

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ
ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ ИМ. Н.Л. ДОБРЕЦОВА
СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК
(ГИН СО РАН)

УДК 556.314

Рег. № НИОКТР 121112400008-2

Инв. № 6

УТВЕРЖДАЮ
Директор ГИН СО РАН
А.А. Цыганков
« 22 » декабря 2022 г.
Протокол № 1 от «22» декабря 2022 г.



ОТЧЕТ
О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ

Исследование негативных физико-геологических явлений
на восточном побережье Байкала для разработки рекомендаций
по защите инженерных сооружений и уникальных природных образований
при подъеме уровня воды в озере
(промежуточный, 2 этап)

Номер проекта в ИС управления НИР
FWSG-2021-0006 (рег. № 121112400008-2)

Приоритетное направление 1.5.11.3. Прогнозирование гидрологического цикла и
опасных гидрологических явлений. Научное обеспечение водной безопасности страны

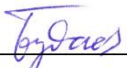
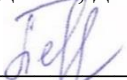
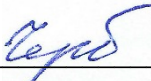
Руководитель НИР,
зав.лаб., д.г.-м.н.



А.М. Плюснин

Улан-Удэ 2022

СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

Должность		ФИО
Руководитель НИР, зав. лаб., д.г.-м.н.	 подпись, дата	А.М. Плюснин (реферат, введение, заключение, разделы 1,2)
Исполнители:		
Н.С., К.Т.Н.	 подпись, дата	А.Д. Базаров (раздел 1)
С.н.с., К.-Г.-М.Н.	 подпись, дата	Р.Ц. Будаев (раздел 1)
Н.С., К.Г.-М.Н.	 подпись, дата	Д.И. Жамбалова (раздел 1)
Н.С., К.Г.Н.	 подпись, дата	Е.Г. Перязева (раздел 1,2)
Н.С., К.Г.-М.Н.	 подпись, дата	А.В. Украинцев (раздел 1,2)
Н.С., К.Г.Н.	 подпись, дата	М.К. Чернявский (раздел 1,2)
М.Н.С.	 подпись, дата	Н.А. Ангахаева (раздел 2)
инженер 2 кат.	 подпись, дата	Б.В. Цыденова (раздел 2)
инженер	 подпись, дата	Т.В. Чередова (раздел 2)
инженер	 подпись, дата	Р.С. Черниговский (раздел 1)
инж.-лаб.	 подпись, дата	Е.С. Кушеева (раздел 2)
лаборант	 подпись, дата	С.Г. Калашников (раздел 1,2)
Нормоконтроль	 подпись, дата	В.В. Дабаева

РЕФЕРАТ

Отчет 36 с., 14 рис., 2 табл., 21 источн., 1 прил.

ОЗЕРО БАЙКАЛ, ПЕСЧАНЫЕ ОТЛОЖЕНИЯ, АБРАЗИЯ, ЭРОЗИЯ, ПОДТОПЛЕНИЕ, НАСЕЛЕННЫЕ ПУНКТЫ, МНОГОВОДНЫЙ ПЕРИОД, УЩЕРБ

Цель работы: Получение научных сведений о развитии негативных физико-геологических явлений на восточном побережье Байкала, связанных с подъемом уровня воды в озере до отметки 2,31 м

Методы исследования – полевые и камеральные работы. Полевые работы содержали маршрутное обследование местности с измерением геоморфологических параметров, геофизическое профилирование с использованием георадара «Око», бурение гидрогеологических скважин с замером уровня залегания грунтовых вод и определением их физико-химических характеристик. В период камеральной обработки результатов были определены площади и геоморфологические особенности песчаных образований. Для этого были использованы карты, созданные на основе топографических съемок до и после подъема уровня Байкала плотиной Иркутской ГЭС и спутниковые снимки информационных систем сервисов Google Earth Pro и Sentinel Hub EO Browser.

Полученные результаты: Установлено, что на восточном побережье в населенных пунктах, зонах отдыха населения и вблизи социально значимых линейных инженерных сооружений сформированы абразионные формы рельефа. В среднем абразией за год уничтожено 4-5 метров берега. Определены площади, затронутые сильным ($УГВ = 0,3-0,7$ м), умеренным ($УГВ = 0,7-2,0$ м) и слабым подтоплением ($2,0 - 3,0$ м).

Определены факторы, под воздействием которых происходит разрушение песчаных образований в устьях рек. Приведены количественные характеристики изменения их площади за период прошедший после строительства плотины Иркутской ГЭС. Обоснован механизм формирования проливов в песчаных барах Ярки, Карга.

По результатам исследования сделано один доклад на международной конференции и 2 доклада на российских конференциях. Опубликовано 2 статьи в рецензируемых журналах и 3 статьи в материалах конференций.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	
1. Характеристика интенсивности экзогенных процессов в береговой зоне озера при изменении уровня Байкала. Оценка опасных природных явлений в береговой зоне озера и изменений уровня грунтовых вод, с детализацией для ключевых участков.....	
1.1 Методика работ.....	
1.2 Основные результаты.....	
2. Определение изменений основных ландшафтных компонентов ключевых участков береговой зоны и устьевых областей притоков, подверженных влиянию колебаний уровня оз. Байкал.....	
2.1 Методика работ.....	
2.2 Песчаные образования в районе дельты Селенги.....	
2.3 Архипелаг островов Ярки.....	
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	
ПРИЛОЖЕНИЕ А.....	

ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Абразия –	процесс механического разрушения и сноса горных пород в береговой зоне водоёмов волнами и прибоем, а также воздействием переносимого водой обломочного материала
Аккумуляция –	процесс накопления рыхлого минерального вещества на поверхности Земли
Буна –	поперечное берегозащитное сооружение, предназначенное для накопления пляжа, предохраняющего берег от размыва
Пляж –	элементарная аккумулятивная форма рельефа, образовавшаяся в зоне прибойного потока
Прибойный поток или накат –	движение воды, возникающее между зоной последнего (ближайшего к берегу) разрушения волн и линией заплеска
Эрозия –	процесс разрушения горных пород водным потоком

ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

ГП – горные породы

ГЭС – гидроэлектростанция

ООПТ – особо охраняемая природная территория

БС – Балтийская система высот

ТО – Тихоокеанская система высот

ПГС – песчано-гравийная смесь

ЛЭП – линия электропередачи

МО – муниципальное образование

СП – сельское поселение

НПУ - нормальный подпорный уровень

УГВ – уровень грунтовых вод

ВВЕДЕНИЕ

Отчет является промежуточным, в нем рассматривается воздействие изменение уровня озера на протекание негативных физико-геологических явлений в населенных пунктах, расположенных на восточном берегу озера Байкал и процессы разрушения, протекающие в песчаных образованиях, сформировавшихся в устьях рек за длительный промежуток времени предшествующий подъему уровня плотинной Иркутской ГЭС.

Среди негативных физико-геологических явлений на восточном побережье Байкала наибольший ущерб инженерным сооружениям и уникальным природным образованиям наносят абразионные, оползневые процессы, эрозия берегов движущимися потоками воды и затопление, подтопление территорий расположенных на низких берегах [1-4].

Начиная с 2001 г. при регулировании уровня воды оз. Байкал заинтересованные организации руководствовались Постановлением Правительства РФ N 234, которое допускало колебание уровня воды в озере в диапазоне от 456,0 до 457,0 м (ТО). В связи с экстремально маловодными годами 27 декабря 2017 г правительством России было принято временное Постановление № 1667 «О максимальных и минимальных значениях уровня воды в озере Байкал в 2018-2020 гг» [5]. Этим постановлением было приостановлено действие старого до 1 января 2021 г. и допускалось увеличение амплитуды колебания уровня воды в озере до 2,31 м и форсирование его уровня до 457,85 м.

После выхода этого постановления наступил многоводный период, и уровень озера в 2020 году более 1,5 месяца превышал 457 м, максимум 457,12 м держался три дня 30.09.2020 - 02.10.2020. В 2021 году максимум достиг значений 457,23 м, этот уровень держался с 22.09.2021 по 28.09.21. Уровень воды в Байкале в 2021 году на отметках выше 457 м находился около трех месяцев. Подъем уровня озера совпал с наступлением осенних штормов. В результате штормового воздействия на восточном побережье Байкала произошло значительное разрушение береговой полосы, нанесен большой ущерб инженерным сооружениям. В связи с подъемом уровня озера произошло подтопление низких участков побережья, активизировались эрозионные процессы в дельтах рек.

В рамках выполнения задания по проекту были проведены полевые исследования территорий, подвергшихся воздействию негативных физико-геологических явлений. Основное внимание было уделено ключевым участкам, где абразия, оползни и процессы подтопления нанесли ущерб инженерным сооружениям поселений, землям лесного фонда, привели к активизации эрозионных процессов в устьевых частях рек.

1. Характеристика интенсивности экзогенных процессов в береговой зоне озера при изменении уровня Байкала. Оценка опасных природных явлений в береговой зоне озера и изменений уровня грунтовых вод, с детализацией для ключевых участков

Интенсивность абразионных процессов в береговой зоне зависит от уровня воды в озере. Высокий уровень воды в озере приводит к ослаблению воздействия вдольбереговых отложений на скорость движения волн, в период штормов, и они приобретают способность с максимальной разрушительной силой наносить удар по берегу. Какие разрушения будут нанесены берегу при том или ином уровне воды в озере трудно предсказать, так как разрушающий эффект зависит от нескольких факторов. Среди них наиболее значимы такие: уровень воды в озере, направление и сила ветра, конфигурация береговой полосы, уклоны подводной части берега, размеры пляжных зон, наличие защитных сооружений. Чтобы количественно оценить возможные разрушения необходимо проводить мониторинговые исследования за длительный период времени. В выполняемом проекте это сделать не представляется возможным. Сейчас мы можем зафиксировать разрушения, произошедшие на том или ином участке берега за последние годы. Учитывая, что 2020 и 2021 гг относятся к периоду с высоким уровнем воды, рассмотрим изменения, произошедшие в это время. В период осенних штормов абсолютная отметка уровня озера достигала в 2020 году 457,12 м, а в 2021 году 457,23 м (ТО). Вследствие этого, берег был подвержен значительным разрушениям. Последствия этого воздействия нам удалось зафиксировать в полевой период 2022 г. Необходимо отметить, что в период проведения полевых исследований, уровень воды в озере имел относительно высокие отметки - 456,55 - 456,81 м (ТО), поэтому в некоторых местах удалось зафиксировать явления подтопления территории населенных пунктов, связанные с подъемом уровня воды в озере.

В соответствии с СП 104.13330.2016 «Инженерная защита территории от затопления и подтопления», утвержденного приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства РФ от 16 декабря 2016 г [5], уровень залегания грунтовых вод, который определяется как неблагоприятный для строительства подразделяется на три категории: 1) сильного подтопления с залеганием уровня подземных вод, приближающегося к поверхности и сопровождающегося процессом заболачивания и/или засоления верхних горизонтов почвы; 2) умеренного подтопления с залеганием уровня подземных вод в пределах от 0,3-0,7 до 1,2-2,0 м от поверхности; 3) слабого подтопления с залеганием подземных вод в пределах от 1,2-2,0 до 2,0-3,0 м в гумидной и до 5,0 м – в аридной зоне.

Подтопление прибрежной территории может быть связано не только с подъемом уровня Байкала, но и с процессами, протекающими на берегу. На данном этапе исследований в большинстве случаев только зафиксированы места развития этого негативного физико-геологического явления. Установление причин его формирования предстоит выполнить при проведении исследований в последующие годы.

1.1 Методика работ

Полевые исследования абразии берегов проводились путем маршрутного обследования побережья с измерением геоморфологических характеристик поверхности. Точки наблюдения фиксировались с использованием приборов GPS-геодезии. Уровень залегания грунтовых вод определялся методом георадиолокационного зондирования с заверкой результатов геофизических исследований путем бурения скважин в узловых точках наблюдения. Георадиолокационное исследование выполнялось методом профилирования с помощью георадара «Око» [6]. Разрешающая способность метода оценивается в 2-10 см. Местоположение профилей в реальном времени фиксировалось GPS-приемником. Профили пересекали точки контрольного бурения, пробуренных на глубину до 4 м, где измерена фактическая глубина уровня грунтовых вод и описан литологический состав рыхлых отложений. Данные контрольного бурения в дальнейшем использовались для идентификации выделенных георадарных комплексов на радарограммах, оценке фактических скоростей электромагнитной волны и определении диэлектрической проницаемости выделенных слоев. Исследование грунтовых вод проведено в июне-июле 2022 г, когда уровень Байкала достигал отметок 456,52 - 456, 60 м (ТО).

1.2 Основные результаты

Село Максимиха располагается в устье реки Максимиха и подвержено процессам затопления и подтопления. По результатам исследования выделяется два участка, где проявляется негативное воздействие подъема уровня озера Байкал. Первый участок располагается в западной части села, где жилая застройка выходит к берегу озера (рисунок 1).

Эта часть села подвергается интенсивной абразии. За прошедший после подъема уровня озера плотиной Иркутской ГЭС период были разрушены инженерные сооружения защиты берега ряжевого и габионного типа. Последние были возведены в 2013 г, имели протяженность 1,3 км, состояли из двух линий габионов с 8 спусками к воде в виде матрасов Рено. Они полностью разрушены абразионными процессами. Берег в этом месте оказался незащищенным, соответственно под воздействием абразии находится жилая застройка, автомобильная поселковая дорога, линия электропередачи. Протяженность абразионного берега в этом месте составляет 2 км.

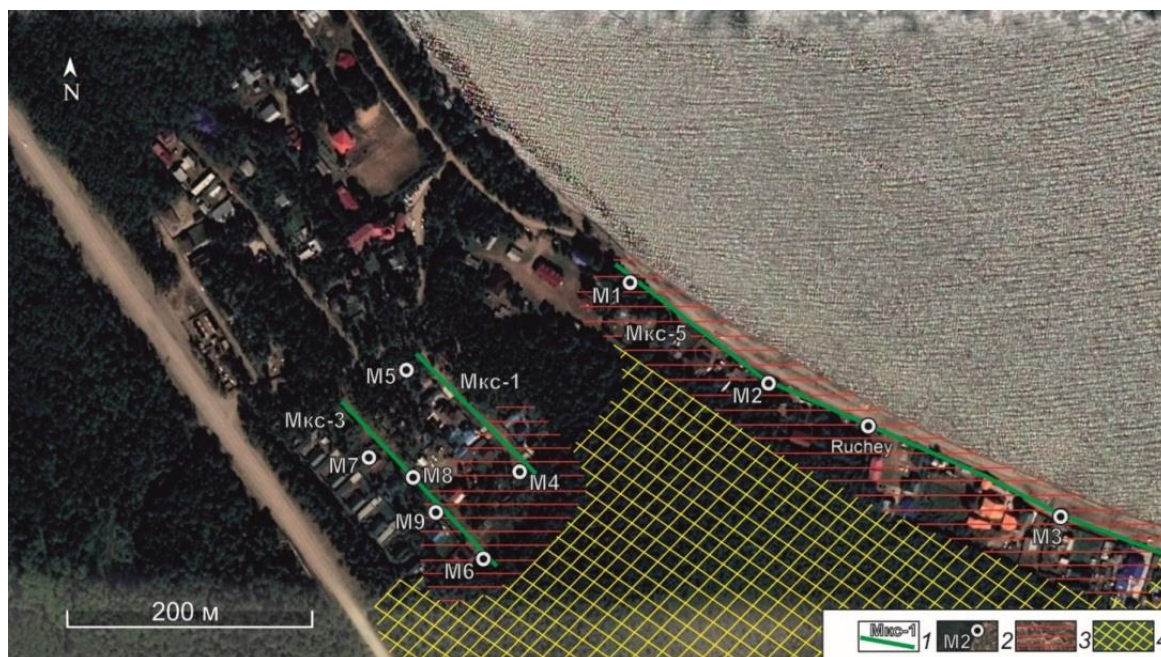


Рисунок 1 – Западная часть с. Максимиха с георадарными профилями и местами бурения скважин. Условные обозначения: 1- геофизические профили, 2- места бурения скважин, 3- территория подверженная умеренному подтоплению, 4 - территория сильного подтопления

Территория жилой застройки в этом месте испытывает воздействие подтопления умеренного класса, Нами пройдено на этом участке три георадарных профиля и пробурено 9 скважин. Геофизический профиль Мкс-5 пройден по улице расположенной вдоль берега, на удалении 11 – 14 м от уреза воды (рисунок 1).

В разрезе выделяются два комплекса пород, соответствующие пескам и влажным пескам. Глубина залегания грунтовых вод по данным георадарного зондирования меняется в диапазоне от 1 до 2 м, причины изменения уровня залегания грунтовых вод могут быть связаны с геологическим строением территории. На отметках по простиранию профиля 250-320 м выделяются элементы аномального расположения слоев осадочных пород (рисунок 2). Возможно, нарушение горизонтального залегания осадочных пород связано с разрывным нарушением. В этом месте в озеро разгружается ручей. По данным полученным при бурении скважин, грунтовые воды располагаются на глубине 1,15; 1,40;

1,71 м. В таблице 1 приведены абсолютные отметки залегания грунтовых вод ТО, которые ниже отметок стояния воды в озере. Поэтому поток грунтовых вод направлен от озера к берегу.

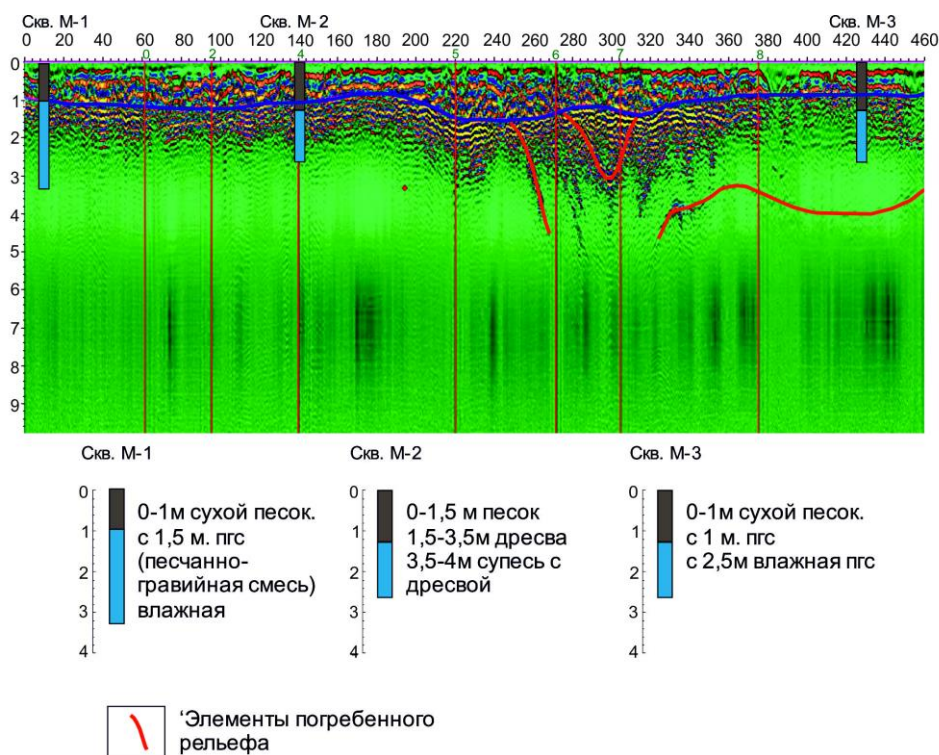


Рисунок 2 – Разрез осадочных пород в с. Максимиха по георадарному профилю Мкс-5

Установленное сильное подтопление территории с. Максимиха, в значительной степени, связано с особенностями геологического строения этой местности. Она представляет собой небольшую межгорную впадину с неравномерным опусканием блоков пород. Блоки, испытавшие наиболее сильное погружение, заболочены. Такие участки имеются и в восточной части села (рисунок 3). Причины развития заболачивания пока установить не удалось.



Рисунок 3 – Космоснимок восточной части с. Максимиха в приустьевой части реки. Условные обозначения: 1- озеро, 2- побережье с местами расположения скважин, 3 - территория умеренного подтопления, 4 - места сильного подтопления

Участки, находящиеся в зоне умеренного подтопления, занимают значительную часть села расположенную в приустьевой долине реки Максимиха. Здесь располагаются жилые дома, пилорама, строятся церковь и торговый центр. Грунтовые воды располагаются на глубине 0,9 – 1,49 м (таблица 1). Площадь умеренного подтопления на этом участке с. Максимиха составляет 0,7 км².

Таблица 1 – Характеристика пород и вод скважин в с. Максимиха

Номер скважины	Местонахождение	Описание пород, вскрытых скважиной	Глубина залегания грунтовых вод, м (абс. отметка ТО)	Температура, °С	TDS, мг/л
М1	14м от уреза воды, возле опоры ЛЭП	0-1м сухой песок, с 1,5 м. пгс (песчанно-гравийная смесь) влажная	1,15 (456,57 ТО)		
М2	под ЛЭП-380	0-1 м сухой песок 1-2 м влажный песок	1,71 (456,01 ТО)		
М3	под ЛЭП, 11м от уреза воды	0-1м сухой песок, 1-2 м пгс с 2,5м влажная пгс	1,4 (456,32 ТО)		
М4	рядом с домом ул.Студенческая, 13	0-1,5 м песок 1,5-2м супесь влажная, 2-3м супесь с обильной влагой	1,96	7,8	74,8
М5	Вторая от озера параллельная берегу улица	0-1,5 м песок 1,5-3,5м дресва 3,5-4м супесь с дресвой	н/о		
М6	Студенческий мкр., д.28	0-1м супесь с дресвой 1-1,8м дресва 1,8-2м влажный суглинок	1,35	9,5	111
М7	Студенческий мкр., д.17	0-1,5м супесь 1,5-4м дресва	ниже 4 м)		
М8	Студенческий мкр., д.25	0-2м супесь 2-2,3м дресва, гравий	скважина остановлена		
М9	Студенческий мкр.	0-1м супесь 1-4м дресва	1,9	8,8	78,7
М10	Возле церкви	0-1м супесь, аллювий	0,9 (456,82 ТО)	14	337
М11	Шурф на ул. Клубной, левый берег р.Максимиха	аллювий	1,25 (456,47 ТО)		
М12	шурф на правом берегу реки, возле одиночного дома	0-1 м аллювий	1,05 (456,67 ТО)		
М13	Улица, возле магазина «Кооператор»	0-2м супесь 2-3м супесь, аллювий	1,49(456,23 ТО)	10,2	325

Автомобильная дорога на участке п. Котково-с. Максимиха проходит по берегу Байкала и подвергается разрушению под воздействием абразионных и оползневых процессов. Абразионная терраса во многих местах располагается в 4-5 м от полотна автомобильной дороги. Суммарно длина автомобильной дороги подвергающейся абразии составляет более 2.0 км. Размыв берега на этом участке за 2020-2021 года произошел на 3-4 метра. При обследовании выявлены многочисленные места абразионного разрушения насыпи автомобильной дороги.



Рисунок 4 – Космоснимок с. Гремячинск. Условные обозначения: 1 - расположение георадарных профилей, 2 - места бурения гидрогеологических скважин, 3 - территория подверженная умеренному подтоплению

Село Гремячинск располагается на низкой береговой террасе, сложенной озерными отложениями. На территории с. Гремячинск пройдено три георадарных профиля и пробурено 8 скважин (рисунок 4). В четырех скважинах глубина залегания менее 1 м, еще в 4 скважинах глубина залегания грунтовых вод менее 2 м. На георадиолокационных профилях Gr-1 и Gr-2 отчетливо выделяется три комплекса пород. Первый комплекс фиксируется с поверхности до интервала глубин от 1.5 м до 2 м. Согласно данным бурения данный комплекс интерпретируется как озерные песчаные отложения. Для слоя определены электрофизические параметры, $\varepsilon \approx 6$, $V \approx 133$ мм/нс, которые соответствуют сухим пескам. Второй комплекс выделяется в начале профилей в интервале 0-120 м и соответствует обводненным пескам озерного генезиса с диэлектрической проницаемостью $\varepsilon \approx 25$. Третий комплекс выделяется в прибрежной зоне в интервалах простирания 120-380

м, соответствует обводненным песчано-галечным отложениям с косослоистой структурой, с падением в сторону оз. Байкал (рисунок 5). При бурении скважин Г-2 и Г-3 выявлен хорошо проницаемый крупный песок рыжего цвета (пленка гидроокислов железа). В этом месте наблюдается купол в залегании грунтовых вод. Они располагаются на глубине 0,90 и 0,88 м. По выявленной хорошо проницаемой зоне осуществляется гидравлическая связь грунтовых вод с озером Байкал.

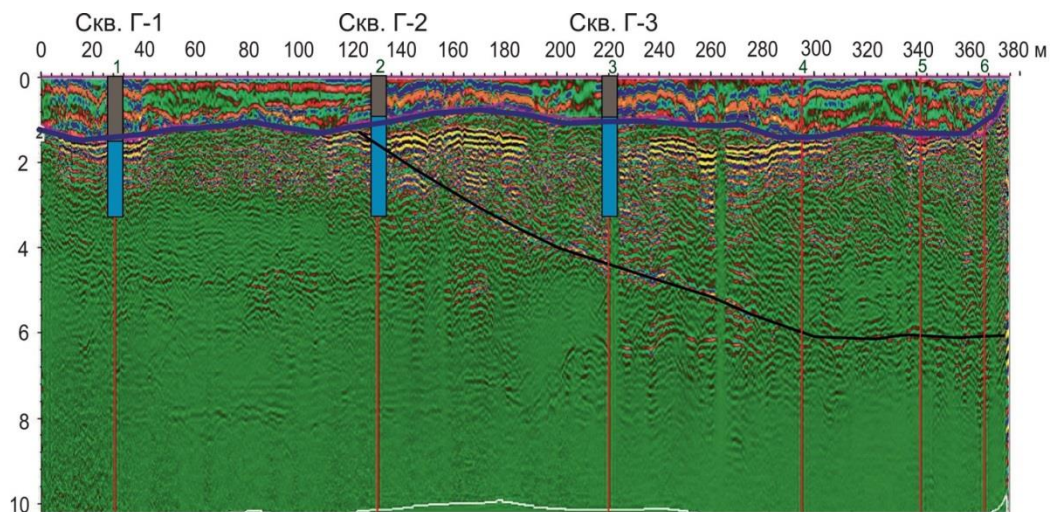


Рисунок 5 – Разрез пород по георадарному профилю GR-1 и местами заложения гидрогеологических скважин

Село Сухая располагается на первой озерной террасе, рельеф ровный со слабым наклоном к озеру. Жилая застройка располагается в 200-300 м от берега. Тем не менее, по свидетельствам местных жителей, проживающих на ближайших к озеру улицах, в 2021 году подвальные помещения затапливались грунтовыми водами. В период штормов было размыто 5 метров береговой полосы. Значительная часть села, располагающаяся от автомобильного шоссе в сторону озера, находится под угрозой возможного подтопления при подъеме уровня Байкала. В селе пробурено 5 скважин. В одной скважине грунтовые воды обнаружены на глубине 1,42 м, в других скважинах грунтовые воды находились в момент обследования на глубинах 2,1 – 2,52 м. Причины формирования подтопления села Сухая не установлены, требуются дополнительные исследования.

Рекреационная местность «Побережье Байкала» располагается на берегу озера между с. Сухая и С. Энхалук. Занимает пространство между а/дорогой и озером. Оборудовано легкими инженерными сооружениями из дерева (беседки, столы, скамейки, туалеты, контейнеры для сбора мусора). В 2020-2021 гг в период осенних штормов побережье сократилось на 6-7 метров в результате абразии и развития оползневых процессов. На берегу наблюдаются оползни с вывалами деревьев. В отдельных местах расстояние от уреза воды до а/дороги не превышает 30-40 м.

Село Старый Энхалук располагается в приустьевой части р. Энхэлук. На южной окраине с. Старый Энхалук высота байкальской террасы достигает 2,5м (рисунок 6). Сложена озерная терраса светло-коричневыми средне-мелкозернистыми песками, хорошо промытыми, с субгоризонтальной слоистостью. Береговой вал с прислоненным пляжем, шириной 8-9м и высотой до 1м. Наблюдается, размыв террасы, происходит оползание пород, в результате которого на пляже лежат упавшие деревья. Берег за один год отступил на 5-6 метров. До внутрипоселковой дороги 50 метров. Вдоль дороги проходит ЛЭП.

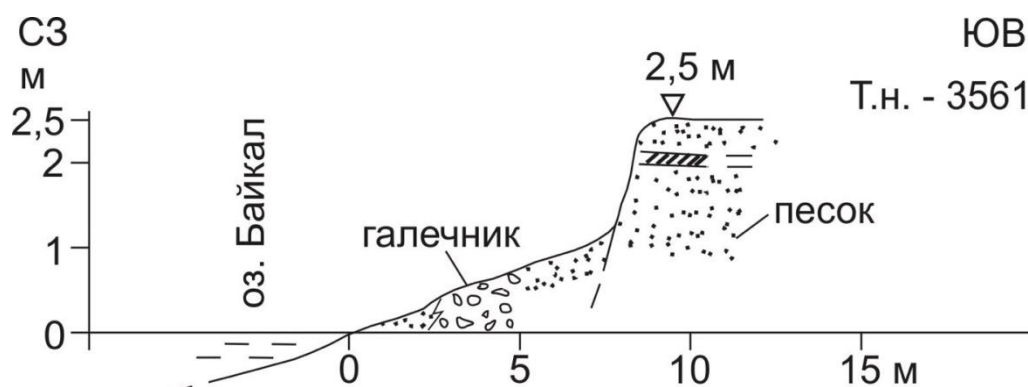


Рисунок 6 – Озерная терраса в приустьевой части реки в с. Ст. Энхалук

В 0,2 км южнее устья р. Энхалук высота озерной террасы достигает 7-8м. Терраса песчаная. Береговой вал шириной 40-45м сложен песком, отделяют низину (сухую лагуну), шириной 60 м от уступа террасы. Пляж односклоновый, ширина пляжа 12-15м. Активно протекает абразия, берег за один штормовой сезон отступил на 5 метров (рисунок 7).



Рисунок 7 – Абразия берега в с. Ст. Энхалук в районе музея невероятной истории Байкала

Село Оймур расположено на побережье Байкала в районе впадения в него реки Оймурка. Побережье Байкала в этом месте подвергается абразионным и эрозионным процессам. Происходит размыв берега обращенного в сторону Байкала и в сторону реки. Левый берег реки представляет собой террасу, сложенную легко размываемыми озерными отложениями. Эта терраса размывается во время паводков на реке и во время

осенних штормов. За прошедшие после поднятия уровня озера 60 лет смыто 300 м берега, на котором ранее располагалась улица.

Терраса сложена горизонтально переслаивающимися светло-коричневым мелкозернистым и серовато-коричневым тонкозернистым песками. Пляж, обращенный в сторону Байкала, представлен двумя типами: (1) свободный (ширина около 2м), отделенный лагуной, шириной 12 м от (2) прислоненного (шириной 15-16м). Общая ширина зоны пляжа около 30м. Ранее эта терраса, протянувшаяся вдоль берега Байкала до рыбзавода, укреплялась. В районе рыбзавода были возведены защитные сооружения из бетонных плит. За прошедшее время они разрушились на участке длиной 120 м. Сформировался абразионный берег шириной 8 м.

Правый берег реки Оймурка низкий, может подвергаться подтоплению, а в зимний период пучению грунтов. По свидетельству местных жителей в подвальных помещениях домов, расположенных по берегам р. Оймурка в приустьевой части в 2020 и 2021 гг. выступали грунтовые воды. Причина подтопления может быть связана с разливом реки, необходимы дополнительные исследования влияния подъема уровня Байкала.

Село Посольское расположено в приустьевой части Большой Речки, на 7-8 метровой озерной террасе. Вдоль побережья озера протягивается береговой вал шириной до 25 м и высотой около 1,5м, сложенный песчано-галечным материалом. За береговым валом расположена лагуна шириной 200-250м. Далее к востоку вдоль лагуны протягивается задернованный склон озерной террасы.

Комплекс Посольского монастыря расположен на 7 метровой озерной террасе. Склон крутизной 20-25°, задернован, относительно монолитный, слабо эродирован.

В юго-восточной части села располагается озеро с заболоченными берегами. Село расстраивается, постепенно осваиваются неблагоприятные для проживания места, в том числе и подверженные умеренному подтоплению. В селе детально изучено расположение грунтовых вод путем бурения скважин и исследования залегания вод в существующих колодцах. В северо-восточной и южной части села выделяются территории подверженные умеренному подтоплению грунтовыми водами. В зону подтопления попадает автомобильная дорога, соединяющая две части села. В этих местах в зимний период возможно развитие процесса пучения грунтов.

П. Култушная расположен в устьевой части реки Култушная, впадающей в залив Посольский Сор). В поселке располагаются многочисленные дома отдыха, турбазы и пр. объекты рекреации. Долина реки Култушная сильно заболочена. Основные здания, сооружения поселка располагаются на привозном грунте. Пробурено 3 скважины, грунтовые воды вблизи побережья Посольского Сора располагаются на отметках глубин

менее 1 м. На удалении от прибрежной территории, которая сложена песчаными отложениями, скважинами вскрыты глинистые отложения. Распространение глинистых отложений на этой территории является характерной чертой геологического развития этого района [2]. Заболачивание этой территории связано с воздействием рек Култушная и Абрамиха. При подъеме уровня Байкала скорость течения в этих реках понижается, они разливаются и заливают окружающую территорию. Подъем уровня Байкала приведет к еще более сильному заболачиванию территории.

П. Боярский. В районе поселка близко к берегу подходит Трансибирская железная дорога. Для ее защиты возведены инженерные сооружения бунового типа, волнобойные стенки. Как показало обследование этой территории в некоторых местах, там, где не возводились защитные сооружения, происходит абразионное разрушение берега, которое может затронуть железную дорогу и ЛЭП. На юго-западной окраине п. Боярский расположена озерная терраса высотой 9-11 м. Пляж прислоненного типа высотой до 1,5 м и шириной 8-10 м, сложен галечным материалом. Склон озерной террасы подвержен абразии. Склон террасы крутизной 45-60° задернованный, заросший древесно-кустарниковой растительностью. На отдельных участках склон субвертикальный, у подножья террасы лежат обрушившиеся блоки земли и упавшие деревья, свидетельствующие об отступлении бровки террасы на 1,5-2 м за весенне-летний период 2022 г. Вблизи бровки террасы протянута высоковольтная линия ЛЭП, один из столбов расположен в 16 м от бровки террасы. По ходу маршрута установлено, что на отдельных участках основание железнодорожной насыпи Транссиба расположено в 15-20 м от бровки озерной террасы.

Ст. Ключевка. На северо-восточной окраине ст. Ключевка расположена 7-8 метровая озерная терраса, сложенная песком с прослоями алевроитов и глин. Пляж шириной 6-8 м, высотой 1,0-1,5 м сложен мелкогалечным материалом. Наблюдается размыв террасы, откос размыва субвертикальный, у подножья откоса лежат глыбы обваливающегося материала, упавшие кусты и деревья. На поверхности террасы, в 1-2 м от бровки террасы наблюдаются трещины оседания. В 2 км к юго-западу от окраины г. Бабушкин железнодорожная насыпь расположена в 6-10 м от бровки террасы, затронутой абразией. Терраса сложена песком с прослоями алевроитов и глины. Во многих местах наблюдается обрушение склона террасы.

Ст. Танхой. На северо-восточной окраине ст. Танхой расположена озерная терраса высотой 10-12 м, сложенная песчаными осадками. Северный склон террасы выполюжен (угол 10-15°). Подошва склона террасы укреплена бетонной стенкой длиной 0,4-0,5 км и высотой до 4 м.



Рисунок 8 – Разрез озерной террасы расположенной в районе с. Танхой

Пляж галечный, шириной до 6 м и высотой до 2 м. Берег укреплен защитной бетонной стенкой. Однако на отдельных участках происходит ее разрушение, что приводит к эрозионному размыву берега. На этом участке отмечаются эрозионные ниши на склоне озерной террасы с размерами от 3 до 30 м в поперечнике и до 20 м расположенные от защитной стенки вглубь террасы (рисунок 8). На отдельных участках за инженерными сооружениями защиты берега наблюдается размыв склона террасы. Эрозионные ниши достигают 3-4 м в поперечнике. Установлено три ниши вымывания они протягиваются за волнобойной стенкой на расстояние 28 м.

К востоку от ст. Танхой распространена озерная терраса высотой 15-17 м, у подножья склона террасы сформирован галечный пляж шириной 10-15 м и высотой до 2м. Озерная терраса размывается, высота откоса размыва равна 6-7 м. Железнодорожная насыпь расположена в 48 м от бровки озерной террасы. На южной окраине с. Танхой озерная терраса имеет высоту 6-7 м. сложена песками. Пляж сложен песчано-галечным материалом шириной 8-12 м и высотой до 2 м. Эрозионный размыв происходит на интервале 0-200 м к юго-западу от защитной бетонной стенки.

Визит-центр Байкальского заповедника. Расположен возле мыса, выступающего в озеро на 5-60 м. Рядом с визит-центром имеется небольшая бухта, которая защищается от абразии инженерными сооружениями ряжевого типа, которые в значительной степени разрушены, валунный наполнитель практически вымыт. Здание визит-центра расположено на террасе высотой 2,5-3,0 м. Терраса сложена глыбово-валунным материалом с гравийно-песчаным заполнителем светло-коричневого цвета. Абразионный уступ террасы расположен в 6,3-7,2 м от здания. За штормовой период 2021 г абразия уничтожила поверхность озерной террасы в полосе 5 м. Протяженность разрушенного берега перед визит-центром составляет 33,5 м. Далее к востоку от визит-центра располагается пляж сложенный галькой. Ширина пляжа 10-15 м, протяженность около

500 м. Пляж располагается у основания террасы, высота абразионного уступа составляет 6-7 м.

При обследовании северного Байкала уровень воды находился на отметке 456,81 м ТО. Село *Байкальское* располагается на северо-западном побережье Байкала. Основная часть села расположено на высокой террасе. Возле берега находятся здания и сооружения рыбзавода. При подъеме уровня Байкала даже на 0,5 м они будут затоплены. На момент обследования был затоплен мыс к юго-западу от села, лиственный лес в долине, впадающей в районе мыса реки. Крутой берег, на котором располагается село подвержен абразии в многоводные годы, когда к нему открывается доступ волн после затопления низины. Абразия будет сопровождаться оползновыми процессами, чему способствует присутствие среди песчаных отложений прослоев суглинков и глины.

На северо-западном побережье Байкала может быть нанесен большой ущерб лесным ресурсам. Хвойный лес во многих местах располагается в 3-4 м от уреза воды. Берег пологий, абразионная терраса имеет высоту 1-2 м. При подъеме уровня Байкала во время штормов будет происходить разрушение береговой полосы и вывалы леса по всему побережью.

Г. Северобайкальск. При подъеме уровня Байкала пострадает зона отдыха, которая расположена на мысу. В этом месте имеется пляж с легкими постройками для переодевания, скамейки, шезлонги для отдыха. За пляжем располагается водоем. Протяженность зоны отдыха около 1 км.

Далее на мысу располагается садово-огородный кооператив «Нептун». Уровень грунтовых вод в этом месте располагается на отметке 1 м. Территория находится в зоне умеренного подтопления. При подъеме уровня озера вода выйдет на поверхность.

Участок автомобильной дороги Северобайкальск-Нижнеангарск. Участок берега в районе мысовых тоннелей подвержен интенсивной абразии. В штормовую погоду происходит интенсивное разрушение берега в этом месте на расстоянии 1,5 км. В результате абразии может пострадать межрайонная автомобильная дорога, которая находится в 5 метрах от уступа абразионной террасы.

П. Нижнеангарск. Берег в районе Рыбзавода подвержен абразии. Сформирована абразионная терраса в 5 м от уреза воды. В 3 м от абразионного обрыва проходит ЛЭП. В опасной зоне воздействия абразии находится подстанция. В этом месте берег, подверженный абразии, протягивается на расстояние 100 м.

В районе парка Nord Baikal береговой вал, сложенный валунно-галечным материалом, располагается в 5 метрах от ограждения парка и в 5-ти метрах от аллеи тополей. Для защиты поселка Нижнеангарск возведена дамба, сформирован пляж. Это

место является местом отдыха для жителей поселка. Однако во время штормов волны доходят до дамбы, существует угроза размыва опор ЛЭП, проходящей возле нее. За дамбой местность заболочена. Болота протягиваются до жилой застройки поселка. Строения, расположенные на ближней к берегу Байкала улице Рабочей находятся в зоне умеренного подтопления. В двух точках наблюдения уровень грунтовых вод 2 м. В колодце, расположенном на улице Звездной глубина залегания грунтовых вод составляет 1,5 м. Улица Озерная выходит на берег залива, который повсеместно заболочен. При подъеме уровня Байкала произойдет подтопление этой территории, пострадают жилые дома и туристические базы, располагающиеся вдоль береговой полосы.

2. Определение изменений основных ландшафтных компонентов ключевых участков береговой зоны и устьевых областей притоков, подверженных влиянию колебаний уровня оз. Байкал

Песчаные бары, которые сформировались в устьевых областях рек, в многоводные годы подвергаются наиболее интенсивному разрушению, так как, с одной стороны, находятся на пути движения озерных волн, а с другой стороны, испытывают воздействие потоков воды из рек. Некоторые бары такие как, образовавшиеся в озерной части дельты Селенги и на внешней стороне залива Провал, песчаные. Другие, такие как сформировавшиеся в устьях рек Большая Речка, Култушная, Абрамиха, Толбажиха покрыты почвой и травянистой растительностью. Третьи, такие как, песчаные бары в дельте рек Кичера, Верхняя Ангара за длительный период своего существования превратились в цепочку островов, покрытых почвой, травянистой и древесной растительностью.

Рассматриваемые песчаные образования выполняют большую экологическую роль. Они отделяют и защищают от воздействия волн часть акватории озера, в которой формируются благоприятные условия для воспроизводства рыбных ресурсов.

С подъемом уровня Байкала изменились темпы осадконакопления в устьях рек. Особенно значимые изменения произошли в дельте реки Селенга. За прошедший, после строительства плотины Иркутской ГЭС, период произошло значительное сокращение площади дельты [7]. Уменьшение площади дельты может быть связано с затоплением ее поверхности в многоводные годы; уплотнение дельтовых отложений, воздействием сейсмических событий. Этот вопрос остается открытым. До сих пор нет логического объяснения происходящих изменений. Связано это с подъемом уровня Байкала, или на это оказывают воздействие другие процессы до сих пор остается невыясненным.

2.1 Методика исследований

Исследования включали в себя камеральные и полевые работы. В камеральный период на основе топографических карт были проанализированы площади и геоморфологические особенности песчаных образований. Использовались карты, созданные на основе топографических съемок до и после подъема уровня Байкала плотиной Иркутской ГЭС. При рассмотрении песчаных образований Посольского сора для сравнения были взяты топографические карты масштаба 1: 50 000 выпуска 1942 и 2011 гг. [8,9]. Для оценки произошедших изменений в форме песчаных кос и островов подобранные карты сканировались и накладывались друг на друга в графическом редакторе Corel Draw X4. С целью точного сопоставления изображений они приводились к единому масштабу и привязывались по нескольким неизменным объектам,

расположенным на побережье. Для сравнения площади песчаных кос и островов на карты накладывалась километровая сетка. Спутниковые снимки были взяты из информационных систем сервисов Google Earth Pro и Sentinel Hub EO Browser. На них выделялась интересующая площадь, и с помощью графического редактора рассчитывалось отношение площади выделенной сложной фигуры к квадрату 1×1 км.

В полевой период проводилось маршрутное обследование местности, измерение размеров геологических образований, определение физико-химических показателей вод, отбирались образцы пород и вод для лабораторных исследований.

2.2 Песчаные образования в районе дельты Селенги

Песчаный бар Карга сформировался за счет песчаного материала, принесенного реками Култушная, Абрамиха, Толбазиха, Большая Речка. Считается, что это произошло 500–600 л. н. после опускания части суши [10]. Накопленный в устьях рек рыхлый материал стал перемещаться волнами к берегу. На границе опустившегося блока пород вначале образовалась цепочка островов, впоследствии объединившихся в два полуострова, которые протягиваются в северо-восточном направлении на расстояние 13,5 км (рисунок 9 А).

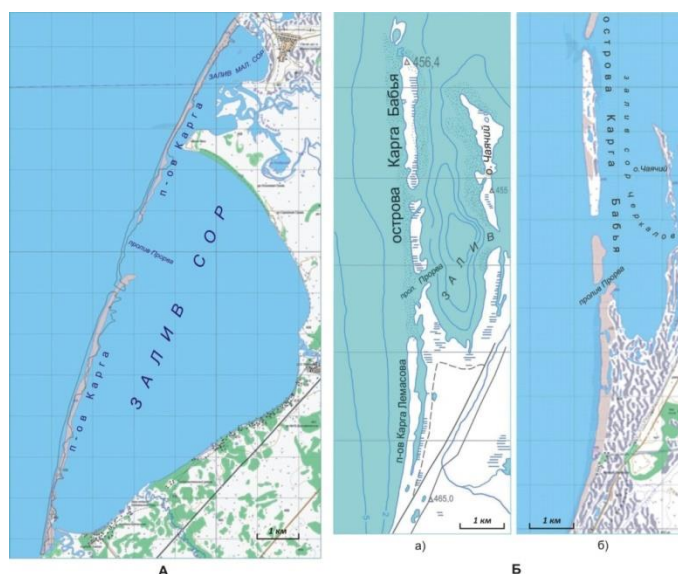


Рисунок 9 – Карта района залива Посольский сор, составленная по материалам съемки 2011 г. (а), и карты побережья оз. Байкал в районе с. Исток (б) за 1942 г. [8] и 2011 г. [9] Черной линией показан контур п-ова Карга с топографической карты 1942 г.

Фациальный состав осадочных отложений, слагающих косы, меняется от песчаного до гравийно-галечно-валунного. Вблизи предполагаемых устьев рек в отложениях баров преобладает галечно-валунный материал. Особенно крупные фракции осадочных отложений, размер частиц которых достигает 100–200 мм, располагаются в северной части п-ова Карга, отделяющего залив Малый Сор от Байкала. Это место, вероятно, находится в пределах древнего русла р. Большая Речка.

На рисунке 9,А представлена карта залива Посольский сор с двумя полуостровами, которые разделены проливом на южную и северную части. Ширина пролива ранее не превышала 100 м (черный контур). Южная часть полуострова имела протяженность 7,25 км, северная – 6,15 км. Наибольшая ширина южной части полуострова достигала 380 м, северной – 270 м. После подъема уровня озера полуостров подвергся интенсивному размыву. Изменилась протяженность южной и северной частей бара. В средней части бара сформировался пролив шириной 1,1 км. Его образование произошло не на месте существовавшего ранее пролива, а севернее, за счет размыва песков бара. Таким образом, северная часть полуострова стала короче, его длина – 5 км. Южная часть бара удлинилась: на период проведения геодезической съемки в 2011 г ее длина составила 7,4 км. Наибольшая ширина полуостровов не превышает 160 м. Общая площадь этого песчаного бара сократилась на 0,408 км², площадь южного полуострова – на 0,078 км², северного – на 0,33 км². В результате подъема уровня озера изменилась конфигурация бара, исчезли выступы и мелкие заливы на стороне, обращенной к заливу Посольский сор. Поверхность бара стала ровной, без бугров и впадин. Под воздействием волн западного направления песчаные отложения, слагающие бар, сместились в сторону Посольского сора, особенно это хорошо видно в его южной части. Повышение уровня озера активизировало размыв берегов повсеместно, в результате чего усилился вдольбереговой поток наносов. Процесс переформирования песчаных отложений не прекратился, полуостров продолжает интенсивно размываться, особенно в период осенних штормов.

Вследствие подъема уровня озера и активизации абразионных процессов произошла коренная перестройка конфигурации побережья в районе залива Сор Черкалова. С карт исчез п-ов Карга Лемасова, площадь которого составляла 0,646 км² (см. рисунок 1, Б). В результате волновой деятельности пески, слагающие этот полуостров, передвинуты к берегу. Соответственно, исчез и залив, который отделял этот полуостров от берега.

Южный остров Карга Бабыя уменьшился в размерах: его площадь до подъема уровня Байкала достигала 0,412 км², а в 2011 г. составляла всего 0,254 км². Существенно сократилась площадь о. Чаячий – от 0,978 км² до 0,275 км².

Значительные изменения произошли в дельте р. Селенги [11,12]. Конфигурация и морфометрические параметры русел и островов быстро варьируют в пространстве и времени. Происходит изменение фарватера реки, размыв островов и образование осередков [13]. Считается, что динамичность субаэральной поверхности дельты, обусловленная современными эрозионно-аккумулятивными процессами, в наибольшей степени проявляются в периоды повышенной водности. В 1986 г. площадь дельты

составляла 602 км², 1998 г. – 535 км², 2007 г. – 558 км², 2011 г. – 543 км² [13]. Необходимо отметить, что 1986 г. характеризуется как многоводный. Этот многоводный период начался в 1984 г. и продолжался четыре года. Затем был один год маловодный и вновь наступил многоводный период, продолжавшийся до 1995 г. В это время произошло сокращение поверхности дельты на 67 км². Потом начался длительный период маловодных лет, который продолжался до 2020 г. Зафиксированные изменения в площади дельты достигают более десяти процентов. В первый период с 1986 по 1998 гг дельта сократилась на 11 %; затем с 1998 по 2007 возросла на 4,3 %, и наконец, вновь уменьшилась с 2007 по 2011 гг на 2,7 %. Чтобы убедиться в правильности тенденции изменения площади, в дополнение к имеющимся литературным данным нами произведено измерение площади дельты по топографической карте 1982 г. [14] и спутниковому снимку 2020 г. Для расчета площади использовались исторически сложившиеся границы от главного узла бифуркации в с. Малое Колесово до с. Дубинино на северо-востоке и с. Истомино на юго-западе. Внешняя граница проведена по выделяющимся участкам суши. Расчеты показали, что в 1982 г. площадь дельты составляла 568 км², в 2020 г. – 517 км².

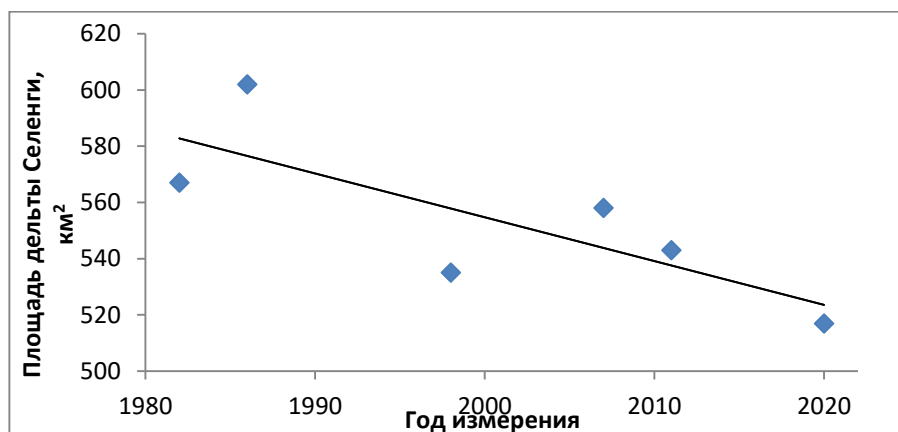


Рисунок 10 – Площадь дельты р. Селенги в период с 1982 по 2020 г.

Из графика (рисунок 10) видно, что с 1982 по 2020 г. произошло существенное сокращение площади дельты. Это может быть связано с затоплением островов водами Байкала, процессами уплотнения и проседания осадочных отложений, вертикальными тектоническими движениями на этой территории, изменением условий осадконакопления и др.

Для выяснения роли процессов, под воздействием которых произошло уменьшение площади, нами отдельно подсчитаны площади, ограниченные во внешней части дельты устьями проток Лобановская – Средний Перемой, Средний Перемой – Галутай, Галутай – Шумиха (таблица 2).

Таблица 2 – Площадь дельты р. Селенги (по данным измерения 1982 и 2020 гг.)

Название объекта	Площадь, км ² (%)		Изменение площади, км ² (%)
	Топографическая карта 1982 г. [13]	Космоснимок 2020 г.	
Лобановский сектор (протока Лобановская – Средний Перемой)	118,9 (21)	104,6 (20,2)	14,3 (28,7)
Среднеустьевский сектор (протока Средний Перемой –Галутай)	262,3 (46,2)	236,6 (45,7)	25,7 (51,3)
Селенгинский сектор (протока Галутай –Шумиха)	186,2 (32,8)	176,1 (34,1)	10,1 (20)
Общая площадь	567,4 (100)	517,3 (100)	50,1 (100)

Обоснование и деление площади дельты на эти участки впервые произведено в работе [15], в которой они названы Лобановским, Среднеустьевским и Селенгинским секторами соответственно. Эти участки дельты характеризуются значительными различиями в условиях формирования твердого стока. Из данных, представленных в табл. 1, видно, что площади секторов за 19 лет претерпели изменения в разной степени. Наибольшее уменьшение площади произошло в средней части дельты, заключенной между протоками Средний Перемой – Галутай. Здесь изменения составляют более 50 % от всех произошедших в дельте за этот период. Второе место по значимости изменений занимает северный сектор, расположенный между протоками Лобановская – Средний Перемой. Меньше всего подвергся изменениям участок дельты между протоками Галутай – Шумиха.

Обсуждение полученных результатов. Бары, отчленяющие заливы Посольский сор, Сор Черкалова от Байкала, и отложения дельты р. Селенги находятся в различных гидродинамических условиях. Песчаные бары подвергаются сильному воздействию волн, которые обрушиваются на эти песчаные образования. Вследствие перехлестывания волн через тело баров, песок перемещается в сторону берега. В этих местах с береговой стороны образуются выпуклости, с морской стороны волны выравнивают очертания песчаных образований. Часть песчаного материала уносится вдольбереговыми течениями в заливах и отлагается в местах, где снижается скорость движения воды. За период, прошедший после подъема уровня Байкала, произошло смещение баров внутрь залива.

Оно началось в 1961–1962 гг., когда был многоводный период и бары были затоплены. Над их гребнями установилась глубина, соизмеримая с высотой волн, в результате чего во время штормов возник прибойный поток наибольшей силы. Он «слизывал» гребни баров и перемещал песчаный материал на лагунный берег залива, где подхватывался течениями и отлагался в виде потоков рассеяния. Постепенно за счет выноса мелкой фракции песка в теле баров сформировались ослабленные зоны, по которым стала фильтроваться вода из залива. Напор создан за счет гидростатического давления вызванного более высоким уровнем воды в соре. Эти процессы усиливаются в многоводные годы, когда увеличивается водообмен в системе река – озеро и вода из залива не может быстро удалиться по существующим проливам.

Сформировавшийся поток подземных вод вымывает из песков мелкую фракцию, в результате чего поровое пространство расширяется, скорость движения воды через косу возрастает и увеличивается ее размывающая способность. Таким образом, происходит образование проливов в песчаной косе. В 2021 г., когда уровень воды достигал 457,23 м, произошло образование нового пролива в северной части п-ова Карга (рисунок 11).

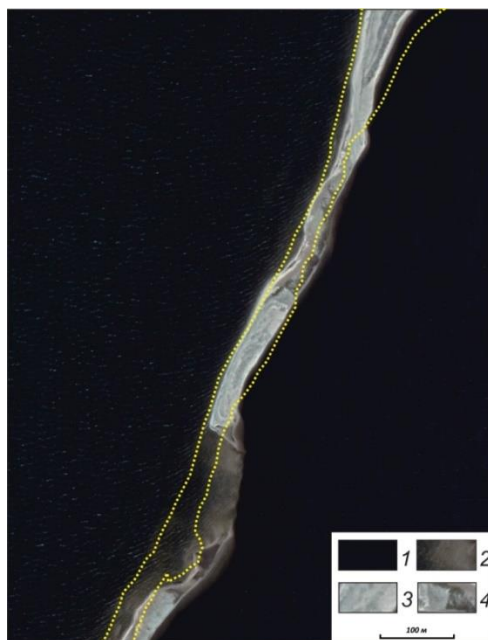


Рисунок 11 – Спутниковый снимок северной части п-ова Карга с образовавшимся проливом (снимок 2022 г.). 1 – водная поверхность Байкала и залива Посольский сор; 2 – образовавшийся пролив; 3 – песчаные отложения; 4 – лощина в теле бара. Пунктиром обозначен контур берега в 2016 г.

Ширина образовавшегося пролива достигает 98 м, ширина косы в месте размыва – всего 16 м. Второе место возможного размыва косы располагается в 176 м к северу от пролива. Здесь уже образовалась лощина глубиной 0,3 м, по которой в шторм перекачиваются волны из Байкала в залив. Ширина косы в этом месте – 36 м, пески не закреплены растительностью.

Деформации, произошедшие в дельте Селенги, связаны с изменившимися условиями осадконакопления. Селенга ежегодно приносит в дельту в среднем около 2 млн т твердых наносов [16]. В многоводные годы расход взвешенных наносов около 4,1 млн т/год, в маловодные он снижается до 378 тыс. т/год. Среднегодовой сток наносов находится в прямой зависимости от расходов воды [17]. Дельтовые отложения представлены в центральной части гравийно-песчаным материалом, а в устьевых частях мелкозернистыми песками и илами. Песчаные отложения дельты р. Селенги не подвергаются столь интенсивному воздействию волн, как в пределах Посольского сора, поскольку защищены песчаными барами, расположенными в 4–5 км от берега. К тому же пески здесь закреплены растительностью и не размываются. Поэтому фактор эрозионного разрушения островов, расположенных в дельте р. Селенги, ослаблен и не играет заметной роли в установленном уменьшении ее площади. Вероятно, на сокращение площади дельты, прежде всего, влияет уплотнение осадочных отложений. Известно, что периферийная часть сложена в основном илами и глинами, которые способны со временем уплотняться. При катагенезе происходит выжимание заключенных в них поровых вод и уплотнение осадков. Глинистые илы с прослоями алевритов и песков на глубине 0–10 см имеют пористость 35–65 % и плотность 1,2–1,5 г/см³, а на глубине 10–80 см их пористость уже 30–48 %, а плотность возрастает до 1,4–1,6 г/см³ [18]. Соответственно, уменьшается их объем, и сложенные этими породами острова, расположенные в периферийной части, могут погружаться ниже уровня воды.

Поверхность дельты постоянно меняется, в одних местах размываются острова, в других заиливаются и исчезают протоки. Причинами нарушения устойчивости являются как изменения гидрологических параметров в вершине дельты, так и перераспределение стока по рукавам, протокам. Для отдельных протоков дельты, как и для р. Селенги в целом, характерно распределение стока наносов в соответствии с расходами воды. Сейчас максимальный сток воды происходит по Лобановскому и Селенгинскому секторам и составляет 45 и 35 % соответственно, и только 20 % стока происходит по русловой сети Среднеустьевского сектора [15]. Площадь этого сектора составляет 45–46 % от общей площади дельты. Скорость течения воды в протоках этого сектора значительно меньше, чем в двух соседних секторах. Соответственно, и подъемная сила потока меньше. Поэтому в озерной части дельты этого сектора накапливаются наиболее тонкие фракции ила и глин, которые подвержены максимальному уплотнению. Здесь фиксируется наибольшее уменьшение площади островов за рассматриваемый период (рисунок 12).

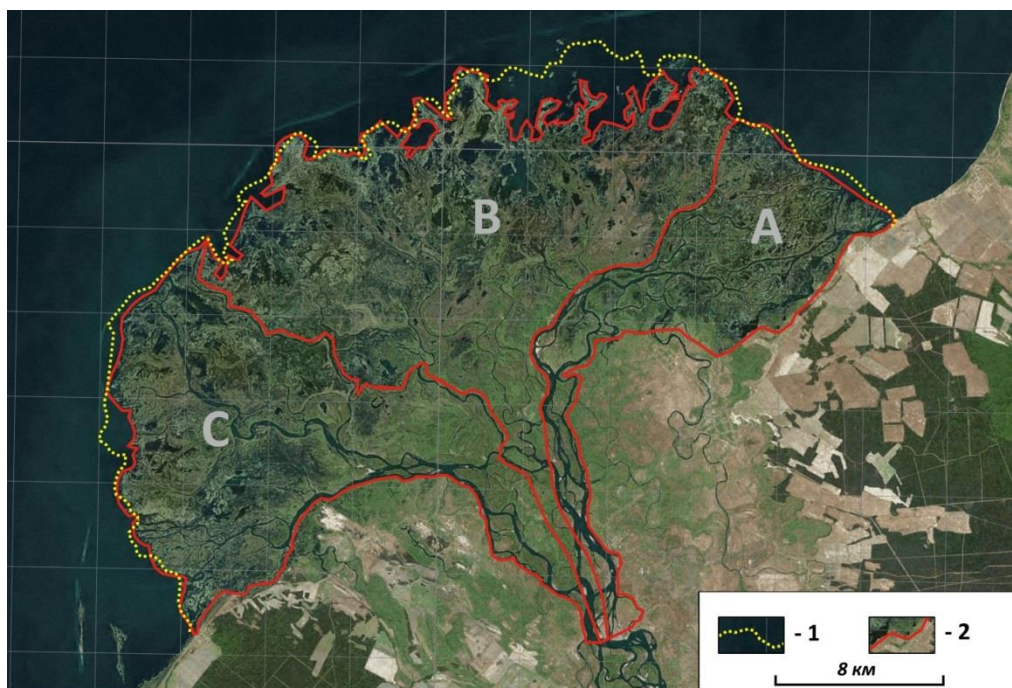


Рисунок 12 – Схема строения дельты р. Селенги, составленная на основе космоснимка 2020 г. Секторы: А – Лобановский, В – Среднеустьевский, С – Селенгинский [13]. 1 – контур дельты на основе топографической карты 1982 г. [14]; 2 – границы секторов.

Это связано с тем, что подъем уровня Байкала плотиной привел к падению скорости движения воды в вершине дельты Селенги (выше с. Малое Колесово). И основная масса взвешенных и влекомых наносов стала осаждаться из водного потока в верхней и средней частях дельты. Здесь и обнаруживается наибольшая мощность аллювиальных отложений. Исчезли мелкие протоки. Острова в районе с. Малое Колесово, которые считались вершиной дельты, соединились с правым берегом. Выше вершины дельты, в районе с. Жилино, в 2021 г. образовался осередок. Основной рукав реки сместился влево, активизировалась береговая эрозия.

Процесс накопления аллювиальных осадков в верхней и средней частях дельты будет продолжаться и дальше, так как в связи с подъемом уровня озера уменьшился уклон водной поверхности. Если уровень Байкала поднимется до более высоких отметок, то эрозионные процессы сместятся еще выше по течению Селенги. В озерном крае дельты будут аккумулироваться преимущественно тонкие фракции твердого стока, которые будут постепенно уплотняться, площадь дельты продолжит уменьшаться.

2.3 Архипелаг островов Ярки

Река Верхняя Ангара имеет дельту выполнения, формирующуюся в лагуне и изолированную от озера Байкал береговым баром Ярки. Согласно материалам лоцманской карты 1958г. общая протяженность песчаных кос и бара (остров Ярки) составляла около 27 км. Ширина бара в районе устья реки Кичера достигала 600 м. В соответствие с

картографическим материалом, датированным 1966 годом, ширина бара в районе устья р. Кичера составляла только 400 м, уменьшаясь до 200 м в центральной части острова. На подходе к устью р. Верхняя Ангара, ширина бара вновь увеличивалась: к протоке Власиха до 600 м и реке Верхняя Ангара до 700 м. В естественных условиях западный конец бара на протяжении 2 км, считая от устья р. Кичера, возвышался над средним уровнем Байкала на 1,5 – 2,0 м [19]. По данным инженерно-геодезических изысканий, выполненных в 2006 г. НИЦ «Морские берега» ширина бара вблизи устья р. Кичера резко сократилась, она составляла всего 40-42 м [20].

Поверхность островов меняется под воздействием волновых, эоловых, криогенных процессов. Под действием напора льда из лагуны выдавливаются торфяные поля и на пляже образуются валы [21].

Проведенные нами исследования островов в августе 2022 г, когда уровень воды в Байкале достигал 456, 81 м ТО, показали, что остров в юго-восточной части в значительной степени затоплен (рисунок 13).

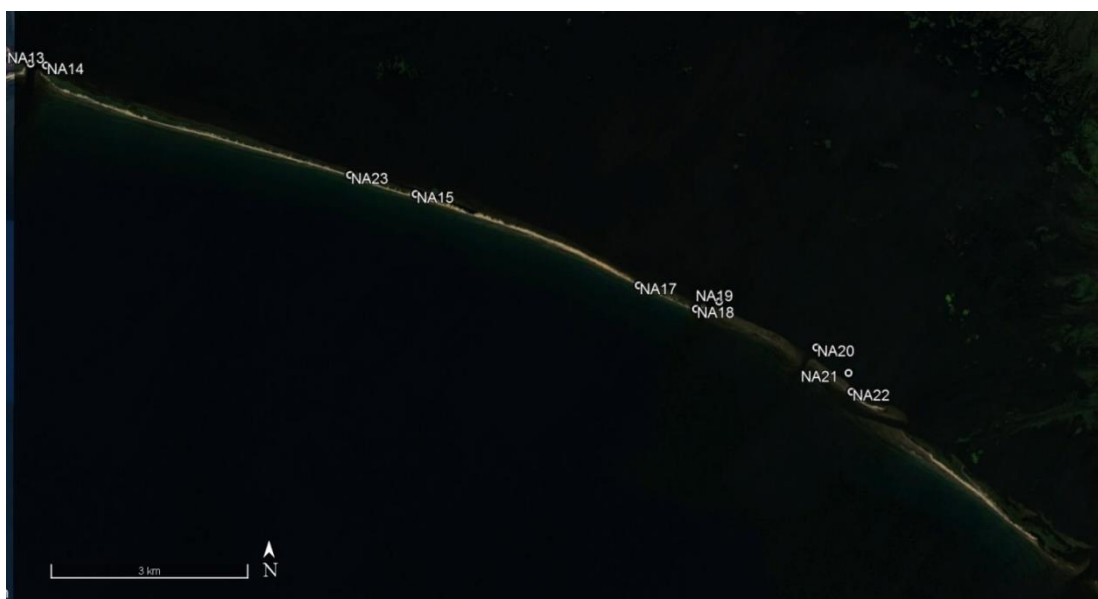


Рисунок 13 – Спутниковый снимок острова Яркий с точками наблюдения за его состоянием.

Примечание – Между точками NA-17 и NA-22 суши не обнаружено. Пролив между материком и островом Яркий составляет 160 м. Точка наблюдения NA -13 расположена в устье реки Кичера возле материкового берега. Глубина пролива здесь достигает 15 м. Точка NA-14 располагается в устье р. Кичера возле острова. Глубина 4 м. Точка NA-23. Остров Яркий в этом месте подвержен интенсивной абразии (рисунок 13). Уничтожена растительность, деградирует почвенный горизонт. Волны во время штормов перекачиваются через остров. В этом месте возможно образование нового пролома.

Точка NA-15. В этом месте со стороны Соры образовался мелкий залив, глубиной 1,5 м. На острове в этом месте располагается холм сложенный песками эолового

происхождения. Холм покрыт почвой с травянистой и древесной растительностью: береза, черемуха, кедровый стланик. В этой точке наблюдения измерены физико-химические параметры воды в заливе и в озере Байкал. Температура воды в заливе 18,7°C, TDS = 47,4 мг/л; в озере Байкал $t = 17,2^\circ\text{C}$, TDS = 51,4 мг/л.

Тчк. NA-16. В этом месте произошло разрушение параллельного островка, со стороны залива в нем сформировался промой шириной 50 м. В этом месте через остров Ярки во время штормов перекачиваются волны. Волнами смыта почва и уничтожена растительность. Ширина острова составляет 48 м.

В тчк. NA-17 ширина острова всего 22 м, в центральной части острова пески закреплены травянистой растительностью, ширина полосы с почвой составляет 11 м. Размыв косы происходит со стороны залива. В этом месте течение направлено вдоль косы, сформированы отмели в заливе

Тчк. NA-18. Находиться на краю образовавшегося пролива, расстояние до следующего острова составляет 2,5 км.



Рисунок 14 – Фотография юго-восточной части острова Ярки

В этой части острова полностью уничтожены почва и растительность (рисунок 14). В этом месте измерены физико-химические параметры воды в заливе и в озере Байкал, наблюдаются близкие значения температуры и общей минерализации воды в заливе и Байкале.

В сформировавшемся проливе, в точках наблюдения NA-19, NA-20, NA-21 измерена глубина и скорости течения потоков воды из залива в Байкал. Глубина составляет 2,25-3,0 м, скорость течения ($V_{1,5}$) 0,098 – 0,179 м/с.

Тчк. NA-22. Остров Чаячий сильно размывает, сохранилась только юго-восточная часть острова, где расположены 4 дома.

На основании спутниковых снимков дистанционного зондирования Земли Sentinel Hub EO Browser Европейского космического агентства установлено, что площадь острова Ярки за 4 года сократилась на 0,51 км². В августе 2018 году площадь острова составляла 1,59 км², а в августе 2022 была всего 1,08 км². Значительно уменьшилась площадь острова Чаячий, в 2018 году его площадь была 0,15 км², а в 2022 году составляла всего 0,05 км². Общая площадь островов отделяющих Ангарский сор от Байкала (включая остров Миллионный) в 2018 году составляла 2,63 км², а в 2022 году составляла всего 1,63 км².

Как показали исследования спутниковых снимков, в дельте реки Верхняя Ангара происходит изменения в конфигурации островов. Значительные блоки островов, состоящие из торфа и водной растительности, перемещаются в пределах дельты и выносятся течениями в озеро Байкал.

Происходят изменения и в устьевой части реки Баргузин. На спутниковом снимке 2022 года зафиксированы новые песчаные образования возле левого берега и в середине реки перед автомобильным мостом. Одновременно с образованием осередка происходит эрозия берегов, которая может затронуть опоры моста.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При проведении полевых работ установлено, что в штормовой период 2020 и 2021 гг, когда максимальный уровень Байкала достигал отметок 457,12 м и 457,23 м, в результате протекания абразионных, оползневых процессов, во многих местах восточного побережья Байкала произошло разрушение берегов. Сформированы абразионные формы рельефа в населенных пунктах, зонах отдыха населения и вблизи социально значимых линейных инженерных сооружений. В среднем абразией за это время уничтожено 4-5 метров берега.

Исследование развития подтопления на прибрежной территории населенных пунктов, расположенных на восточном берегу Байкала, проведено с использованием комплекса геолого-геофизических методов, который включал георадиолокацию и бурение гидрогеологических скважин. Получена достоверная информация о развитии этого негативного физико-геологического явления на обширной территории. Выявлены элементы погребенного рельефа, позволяющие установить источники поступления вод и объяснить механизмы формирования подтопления. Определены площади, затронутые сильным ($УГВ = 0,3-0,7$ м), умеренным ($УГВ = 0,7-2,0$ м) и слабым подтоплением ($2,0 - 3,0$ м). Причины развития подтопления в населенных пунктах требуют дополнительного изучения.

На трансформацию поверхности и уменьшение площади песчаных кос определяющее влияние оказывают два процесса. Первый связан с воздействием волн, второй - с потоком подземных вод из залива в озеро. Волны, с одной стороны, приносят со дна прибрежной части Байкала песчано-гравийный материал, который отлагается в пределах баров и кос. С другой стороны, в пониженных местах волны перекачиваются через бар и уносят в залив наиболее тонкую фракцию песков. Оставшиеся пески в этих местах представлены относительно крупной фракцией, они становятся более проницаемы для воды. По ним происходит фильтрация воды из залива в Байкал. Потоком воды вымываются крупные частицы песка, в результате происходит обрушение поверхности баров. На поверхности формируются лощины. В них проникает вода из залива, потоки которой приводят к окончательному разрушению песчаных отложений и формируется пролив.

Через бар всегда происходит движение грунтовых вод в сторону Байкала. В многоводные годы гидростатическое давление повышается, растет скорость движения грунтовых вод и увеличивается их размывающая способность.

Наибольшей опасности размыва бара Карга подвержена его северная часть, так как р. Большая Речка – самая многоводная из всех рек, впадающих в залив. В этом месте

создается максимальное избыточное гидростатическое давление. Для сохранения уникальных песчаных образований, отделяющих Посольский Сор от Байкала, необходимо создать искусственный канал в северной части косы.

В последние годы образовался пролив между островами Ярки и Чаячий, через который происходит сток реки Верхняя Ангара в Байкал. Образование этого пролива будет оказывать влияние на условия существования биоты в Ангарском соре. Необходимы дополнительные исследования процессов протекающих в дельте Верхней Ангары и заливе. Для стабилизации абразионно-эрозионного воздействия реки на песчаный бар необходимо сформировать в ее устье глубокое русло, по которому будет происходить сброс основной массы воды в озеро.

На протяжении длительного времени происходит уменьшение площади дельты реки Селенга. Это связано с тем, что в озерной части дельта сложена мелкозернистыми песками и илами, которые подвержены катагенезу. В результате уплотнения эти образования погружаются под поверхность воды.

После техногенного подъема уровня озера произошла коренная перестройка формирования отложений аллювия в дельте. Осаждение основной массы приносимого песчаного материала стало происходить в верхней и средней частях дельты Селенги. При подъеме уровня оз. Байкал в многоводные годы активизируются эрозионные процессы в верхней части дельты р. Селенги, что может привести к выводу из сельскохозяйственного оборота высокопродуктивных земель на правом берегу реки и разрушению инженерных сооружений в населенных пунктах на левом.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Вика С., Иметхенов А.Б., Овчинников Г.И., Снытко В.А., Щипек Т. Эоловые и абразионные процессы побережий у залива Провал на Байкале. – Иркутск: Из-во Ин-та земной коры СО РАН, 2006. – 56 с.
2. Гидроэнергетика и состояние экосистемы озера Байкал. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 1999. – 280 с.
3. Пальшин Г.Б. Кайнозойские отложения и оползни юго-восточного побережья Байкала. – Иркутск: Изд-во Вост.-Сиб. филиала АН СССР, 1955. – 201 с.
4. Пинегин А.В., Рогозин А.А., Лещиков Ф.Н., Кулиш Л.Я., Якимов А.А. Динамика берегов оз. Байкал при новом уровненом режиме. – М.: Наука, 1976. – 88 с.
5. СП 104.13330.2016 «Инженерная защита территории от затопления и подтопления», утвержденного приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства РФ от 16 декабря 2016 г. N 964/пр.
6. Рекомендации по проведению георадиолокационных измерений для решения геологических задач / ООО «Логические системы». – Раменское, 2008. – 28 с.
7. Уфимцев Г.Ф. Загадка залива Провал // Наука России. – 2004. – № 1. – С. 75–79.
8. Топографическая карта М 1:50000. Главное управление геодезии и картографии при Совете Министров СССР. Составлено по материалам съемки 1942 г. 1-IX-53.
9. Топографическая карта М 1:50000. Государственный научно-внедренческий центр геоинформационных систем и технологий. – URL: www.maps.ggc.ru (дата обращения 2022.11.22).
10. Рогозин А.А. Береговая зона Байкала и Хубсугула: морфология, динамика и история развития. – Новосибирск: Наука, 1993. – 168 с.
11. Казенкина Г.А., Ладохин Н.П. Донные отложения и некоторые особенности геоморфологии Посольского залива на Байкале // Исследования берегов водохранилищ и оз. Байкал. – М., 1964. – С. 92–104.
12. Ильичёва Е.А., Гагаринова О.В., Павлов М.В. Гидролого-геоморфологический анализ формирования ландшафтов дельты реки Селенги // География и природные ресурсы. – 2015. – № 3. – С. 85–93.
13. Иметхенов А.Б. Катастрофические явления в береговой зоне Байкала. – Улан-Удэ: Изд-во Бурят. гос. пед. ин-та., 1994. – 85 с.
14. Альбом карт «Хамар-Дабан». М 1: 200000. ВТУ ГШ. Составлено по материалам съемки 1982 г. Подписано в печать 10.12.1996.

15. Ильичёва Е.А., Коротный Л.М., Павлов М.В. Русловая сеть дельты р. Селенги на современном этапе // Вестн. Томск. ун-та. – 2014. – № 380. – С. 190-194.
16. Власова Л.К. Речные наносы озера Байкал. – Новосибирск: Наука, 1983. – 132 с.
17. Дельта реки Селенги – естественный биофильтр и индикатор состояния озера Байкал / Редакторы: А.К. Тулохонов, А.М. Плюснин/ – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2008. – 314 с.
18. Логвиненко Н.В., Орлова Л.В. Образование и изменение осадочных пород на континенте и в океане. – Л.: Недра, 1987. – 237 с.
19. Афанасьев А.Н. Береговая зона и циклические колебания уровня воды Байкала// Круговорот вещества и энергии в озерных водоемах. – Новосибирск: Наука, Сиб. отд-е, 1975. – с. 258-262.
20. Берегоукрепление и защита участков берега оз. Байкал в Северобайкальском районе Республики Бурятия. Архипелаг «Остров Ярки» и местность «Дагары». - Сочи: Филиал ОАО ЦНИИС «НИЦ Морские берега», 2007. - 64 с.
21. Галазий Г.И., Лут Б.Ф. Морфолитодинамика береговой зоны и экологические последствия при изменении уровня озера Байкал// География и природные ресурсы. – 1994. - №4. – С. 15-27.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Научные публикации в журналах, индексируемые в российских и международных информационно-аналитических системах научного цитирования

Базаров А.Д., Плюснин А.М., Украинцев А.В. Использование георадиолокационного профилирования для выявления подтопления поселений северо-восточного побережья Байкала. Материалы Всероссийской конференции с международным участием «Современные направления развития геохимии», посвященная 65-летию Института геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН и 105-летию со дня рождения академика Л.В. Таусона (Иркутск, 21-25 ноября 2022) – в 2-х томах. – Т.1. – 265 с. С. 49-51.

Перязева Е.Г., Плюснин А.М., Украинцев А.В.. Трансформация аккумулятивных форм рельефа в районе дельты Селенги под воздействием изменения уровня озера Байкал. География и природные ресурсы. №5, 2022. С. 115-123. DOI: 10.15372/GIPR20220512

Перязева Е.Г., Плюснин А.М., Украинцев А.В. Изменение конфигурации восточного побережья озера Байкал в связи с подъёмом его уровня // «Эволюция биосферы и техногенез». Материалы Всероссийской конференции с международным участием. Чита: ИПРЭК СО РАН, 2022. Часть II. – С. 299–303

Плюснин А.М., Перязева Е.Г. Воздействие подъема уровня Байкала на инженерные сооружения прибрежных поселений. География и природные ресурсы. №5, 2022. С. 74-82. DOI: 10.15372/GIPR20220508

Plyusnin A.M., Peryazeva E.G., Ukraintsev A.V. ABRASION AND ACCUMULATION PROCESSES ON THE EASTERN COAST OF BAIKAL: PAST, PRESENT, FUTURE. Ресурсы, окружающая среда и региональное устойчивое развитие в Северо-Восточной Азии : Тезисы докладов V Международной научной конференции (Иркутск, 23–26 августа 2022 г.). – Иркутск: Изд-во Института географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, 2022. – 197 с. Р. 185.