

А.М. ПЛЮСНИН, Е.Г. ПЕРЯЗЕВА

Геологический институт им. Н.Л. Добрецова СО РАН,
670047, Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6а, Россия, plusnin@ginst.ru, peryazeva75@mail.ru

ВОЗДЕЙСТВИЕ ПОДЪЕМА УРОВНЯ БАЙКАЛА НА ИНЖЕНЕРНЫЕ СООРУЖЕНИЯ ПРИБРЕЖНЫХ ПОСЕЛЕНИЙ

Рассмотрены причины интенсивного разрушения восточного берега Байкала при подъеме его уровня, приведены количественные характеристики абразивной деятельности волн. Показано, что наиболее активное развитие абразии получила в 1962, 1964, 1971, 1973, 1983–1985, 1988, 1990–1994 гг., когда наблюдался наивысший подъем уровня воды в Байкале. В связи с подъемом уровня в устьях рек и прибрежной части озера изменились направление и интенсивность боковых течений, условия аккумуляции осадков, активизировалась боковая эрозия. Показано, что смытый с берегов песчаный материал почти не формирует пляжных отложений, так как перемещается течениями вдоль побережья. Инженерные сооружения в поселениях в связи с подъемом уровня воды в озере длительное время остаются незащищенными от волнового воздействия и интенсивно разрушаются, для их функционирования требуется ежегодный ремонт. Показано, что при подъеме уровня озера за счет активизации подтопления из хозяйственного оборота выведутся десятки квадратных километров земель сельскохозяйственного назначения, пострадают автомобильные дороги и ЛЭП. Определены участки наиболее интенсивного развития различных негативных явлений при подъеме уровня, на которых требуется проведение дополнительных исследований по определению ущерба, наносимого природе и инженерным сооружениям.

Ключевые слова: абразивные и аккумулятивные процессы, оползни, мерзлотные процессы, подтопление, заболочивание земель.

A.M. PLYUSNIN, E.G. PERYAZEVA

Dobretsov Geological Institute, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences,
670047, Ulan-Ude, ul. Sakhyanovoi, 6a, Russia, plusnin@ginst.ru, peryazeva75@mail.ru

THE IMPACT OF A RISE IN THE BAIKAL LEVEL ON ENGINEERING STRUCTURES OF COASTAL SETTLEMENTS

This article considers the reasons for the intensive destruction of the eastern shore of Lake Baikal during the rise of its level, and gives quantitative characteristics of the wave abrasive activity. It is shown that the most active development of abrasion occurred in 1962, 1964, 1971, 1973, 1983–1985, 1988, and 1990–1994 when the highest rise in the water level in Lake Baikal was observed. Due to the rise of the level in the estuaries of rivers and the coastal part of the lake, the direction and intensity of lateral currents have altered, lateral erosion has intensified, and deposit accumulation conditions have changed. It is shown that sand material washed away from the shores does almost not form beach deposits, because it is moved by currents along the coast. Engineering structures in settlements remain unprotected from the wave impact and continue to collapse. Their operation requires annual repairs. It is shown that when the lake level rises, due to an intensification of flooding, tens of square kilometers of agricultural land will be withdrawn from economic circulation, and motor roads and power transmission lines will be affected. The article highlights the areas of the most intensive development of various negative phenomena during the rise of the water level where additional research is required to determine the damage caused to nature and to engineering structures.

Keywords: abrasive and accumulative processes, landslides, permafrost processes, flooding, waterlogging of lands.

ВВЕДЕНИЕ

Береговая линия Байкала в естественных условиях формировалась длительное время, постепенно установилось динамическое равновесие между абразивными и аккумулятивными процессами. После ограничения стока воды из Байкала по р. Ангаре посредством строительства плотины Иркутской ГЭС произошел подъем уровня озера. Установившееся динамическое равновесие между указанными процессами нарушилось: интенсифицировались абразивные процессы береговой полосы, на крутых склонах активизировались оползни, в низких местах произошло подтопление территорий. Создавав-

шаяся до строительства плотины инфраструктура поселений оказалась не готовой к изменившимся условиям, созданный при строительстве запас пространства от уреза воды до инженерных сооружений стал быстро сокращаться. Возникли многочисленные проблемы, связанные с эксплуатацией поселений. В летне-осенний период во время штормов началось уничтожение береговой полосы, в зимний период активизировались мерзлотные процессы, которые сопровождались разрушениями при надыге льда на берег и пучением грунтов.

Измерения уровня озера по техническим причинам до сих пор производятся в Тихоокеанской системе высот (ТО). Техническим проектом ГЭС предусмотрен нормальный подпорный уровень (НПУ), равный 457 м ТО. Уровень мертвого объема (УМО) определен в 455,54 м ТО. Для пропуска экстремальных паводков допускается максимальный форсированный подпорный уровень (ФПУ), который установлен на абсолютной отметке 457,5 м ТО. Для характеристики уровня высот на окружающей озеро суше используется Балтийская общесоюзная система высот (БС). Существует сложная зависимость перевода высот между этими системами, коэффициент пересчета зависит от места расположения точки наблюдения по акватории озера. В данной публикации для перевода высот из Тихоокеанской системы в Балтийскую общесоюзную вводится поправка (–0,52 м).

В представленной статье предполагается рассмотреть основные факторы, которые определяют интенсивность протекания абразионных процессов на восточном и северо-восточном побережье Байкала, выявить условия разрушения берегов и оценить эффективность работы защитных инженерных сооружений в населенных пунктах за период, прошедший после подъема уровня воды в озере.

СТАДИИ ПОДЪЕМА УРОВНЯ БАЙКАЛА И РАЗРУШЕНИЯ БЕРЕГОВ

Для достижения НПУ необходимо было поднять уровень Байкала на 1,97 м по отношению к средним естественным значениям. Подъем уровня и наступление озера на берег происходило в несколько этапов, которые связаны с сезонными колебаниями Байкала и циклами многоводных и маловодных периодов в регионе. С 1959 по 1970 г. происходило заполнение водохранилища, эти годы относятся к высоким и средним по водности. В этот период было резко нарушено динамическое равновесие в береговой полосе. Среднемесячные уровни в 1962–1964 гг. превышали НПУ до 29 см. Осенью 1962 г. уровень Байкала поднимался на 37 см выше НПУ. Это совпало с периодом наибольшей гидродинамической активности озера (осенние шторма). На низких берегах во многих местах произошло перемещение на сушу пляжа, который наложился на древний береговой вал. В результате возникла мощная аккумулятивная форма, высота гребня достигала 1,5–2,5 м, ширина составляла 20 м. В 1964 г. уровень озера вновь превышал НПУ, продолжилось отступление береговой линии. За 1959–1964 гг. общая ширина отступления береговой линии на низких берегах составляла в среднем 17–20 м.

Период с середины 1970-х до середины 1980-х гг. был маловодным, ситуация стабилизировалась на низком уровне воды. Абразионное разрушение береговой полосы уменьшилось. В прибрежной полосе понизился уровень залегания грунтовых вод, произошло осушение заболоченных территорий.

С середины 1980-х гг. вновь наступила многоводная фаза, которая продолжалась до середины 1990-х. В это время активизировалась абразионная деятельность волн в период осенних штормов. Были разрушены многие берегоукрепительные сооружения, защищающие берег в населенных пунктах. Вновь началось переформирование береговой полосы на побережье, происходил интенсивный размыв песчаных кос, островов.

С 1996 по 2015 г. в регионе наблюдался период средней и малой водности, сезонные колебания уровня Байкала находились в пределах интервала 1 м. Максимальные уровни не превышали НПУ. Абразионная деятельность волн стабилизировалась. В этот период во многих местах было проведено укрепление побережья Байкала для защиты населенных пунктов и инженерных сооружений, расположенных на берегу.

Период с 2016 по 2018 г. характеризуется низкими абсолютными отметками уровня в озере, в летнее время уровень воды располагался на отметках 456,3–456,5 м, зимой — опускался до 455,7 м. Затем наступил многоводный период, абсолютные отметки положения воды в озере в 2021 г. достигли 457,12 м. Средний уровень воды в течение года изменялся в интервале 2,3 м. Соответственно, в этот период на прибрежной территории протекали негативные явления, связанные с высоким и низким уровнем воды. С одной стороны, активизировались явления, вызванные разрушением берега абразией, с другой — понижался уровень грунтовых вод, что сказалось на питьевом водоснабжении населения в поселениях, расположенных на берегу. В этот период произошло возгорание торфяников на Кабанском болотном массиве.

В целом можно констатировать, что подъем уровня Байкала плотиной Иркутской ГЭС привел к подмыву береговых уступов, уничтожению пляжей, активизации оползней, осыпей. Возникла реальная угроза разрушения железной и автомобильных дорог, линий связи, портовых и причальных сооружений, жилой застройки в населенных пунктах. Для защиты побережья в населенных пунктах возводились инженерные сооружения, проводилось переселение людей с затопляемой и подтопляемой территории. От берега было перенесено свыше 36 км Баргузинского тракта, вдоль Кругобайкальского участка Восточно-Сибирской железной дороги (ВСЖД) возведены волноотбойные стенки, волноломы и другие защитные сооружения протяженностью 59 км [1].

ОСОБЕННОСТИ РАЗРУШЕНИЯ БЕРЕГОВОЙ ПОЛОСЫ НА ВОСТОЧНОМ ПОБЕРЕЖЬЕ БАЙКАЛА

Восточный берег Байкала, в пределах береговой полосы, сложен большей частью осадочными отложениями рек, которые приносят рыхлый материал с большой водосборной площади. Осадочные отложения накоплены за длительный период, мощность их составляет десятки и сотни метров. В дельте р. Селенги мощность осадочных отложений, по данным бурения, превышает 3 км. В акватории восточного побережья сформированы песчаные отмели, песчаные бары, острова, которые выполняют защитные функции во время волнения озера. Однако в связи с подъемом уровня озера защитная функция этих песчаных образований ослабла, и восточное побережье подверглось интенсивному разрушению. Слагающие его породы оказались неустойчивы по отношению к усилившемуся воздействию волн.

В северной части озера берег от пос. Нижнеангарск до устья р. Кичеры представляет собой аккумулятивную косу, которая вместе с островами Ярки является фрагментом единой системы бара, отделяющего оз. Байкал от мелководной части Ангарского сора. Часть косы вблизи устья р. Кичеры после подъема уровня озера подверглась интенсивному размыву. В 1990-х гг. ширина песчаной косы в концевой части местами не превышала 10 м [2]. Территория в пределах этого участка ровная, на юго-западном конце участка абсолютные отметки составляют 459–460 и 457–457,4 м БС на конце косы.

Для рассматриваемого участка берега характерны волнения южного и юго-западного направлений, которые оказывают максимальное воздействие на берег и сооружения. Наибольшая высота волн на глубокой воде южного направления достигает 3,5–5 м. Уклоны прибрежного дна озера в пределах поселка очень крутые. Изобата 2 м проходит всего в 20–24 м от уреза воды. Это обуславливает интенсивное воздействие волн высотой до 2 м на берег и сооружения. В пределах косы уклоны дна уменьшаются. Здесь изобата 2 м удалена от уреза на 200–220 м. Непосредственное воздействие волн на берег ослаблено, но иногда увеличивается подъем уровня озера за счет ветрового и волнового нагонов, и интенсивность разрушения возрастает [3]. Анализ данных по морфологии берега и дна, гранулометрическому составу пляжевого материала свидетельствует о вдольбереговом переносе галечно-гравийной смеси от пристани к корневой части косы и далее на протяжении около 1,5 км [4]. За последние годы преобладал поперечный перенос, обусловленный подъемом уровня озера, в результате размыва берег отступил более чем на 500 м.

Баргузинский залив относительно мелководен, вследствие чего разрушение береговой полосы имеет свои особенности. Мощность осадков здесь небольшая, они молодые и представляют собой пологую, хорошо размываемую песчанистую отмель [5]. Самым ветреным месяцем в Баргузинском заливе в безледный период является май. Вскрытие озера ото льда обычно происходит в середине месяца. Направление дрейфа ледяных полей определяется ветровым режимом. Примерно в 30 % случаев в мае дуют ветры с озера, нагоняя лед на берег, в результате чего образуются торосы. Волны в заливе преимущественно невысокие, летом около 20 см. Штормовые явления и высокие волны наблюдаются с конца сентября до ледостава. Высота волн достигает 3 м, поздней осенью волнение сопровождается образованием наплесков и торосов высотой до 3,5 м [6]. Колебания уровня Байкала, как в период его естественного режима, так и после зарегулирования плотиной Иркутской ГЭС имеют выраженный сезонный и циклический характер. В сезонном цикле уровень Байкала начинает постепенно повышаться еще до вскрытия льда в апреле. Подъем уровня озера продолжается в течение всего теплого периода, достигая максимума в большинстве лет в сентябре, а в отдельные годы — в конце августа или начале октября. Интенсивность подъема уровня вод Байкала и период его максимума в году зависят от количества атмосферных осадков, выпадающих в водосборном бассейне озера, величины накопления снега к весне и интенсивности его таяния. После достижения максимума происходит спад уровня озера до апреля, когда он опускается до своего минимального значения в году.

Спад уровня обуславливается уменьшением поступающего в озеро стока в холодный период года из-за меньшего количества выпадающих атмосферных осадков и накоплением их в виде снега. Интенсивность спада уровня выше в октябре–декабре, до наступления ледостава, чем в январе–марте, так как осенью на уменьшение уровня влияет испарение с водной поверхности озера.

Ветровой режим в дельте р. Селенги характеризуется сезонной периодичностью по направлению и силе преобладающих ветров. В холодное время года доминируют ветры с суши на озеро, а в теплое — с озера на сушу. Летом эти местные бризовые и горно-долинные ветровые потоки выражены слабее, чем зимой, из-за меньшего термического контраста между озером и сушей. В ноябре, когда Байкал еще не покрыт льдом, по долинам и падам к нему с большими скоростями направляются потоки холодного воздуха со склонов горных хребтов. Усиливаются ветры западных направлений, достигая скорости 40–50 м/с [7]. С октября до декабря–января (ледостав озера) волнение почти постоянно, высота волн достигает 5,5 м и более. В этот период происходит наиболее интенсивное разрушение берега. Озерные осадки Байкала в дельтовой части р. Селенги представлены тремя низкими террасами: первая — 1,5–3,0 м, вторая — 4–6 м и третья — 10–12 м. Террасы сложены частицами менее 0,01 мм, которые подвержены интенсивному размыву [8]. Первая терраса встречается в районе сел Посольск, Энхэлук и представлена серыми тонкозернистыми и глинисто-иловатыми супесями, переходящими в белесовато-бурые глины с разнозернистым песком. У основания ее обнажаются галечники и мелкие валуны, которые ничем не отличаются от современных пляжевых отложений [9]. Исследования береговых ландшафтов в дельте р. Селенги показали, что сильный размыв берегов наблюдается на участке побережья в районе сел Оймур, Энхэлук, Поворот. Они располагаются на 4–6-метровой террасе, сложенной комплексами аллювиальных, аллювиально-озерных, аллювиально-дельтовых отложений песчаного и песчано-иловатого состава. Довольно значительный размыв характерен и для 1,5–3-метровой байкальской террасы, состоящей из песков и суглинков, на которой располагаются села Корсаково, Степной Дворец, Сухая, Заречье, Истомино, Посольск. За 40 лет наблюдений (реперы заложены в 1962 г.) в результате абразионной деятельности берег был значительно разрушен, а затем размыт. Береговая полоса сдвинулась в сторону суши на десятки метров: в с. Старый Энхэлук на 24,5 м; с. Сухая — 28,7 м; с. Оймур (пристань, створ 1) — 41,6 м; с. Оймур (пристань, створ 2) — 36,25 м; с. Посольск — 41 м; в рыбопункте Поворот — на 82,4 м [10].

НЕГАТИВНОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ НА ИНЖЕНЕРНЫЕ СООРУЖЕНИЯ

Абразионные процессы в пос. Нижнеангарск протекают в пределах прибрежной полосы и дна от пристани до устья р. Кичеры на расстоянии 4,5 км. Бутобетонная подпорная стена, построенная севернее пристани, на большей части своего протяжения разрушена. От нее сохранились лишь три фрагмента длиной от 34 до 120 м. В связи с угрозой подмыва опор высоковольтной линии и разрушения полотна автодороги в 2003 г. в качестве противоаварийной меры на участке протяжением около 700 м выполнена отсыпка крупного камня (рис. 1). Это позволило снизить уровень угрозы, но полностью ее не устранило [11].

Сохраняется опасность разрушения ближнего к пристани фрагмента подпорной стены протяженностью 120 м. Ширина галечно-валунного пляжа перед стеной не превышает 1–2 м. В ряде мест основание ее размыто и подошва стены «зависла». Если не принять мер по укреплению основания и прикрытию подпорной стенки от прямого воздействия штормовых волн, сохраняется реальная угроза ее разрушения с последующим интенсивным размывом берегового склона, на котором расположены опоры высоковольтной линии.

Село Максимиха находится на восточном берегу оз. Байкал, на юге Баргузинского залива, в 25 км юго-западнее устья р. Баргузин, южнее устья р. Максимихи. Село является участком рекреационной местности регионального значения «Баргузинское побережье Байкала». Здесь расположено 26 туристических баз, домов отдыха, пансионатов. Это ООПТ, используемая для кемпинговой, пляжной, туристической и другой рекреации и нуждающаяся в особом режиме охраны окружающей среды и регулировании антропогенной нагрузки.

Абсолютные отметки территории поселения колеблются от 455 до 457 м БС, уклон поверхности направлен в сторону озера. Территория расположена в пределах прибойной зоны оз. Байкал. Берег озера пологий с выраженным уступом, подверженный разрушению. В 2010 г. проведено комиссионное обследование участка обрушения берега от устья реки Максимиха до западной границы села. Общая протяженность участка берегообрушения составляет 1300 м, включая 150 м разрушенного участка берегоукрепления ржевого типа, возведенного в 1998 г.

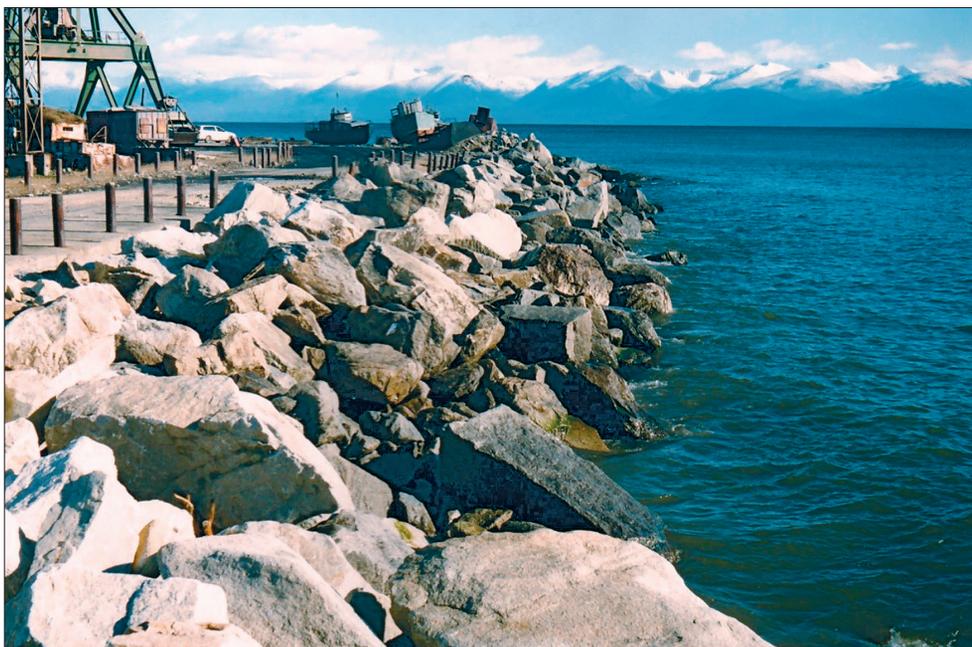


Рис. 1. Противоаварийная защита средней части мола пос. Нижнеангарск, октябрь 2004 г.
Фото Л. Дунаевой.



Рис. 2. Состояние инженерного сооружения защиты берега габионного типа в с. Максимиха, июнь 2022 г. Фото А. Плюснина.

Это инженерное сооружение ремонту не подлежит в связи с фактическим износом (засыпка рья вымыта через отверстия на 40–50 % объема). Береговой уступ подвергается разрушению в период штормов при ветрах северного, северо-западного, северо-восточного направления и при ледовых надвигах. Ширина зоны размыва берега с 1998 г. составила около 20 м, в зоне обрушения находится воздушная линия электропередач (10 кВ) протяженностью 1,3 км, грунтовая автодорога, а также жилые, дачные дома и туристические базы, расположенные за дорогой. По сравнению с закрепленным в 1998 г. участком берег размывает глубже на 6–7 м. Интенсивность размыва берегового уступа достигает 0,7 м/год. По результатам обследования 2010 г., до ряда жилых домов оставалось не более 4–5 м неразмывтого берега. При штормовой погоде волна накатывает до домов, в осеннее время проезжая часть улицы, прилегающие дома и постройки покрываются льдом. Дорожная подсыпка из мелкого щебеннистого грунта и ПГС смывается волнами за один сезон. Всего в опасной зоне расположено восемь жилых домов, один магазин, три турбазы, один дачный домик, внутренняя автодорога (улица), ЛЭП. Общая площадь зоны вероятного обрушения составляет 13 га.

В 2013 г. произведено берегоукрепление побережья у с. Максимиха инженерными сооружениями габионного типа общей протяженностью 1295 м. Применено два типа конструкций: 1) коробчатые габионы размером 4 × 1 × 1 м, расположенные друг на друге, со сдвижкой в плане на 0,5 м; 2) две линии коробчатых габионов располагаются параллельно, с разницей по высоте 0,5 м. Сметная стоимость работ в ценах 2001 г. составляла 3819,937 тыс. руб. [6]. При обследовании в 2022 г. установлено, что защитные сооружения уничтожены практически полностью, только в западной части сохранилась стенка протяженностью 50 м (рис. 2).

Урез воды в пос. Максимиха находился в момент обследования на отметке 455,9 м БС. Повышение уровня Байкала до 456,68 м БС, что составляет 457,2 м ТО, приведет к затоплению приустьевой части долины р. Максимихи. Пострадают жилые дома, расположенные на первой надпойменной террасе, будет затоплена площадка, на которой возводится поселковая каменная церковь. В период осенних штормов разрушится пляж в устье реки, абразионная деятельность усилится на застроенной территории, прилегающей к реке. В западной части поселка, где уровень грунтовых вод повысится и они выйдут на поверхность, активизируются процессы заболачивания на обширной территории. Сформируется поверхностный сток вод с болота непосредственно в озеро. В зимний период начнется пучение грунтов, в результате которого пострадают инженерные сооружения, расположенные в этой части, включая инфраструктуру туристических баз, домов отдыха и пансионатов.

Поселок Усть-Баргузин ранее располагался на правом берегу р. Баргузин, в ее приустьевой части. В связи со строительством Иркутской ГЭС и предполагаемыми неблагоприятными условиями, вызванными подъемом уровня Байкала, по решению Совета министров Бурятской АССР в 1954 г. поселок был перенесен на левый берег. Жилые дома располагаются в основном на первой надпойменной террасе высотой 4–5 м. В связи с увеличением численности населения осваиваются и менее благоприятные для проживания участки. В западной части села грунтовые воды в момент обследования в июне 2022 г. находились на уровне 2,36 м от поверхности земли. Периодический подъем уровня Байкала проявляется в развитии процессов подтопления западной, северо-восточной и восточной частей пос. Усть-Баргузин, где в результате избыточного увлажнения формируются оползни. На побережье Байкала в районе поселка и на правом берегу р. Баргузин в пределах расположения Забайкальского национального парка в результате волновой деятельности активно развиваются абразионные процессы, разрушается прибрежная полоса, занятая сосновым лесом. В 2021 г., в период подъема уровня озера, районная инспекция МЧС отмечала многочисленные вывалы лесных насаждений на побережье (рис. 3).

Подъем уровня Байкала до 456,68 м БС приведет к затоплению заболоченной поймы р. Баргузин, примыкающей к западной и восточной частям поселка. В период осенних штормов будет разрушаться песчаная коса в устье Баргузина. В результате подпора стока поднимется уровень реки, в районе поселка интенсифицируется боковая эрозия берегов, активизируются негативные процессы, связанные с оползанием грунта возле автомобильного моста.

Село Оймур расположено на берегу залива Провал в Кабанском районе Республики Бурятия. Строения и инженерные сооружения села занимают территорию от дельты р. Оймурки до устья р. Средней Мольки. На этом отрезке берега оз. Байкал выделяются два участка с наибольшей интенсивностью берегообрушения.

Протяженность первого участка — от Оймурки до территории рыбозавода — 870 м. Берег оз. Байкал здесь сложен из мелких песчаных и супесчаных грунтов, легко размываемых при волновом и ледовом воздействии. Высота обрыва берега (берегового уступа) — около 6 м, прибрежная отмель

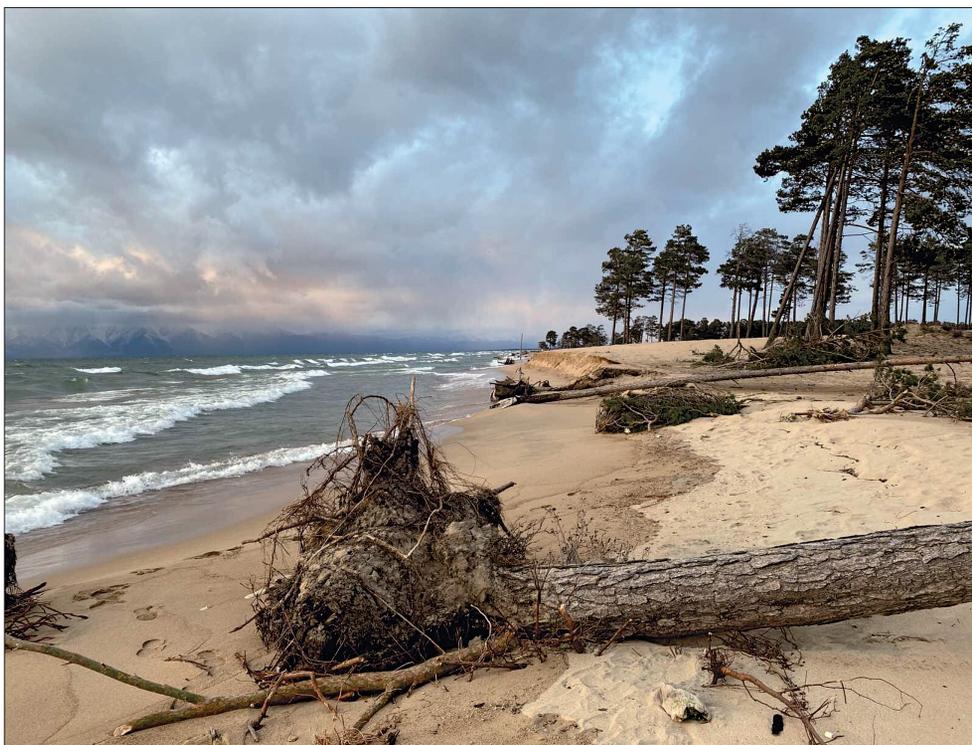


Рис. 3. Разрушение берега Байкала с размывом территории, занятой сосновым лесом в районе пос. Усть-Баргузин, август 2021 г. Фото А. Щербакова.

слабо развита, ширина ее составляет всего 4–5 м. Она сложена из мелких песчаных грунтов. К территории рыбозавода берег понижается до 3 м. В результате волнового воздействия идет вымывание грунта в основании откоса, с образованием «козырьков» в верхней части. Далее происходят отрыв и обрушение крупных блоков пород. Низовая часть откоса разрушается с образованием осыпей. Прилегающая к бровке берега территория покрыта трещинами отрыва, местами захватывающими массивы шириной до 1 м и длиной до 5–6 м. Пребывание на данной территории опасно для населения и сельскохозяйственных животных [12].

Наиболее интенсивно берегообрушение происходит в период осенних штормов, когда преобладают западные и северо-западные ветры. Переработка берега может достигать до 3 м за один шторм. Также при ежегодных подвижках льда при установлении и разрушении ледостава происходит надвиг ледовых массивов, с механическим разрушением берега. В районе разрушения береговой полосы акватория Байкала шириной около 100 м сильно загрязнена взвешенными веществами (ежегодно в озеро попадают тонны грунта, загрязняющие воду взвешенными веществами). В среднем разрушение берега происходит со скоростью 2–4 м в год. Расстояние от береговой полосы до здания рыбозавода составляет 20 м, до жилой застройки — 35–45 м. В непосредственной опасности расположено 22 жилых дома с численностью проживающих 77 чел. [13].

Второй участок с наибольшей интенсивностью берегообрушения имеет протяженность 750 м. Высота берегового уступа составляет 4,5–6 м, ширина береговой отмели — 5–10 м. Береговая полоса покрыта трещинами отрыва, на участках даже незначительного поверхностного стока воды в озеро наблюдаются глубокие промоины. За период наблюдений с 2010 по 2012 г. разрушение берега в районе рыбозавода составило около 5 м. Вода оз. Байкал сильно загрязнена взвешенными веществами и растительными остатками. Полоса прибойной зоны шириной около 100 м загрязнена взвешенными веществами.

В 100–150 м от этих двух участков проходят автодорога районного значения, линия электропередачи. Разрушающиеся участки береговой полосы представляют реальную угрозу производственным объектам и населению с. Оймур. Численность населения, попадающего в опасную зону, составляет 80 чел.

По данным обследования 2013 г., на территории с. Оймур смыто около 50 тыс. м² прибрежной полосы залива Провал. Разрушение берега за счет абразионных процессов и образования оползней

происходит на протяжении 5 км. На данной территории находятся сельхозугодия, земельные участки личных подсобных хозяйств жителей с. Оймур, а также пастбищные земли. В зону разрушения попадает линия электропередач. Береговая полоса вплотную подошла к рыбозаводу и жилым домам. Подъем уровня Байкала на 10–20 см от НПУ, несомненно, активизирует процесс разрушения береговой полосы за счет абразионных процессов во время осенних штормов, так как береговой откос будет доступен для волн на большем расстоянии от кромки воды.

Села Шигаево, Ранжурово, Степной Дворец располагаются на левом берегу дельты р. Селенги. Береговая полоса подвергается интенсивному подтоплению и размыву. Для защиты поселений в 1941 г. была сооружена Кабанская защитная дамба протяженностью 28,7 км, ее высота составляет 1,2–2,5 м, ширина по верху — 3,5–4,5 м. Это инженерное сооружение подвергается подмыву и абразии, ежегодно выделяются средства для ее ремонта. Ущерб юридическим и физическим лицам при ее разрушении может составить 153 674,426 тыс. руб. [14].

Подъем уровня воды выше НПУ приведет к развитию подтопления на большой площади, куда попадут земли сельскохозяйственного назначения. Участок автомобильной дороги Шигаево–Ранжурово будет испытывать воздействие подтопления и криогенной деформации полотна в зимний период, потребуются дополнительные вложения для поддержания ее в рабочем состоянии.

Село Посольск расположено у основания северной песчаной косы Посольского сора, отделяющего этот залив от Байкала. Озерные осадки Байкала в дельтовой части р. Селенги представлены тремя низкими террасами: первая — 1,5–3,0 м, вторая — 4–6, третья — 10–12 м. Первая терраса встречается в районе сел Посольск и Энхэлук и представлена серыми тонкозернистыми и глинисто-иловатыми супесями, переходящими в белесовато-бурые глины с разнозернистым песком. У основания ее обнажаются галечники и мелкие валуны, которые ничем не отличаются от современных пляжевых отложений [16].

В связи с изменением уровня озера песчаная коса интенсивно размывается. Юго-западная часть села, где расположен старейший в Забайкалье Посольский Спасо-Преображенский монастырь, основанный в 1681 г., объект культурного наследия народов РФ, подвергается абразионному воздействию волн и подтоплению. После подъема уровня Байкала к востоку от села сформировался водоем, увеличилась площадь заболоченных земель в окрестностях села. Увеличение подъема уровня озера на 10–20 см от НПУ приведет к подтоплению автомобильной дороги с. Посольск–с. Большая Речка.

Побережье Байкала на участке с. Танхой–ст. Мысовая испытывает воздействие оползневых процессов. Они развиваются преимущественно в неогеновых отложениях, слагающих цоколи озерных террас [17]. Слабая литификация этих пород, переслаивание водоупорных глин и водонасыщенных песков, а также высокая неотектоническая и сейсмическая активность определили ведущую роль оползневого процесса в формировании озерных склонов на этом участке побережья оз. Байкал [18]. Здесь следы древних оползней фиксируются как на надводной, так и в подводной части байкальских склонов [19]. Поверхность склона большей частью покрыта корой выветривания, озерно-речными отложениями и осыпями. Между реками Малый Мамай и Осиновка-Кедровая на расстоянии 10 км длина оползневого склона составляет 1,5 км. Всего вдоль южного берега Байкала в поле развития четвертичных отложений был выявлен 21 подводный оползень [20].

В районе ст. Мысовая при подъеме уровня озера сверх НПУ на 10–20 см с новой силой активизируются негативные склоновые явления. На этом участке побережья Байкала возведены инженерные сооружения бонового типа. В настоящее время ежегодно для защиты железной дороги выполняются берегоукрепительные работы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В связи с подъемом уровня воды в озере при строительстве Иркутской ГЭС на восточном побережье Байкала, сложенном озерно-речными отложениями, активизировались негативные физико-геологические явления: абразия, оползни, мерзлотные процессы, затопление, подтопление и заболачивание земель. Наступление озера на сушу происходило в несколько этапов. Наиболее интенсивное разрушение берегов наблюдалось в многоводные годы в осеннее время, когда на Байкале господствует штормовая погода.

Установлено, что вследствие подъема уровня воды в озере в устьях рек изменились направление и интенсивность боковых течений, усилилась боковая эрозия, изменились условия аккумуляции осадков. Большинство населенных пунктов страдает от воздействия абразионной деятельности волн. На территории поселений активизировались оползневые процессы, подтопление и заболачивание

земель. Ежегодно из хозяйственного оборота поселений выводятся десятки тысяч квадратных метров прибрежной полосы. Защитные инженерные сооружения подвергаются разрушению и требуют ежегодных затрат на ремонтные работы.

Приведены количественные данные преобразования побережья Байкала под воздействием физико-геологических явлений, активизировавшихся под воздействием повышения уровня воды в Байкале. Определены участки наиболее интенсивного развития различных негативных явлений при подъеме уровня выше НПУ. На этих участках требуется проведение дополнительных исследований по определению ущерба, наносимого инженерным сооружениям. Для укрепления берегов необходимо предусмотреть возведение защитных сооружений активного типа, которые препятствовали бы перемещению песчаного материала вдоль берега.

Работа выполнена в рамках проекта «Исследование негативных физико-геологических явлений на восточном побережье Байкала» (121112400008–2).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Гидроэнергетика** и состояние экосистемы озера Байкал. — Новосибирск: Изд-во СО РАН, 1999. — 280 с.
2. **Рабочий** проект берегозащиты пос. Нижнеангарск от порта до р. Кичера. — Сочи: Изд-во Центр. НИИ транспорт. строительства, 1992. — Т. 3. — 129 с.
3. **Рекомендации** по внедрению на базе опытного строительства волногасящих берм из несортированной горной массы по трассе БАМ. — Сочи: Изд-во Центр. НИИ транспорт. строительства, 1992. — 129 с.
4. **Пинегин А.В., Рогозин А.А., Лещиков Ф.Н., Кулиш Л.Я., Якимов А.А.** Динамика берегов оз. Байкал при новом уровне режиме. — М.: Наука, 1976. — 88 с.
5. **Лут Б.Ф.** Геоморфология дна Байкала // Геоморфология дна Байкала и его берегов. — М.: Наука, 1964. — С. 5–123.
6. **Яковченко Т.Г.** Берегоукрепление озера Байкал у с. Максимиха Баргузинского района Республики Бурятия: В 12 т. — Барнаул: ООО «Центр инженерных технологий», 2012. — 12 т.
7. **Байкал:** Атлас / Гл. ред. Г.И. Галазий. — М.: Федеральная служба геодезии и картографии России, 1993. — 160 с.
8. **Власова Л.К.** Речные наносы бассейна озера Байкал. — Новосибирск: Наука, 1983. — 132 с.
9. **Вика С., Иметхенов А.Б., Овчинников Г.И., Снытко В.А., Щипек Т.** Эоловые и абразионные процессы побережий у залива Провал на Байкале. — Иркутск: Изд-во Ин-та земной коры СО РАН, 2006. — 56 с.
10. **Иметхенов А.Б.** О катастрофических последствиях понижения уровня озера Байкал // Актуальные вопросы техносферной безопасности: Материалы VIII Всерос. науч.-практ. конференции (п. Максимиха, 15–18 сентября 2015 г.). — Улан-Удэ: Изд-во Вост.-Сиб. гос. ун-та технологий и управления, 2015. — С. 63–68.
11. **Берегоукрепление** и защита участков берега оз. Байкал в Северобайкальском районе Республики Бурятия. Пристань в поселке Нижнеангарск — устье р. Кичера: В 6 т. / Шахнин В.М. — М.: Изд-во Центр. НИИ транспорт. строительства, 2004. — 6 т.
12. **Материалы** комплексного экологического обследования участков территорий, обосновывающие придание этим территориям правового статуса особо охраняемой природной территории регионального значения рекреационная местность «Побережье Байкала». — Улан-Удэ: Минприроды Республики Бурятия, 2011. — 156 с.
13. **Государственный доклад** «О состоянии озера Байкал и мерах по его охране в 2017 году». — М.: Минприроды РФ, 2018. — 107 с.
14. **Казьмин С.Г.** Расчет размера вреда, который может быть причинен жизни, здоровью физических лиц, имуществу физических и юридических лиц в результате аварии Кабанской защитной дамбы. — Улан-Удэ: Бурятмелиоводхоз, 2014. — 28 с.
15. **Дельта** реки Селенги — естественный биофильтр и индикатор состояния озера Байкал. — Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2008. — 314 с.
16. **Пальшин Г.Б.** Кайнозойские отложения и оползни юго-восточного побережья Байкала. — Иркутск: Изд-во Вост.-Сиб. филиала АН СССР, 1955. — 201 с.
17. **Мац В.Д.** К стратиграфии четвертичных отложений Северного Байкала // Динамика Байкальской впадины. — Новосибирск: Наука, 1975. — С. 258–273.
18. **Лут Б.Ф.** Геоморфология дна Байкала // Геоморфология дна Байкала и его берегов. — М.: Наука, 1964. — С. 5–123.
19. **Хандуева В.Д.** Геоэкологические проблемы южного побережья озера Байкал. — Улан-Удэ, 2007. — 179 с.

Поступила в редакцию 27.05.2022

После доработки 11.07.2022

Принята к публикации 03.10.2022