.И., Сафронов Н.Н.** Новое в авиафауне Байкальского побережья // Рус. орнитол. журн. — 1997. — Вып. 30. — С. 11–18.
37. **Красная книга** Республики Бурятия: Редкие и находящиеся под угрозой исчезновения виды животных, растений и грибов. 3-е изд., перераб. и доп. — Улан-Удэ: Изд-во Бурят. народ. центра СО РАН, 2013. — 238 с.
38. **Руководство** пользователя Agisoft Metashape: Professional Edition, версия 1.5 [Электронный ресурс]. — [https://www.agisoft.com/pdf/metashape-pro\\_1\\_5\\_ru.pdf](https://www.agisoft.com/pdf/metashape-pro_1_5_ru.pdf) (дата обращения 20.05.2022).
39. **Мальшев Л.И., Пешкова Г.А.** Особенности и генезис флоры Сибири (Предбайкалье и Забайкалье). — Новосибирск: Наука, 1984. — 264 с.
40. **Пешкова Г.А.** Флорогенетический анализ степной флоры гор Южной Сибири. — Новосибирск: Наука, 2001. — 192 с.
41. **Елисафенко Т.В., Жмудь Е.В., Кривенко Д.А.** Эндемик Прибайкалья *Craniospermum subvillosum* (Boraginaceae): состояние популяций и перспективы охраны // Ботан. журн. — 2013. — Т. 98, № 1. — С. 69–83.
42. **Санданов Д.В., Будаева С.Б., Алымбаева Ж.Б.** Онтогенетическая структура и особенности экологии местообитаний *Craniospermum subvillosum* (Boraginaceae) на восточном побережье оз. Байкал // Ботан. журн. — 2014. — Т. 99, № 8. — С. 922–930.
43. **Дулепова Н.А.** Флора и растительность развееваемых песков Забайкалья: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. — Новосибирск, 2014. — 19 с.
44. **Воронов М.Г.** О воспроизводстве посольского омуля оз. Байкал в современных условиях // Труды ГосНИОРХ. — 1992. — Вып. 322. — С. 232.

Поступила в редакцию 02.06.2022

После доработки 10.08.2022

Принята к публикации 03.10.2022