

Казахский национальный исследовательский технический университет
имени К. И. Сатпаева

УДК 502:551.4 (282.25)

На правах рукописи

ВАЛЕЕВ АДИЛЕТ ГАЛИКАНОВИЧ

**Процессы рельефообразования береговой зоны оз. Алаколь и их
влияние на природно-хозяйственные системы побережья**

6D060800 – «Экология»

Диссертация на соискание степени
доктора философии (PhD), доктора по профилю

Научный консультант
Акиянова Фарида Жианшиновна,
доктор географических наук,
профессор, академик КазНАЕН

Зарубежный научный консультант
PhD, Professor Jay Sagyn,
(Kalamazoo)

Республика Казахстан
Алматы, 2022

СОДЕРЖАНИЕ

ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ	3
СОКРАЩЕНИЯ И ОБОЗНАЧЕНИЯ	5
ВВЕДЕНИЕ	6
1 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ИЗУЧЕНИЯ ЭКОЛОГО-ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ РЕЛЬЕФООБРАЗОВАНИЯ БЕРЕГОВОЙ ЗОНЫ ОЗЕР	13
1.1 Теоретические и методологические основы изучения эколого-геоморфологических условий береговой зоны озер	13
1.2 Аналитический обзор экологических аспектов рельефообразования береговой зоны озера Алаколь по опубликованным данным	21
1.2.1 Международный опыт рационального природопользования побережьями озер.....	24
1.3 Основные методы изучения эколого-геоморфологических условий береговой зоны озер.....	26
1.3.1 Камеральные методы оценки экологических условий рельефообразования береговой зоны озер	27
1.3.2 Методы дистанционного зондирования в оценке экологических аспектов рельефообразования береговой зоны озер	28
1.3.3 Полевые инструментальные методы экологической оценки и мониторинга береговой зоны озер	30
2 ПРИРОДНО-АНТРОПОГЕННЫЕ ФАКТОРЫ ФОРМИРОВАНИЯ ЭКОЛОГО-ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ БЕРЕГОВОЙ ЗОНЫ ОЗЕРА АЛАКОЛЬ	34
2.1. Природные факторы	34
2.1.1 Геолого-тектонические	34
2.1.2 Гидрогеологические	37
2.1.3 Геоморфологические	37
2.1.4 Гидрометеорологические	54
2.1.4.1 Ветро-волновые	56
2.1.4.2 Ледовые явления.....	63
2.2 Антропогенные факторы.....	65
2.2.1 Селитебные.....	65
2.2.2 Промышленно-транспортные.....	66
2.2.3 Сельскохозяйственные.....	67
2.2.4 Рекреационные.....	68
3 СОВРЕМЕННЫЕ ПРОЦЕССЫ РЕЛЬЕФООБРАЗОВАНИЯ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ЭКОЛОГО-ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ БЕРЕГОВОЙ ЗОНЫ ОЗЕРА АЛАКОЛЬ	69
3.1 Морфометрические условия бассейна Алаколь-Сасыккольской системы озер на основе геоинформационного моделирования.....	69
3.2 Современные процессы и экологические аспекты рельефообразования береговой зоны озера Алаколь.....	73

3.3 Эколого-геоморфологический анализ береговой зоны озера Алаколь с использованием ГИС-технологий и ДДЗ.....	83
3.3.1 Современные тенденции изменений основных параметров оз. Алаколь с использованием ГИС технологий и ДДЗ.....	83
3.3.2 Эколого-геоморфологический мониторинг динамики рельефообразования абразионных берегов оз. Алаколь по данным полевых инструментальных исследований.....	90
3.3.3 Определение количественных параметров динамики и объема переработки берегового клифа с применением 3D лазерного сканера....	95
4 ПУТИ СТАБИЛИЗАЦИИ ЭКОЛОГО-ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ БЕРЕГОВОЙ ЗОНЫ ОЗЕРА АЛАКОЛЬ.....	99
4.1 Эколого-геоморфологическая оценка воздействия процессов современного рельефообразования на систему природопользования побережьями.....	99
4.2 Основные тенденции развития эколого-геоморфологических условий береговой зоны озера Алаколь.....	113
4.3 Природоохранные и берегозащитные мероприятия.....	117
4.3.1 Опыт локальных берегоукрепительных мероприятий.....	117
4.3.2 Оценка количественных параметров природопользования береговой зоны озера для применения природоохранных и берегозащитных мероприятий.....	119
4.3.3 Рекомендации по стабилизации эколого-геоморфологических процессов и защите береговой зоны озера Алаколь	120
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	129
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	133
ПРИЛОЖЕНИЕ А – Исходные данные к главе 2.....	148
ПРИЛОЖЕНИЕ Б – Исходные данные к главе 3.....	178
ПРИЛОЖЕНИЕ В – Исходные данные к главе 4.....	206

ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

В диссертационной работе применяются следующие термины и определения

Абразия –	(от лат. abrasio – соскабливание) разрушение берегов морей, озер, водохранилищ, каналов ветровыми волнами;
Аккумуляция –	(от лат. accumulatio – накопление) процессы накопления рыхлого минерального вещества на поверхности Земли;
Береговая зона –	(coastal zone) состоит из трех геоморфологических элементов – подводного склона, пляжа и надпляжных террас с прилегающими склонами водоразделов;
Воздействие –	активное влияние субъекта на объект, не обязательно явное или с обратной связью;
Геоморфологический риск –	вероятность наступления негативного последствия в обстановке геоморфологической опасности для населения и хозяйственной инфраструктуры;
Зона экологического риска –	территория, в пределах которой определенный вид хозяйственной деятельности способен вызвать возникновение негативных экологических ситуаций;
Клиф –	(англ. cliff «обрыв») отвесный абразионный уступ, образовавшийся в результате разрушения высокого коренного берега действием прибоя;
Динамика –	ход развития, изменение какого-либо явления под влиянием внешних или внутренних факторов (движущих сил);
«Ебы» –	восточный ураганный ветер, дующий в холодное время года со стороны оз. Эби-Нур (Китай) к оз. Алаколь (Казахстан);
Морфометрия –	раздел геоморфологии, посвященный числовым характеристикам элементов, форм и типов рельефа;
Облако точек –	набор вершин в трёхмерной системе координат, которые определяются координатами X, Y и Z;
Переработка берегов –	размыв и разрушение горных пород в береговой зоне морей, рек, озер, водохранилищ (береговая эрозия) под влиянием волноприбойной деятельности, колебания уровня воды и др.;
Природно-хозяйственная система –	взаимосвязанное и взаимообусловленное сочетание природных, хозяйственных и расселенческих систем;
Рекреация –	(лат. recreatio «восстановление») комплекс оздоровительных мероприятий, осуществляемых с целью восстановления нормального самочувствия и

Рельеф –	работоспособности здорового, но утомлённого человека; (фр. relief, лат. relevo «поднимаю») формы земной поверхности, разнообразные по очертаниям, размерам, происхождению, возрасту и истории развития;
Риск –	(от франц. risque - опасность) вероятность наступления негативного последствия или мера ожидаемого неблагоприятия;
«Сайкан»	северо-западный ураганный ветер, дующий со стороны оз. Алаколь (Казахстан) в сторону оз. Эби-Нур (Китай);
Сканпозиции –	точки сканирования наземным лазерным сканером.
Экзогенные процессы –	экзогенные процессы – происходящие на поверхности Земли, обусловленные внешними силами (атмосфера, гидросфера, криосфера, воздействие человека и др.);
Экологический мониторинг –	наблюдения за состоянием окружающей среды, естественных экологических систем, за происходящими в них процессами, явлениями, оценка и прогноз изменений;
Экологическая геоморфология	научное междисциплинарное направление, изучающее взаимосвязи и результаты взаимодействия геоморфологических систем с безопасностью жизнедеятельности человека;
Эколого-геоморфологические процессы	рельефообразующие процессы, влияющие на экологическое состояние территории и безопасность жизнедеятельности населения.

СОКРАЩЕНИЯ И ОБОЗНАЧЕНИЯ

В диссертационной работе применяются следующие сокращения и обозначения

ВБУ – Водно-болотные угодья;

ГИС – Географические информационные системы;

ГПЗ – Государственный природный заповедник;

ДДЗ – Данные дистанционного зондирования;

ДЗЗ – Данные зондирования земли;

МС – Метеорологическая станция;

НЛС – Наземное лазерное сканирование;

ПРП – Природно-рекреационный потенциал;

ПХС – Природно-хозяйственные системы;

ЦММ – Цифровая модель местности;

ЦМР – Цифровая модель рельефа;

a.s.l – Height above sea level (высота над уровнем моря);

GNSS – Global Navigation Satellite System, (спутниковая система навигации);

GPS – Global Positioning System (система глобального позиционирования) ;

MNDWI – Modified Normalized Difference Water Index (модифицированный нормализованный водный разностный индекс);

NDWI – Normalized Difference Water Index (нормализованный водный разностный индекс);

SRTM – Shuttle Radar Topography Mission (радиолокационная топографическая миссия шаттла);

USGS –United States Geological Survey (американская геологическая служба).

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность диссертационного исследования связана с проявившейся в последние десятилетия тенденцией «экологизации» географических знаний и появлением ряда пограничных направлений и дисциплин. Одним из таких междисциплинарных направлений является экологическая геоморфология, появившаяся на стыке географии (геоморфологии) и экологии, которая изучает экологические аспекты природопользования, взаимодействие геоморфологических систем с человеком и его жизнедеятельностью, нацелена на создание благоприятной и безопасной для человека окружающей среды. Экологическая геоморфология соответствует принципам экологического законодательства РК [1], в том числе: принципу предотвращения (выявление видов хозяйственной деятельности, которые вызывают или могут вызвать загрязнение или деградацию природной среды), принципу предосторожности (оценка риска развития неблагоприятных процессов рельефообразования с оценкой возможного ущерба), принципу устойчивого развития (сохранение природных систем и обеспечение их сохранения и устойчивого развития), принцип экосистемного подхода (комплексный подход в изучении основных составляющих экосистем: рельефа, почв, растительного покрова, их целостности и естественных взаимосвязей, влияния на природно-хозяйственные системы).

Природно-хозяйственные системы побережья оз. Алаколь локализованы в пределах различных типов и форм рельефа и развиваются в условиях негативного воздействия опасных геоморфологических процессов на окружающую среду, в том числе абразии, дефляции, эрозии, суффозии и др. Издавна хозяйственная деятельность здесь была представлена традиционным поливным земледелием, скотоводством и сенокосением, промысловым рыболовством. В настоящее время в использовании земель прибрежных территорий происходят быстрые изменения, которые связаны с активным туристско-рекреационным освоением, в том числе расширением населенных пунктов, прокладкой инженерно-транспортной сети (автомобильных и железных дорог, нефтепровода), строительством санаторно-курортных и туристских объектов. Техногенное освоение и природные экзогенные процессы, в том числе усиленные антропогенным воздействием, весьма неблагоприятно влияют на устойчивое развитие территории. В результате увеличилась уязвимость в поддержании постоянства и равновесия природных прибрежных систем, включающих животный и растительный мир, а также условия и безопасность самого человека. Землепользование без учета эколого-геоморфологических особенностей территории приводит также к экономическим ежегодным потерям и социальному напряжению местного населения. С учетом существенной динамики развития туризма на озере Алаколь, поддерживаемой государственными программами («Концепции развития

туристской отрасли Республики Казахстан до 2023 года», из Послания президента, шестым базовым принципом «нового экономического курса развития нашей страны выделены «Озеленение» экономики и охрана окружающей среды, «Программы развития регионов до 2025 года»), а также усиливающихся глобальных экологических проблем, применение эколого-геоморфологических подходов в изучении экологически опасных явлений в современном землепользовании и разработкой рекомендаций, становится очевидным фактом [2,3,4].

Устойчивому освоению территории и развития туризма препятствуют экологические проблемы, связанные с опасными проявлениями рельефообразующих процессов: абразии, подтопления, сорообразование, дефляции, сгонно-нагонных явлений и др. Одним из лимитирующих факторов развития рекреационной инфраструктуры на территории является малоизученность происходящих рельефообразующих процессов. Развитие активных видов туризма требует исследования возможных последствий антропогенной нагрузки на побережье озера и прилегающую территорию [5,6]. Принимаемые административные меры не учитывают необходимость разностороннего подхода к инфраструктурному освоению туристского, сельскохозяйственного, селитебного потенциала прибрежных территорий.

При этом территория за последние десятилетия испытывает высокую степень проявления современных рельефообразующих процессов, особенно на границе взаимодействия водной среды с суши. Интенсивность рельефообразования, обусловлена региональными климатическими изменениями, влияющими на уровень водоема, ветро-волновыми условиями, геологией, морфометрией прибрежного рельефа, а также нарастающая техногенная деятельность. Экзогенные процессы представляют прямую угрозу, рекреационным и инфраструктурным объектам, транспортной системе, экологической безопасности особенно в зоне взаимодействия воды и суши.

В целях устойчивого территориального развития и освоения необходимо проведение комплексных научно-прикладных исследований взаимодействия природных и антропогенных процессов в пределах береговой зоны озера Алаколь, выявления проблем, связанных с развитием опасных экзогенных процессов. На юго-западном, восточном и северном побережьях озера проблемы связаны с активными абразионными процессами, под воздействием которых разрушаются земли населенных пунктов, рекреационных объектов, транспорта и инфраструктуры. В северо-восточной и северо-западной частях озера проблемными являются обширные затопления низменных берегов, вызвавших засоление почв, затопление и деградацию сенокосных и пастбищных угодий.

Решение данной проблемы требует проведения детальных комплексных исследований, которые позволят разработать предложения для системы мероприятий по рациональному природопользованию и устойчивому развитию, а также раскрытию долгосрочного рекреационного

потенциала озера Алаколь. В свою очередь применение разработанных рекомендаций послужат экологически устойчивому развитию природно-хозяйственных объектов прибрежной территории. Выгодное географическое положение, значительный природно-хозяйственный потенциал позволят территории исследований стать в будущем драйвером социально-экономического развития трансграничного региона, при условии соблюдения научно-обоснованных принципов природопользования и устойчивого управления территорией.

Объект исследования. Природно-хозяйственные системы береговой зоны озера Алаколь.

Предмет исследования. Эколого-геоморфологические условия береговой зоны оз. Алаколь с учетом неблагоприятного воздействия современных процессов рельефообразования.

Территория исследований включает береговую зону озера Алаколь и прилегающую к ней территорию суши. Юго-западная граница территории исследований проходит по горизонтали 800 м до пересечения с конусом выноса р. Тентек. В районе с. Жайпак граница проходит по горизонтали 380 м, огибая ирригационные земли. В районе с. Кайнар граница достигает южного берега оз. Кошкарколь, пересекая урочище Шубартобек. Далее граница территории исследований проходит по берегу оз. Кошкарколь. В районе с. Уялы граница проходит вдоль северного берега оз. Алаколь, захватывая дельту р. Уржар, пойму р. Уялы до с. Коктал на расстоянии 8 км от береговой линии. Далее граница проходит по горизонтали 360 м. Далее, у границы с поймой р. Эмель, проходит через урочище Коссайшагыл. На востоке граница проходит по 400-ой горизонтали до южной части дельты р. Ыргайты. Затем поворачивает на юго-запад и продолжается до пересечения с 800-ой горизонталью (рисунок 1).

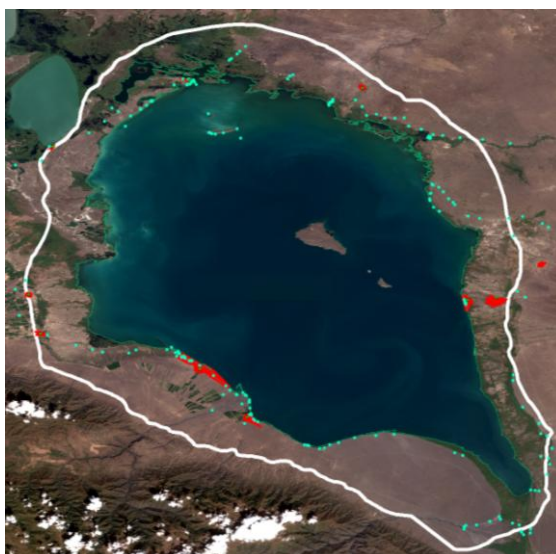


Рисунок 1 – Территория исследования

Цель и задачи исследования.

Цель исследования: Изучить влияние процессов современного рельефообразования на эколого-геоморфологические условия устойчивого природопользования природно-хозяйственными системами береговой зоны оз. Алаколь.

Для достижения цели разработаны следующие задачи:

– изучить и систематизировать теоретические и методологические основы изучения эколого-геоморфологических условий современного рельефообразования береговой зоны оз. Алаколь;

– выполнить анализ эколого-геоморфологических условий современного рельефообразования береговой зоны оз. Алаколь и выявить пространственную структуру распределения рельефообразующих процессов;

– выполнить пространственно-временной анализ воздействия эколого-геоморфологических условий на природно-хозяйственные системы побережья с применением ГИС и ДДЗ;

– разработать приоритетные пути стабилизации эколого-геоморфологических условий береговой зоны озера Алаколь.

Научно-практическая значимость исследовательской работы.

Научная значимость заключается в получении новых данных для понимания механизма и выявления особенностей формирования береговых зон озер аридных территорий в условиях региональных климатических изменений, увеличения рекреационных нагрузок и других природно-техногенных факторов. Определены угрозы и выявлено негативное воздействие экзогенных процессов на ценные рекреационные территории, сельскохозяйственные угодья и селитебные земли. Разработаны и научно обоснованы теоретические основы наиболее эффективных методов берегоукрепления с целью стабилизации берегового абразионно-денудационного уступа и развития рекреационного потенциала озера Алаколь. Практическая значимость исследования выражена в снижении эколого-геоморфологических рисков, в смягчении негативного воздействия современных экзогенных процессов на природно-хозяйственные системы побережья. Картографические результаты исследований являются прикладной основой для создания комплексной схемы развития территорий района исследований, в том числе для градостроительных проектных и планировочных работ, по развитию рекреационной и транспортной инфраструктуры побережья оз. Алаколь.

Научная новизна исследования. Научная новизна исследования заключается в проведении комплексного изучения и картографирования современного рельефообразования береговой зоны оз. Алаколь с оценкой воздействия на природно-хозяйственные системы побережья. Предыдущие исследования эколого-геоморфологического характера, включающие анализ рельефа побережья оз. Алаколь, проводились 60 лет назад, что свидетельствовало о необходимости значительного обновления данных по

геоморфологическому строению и современному рельефообразованию исследуемой территории. Кроме того, отличительной чертой диссертационного исследования явилось применение современных геоинформационных методов, включающих использование ДДЗ, цифровое картографирование, наземное лазерное сканирование, которые позволили получить новый материал, количественные параметры современного состояния и тенденций развития процессов рельефообразования.

Научная новизна заключается в следующих выполненных работах:

- в применении методики оценки и картографирования современных рельефообразующих процессов и анализа их воздействия на природно-хозяйственные системы береговой зоны.

- в получении новых высокоточных количественных параметров динамики процессов абразии берегового уступа на основе современных инструментальных мониторинговых исследований;

- в применении геоинформационных методов и технологий лазерного сканирования и трехмерного моделирования берегов, составлении батиметрических цифровых карт, определении количественных параметров динамики береговой зоны по разновременным космическим снимкам для оценки и картографирования эколого-геоморфологических условий береговой зоны озера Алаколь;

- в разработке научно-обоснованной системы мероприятий по снижению воздействия негативных процессов современного рельефообразования в береговой зоне оз. Алаколь в целях устойчивого природопользования;

- в научном обосновании необходимости адаптации применяемых методов берегозащитных мероприятий с учетом преобладающих факторов рельефообразования для каждого участка, с обязательным проведением научно-прикладных инженерных изысканий и экспериментов.

Положения, выносимые на защиту

- На основе детального анализа и картографирования природно-антропогенных факторов современного рельефообразования на абразионных и аккумулятивных берегах озера Алаколь, выявлены преобладающие, типы воздействия, определяющие основные черты рельефообразования береговой зоны. На северном побережье преобладает воздействие ветро-волновых течений, нагонных явлений и селитебного использования территорий; на юго-западном побережье – ветро-волновые течения, рекреационное, сельскохозяйственное и промышленное использование территории; на восточном побережье – ветро-волновые течения и рекреационное использование территории; на северо-западном и северо-восточном побережьях – процессы подтопления и засоления участков береговой зоны и воздействие сельскохозяйственного использования земель.

- Определены количественные параметры динамики изменений береговой зоны с ежегодной усредненной скоростью переработки

абразионных и аккумулятивных берегов на основе мониторинговых высокоточных наблюдений ключевых участков для расчетов прогнозных построений, которые изменяются в пределах от 3,5 до 5,0 м/год.

– На основе оценки и картографирования процессов современного рельефообразования береговой зоны озера Алаколь определены основные виды и количественные параметры воздействия современных рельефообразующих процессов на природно-хозяйственные системы береговой зоны, в том числе определено, что переработка берегов и затопление селитебных территорий происходит в пределах 1% от площади побережья, воздействие абразионных процессов и вдольбереговой перенос осадочного материала в пределах рекреационных зон – на 4,8%, разрушение участков транспортной сети под воздействием сгонно-нагонных явлений, подтопления и заболачивания – на 5,3%, воздействие сгонно-нагонных явлений, процессов подтопления и заболачивания сельскохозяйственных угодий – на 25,8% от площади побережья.

– Разработаны и картографированы научно-обоснованные природоохранные мероприятия по стабилизации эколого-геоморфологических условий побережья оз. Алаколь, в том числе обоснованы эффективные методы берегоукрепления абразионных берегов; предложена оптимальная организация территории береговой зоны на основе учета средних многолетних скоростей развития негативных процессов рельефообразования; обоснована необходимость проведения мониторинговых исследований на участках развития опасных процессов рельефообразования; рекомендовано дальнейшее развитие рекреационного и экотуристского использования береговой зоны, включая любительское рыболовство, с учетом экологической и рекреационной емкости.

Личный вклад автора в исследование включает: разработку идеи, формулировку целей и основных задач исследования, сбор и систематизацию исходных данных, проведение полевых исследований с получением новых данных, обработку и анализ данных, интерпретацию и картографирование полученных результатов, подготовку и публикацию научных статей (обзор, обсуждение, редакция). Основные положения, выносимые на защиту, отражены в главах диссертации на соискание ученой степени PhD и опубликованы в научных статьях.

Апробация исследования. Основные результаты диссертационного исследования доложены на международных конференциях и научных семинарах в городах Алматы в 2016 – 2017 гг.; Душанбе, ноябрь 2018 г. (Таджикистан); Ташкент, апрель 2019 г. (Узбекистан); Вена, апрель 2019 г. (Австрия), принято дистанционное участие на международных конференциях в городах Красноярск и Волгоград (Россия). Всего по теме диссертационного исследования опубликовано 8 статей, из них в сборниках конференций – 3 статьи, в изданиях, входящих в базу Scopus – 2 статьи, в изданиях ККСОН – 3 статьи.

Структура диссертации. Диссертационная работа изложена на 223 стр., состоит из введения, 4 разделов, заключения, списка использованных источников (195 ссылок), приложений А-В, 40 таблиц и 111 рисунков.

1 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ИЗУЧЕНИЯ ЭКОЛОГО-ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ СОВРЕМЕННОГО РЕЛЬЕФООБРАЗОВАНИЯ БЕРЕГОВОЙ ЗОНЫ ОЗЕР

1.1 Теоретические и методологические основы изучения эколого-геоморфологических условий береговой зоны озер

Соблюдение рациональных принципов взаимодействия природной среды и общества является приоритетным направлением современной науки.

При этом изучение экологических проблем, связанных с рельефом и рельефообразующими процессами является одной из сложнейших задач. По данным Кружала В.И., выделены 20 основных научных дисциплин о природе, участвующие в решении экологических проблем, это – Антропология, Климатология, Ботаника, Математическое моделирование, **География**, Медицина, **Геоинформатика**, Океанология, Геология, Палеогеография, **Геоморфология**, Почвоведение, Геохимия ландшафта, **Природопользование**, Гидрология, Прогностика, Зоология, Ресурсоведение, **Картография**, Технология [7].

Впервые предложил термин экологическая геоморфология (Environmental Geomorphology) Coates D.R. в 1971 г., автором были сформулированы основные задачи научного направления [8]:

- изучение геоморфологических процессов и рельефа местности, влияющих на деятельность человека;
- анализ проблем, возникших вследствие воздействия человека на рельеф, в результате которых происходит нарушение экосистем;
- оценка использования человеком геоморфологических агентов или продуктов в качестве ресурсов;
- использование геоморфологической науки в экологическом планировании и управлении.

Определения и структуру эколого-геоморфологических исследований предложил Cooke R.U. [9], исследовал категории эколого-геоморфологических опасности, а также предложил будущие направления развития науки Panizza M. [10]. Советскую школу экологической геоморфологии основал И.П. Герасимов. Д.А. Тимофеев, Ю.Г. Симонов, В.И. Кружалин, Э.А. Лихачевой, Кубаткин В.А., Белоусова Л.И., Кочеткова Ю.О. и др., определили концепцию, предмет, цели и задачи нового научного направления, сформулировали понятийно-терминологический аппарат, а также подходы и методы эколого-геоморфологических оценок и картографирования, концепцию, предмет, цели и задачи нового научного направления [6, с. 95; 11-16].

В Казахстане различные аспекты эколого-геоморфологических проблем исследовали Медеу А.Р. [17], Акиянова Ф.Ж. [17,18], Нурмамбетов Э.И. [17], Бексеитова Р.Т. [19]

По основным выводам упомянутых ученых, эколого-геоморфологические исследования тесно связаны с изучением геоморфологических аспектов рационального природопользования в пределах сложных географических природно-хозяйственных систем. Д.А. Тимофеев называет экологическую геоморфологию - направлением, изучающее взаимосвязи и результаты взаимодействий геоморфологических систем любого ранга с системой экологии человека [11, с. 5]. Д.А. Тимофеев в 1991 г. сформулировал определение понятия «экологическая геоморфология»: «Научное направление общей и прикладной геоморфологии, изучающее взаимосвязи и результаты взаимодействия геоморфологических систем любого ранга с системой экологии человека. Объектом изучения экологической геоморфологии являются состояние и изменения в экосистеме человека, обусловленные геоморфологическими условиями как природного, так и антропогенного характера» [20]. Новаковский и др. (2005), считают основной целью проведения эколого-геоморфологических исследований – подготовка информации для принятия решений по оптимизации и рациональному управлению окружающей средой [21]. Ю.Г. Симонов (2013) сформулировал более обширную цель исследования экологической геоморфологии – это определение роли рельефа земной поверхности в управлении эколого-геоморфологическими состояниями планеты [22]. Лихачева Э.А. и Тимофеев Д.А. (2002), в своих трудах, целью экологической геоморфологии называют разработку комплекса методов, позволяющих дать оценку влияния рельефа на среду жизни человека, оценить экологические функции рельефа, которые определяются социальной, экономической, инженерной, эстетической ценностью местности и потребностями людей (общества) в использовании данной местности [12, с. 78].

Один из основных методов сбора и анализа материалов по данным Новаковского и др. (2005), является картографический, при исследовании эколого-геоморфологических условий. Задача эколого-геоморфологического картографирования состоит в обеспечении органов самоуправления картографическими материалами, отражающими современное состояние системы «природа – хозяйство – население» и рекомендации по его улучшению [11, с. 58].

Эколого-геоморфологический анализ включает: оценку влияния рельефа на состояние экосистемы; выявление вредных воздействий геоморфологических условий на социосферу; выявление (оценка и прогноз) неблагоприятных проявлений экзогенных процессов при хозяйственном использовании территории; разработку рекомендаций по снижению негативных воздействий; сохранение и контролируемое изменение геоморфологических условий территорий при хозяйственном использовании. Оценка типа и степени опасности природных, природно-антропогенных и антропогенных геоморфологических процессов в зависимости от генетических и морфолитологических особенностей рельефа территорий

(существующих и ожидаемых) по степени состояния и комфортности геоморфологических условий, для проживания людей и ведения определенных видов хозяйственной деятельности (сельского хозяйства, рекреации, дорожного строительства и др.) [13, с. 11-12]. Трофимов В.Т. и Зилинг Д.Г. выделили основную экологическую функцию литосферы, которая отражает свойства литосферы, влияющие на состояние биоты, безопасность и комфортность проживания человека через природные и антропогенные процессы и явления [23].

Структура эколого-геоморфологических исследований, разработанная Лихачевой Э.А. и Тимофеевым Д.А., выделяет следующие этапы [13, с. 179-181]: 1) оценка геоморфологических условий ведения хозяйства и территориальных ресурсов; 2) оценка санитарно-гигиенического состояния территорий; 3) оценка рельефа города с точки зрения его эстетичности, привлекательности, уникальности, основанная на морфологическом, морфометрическом, ландшафтно-геоморфологическом анализе рельефа; 4) цифровое моделирование рельефа и использование новых моделей с целью:

- а) экологической организации рельефа;
- б) оценки альтернативного использования территорий;
- в) создания оптимальных систем жизнеобеспечения;
- г) рекультивация горно-технических территорий.

Теоретические и методологические аспекты проведения эколого-геоморфологических исследований по Кружалину В.И. должны соответствовать следующим задачам:

- 1) оценить современное экологическое состояние изучаемой территории;
- 2) изучить особенности геоморфологической системы, включая морфологию, морфометрию, возраст и генезис, а также процессы рельефообразования;
- 3) оценить роль рельефа в функционировании сложной системы «природа – хозяйство – население», выявить его экологические функции охарактеризовать функции рельефа в данной системе;
- 4) оценить тенденции и скорость изменения состояния системы «природа – хозяйство – население»;
- 5) оценить возможность стабилизации нежелательных последствий хозяйственного использования территории;
- 6) дать геоморфологические рекомендации для принятия управленческих решений с целью перевода системы в стационарный тип функционирования [7, с. 23-24].

Для оценки эколого-геоморфологического состояния разные авторы используют разные показатели, количество которых может варьировать. Эти подходы можно условно разделить на две группы: в первом случае берутся только геоморфологические характеристики; во втором – к ним добавляются другие (как природные, так и антропогенные). Количество показателей, на основе которых проведена оценка эколого-геоморфологического состояния

(ситуации и т.п.), бывает также разным. При этом составители карт не всегда перечисляют используемые критерии, которые могут быть количественными или описательными, определяться на основе экспертных оценок [11, с. 40].

До сих пор однозначно оценить эколого-геоморфологическое (и эколого-географическое) состояние территории одним интегральным показателем не представляется возможным. Субъективность предопределена, в первую очередь, невозможностью учета всех критериев, влияющих на эколого-геоморфологическое состояние территории, поэтому каждый автор выбирает лишь часть из них, что обусловлено во многом его специальностью и спецификой выполняемой работы. Выходом из этой ситуации представляется широкое использование ГИС-технологий, позволяющих многократно дорабатывать уже составленные карты в связи с развитием понятийно-терминологического аппарата, получением новых и уточнением старых данных. Карты эколого-геоморфологического состояния должны представлять собой открытые для дополнения и изменения системы, работа с которыми будет вестись постоянно (или через определенные промежутки времени). В этом плане существующий на сегодняшний день алгоритм публикации карт будет представлять собой определенный временной срез работы над ГИС. Подобная преемственность, помимо прочего, расширит возможности изучения динамики эколого-геоморфологического состояния территорий [20, с. 45-47].

Содержание и принципы составления эколого-геоморфологических карт определяются назначением исследования. При эколого-геоморфологическом анализе изучается роль и функции рельефа в природных, хозяйственных и социальных системах. Поэтому необходимо рассмотреть взаимодействие рельефа с природными компонентами, т.е. установить корреляционные связи и определить, оказывают или не оказывают они влияние на деятельность человека по его жизнеобеспечению. Такие парные связи обычно прослеживаются с помощью картографического метода. Основные направления эколого-геоморфологического картографирования включают констатационные, карты экологического мониторинга, прогнозные и природоохранных мероприятий. Констатационные включают карты инвентаризационные и динамики природной среды или отдельных ее компонентов [11, с. 71].

При составлении эколого-геоморфологических оценок большое значение имеет информация о видах откликов разных элементов рельефа на разные типы воздействия человека. Планируя то или иное использование территории, следует понимать, какие возможные реакции со стороны рельефа могут последовать. Для определения степени риска возникновения тех или иных процессов необходимо определить причины возникновения негативных явлений, которые могут быть вызваны и природными факторами, и типами воздействия на рельеф человека. Для анализа возникновения неблагоприятных процессов следует использовать геоморфологические, морфометрические, геологические и другие карты. Полученные результаты

эколого-геоморфологических оценок могут использоваться в создании прогнозных карт. Особое значение приобретают прогнозные аспекты эколого-геоморфологического анализа, реализующиеся через экспертизу состояния природных и природно-техногенных геоморфосистем и создание прогнозных эколого-геоморфологических моделей для конкретных условий геоморфогенеза и определенных типов хозяйственной деятельности [11, с. 30-31].

По мнению В.П. Палиенко и др. (1995), целью эколого-геоморфологического анализа территории является выявление роли геоморфологических объектов и процессов рельефообразования в формировании неблагоприятных экологических ситуаций, обоснование оптимальных путей использования рельефа, реализация адаптационных схем в районах проявления неблагоприятных геоморфологических процессов с целью оценки экологической напряженности и улучшения экологического состояния природной среды [11, с. 31].

Обзор наработанных исследований позволяет заявить, что экологическая геоморфология становится базовой в исследовании экосистемы человека. Она изучает рельеф как результат взаимодействия региональных и глобальных экзогенных и эндогенных факторов, определяющих основные инженерные и экологические свойства рельефа [13, с. 36-37]

Евсеева Н.С. считает основной целью проведения эколого-геоморфологических исследований подготовку информации для принятия решений по оптимизации и рациональному управлению окружающей средой. Один из основных методов сбора и анализа материалов для подготовки подобных решений – картографический. Задача эколого-геоморфологического картографирования состоит в обеспечении органов самоуправления картографическими материалами, отражающими современное состояние системы «природа – хозяйство – население» и рекомендации по его улучшению [11, с. 58].

Методология создания серии тематических карт в настоящей работе основывается на использовании фондовых материалов по геологии, четвертичных отложений, геоморфологии, топографических карт, цифровой модели рельефа, космоснимков среднего разрешения, описания местности и полевых исследований (верификации, камеральных данных). С применением геоинформационного программного обеспечения и системного подхода перечисленные входные данные были обработаны, проанализированы и интегрированы в процесс создания цифровых эколого-геоморфологических карт 200 тыс. масштаба, отвечающие состоянию на 2020 год.

Методологические основы создания эколого-геоморфологических карт отмечаются в трудах Кружалина В.И., Евсеевой Н.С. Традиционно по данным топографической карты исследователь получает информацию о форме и абсолютных высотах, а также других характеристиках. Возраст и происхождение рельефа тесно связаны с четвертичными отложениями, и эти

данные имеются на карте четвертичных отложений. Для раскрытия некоторых особенностей рельефа следует рассмотреть карту дочетвертичных отложений. Особенно полезной является информация о литологии горных пород и обнаруженных при геологических съемках тектонических разрывных нарушениях. На геологической карте читается структура геологического субстрата, литология, возраст и др. Также используется информация из архивных и литературных источников об истории развития рельефа изучаемой территории. Таким образом, главным требованием к геоморфологической карте является отражение «геоморфологической триады» – морфология, генезис, возраст [7, с. 117-118; 11, с. 65].

Необходимость детального изучения современного рельефа, обуславливается его влиянием на функционирование ландшафтов и во многом определения его внешнего вида. Например, от абсолютной высоты зависят количество выпадающих осадков и состав солнечной радиации, давление; от горизонтальной расчлененности и орогидрографии – перераспределение тепла и влаги, направление ветров. Морфометрии рельефа, а именно уклоны, длина и экспозиция склонов определяют направление и объем поверхностного стока. Косвенно через климат и сток рельеф оказывает влияние и на растительность с почвенным покровом. Морфометрические параметры определяют режим развития экзогенных процессов. Морфометрия рельефа часто определяет тип использования земель, т.е. влияет на хозяйственную деятельность. Например, вид и успешность сельского хозяйства зависят от уклонов, длины и экспозиции склонов, горизонтального расчленения. На объекты линейного природопользования (дороги, трубопроводы) больше всего оказывают воздействие углы наклонов и длины склонов. Общеизвестна также сильная зависимость строительства различных сооружений от морфометрии рельефа. Рельеф сказывается на эксплуатации различных объектов, неблагоприятный рельеф повышает опасность производственных аварий, ухудшающих экологическое состояние территории. Безусловно морфометрические карты, являются базовыми при эколого-геоморфологических исследованиях. Для эколого-геоморфологических оценок базовой является также карта опасных, геоморфологических процессов. Она сама по себе уже несет эколого-геоморфологическую информацию – о проявлении негативных явлений и процессов, но может использоваться и как параметр оценки [11, с. 66].

К интегральным экологическим оценкам рельефа можно отнести и напряженность геоморфологических процессов, представляющую собой “предрасположенность геоморфологической системы к выходу из состояния равновесия и риск развития в ней процессов морфогенеза по катастрофическому сценарию под воздействием внешних и/или внутренних факторов, как природных, так и техногенных” [24].

Козловой и др. вводится понятие экстремальной эколого-геоморфологической ситуации как совокупности геоморфологических явлений, возникающих вследствие экстремального проявления

рельефообразующих природных и техногенных процессов, или в результате взаимодействия природных и техногенных факторов, имеющих негативные социальные последствия, которые ухудшают эколого-геоморфологические и инженерно-геоморфологические условия жизни и ведения хозяйства на какое-то время или навсегда [24].

Географическое пространство включает социально-геоморфологические системы разного ранга, поэтому выбор территориальной единицы является приоритетной задачей в настоящем исследовании. В основе организации территориальной единицы лежит иерархия отношений между природопользованием и неровностями земной поверхности. Болысов С.И. и др. предлагает для корректной оценки интенсивности морфолитогенеза, за основу при выделении территориальных единиц оценки, принимать именно геоморфологические границы. В зависимости от масштаба оценки это могут быть границы морфоструктурных зон, комплексов, форм или элементов рельефа [26]. Кривцов В.А. и др. в исследовании эколого-геоморфологической оценки, за географическую основу приняли региональные морфологические комплексы, представляющие собой территориально целостные, исторически сложившиеся сочетания форм рельефа характерного внешнего облика, созданные в разное время соответствующими экзогенными процессами в пределах определенных морфоструктур [27].

Методология работы включает оценку эколого-геоморфологических условий области исследования, сложившиеся в результате неблагоприятного влияния экзогенных процессов на природно-хозяйственные системы (ПХС) побережья. Питулько В.М. и др. называет ПХС – ассоциацией природных и техногенных элементов, взаимодействующих между собой и функционирующих как единая система, пространственно ограниченная ареалом воздействия предприятия или технологического процесса на конкретное природное тело и объединенная выполняемой социально-экономической функцией. Природно-хозяйственные системы как функционально-пространственные единицы обладают рядом характерных особенностей. В первую очередь они принципиально отличаются от природных геосистем тем, что возникающими в них изменениями можно и нужно управлять. Природно-хозяйственная система может быть выделена по целому спектру факторов, но системообразующими являются лишь немногие - те, которые определяют структурно-функциональное единство системы и могут быть определены как результирующие. В качестве подобных факторов могут выступать различные виды инженерно-технической и хозяйственной деятельности, которая обусловлена сочетанием комплекса природных, административных, производственных, социальных и других факторов, под воздействием которых формируются границы природно-хозяйственных систем (таблица 1) [28].

Таблица 1 – Виды природно-хозяйственных систем по Питулько В.М.

Региональные	Комплексные	Элементарные
Проекты или функционирующие ПХС	Горнопромышленные	Карьеры,
	Дорожно-транспортные	Дороги, линии коммуникаций, трубопроводы
	Сельскохозяйственные	Сельхозугодья, склады, животноводческие комплексы
	Рекреационные	Санатории, пансионаты, турбазы, детские лагеря и др. формы
	Селитебные	Поселковые, сельские
	Санитарно-гигиенические	Кладбища, организованные мусорохранилища
	Мелиоративные	Дренажная сеть, защитные лесонасаждения, склоно- и берегоукрепительные сооружения
	Культурно-парковые	Парки, скверы, лесопарки
Территории предполагаемого использования	Естественные слабоизмененные	Лесные, лесоболотные, литогенные (скалы, осыпи, естественные пляжи)

На основе анализа теоретических и методологических основ исследования эколого-геоморфологических условий, для определения территории исследования были разработаны критерии, в которых учтены природные и антропогенные факторы (таблица 2).

Таблица 2 – Критерии выделения области исследования

Фактор	Критерии
1	2
Природный	Абсолютные высоты рельефа (горизонтали 360-800 м)
	Форма рельефа имеющая взаимодействие с береговой зоной
	Активность экзогенных процессов (эоловые процессы, засоление, абразия, подтопление)
	Территория активной разгрузки подземных вод
	Риск неблагоприятного воздействия рельефообразующих процессов на природные и хозяйственные объекты (нарушение экологической безопасности)

Продолжение таблицы 2

1	2
Антропогенный	Населенные пункты
	Автомобильные дороги
	Железные дороги
	Туристско – рекреационная зона
	Добыча полезных ископаемых
	Сельскохозяйственные земли
	Историко-археологический (курганы)
	Рыбный промысел
	Наличие сооружений инженерной защиты берегов (волнорез, пирс, волноломы и др.)

1.2 Аналитический обзор экологических аспектов рельефообразования береговой зоны озера Алаколь по опубликованным данным

В связи с высокой степенью освоенности береговых зон водоемов, обладающих природными и рекреационными ресурсами, экологические аспекты устойчивого природопользования являются для них весьма актуальными, особенно в условиях глобальных и региональных изменений климата. Так как рельеф и формирующие его процессы являются базовым условием для формирования природной среды, они в целом и определяют особенности хозяйственного использования береговых зон озер, в т.ч. и озера Алаколь. На основе данного подхода проведен анализ опубликованных материалов по геолого-геоморфологическому строению, гидрологическому режиму, использованию природно-ресурсного потенциала в селитебных, сельскохозяйственных, транспортных и рекреационных целях. Обзор приведен в исторической последовательности и показывает пространственно-временные особенности освоения прибрежной территории озера Алаколь.

Геолого-геоморфологические исследования Алакольской котловины проводила Сваричевская З.А. [29]. Первые гидрографические обследования Алаколь-Сасыккольской группы озер выполнены в 1943-1944 гг. гидрографической партией Управления гидрометслужбы Казахской ССР. Стационарные гидрологические наблюдения на оз. Алаколь начаты в 1948 г. Управлением проведено рекогносцировочное обследование озер Сасыкколь, Кошкарколь и Алаколь. Обследование выполнено в период низкого многолетнего стояния уровней озер, а результаты приводятся в сборнике «Ресурсы поверхностных вод СССР» (т.13, вып. 2) [30].

Алакольской экспедицией Алматинской ГМО в 1960-1964 гг. были проведены комплексные гидрологические исследования описываемых озер и дельты р. Тентек. Одновременно в 1960-1963 гг. Сектором географии АН КазССР проводились батиметрические съемки озер Алаколь, Кошкарколь и Сасыкколь, изучение их морфометрии, динамики берегов, донных отложений

и гидрофауны. Результаты этих работ обобщены в 11-13 выпусках Трудов Института географии «Вопросы географии Казахстана» (Алма-Ата, 1964, 1965, 1966), где даны общая характеристика строения поверхности Алакольской впадины, климата, водных ресурсов, почвенного покрова, растительности [31]. Здесь можно выделить следующих исследователей В.И. Коровин, Р.Д. Курдин (1961-1964 гг.) изучали проблему многолетнего исторического колебания уровней воды Алаколь-Сасыккольской группы озер [31, с. 122-140]. Е.А. Казанская (1961-1964 гг.) проводила исследования вопросов морфологии и динамики берегов озера Алаколь. На момент изучения, ученым было зафиксировано, что в берегообразовании преобладали денудационные процессы над аккумулятивными на большей части всего берега, т.е. происходило увеличение уровня воды в озере. Она выполнила районирование берегов озера, установила ведущие процессы, участвующие в берегообразовании. Подробно рассмотрена морфология и строение берегов и островов [31, с. 88-121].

Т.Н. Джуркашев (1972) изучал историю формирования Балхаш-Алакольской впадины в четвертичный период. В проведенных исследованиях опроверг возможную связь в прошлом Балхашского и Арало-Каспийского бассейнов, обосновал невозможность в прошлом соединения озер Алакольской впадины с озерами Джунгарской депрессии. Описал распад Древнебалхашского озера на Балхаш, Сасыкколь (включавшего сор Клы и оз. Уялы), Алаколь и Жаланашколь, произошедший в результате аридизации климата и тектонических поднятий по Главному Джунгарскому разлому и в районе нынешнего перешейка между озерами Уялы и Алаколь» [32].

Впервые был выполнен базовый труд по анализу и описанию рельефа Казахстана на основе данных аэрофотосъемки, группой авторов: А.В. Вислогузова, Н.М. Владимиров, А.И. Гуськова, А.Р. Медеу, Э.И. Нурмамбетов, Г.М. Потапова, А.С. Сарсеков. Результатом является геоморфологическая карта Казахстана масштабом 1:1 500 000 [33]. Оценка экологического и природоохранного значения аквальных и наземных экосистем, приведены в книге: «Глобально значимые водно-болотные угодья Казахстана (Алаколь-Сасыккольская система озер) (2007г) [6, с. 326].

В Казахстане географические рекреационные исследования проводятся с 70-х годов XX столетия учеными Института географии, КазНУ им. аль-Фараби, Евразийского Национального университета им. Л.Н. Гумилева, КазНПУ им. Абая. Из отечественных ученых детальным изучением природно-рекреационного потенциала озера Алаколь занимались Ердаuletов С.Р., Актымбаева А.С., и др., учеными был опубликован научно-познавательный атлас: «Путешествие к Приалаколью», была составлена карта районирования территории Алакольского бассейна по степени привлекательности природных ландшафтов для развития отдыха и туризма. [34–36]. В атласе представлены карты: «Районирования территории Алакольского бассейна по степени привлекательности природных

ландшафтов для развития отдыха и туризма», «Туристское хозяйство Алакольского бассейна» и др. [34, с. 29]. Асубаев Б.К. районировал и оценил туристско-рекреационный потенциал на основе пригодности ресурсов для использования в рекреационных целях [37].

Геоэкологическую характеристику и оценку туристско-рекреационного потенциала Алакольского региона выполняли Актымбаева А.С. и Таукебаева М.Т. [38]. Геоэкологическую оценку территориально-рекреационных систем бассейна озера Алаколь, а также оценку антропогенного воздействия на ландшафты бассейна озера Алаколь проводил Мукаев Ж.Т. и Озгелдинова Ж.О. [39,40]. Курочкиной Л.Я. было проведено экологическое районирование по степени нарушенности экосистем территории Сасыкколь-Алакольской впадины [6, с. 175-181].

При написании глав и подглав настоящей диссертации в обязательном порядке выполнялся литературный обзор существующих исследований по конкретной тематике и узкой задаче. Ниже приведен общий литературный обзор исследуемой тематики. Фундаментальные основы развития морских берегов исследовал Зенкович В.П. (1952-1962) [41–43], исследование научно-прикладных основ защиты берегов от эрозии Bruun, P. (1972) [44], Jentsje van der Meer (1988) [45]. Основы изучения озер (лимнологии) заложил исследователь Женевского озера Ф.-А. Форель (1892–1904) [46]. Изучение эрозии глинистого берегового уступа северное побережье оз. Эри (Великие озера) с учетом волновой эрозии, морфодинамики пляжа и устойчивости отвесного клифа методом моделирования процесса переработки проводил Castedo et al. (2012) [47]. Изучение скорости и характера процессов эрозии и аккумуляции в заливе Преск-Айл (южный побережье оз. Эри) с применением ГИС анализа временных рядов батиметрических изменений проводил А.М. Foyle и К.Р. Norton (2006) [48]. Эмпирические зависимости между эрозией отвесного берегового уступа и осадками, частотой штормов, уровнем озера, энергией глубоководных волн и высотой ударной волны на двух участках оз. Мичиган исследовали Brown, E. A. et al. (2005) [49]. Исследование развития рекреационной инфраструктуры на побережье с сохранением естественных геоморфологических условий и морфодинамики побережья проводили Carolina Peña-Alonso (2017) [50]. Исследование рельефообразующих процессов берегового абразионного уступа методом численного моделирования проводили ShaunW. Kline (2014), с учетом действия волн, механической волновой абразии, устойчивости берегового уступа и переработки берегов [51]. Геоэкологические аспекты междисциплинарного направления на стыке географии и экологии исследовали Петров К.М. [52], Братков В.В. и Овдиенко Н.И. [53], Судо М.М. [54] и др.

Территория Алакольской группы озер является ценным объектом проведения научно-географического изучения природной среды, исследования которой начались с XVIII века. Уникальное месторасположение, физико-географические условия, динамика происходящих процессов в природной среде описываемой области

притягивала к себе крупных, маститых ученых, в том числе с мировым именем: А.И. Шренк, Г.С. Карелин, В. А. Обручев [55] и др. Независимо от времени и научной области всех проведенных исследований учеными, полученные результаты работ остаются востребованными и актуальными источниками географических знаний на сегодняшний день. Очевидно в условиях интенсивного вовлечения природных комплексов бассейна озера Алаколь в хозяйственную деятельность, без учета современных процессов рельефообразования, которые очень интенсивно проявляются на стыке взаимодействия воды и суши, возникла экологическая неустойчивость в природопользовании. Значительный потенциал территории для развития социально-экономической активности выводят на первый план проведение экологических исследований в контексте рационального и устойчивого использования ресурсов, в том числе с учетом геоморфологии рельефа – как базисной основы жизнедеятельности человека и инфраструктурного освоения территории.

Эколого-геоморфологические исследования определяют механизмы современного рельефообразования, учитывая которые появится шанс для поддержания динамического равновесия территории – береговой зоны оз. Алаколь. Уникальное месторасположение, динамика природных процессов, богатое биоразнообразие, накопленный ранее научный материал, делают территорию бассейна Алаколь-Сасыккольской системы озер значимым и ценным объектом для продолжения проведения научных исследований, заложенными выдающимися учеными.

1.2.1 Международный опыт рационального природопользования побережьем озер

Исследование различных задач устойчивого использования и развития прибрежных территорий проводили Foyle et al. (2006) побережье залива Преск Айл (Presque Isle Bay, USA) озера Эри [47, p.709-710], Brown et al. (2005) побережье двух округов Манитовок и Озоки (Ozaukee and Manitowoc County, USA) на озере Мичиган [48, p. 306], Казанцева Е.А. (1964) северное и юго-западное побережье озера Алаколь [56, с. 88-121]; интегрированное управление Великими озерами Lawrence P.L. (1997) [57], управление эрозионным морским побережьем Rangel-Buitrago et al. (2018) [58]; прогноза развития переработки берегов Castedo et al. (2012) в округе порт Алма (Port Alma, Canada) на озере Эри [47, p. 169-174]; разработка методов защиты берегов от эрозии Bruun P. (1972) морские побережья мира [44, p. 43-44], Нусупов Д.К. и Турсунов Э.А. (2018) побережье рекреационной зоны Акши и с. Коктума озера Алаколь [59,60], Bunicontro et al. (2015) на морском побережье Аргентины [61], Серебряков Г.Б. и Гришин Н.А. (2012) Черноморское побережье России [62]. Обзор международного опыта позволил выделить основные необходимые положения для разработки мероприятий: 1) наличие мониторинговых многолетних данных, 2) прогнозирование развития эрозионных и аккумулятивных берегов с

применением математического моделирования, 3) научный подход, 4) заинтересованность и взаимодействие административных органов, местных жителей, землепользователей и научного сообщества.

Обязательным условием эффективного управления абразионным побережьем Rangel-Buitrago et al. (2018) называют исследования и накопленные знания о изменении побережья, связанные с природным и антропогенным воздействием на динамический характер и устойчивость прибрежных систем. Применение методов, знаний, оборудования и институциональных инструментов, позволят исключить проблему эрозии или уменьшить негативные последствия воздействие эрозии. Аспекты проблем управления эрозионных береговых территорий включают: природные ресурсы, развитие здоровых и устойчивых экосистем и связанных с ними экосистемные услуги, индустрия туризма и береговая безопасность [58, p. 7].

Lawrence, P. L. (1997) обозначил решающее значение понимания взаимодействия человека с окружающей средой в экосистеме Великих озер. Деятельность в области землепользования является ключевым компонентом понимания и управления прибрежной экосистемой. Развитие и использование ресурсов в прибрежной зоне было и будет оставаться одним из основных видов деятельности. Государственные учреждения должны признать этот факт и попытаться построить стратегии планирования, отражающие основные принципы управления экосистемами и понимание антропогенного воздействия на эволюцию прибрежной зоны. Системы управления и планирования должны быть гибкими, всеобъемлющими, адаптивными, плюралистическими, инициативными и справедливыми. Локальная программа управления береговой линией включает в себя три основных компонента:

1) Профилактика: развитие и осуществление мер контроля, правил и подходов к предотвращению угроз затопления и эрозии при новом хозяйственном освоении территории.

2) Защита: осуществление капитальных работ при условии отсутствия неблагоприятного воздействия на свойства восходящего/нисходящего потока в подводной части побережья.

3) Чрезвычайное реагирование: обеспечение чрезвычайными мерами местными муниципалитетами и правительствами и координация государственных и частных ресурсов [57, p. 132-133].

Рекомендации, полученные исследователями развитых стран (США, Канада и др.), маловоспроизводимы в условиях побережья Алаколя. В проведении научно-исследовательских работ зарубежом, местные администрации округов инициируют различные проекты с привлечением ученых для определения оптимальных решений той или иной проблемы прибрежных территорий. Например, достаточно работ посвящено управлению прибрежными территориями (Integrated Coastal Zone Management), эрозионными берегами, рекреационными пляжами [57, p. 120; 58, p. 291]. При этом у нас не используется и не рассматривается термин

управление берегами (Coastal Management), охватывающий научные, административные, экологические и прикладные рычаги и механизмы. В данном исследовании результаты интересны для науки в виде публикаций, однако непосредственная связь с административными органами и проектными организациями пока оставляет желать лучшего. В работе проведен анализ с учетом ранее полученных результатов, имеющихся данных и с упором на устойчивое управление и развитие побережья оз. Алаколь.

1.3 Основные методы изучения эколого-геоморфологических условий береговой зоны озер

Различные по составу методы для их структуризации необходимо классифицировать. За основу классификации методов исследования были взяты труды А. Morang и L.T. Gorman [63]. Методы мониторинга рельефообразования берегов разделены на три общих класса, для каждого из которых используются специальные инструменты и методы анализа: 1) методы дистанционного зондирования: инструменты предоставляют информацию о суше и воде на расстоянии, без необходимости нахождения в физическом контакте с мониторинговым объектом (аэрофотосъемка, лазерная визуализация и др.); 2) полевые инструментальные исследования *In situ*, проводятся непосредственно на исследуемом объекте (гидрометеостанции, профили по реперам и др.); 3) методы отбора образцов на анализ для дальнейшего более глубокого изучения в лабораторных условиях (образцы отложений, воды и др.). [63, р. 669-670]. Методы измерения и документирования динамики эрозии берегового уступа в трудах Т. Sunamura (1992), включают последовательную аэрофотосъемку, анализ исторических карт, полевые инструментальные исследования (измерение расстояний от реперов) [64]. Методы исследования Хабидова А.Ш. [65] уделяют особое внимание анализу геоморфологических условий береговой зоны, морфометрических количественных параметров. С применением специального оборудования определяется динамика смещения берегового клифа в сторону суши, отбираются пробы грунта из береговых уступов для определения механических свойств горных пород.

В данном эколого-геоморфологическом исследовании были выделены следующие классы различных по составу методов:

- **камеральный метод** (геоинформационный, картографический, сравнительный и др.);
- **метод дистанционного зондирования** (дешифрирование, расчет индексов MNDWI и др.);
- **полевые мониторинговые исследования** (инструментальные измерения, натурные наблюдения, НЛС и батиметрические измерения).

Получение основных результатов исследования основываются на применении совокупности предлагаемых эколого-геоморфологических и геоэкологических методов.

1.3.1 Камеральные методы оценки экологических условий рельефообразования береговой зоны озер

Исторический метод. По материалам Е.А. Казанской был изучен рельеф в его последовательном развитии. Установлены пути дальнейшего преобразования рельефа, определены значения отдельных природных факторов в формировании современного рельефа [31, с. 88-121]. **Сравнительно-описательный метод** позволил установить особенности природных условий изучаемой территории в историческое время, определить различия в проявлении опасных экологических явлений, выявить факторы, существенно влияющие на эколого-геоморфологические условия исследуемого объекта [31, с. 307]. **Геоинформационные методы.** Применение ГИС-технологий для изучения и картографирования эколого-геоморфологических процессов природно-антропогенного рельефообразования побережья Прикаспия с учетом влияния колебаний уровня Каспийского моря на окружающую среду, были выполнены Акияновой Ф.Ж. Создана база данных, разработана методика выделения и картографического отображения главных факторов и тенденций развития современного рельефа [66]. S.M. Brooks, T. Spencer использовали систему цифрового анализа ГИС (ArcMap) для оцифровки и привязки позиции бывших береговых линий, полученных из исторических карт и аэрофотоснимков. Для расчета объема переработанных аккумулятивных отложений берегового уступа, были определены динамика отступления уступа, сложенного аккумулятивными отложениями в установленный временной отрезок в период прибрежных вариаций (активной переработки берегов) [67].

Примененная в работе теоретико-методическая основа изучения эколого-геоморфологических условий, современных рельефообразующих процессов, образующие экологически опасные явления, базируется на разработках и научных трудах ведущих казахстанских ученых. Это Казанская Е.А. (1965 г) [31, с. 88-121], Джуркашев Т.Р.(1972г) [32, с. 127], Потапова Г.М., Вислогузова А.В., Медеу А.Р., Н.М. Владимиров (1990) [33]. Акиянова Ф.Ж. [66, с. 56-58] и другие.

Камеральным методом выполнены картографирование территории и создание тематических карт в ГИС программах. Обработаны полученные фактические полевые и фондовые материалы, картографические и статистические данные. Сформированы структуры входящих геоданных, анализ пространственных геоданных с применением различных инструментов и модулей, интерпретация полученных данных. С применением камеральных методов, выполнен сравнительно-описательный анализ эколого-геоморфологических условий.

1.3.2 Методы дистанционного зондирования в оценке экологических аспектов рельефообразования береговой зоны озер

Применение данных дистанционного зондирования позволят проследить историю изменения береговой линии и выделить участки для мониторинга. Исследование динамической зоны, места взаимодействия воды и суши с применением данных дистанционного зондирования представлены широко в мире. Распространение получили дешифрирование космических снимков, классификация мультиспектральных изображений, вычисление различных индексов, где значениями выступают каналы космоснимка, согласно формулам (NDWI, MNDWI и др. индексы). Например, разновременные космоснимки Landsat были использованы при исследовании изменения площади озер Центральной Азии (Bai et al., 2011 [68] and Klein et al., 2013) [69], малых бессточных озер Северного Казахстана (Yariyev et al., 2019) [70], озер плато Тибет, China (Qiao et al., 2019) [71], озера Виктория в Африке (Awangea et al., 2019) [72], озеро Урмия в Иране (AghaKouchak et al., 2014) [73] и др. Исследование пространственно-временного изменения береговой линии с применением данных ДДЗ выполняли Qiao et al. (2018)[74], Misra & R. Balaji (2015)[75], Behling et al. (2018)[76], Tamassoki et al. (2014)[77] и др.

Изучение морфометрических условий (уклон, экспозиция, абсолютные высоты, эрозионная сеть), надводной части береговой зоны с использованием анализа ЦМР SRTM в модулях ArcMAP проводили Михайлов В.А. (2015) [78] в изучении морфометрии рельефа Тарханкутского полуострова (Крым), на территорию водосборного бассейна р. Кубань Погорелов А.В. и Думит Ж.А. (2009) [79].

Для определения водных объектов методом спектральных индексов наибольшее распространение получили MNDWI, благодаря своей высокой точности (Deus & Gloaguen, (2013) [80]; Awangea et al., 2019 [72, p. 204]), Bai et al., 2011 [68, p. 250-251].

Анализ изменения береговой линии проводится методом распознавания водных поверхностей по расчетам многоканального спектрального индекса за разные годы. Для извлечения информации с космических снимков о поверхностных водах, используют исходные данные Landsat. Индекс MNDWI использует 2 канала космоснимков Landsat – green and mid-infrared (MIR) bands. В Landsat 5 (TM) и 7 (ETM+) используются спектральные каналы band 2 (green) и band 5 (mid-infrared), в Landsat 8 (OLI) соответственно band 3 (green) и band 6 (mid-infrared). Все положительные значения, вычисленные (+1) по MNDWI, классифицируются в качестве водной поверхности, а отрицательные (-1) в качестве неводной (Awangea et al., 2019 [72, p. 203-204]). Green band отражает максимальную поверхность воды, а mid-infrared выделяет неводные объекты в результатах MNDWI (Deus and Gloaguen, 2013) [80, p. 704-709];. Уравнения MNDWI для Landsat 5 (TM) и 7 (ETM+) (уравнение (1)) и Landsat 8 (OLI) (уравнение (2)).

$$\text{MDNWI} = \frac{\text{band 2 (G)} - \text{band 5 (MIR)}}{\text{band 2 (G)} + \text{band 5 (MIR)}},$$

для снимков Landsat 5TM и 7 (ETM+)

(1)

$$\text{MDNWI} = \frac{\text{band 3 (G)} - \text{band 6 (MIR)}}{\text{band 3 (G)} + \text{band 6 (MIR)}},$$

для снимков Landsat 8 (OLI)

(2)

где G – green and MIR mid-infrared

Геопространственные измерения и расчеты пространственно-временной статистики проводились в программе ArcGIS 10.1.

Для выбора ДДЗ определены требования по пространственному разрешению, доступности использования, длительности и периода съемки, охвату и безоблачности изображения снимков. Доступные архивы баз данных оптических и радарных космоснимков Земли в интернете позволили выявить особенности рельефообразования береговой зоны в различный исторический период. В исследовании использованы разновременные, безоблачные, космические снимки среднего разрешения Landsat (30 метров) и Sentinel-2 (10 метров). Метод автоматизированной визуализации и дешифрирования космических снимков предлагается использовать вместе с картографическим, сравнительным и полевыми исследованиями [81].

Мониторинг состояния береговой линии оз. Алаколь подразумевает использование многоспектральных спутниковых изображений среднего разрешения. Применение методов обработки космических изображений с целью проведения анализа динамики береговых процессов. Также анализа конфигурации берегов оз.Алаколь по основным морфометрическим характеристикам за разные годы (площадь зеркала воды, длина береговой линии, длина аккумулятивного берега, длина абразионного берега, коэффициент извилистости абразионного берега, коэффициент извилистости аккумулятивного берега).

Методы проведения и фундаментальные основы морфометрических работ в изучении геоморфологии очень подробно исследовали в 1940-х и 1950-х годах канадские ученые R.E. Horton и A.E. Strahler [82], 1960 – 70 гг. коллектив саратовских ученых геоморфологов под руководством Философова В.П. опубликовал несколько научных трудов по применению морфометрических методов при поиске полезных ископаемых [83,84]. На сегодняшний день методика морфометрического анализа рельефа выполняется с помощью данных дистанционного зондирования в частности с применением геоинформационных систем и цифровых моделей рельефа. Определение морфометрических параметров с помощью обработки ЦМР получило широкое распространение среди геоморфологов ближнего и дальнего зарубежья. Основой для проведения работы явились данные радарной интерферометрической топографической спутниковой съемки SRTM (Shuttle radar topographic mission). Доступные данные SRTM имеют вид растрового файла цифровой модели рельефа (ЦМР), в котором значение пиксела является высотой над уровнем моря в данной точке. Математической

основой данных является референц-эллипсоид (датум WGS84) и проекция GCS_WGS_1984 [78]. Данные SRTM представляют собой матрицу высот с размером ячейки 3 угловые секунды (от 60-90 м). Следует заметить, что пространственное разрешение SRTM определенным образом накладывает отпечаток на последующие вычисления. Это относится к уклону, экспозиции склонов и другим переменным, величины которых реагируют на заданные размеры ячейки модели, устанавливает пределы детализации моделируемой поверхности [85].

Детальный анализ эрозионной сети (постоянных и временных водотоков), формирующие водосборный бассейн производился на основе алгоритма вычислений цифровой модели рельефа (ЦМР) с помощью инструментов «Гидрология» (Spatial Analyst) ArcGIS, в следующей последовательности [78]:

- заполнение некорректных понижений рельефа (инструмент «заполнение»);
- классификация направлений стока по румбам (инструмент «направление стока»);
- построение растрового слоя суммарного стока (инструмент «суммарный сток»);
- идентификация водотоков;
- определение порядка водотоков, получение растрового слоя водотоков, с определением их порядка [85, с. 69].

1.3.3 Полевые инструментальные методы экологической оценки и мониторинга береговой зоны озер

Методика полевых исследований основана на мониторинге и выявлении особенностей рельефообразующих процессов береговой зоны оз. Алаколь. Мониторинговые исследования пляжей в прибрежной зоне с оценкой природно-антропогенных факторов, влияющих на динамику рельефообразования пляжей были проведены учеными во главе с Frederico M. Scarelli [86]. Существует несколько распространенных методов мониторинга динамики абразионного берегового уступа в полевых исследованиях. В трудах Тюняткина Д.Г (2002)[87], Фролова И.В. и Смолкин А.С. (2009)[88], методом является измерение расстояния планового перемещения бровки берега по предварительно намеченному створу, за определенный промежуток времени. Определение положения линии берегового уступа с помощью теодолита и сравнение ее планового положения с положением кромки берега определенным ранее.

Методы измерения и документирования динамики эрозии берегового уступа в трудах Т. Sunamura (1992) включают последовательную аэрофотосъемку, анализ исторических карт, полевые инструментальные исследования (измерение расстояний от реперов) [64, р. 240-241]. Методы исследования Хабидова А.Ш. [65, с. 288-290] уделяют особое внимание анализу геоморфологических условий береговой зоны – определяется

морфометрия берега, отбираются пробы грунта из береговых уступов для определения механических свойств горных пород, определяется динамика смещения берегового клифа в сторону суши с применением специального оборудования.

В характере ведущих и ассоциированных рельефообразующих процессов, необходим анализ геоморфологических условий береговой зоны озера, в том числе:

- определение морфометрии берега озера, для чего проводят инструментальный замер высоты берегового уступа, ширины пляжа и его высоты в тыловой части, отмечают на пляже береговые валы и их параметры.

- послойный отбор проб грунта из береговых уступов, пляжеобразующего материала для проведения лабораторного гранулометрического анализа и определения механических свойств горных пород;

- определение протяженности береговых уступов, подвергающихся переработке в результате абразионных процессов;

- определение динамики смещения берегового клифа в сторону суши в результате абразии. В исследованиях берегов оз. Алаколь нами использовался метод инструментальных замеров реперов по поперечному профилю. Метод инструментальных замеров по профилю является доступным и простым в использовании. При организации наблюдений с помощью этого метода на местности намечаются линии профиля. Сначала закладываются параллельные линии профиля к береговому уступу, затем от установленных реперов по компасу определяются перпендикулярные линии створа по магнитному азимуту к береговому клифу. В качестве начальных устанавливаются репера с использованием бетона и арматуры (диаметром 12 мм, длина 50-60 см). Кроме того, в качестве репера могут использоваться стационарные объекты (деревья, углы или опоры капитальных ограждений, фундаменты зданий, башни, скважины, бетонные опоры, столбы освещения и др.), так как рабочая группа имела опыт потери реперов в результате активной переработки берегов на исследуемой территории.

В зависимости от длины профиля между главными реперами закрепляются дополнительные промежуточные реперы для фиксации прямого профиля и для исключения утери информации при случайной потере одного из них. Измерения проводят через промежуток времени с помощью GPS приемника и лазерного дальномера, определяя отрезок между репером и бровкой берегового уступа по линии перпендикулярного створа.

Отступление бровки – это разница между двумя измерениями. Для отображения мониторинговых профилей в ГИС-программах и определения местонахождения репера в будущем производится GPS координирование всех реперов профиля [89]. Точность при таких измерениях составляет 1 см на каждые 20 м определяемой линии. Для того чтобы перейти к динамическим показателям нужно получить среднее отступление бровки по всем створам стационара за выбранный промежуток времени [87, с. 100-101].

Документирование полученных данных выполнялось в виде заполнения паспортов мониторинговой площадки с внесением всех основных количественных и качественных данных. Детально заносятся в полевые дневники чертежи и описание площадки, схемы поперечных береговых профилей, описывается предварительный гранулометрический состав, производится фото-фиксация реперов, профилей, береговой зоны, инфраструктурных объектов берегов и др.

Метод наземного лазерного сканирования

В настоящее время существует большой набор методов для регистрации и оценки интенсивности экзогенных процессов, однако, ни один из методов не дает исчерпывающей информации по количественной характеристике и механизму опасных процессов на склонах, как метод наземного лазерного сканирования (НЛС) [90]. Ученные Pauline Letortu и др. исследовали эрозию абразионных уступов с применением наземного лазерного сканера. Мониторинговые исследования проводились каждые 4-5 месяцев в период 2010-2013 гг. на двух различных береговых уступах по состоянию активности прохождения экзогенных процессов (затухший и активный). Данный подход позволил авторам проанализировать степень влияния морского воздействия на регрессивную динамику меловых скал. В работе исследователей основными этапами обработки данных были: геопривязка и сшивка облаков точек; интерполяция данных для создания цифровой модели высот; создание цифровой модели местности (ЦММ [91].

Применяемый метод НЛС для исследования рельефообразующих процессов побережье озера Алаколь состоит из 3-х основных этапов: подготовительные работы для НЛС в полевых условиях; наземное трехмерное лазерное сканирование выбранных участков с использованием лазерного сканера Riegl VZ-4000; камеральная обработка полученных данных в программе RiSCAN PRO. RIEGL VZ-4000 – это трехмерный наземный лазерный сканер, обеспечивающий высокую скорость работы, беспроводной сбор данных с использованием узкого инфракрасного лазерного пучка и быстродействующего механизма сканирования [92]. Для максимального охвата прибором наиболее активных экзогенных процессов и минимизирование не покрытых сканированию поверхностей (черные пятна) проводится предварительное изучение местности по ресурсам Google Earth, космическим снимкам и топографическим картам. На подготовленных карта-схемах наносятся точки сканирования (сканпозиции), но при изменении условия на местности или не корректных картографических материалов точки сканирования корректируется в зависимости от условий участка.

Во время подготовительных работ для НЛС в полевых условиях определились следующие критерии для сканирования рельефообразующих процессов на побережье оз. Алаколь:

– соблюдение минимального сканируемого расстояния до объекта (до 5м);

- соблюдение максимального сканируемого расстояния до объекта (до 4000м) в пределах которой, лазерный сканер способен измерять расстояние;
- контроль за диффузно рассеивающими целями (стены, кустарники и деревья) без пробелов или "теней на скане", для получения полного набора данных о поверхности объекта;
- соблюдение вертикального диапазона охвата сканирования 60°;
- оптимальный горизонтальный шаг сканирование 0,03° (Frame Res);
- настройка частота измерений Meas Program 200 kHz (дальности сканирования 1-2 км);
- сканирование на местности должно проходить 10-15% перекрывании сканов;
- определение прочной точки стояния сканера (скан-позициями).

Камеральная обработка полученных данных проводится в программе RiSCAN PRO. Обработка данных может быть разделена на два компонента. Первый компонент состоит из регистрации сканирования, геопривязки и, возможно, начальной фильтрации шума и удаления посторонних участков собранного облака точек. Эти задачи обычно выполняются с использованием программного пакета. Полученные сканы во время полевых работ объединяются между собой с помощью программы пост-обработки, которая отображает объект с различных положений. Различные точки стояния сканера называются скан-позициями. Для группировки различных данных по скану, данные сохраняются в структуре каталогов, принадлежащих рабочему проекту и отдельной скан-позиции. Второй компонент обработки данных связан с преобразованием зарегистрированного облака точек с привязкой в форму, подходящую для требуемого анализа. Извлечение объектов, таких как плоские поверхности или линейные объекты, из облака точек также является общей задачей для поддержки передовых фильтров или морфологических анализов, таких как извлечение здания или разделение потоков [93]. Продукты, полученные из данных облака точек, дают возможность проанализировать изменения объема различных изменений поверхности.

Обработка данных состоит из следующих компонентов:

- регистрация скан позиции и мультистанционное уравнивание (МСУ);
- создание единого облака точек; чистка от «эха»; фильтрация от растительности и от построенных неприродных предметов;
- сравнительный анализ облака точек за разные периоды;
- подсчет объема смытых грунтовых масс за 2 года наблюдения.

2 ПРИРОДНО-АНТРОПОГЕННЫЕ ФАКТОРЫ ФОРМИРОВАНИЯ ЭКОЛОГО-ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ БЕРЕГОВОЙ ЗОНЫ ОЗЕРА АЛАКОЛЬ

Физико-географическое описание. Алаколь – бессточное соленое озеро, расположено на юго-востоке Казахстана на территориях Алматинской и Восточно-Казахстанской областей. Озеро находится в пределах Балхаш-Алакольской впадины между горными системами Жетысу Алатау на юге, Тарбагатай на севере и Барлык на востоке [85, с. 64].

2.1 Природные факторы

2.1.1 Геолого-тектонические

В структурно-тектоническом отношении Алакольская впадина входит в Джунгаро-Балхашскую герцинскую складчатую систему, и представляет собой молодой (альпийский) прогиб, выполненный мезокайнозойскими отложениями на складчатом фундаменте палеозоя. Она разделяет горные сооружения Тарбагатай и Жетысу Алатау. Существенное влияние на геологическое строение региона и заложение мезозойско-кайнозойской впадины оказала разрывная тектоника, создавшая блоковую структуру палеозойского фундамента. Палеозойский фундамент Алакольской впадины разбит системой разломов северо-западного простирания на ряд блоков. Центральный блок представляет собой горст-антиклинальное Сасыкольско-Алакольское поднятие, продольная ось которого простирается в центральной части акватории оз. Алаколь. Сводовая часть поднятия скрыта под 200-метровой толщей кайнозойских отложений, выходы палеозоя (карбон, девон) обнажаются на островах Улькен и Кишкене-Аралтюбе. Северо-восточный блок осложнен горстовыми структурами, относящимися к Балтабайской и Арасантауской синклинали сложенных породами девона, карбона, перми прорванных гранитными интрузиями имеющими незначительное площадное распространение. Для блока характерно неглубокое залегание фундамента от 100-150 до 1000м (в районе Катынсу-Эмельской впадины). Юго-западный блок находящийся между центральным блоком и Джунгарским разломом представляет собой глубокую депрессию, где максимальное прогибание фундамента достигает 1500м [32, с. 20-21; 94; 95]. На востоке Алакольская впадина через межгорный прогиб (Джунгарские ворота) соединяется с Джунгарской впадиной, на территории КНР. Северо-восточный борт впадины осложнен Аягузко-Урджарским разломом, юго-западный - Джунгарским и Баканасским.

Основным фактором рельефообразования берегов является геологическое строение и литологический состав береговых уступов оз. Алаколь. Береговая линия оз. Алаколь сложена осадками четвертичного возраста озерного, озерно-аллювиального, озерно-болотного, аллювиально-пролювиального и эолового генезиса. Это рыхлые слабые неустойчивые породы легко поддающихся абразии и размыванию.

Западный, северный и восточный берега озера сложены легкоразмываемыми отложениями. Осадочная несвязная группа представлена гравийно-галечниками, грунтами с супесчаным, песчаным, реже суглинистым заполнителем. Данные грунты при благоприятных условиях подвергаются интенсивной озерной абразии. Снижение прочностных и деформационных свойств будет наблюдаться практически у всех разновидностей пылевато-глинистых грунтов, особенно со степенью влажности менее 0,8. Водонасыщение грунтов заметно уменьшает величины сцепления [96].

Южный берег представлен глинистыми осадками озерно-болотного генезиса современного возраста. Глинистые минералы являются наиболее активной частью дисперсных грунтов, т. к. они обладают наибольшей дисперсностью, гидрофильностью, способностью к ионному обмену, формируют водонепроницаемые и пластичные грунты. В условиях положительного водного баланса на поверхности водоупорных глинистых грунтов развивается заболачивание [96, с. 26-27; 97].

В пределах площади исследования (полоса прибрежной территории шириной около 10 км) отложениями четвертичной системы различного генезиса выполнены речные, озерные, эоловые и предгорные равнины. Основными генетическими типами четвертичных отложений являются: аллювиальный, озерный, озерно-болотный, озерно-аллювиальный, аллювиально-пролювиальный, эоловый [96, с. 25].

Аллювиальные отложения (аQIV, аQIII-IV) современного возраста слагают русла, поймы, террасы многочисленных долин рек постоянного и временного стока (Уржар, Катынсу, Эмель, Жаманты, Ыргайты, Уйжан, Шуршут, Суюни др.). Русловые фации представляют гравийно-галечно-песчаный материал, перекрытый сверху чехлом суглинков и супесей. Общая мощность от 3 до 5-10 метров.

Озерные отложения (IQIV) современного возраста выполняют низкие озерные террасы, отмели и косы на побережье Алаколя. Представлены преимущественно хорошо окатанной галькой коренных пород палеозоя, (на восточном побережье встречаются окатанные обломки карбонатных пород), суглинками, супесями, пылеватыми песками. Кроме того, по берегу залива Киши-Алаколь широко распространены вязкие темные засоленные глины и торфяники заболоченных лагун. Мощность этих осадков неясна. Общая мощность не превышает 25м [32, с. 85-87; 96, с. 27].

Озерные отложения (IQIII) верхнечетвертичного возраста слагают плоскую равнину вдоль западного и северо-западного побережья оз. Алаколь. Осадки представлены суглинками, супесями, илами, глинами и мелкозернистыми песками. По данным неглубокого бурения мощность до 20 м.

К среднему отделу четвертичной системы отнесены отложения озерного генезиса (IQII) на перешейке между озерами Алаколь и Кошкарколь. Разрез представлен песками и галечниками. Размер галек до 10

см, в составе их преобладают темно-серые алевролиты, зеленовато-серые песчаники, биотитовые граниты и лилово-красные яшмоиды. Мощность толщи более 100 м.

Озерно-аллювиальные (IaQIII-IV) отложения верхнечетвертичного-современного возраста сформированы в дельтах рр. Уржар, Катынсу, Эмель, а также на восточном и западном берегу оз. Алаколь. С поверхности это желтовато-серые, пылеватые супеси, суглинки с прослоями глин, гравия, гальки, в нижней части разреза - серые, м/з пески с включениями гравия. Общая мощность отложений от 2-5 до 10-20м.

Современные озерно-болотные (IbQIV) отложения развиты в прибрежной полосе озера Алаколь - это серые и буровато-серые сильно засоленные суглинки, супеси, глины, пески, илы, торф. Мощность около 4-5м.

Современными аллювиально-пролювиальными (apQIV) отложениями выполнены конусы выноса, распространенные по юго-западному борту Алакольской впадины. Представлены мелким валунником, гравием и песком, мощностью 15-20 м.

Аллювиально-пролювиальные (apQIII-IV) отложения занимают большие площади в междуречьях рр. Жаманты-Ыргайты, Шуршут-Долаты слагая конусы выноса этих рек. В литологическом составе отложений участвуют галечники с песчано-суглинистым заполнителем. По мере удаления от гор происходит дифференциация обломочного материала: валунно-галечники сменяются песчаными и суглинистыми разностями. Общая мощность отложений от 10-30 до 140м.

Эоловые массивы верхнечетвертичного-современного возраста (vQIII-IV) сформированы на поверхности развеваемых среднечетвертичных озерных песков. Ими сложены массивы Косайшагыл и Бармаккум. Это хорошо сортированные пески, кварц-полевошпатового состава, в гранулометрическом составе которых преобладают фракции 0,05-0,25 мм.

С поверхности на глубину менее 10 м пески переветрены. Среднечетвертичные пески желтовато-серые, глинистые слабо сцементированные, сильно карбонатные. Песчаная фракция представлена среднезернистыми частицами размером 0,01-0,1 мм. В минералогическом составе содержание кварца достигает 70%, остальные 30% представлены халцедоном, опалом, кальцитом, полевым шпатом, биотитом, амфиболом. Общая мощность песков в отдельных случаях достигает 10-20, 100-140м [31, с. 88-91; 32, с. 78-81; 96, с. 26-27].

Основываясь на результатах полевых работ 2013-2018 гг. и построенных профилях наблюдательных точек можно сказать, что наиболее интенсивно подвергаются размыванию основания уступов, сложенных песками, супесями, крупнозернистыми песками, галькой, галечником [97, с. 393]. На долю песчаных фракций приходится в основном 21 - 97%, глинистых 0,3-47%, пылеватых до 44 %, содержание гравия достигает 99%. Состав отложений указывает на их легкую размываемость и последующее

разрушение берегового уступа. В таблице А.1 приводятся некоторые результаты гранулометрического состава грунтов, проведенных лабораторией ТОО АлматыГеоцентр в 2018 году (таблица А.1).

Рассматриваемая территория располагается в зоне 6-8 – балльной сейсмичности. Здесь отмечается активизация новейших тектонических движений, вызвавших ряд землетрясений до - 7-8 баллов [98].

2.1.2 Гидрогеологические

В гидрогеологическом отношении Алакольская впадина – это крупный артезианский бассейн. По условиям залегания и циркуляции здесь выделяются грунтовые и напорные воды. Грунтовые воды приурочены к речным и озерным долинам, предгорным равнинам. В них устанавливается единый, гидравлически взаимосвязанный водоносный комплекс. Общая мощность водосодержащих прослоев на побережье не превышает 1,5-12,0 м. Разрез водовмещающих пород состоит из песчано-гравийно-галечников с прослоями супесей и суглинков. Минерализация воды от 0,3-3,0 до 10,0-15,0 г/дм³, состав варьирует от гидрокарбонатно-кальциево-натриевого до сульфатно-хлоридно-натриевого. Производительность грунтового потока зависит от литологического состава водовмещающих пород и составляет 0,1-3,0 дм³/с. Уровень грунтовых вод, зависит от рельефа и колеблется в пределах от 0,5-1,5 м. Питание водоносного горизонта обусловлено инфильтрацией поверхностных вод, атмосферных осадков и подтоком трещинных вод со стороны гор [99,100]. На восточном побережье отмечается выклинивание вод в виде родников и мочажин.

В настоящее время Алакольская впадина переживает фазу трансгрессии, причем интенсивный подъем уровня происходит в самом озере, что ведет к смыканию уровня подземных вод с уровнем воды в озере. Это в свою очередь стимулирует активизацию процессов заболачивания, затопления, засоления проявляясь в форме широкого развития болот, пухляков, соров на юго-восточном, восточном, западном и северном побережье оз. Алаколь (рисунок А.1). Процессы заболачивания, засоления, затопления также формируются на западном побережье в результате неупорядоченного полива орошаемых земель. Таким образом, подземные воды прибрежной зоны служат одним из основных факторов активизации процессов заболачивания, засоления, затопления [96, с. 28].

2.1.3 Геоморфологические

Алакольская впадина вытянута с юго-востока на северо-запад на 300 км и представляет собой аккумулятивную, слабоволнистую равнину, наклоненную к центральной части, ограниченную с севера хребтом Западного Тарбагатай, с востока хребтом Барлык, с юго-запада – горными сооружениями Жетысу Алатау и с запада горами Арганаты-Аркарлы. В формировании современного рельефа впадины наряду с тектоническими факторами, участвуют процессы денудации и аккумуляции (рисунок А.2).

Основными морфоструктурами Алакольской впадины являются наклонные аллювиальные и озерные равнины. Формирование аллювиально-пролювиальных равнин приурочено к послеплиоценовому времени в условиях тектонических подвижек, сопровождающихся накоплением грубообломочного материала и образованием конусов выноса. Все долины рек имеют от 1 до 8 (в горной части) надпойменных террас, формирование которых связано с поднятием предгорной части конусов в позднечетвертичное время [101].

Аллювиально-озерные равнины, сформированные дельтами рек сложены песчаными, реже гравийно-галечными и супесчаными отложениями от среднечетвертичного до современного возраста. С аккумулятивными образованиями конца среднечетвертичного возраста связаны озерные террасы, представленные песчано-глинистым материалом. Эоловая переработка, начавшаяся во второй половине верхнечетвертичного времени и продолжающаяся поныне сформировала грядово-бугристые и грядово-ячеистые пески, занимающие большие площади в пределах Алакольской впадины. Равнинная часть Алакольской впадины понижается в сторону озерных бассейнов Сасык-Алакольской группы от 800 м у предгорий до 350 м в районе оз. Алаколь. Северные и северо-западные берега оз. Алаколь низкие, аккумулятивные с песчаными косами и бухтами. Юго-западные берега обрывистые, террасированные [94, с. 22-23].

Роль морфометрических условий в формировании рельефа береговой зоны. Рельеф побережья играет главную роль в активизации экзогенных процессов береговой зоны, а также формирования различных типов берегов оз. Алаколь. Анализ морфометрических характеристик побережья с использованием ЦМР (склон, экспозиция и гипсометрия) позволил выявить зависимость между преобладающими рельефообразующими процессами и морфометрией водосборного бассейна (рисунок А.2). Относительно близкое расположение древних дельт и озерных равнин между урезом воды и склонами гор, поспособствовали образованию эрозионных, аккумулятивных и фитогенных берегов. Водосборный бассейн Алаколь-Сасыккольской системы озер занимает внутригорную впадину. Средние размеры ширины которой составляет 210 км и длины 310 км при этом абсолютные высоты бассейна находятся в пределах от 350 м (уровень оз. Алаколь) до 4000 м (водораздел Жетысу Алатау) [85, с. 66-67,102]. Северо-восточное побережье озера Алаколь отдалено непосредственно от территорий предгорий гор Тарбагатай на расстояния от 70 до 180 км. Эта протяженность позволяет рекам (Емель, Катынсу и Уржар) миновать наклонные предгорные равнины и в твердом стоке оставить мелкие обломочные породы, которые в свою очередь формируют дельтовые наносы в пределах береговой зоны. Ширина предгорной наклонной равнины гор Жетысу Алатау и Барлык от подошвы склонов гор до берегового уступа оз. Алаколь варьируется от 14 до 22 км. В пределах данных расстояний горные реки Ыргайты, Жаманты и Тентек сформировали значительные конуса выноса обломочного материала (рисунок

А.3) [85, с. 72-73,103]. Подошвы конусов выноса южного, юго-западного и западного побережья отчетливо окаймляет береговую линию и диктует современный облик и литологическое строение береговой зоны. Конусы же рек Ыргайты и Кусак, сомкнувшись, отделили участок дна Жетысуских ворот, на месте которого возникло неглубокое озеро Жаланашколь [31, с. 15].

Таким образом, конфигурация береговой линии оз. Алаколь повторяет контуры современных дельтовых отложений рек Ыргайты, Жаманты, Тентек, Уржар, Катынсу и Емель, которые представляют базисную основу для развития экзогенных процессов.

Подводный береговой склон. Основным условием ветроволновой переработки берегов является морфометрические характеристики подводного берегового склона. Для исследования профиля подводного берегового склона была проведена батиметрическая съемка. Исследования морфометрии рельефа подводного склона проводились на основе получения данных батиметрической съемки, с применением эхолота Lowrance (рисунок А.4).

Работы проводились на надувной резиновой лодке, в составе двух человек. Батиметрической съемкой были охвачены аквальные территории юго-западной, восточной и северозападной береговой зоны оз. Алаколь. На юго-западном побережье (рекреационная зона с. Акши), были проложены 18 поперечных треков, длиной от 200 до 400 м от уреза воды, взяты 4575 точек со значениями глубин. Южнее с. Акши на побережье с. Коктума, были выполнены 27 поперечных треков на расстояние 600 м от уреза воды, зафиксированы 7157 точек с значениями глубин (рисунок А.5). На восточном побережье (рекреационная зона с. Кабанбай), были проложены 16 перпендикулярных к берегу треков, длиной 900-1000 м от уреза воды, получены 3643 точек с данными глубин (рисунок А.6). На северо-западном побережье (юго-западнее с. Камыскала), были получены 6 поперечных треков, длиной до 600 м от уреза воды, взяты 67 точек с значениями глубин. Всего были получены 15442 точки, по которым были построены фактические профили подводного берегового склона и батиметрические карты-схемы.

По классификации В.В. Лонгинова фактических профилей береговой зоны выделяются три основных типа [104]:

1) Приглубые, для которых характерно непрерывное возрастание деформации волны вплоть до ее разрушения непосредственно у уреза. Береговой зоне свойственна значительная крутизна подводного берегового склона. Сюда же относятся берега, сложенные прочными коренными породами, которым свойственна значительная крутизна подводного берегового склона. Волны на таких участках обладают значительной разрушительной силой. Уклон берега до изобаты 5 м составляет более 0,02.

2) Отмелые, с постепенным забуруниванием и рассыпанием волны, медленной деформацией волны и отсутствием процесса ее опрокидывания. Уклон берега до изобаты 5 м – менее 0,01.

3) Промежуточные, со средней крутизной, с многократным разрушением волны и с возрастанием ее деформации каждый раз перед разрушением. После каждого разрушения высота волны становится меньше. Уклон берега до 5 м – примерно 0,01–0,02. Здесь может быть, как дефицит наносов, так и их избыток, но во втором случае их тоже недостаточно для формирования отмелого профиля.

На всех ключевых участках расположенных на юго-западном, восточном и северном побережье озера преобладают промежуточные и приглубые профили. По классификации на данных участках имеется дефицит наносов, вследствие преобладает абразионный процесс над аккумуляцией. При этом исследуемые берега сложены легко размываемыми горными породами: супесь, суглинки, песок и гравий не устойчивыми к абразии. Предполагаем суглинки и супеси во взвешенном состоянии уносятся на дно озера, не аккумулируясь в пределах подводного берегового склона. Песок и гравий аккумулируются в пляжной зоне и на косах под воздействием вдольберегового перемещения наносов.

Профили подводного берегового склона, полученные в результате проведения батиметрической съемки, позволили определить морфометрические характеристики склонов (рисунок А.7). На всех ключевых участках, расположенных на юго-западном, восточном и северо-западном побережьях озера преобладают промежуточные и приглубые поперечные профили подводного берегового склона (рисунок А.7) [105]. По классификации В. В. Лонгинова на данных участках имеется дефицит наносов, вследствие преобладает абразионный процесс над аккумуляцией [104, с. 20-22; 106]. При этом исследуемые берега сложены легко размываемыми горными породами: супесь, суглинки, песок и гравий, неустойчивыми к абразии [5, р. 200-202]. Суглинки и супеси во взвешенном состоянии уносятся на дно озера, а также аккумулируются в пределах подводного берегового склона. Песок и гравий аккумулируются в пляжной зоне и на косах под воздействием вдольберегового перемещения наносов. Следует отметить, озеро относится по классификации средней глубины к глубоководным водоемам [107]. Большинство эрозионных и эрозионно-аккумулятивных берегов характеризуются наличием приглубых подводных береговых склонов. Они способствуют беспрепятственному перемещению и аккумуляции обломочного взвешенного материала, а также сохранению физических характеристик ветровых волн в аквальной части береговой зоны.

Анализ роли вдоль берегового переноса в процессе берегообразования требует более детальных исследований с применением приборов и оборудования. Движущей силой вдоль берегового переноса являются сила и направление ветра, которые формируют волнение, а также речной сток горных пород (твердых наносов). Вдольбереговой перенос является причиной образования аккумулятивных и эрозионных берегов. На аккумулятивных формах рельефа, происходит отложение обломочного материала, который поступает в результате твердого стока рек и переработки

эрозионных берегов. Распространенные формы рельефа, сформированные вдольбереговым переносом на оз. Алаколь – это галечниковые пляжи и косы юго-западного и восточного побережья, приглубые подводные береговые склоны и участки эрозионных берегов. Особую рекреационную значимость имеют пляжи и косы. Косы в основном расположены в юго-западной части озера, пляжи находятся на всех эрозионных берегах. Разнообразные формы и различные направления образования кос относительно берега связаны с местным ветро-волновым режимом. В ходе полевых исследований выявлена зависимость образования пляжей и сезонности ветро-волнового режима (рисунок А.8). По визуальным наблюдениям данный процесс является масштабным и значительным в эрозии и аккумуляции надводной части береговой зоны. В осенне-весенний период увеличивается повторяемость экстремальных сезонных ветров (ранняя весна, поздняя осень) и повышается средняя скорость ветра. Вышеуказанные явления приводят к различным скоростям абразии берега, а также к более активному темпу аккумулятивных процессов (образование кос, пляжей).

Современный рельеф

При выделении каждой генетической группы поверхностей весьма целесообразно подразделение их на аккумулятивные и выработанные (денудационные) [108]. В пределах северо-западной и западной части побережья оз. Алаколь расположены две группы генетических типов рельефа: денудационная и аккумулятивная равнины, с абсолютными отметками от 350 до 356 м [109].

Выработанный денудационный рельеф. Денудационный рельеф представлен *пологоволнистой, расчлененной (до 20 м) равниной*, расположенной на водоразделе между озерами Алаколь и Кошкарколь. Пологоволнистая равнина послесреднечетвертичного возраста (рQ2) сформировалась на среднечетвертичных галечниках, слагающих перешеек [109, с. 35]. Максимальное превышение равнины над уровнем оз. Алаколь около 15-20 м. Она полого понижается в сторону окружающих плоских равнин. Слабо врезанные широкие лога расчленяют равнину на несколько едва выраженных в рельефе пологосклонных возвышенностей. Его выровненная поверхность пересечена древними руслами р. Уялы [109, с. 35]. С левого и правого борта р. Уялы в связи с современным подъемом уровня озера, денудационная равнина представлена архипелагом островов, окруженные водой и водно-болотной растительностью. От уреза воды озера денудационная равнина отделена озерно-болотной плоской равниной (рисунок А.9). Лишь небольшие участки равнины омываются водами озера, образуя абразионно-аккумулятивный берег. Около половины площади денудационной равнины в настоящий момент затоплена. В связи с подтоплением понижений равнины негативное воздействие испытывают автодороги Ушарал – Камыскала. Территория вдоль дороги затоплена со стороны оз. Алаколь, а также со стороны оз. Кошкарколь. На сушу выходят

дорожное полотно и обочина. Водная поверхность местами заросла тростником.

Выработанный эрозионный рельеф. Сюда относятся *мелкосопочный рельеф острова Киши Аралтобе, высокая и низкая абразионные террасы островов Улкен Аралтобе, Киши Аралтобе и Средний.*

Эрозионный рельеф послесреднечетвертичного возраста (pQ_2) представлен резко расчлененным, островершинным эрозионным останцем, возвышающимся над поверхностью высокой террасы в пределах о. Киши Аралтобе. Глубина вреза крутопадающих, беспорядочно ориентированных сухих саев не превышает 30-50 м. Максимальная абсолютная отметка останца равна 495 м. Его вершина поднимается почти на 150 м над урезом воды оз. Алаколь. На высоте 50-60 м над уровнем озера на острове Киши Аралтобе находится пологоволнистая, слабо расчлененная поверхность высокой абразионной террасы (Q_2). Высокая терраса крутым расчлененным уступом обрывается к плоской, слабо наклоненной к озеру, поверхности низкой (3-5 метровой) террасы. Морфометрические характеристики: площадь – 2,4 км², длина – 2,5 км и ширина – 0,7 км [56, с.116-117; 109, с. 35-36]

Рельеф о. Улкен Аралтобе. Результаты исследования ученых прошлого столетия не пришли к общему мнению в отношении классификации генезиса рельефа острова Улкен Аралтобе, в связи с чем существует неопределенность с отнесением рельефа к тому или иному типу рельефа. Джуркашев Т.Н. (1972) в своих исследованиях относит центральную часть острова к денудационной равнине, выработанной на породах палеозойского фундамента. Отсутствие следов волноприбойной деятельности на расчлененной поверхности острова Улкен Аралтобе является одной из причин по данным Джуркашева, ее не абразионного происхождения [32, с. 89-90]. Исследователями Сваричевской З.А. (1941), Твердисловым Ю.А., (1962), Казанской Е.А. (1965) относят морфологию поверхности острова к высокой и нижней озерной террасе. Основным критерием данной классификации ученые относят одинаковые относительные высоты над урезом воды поверхности абразионной террасы на трех островах, которая прослеживается не вооруженным глазом [29, с. 34; 56 с. 114-115; 109, с. 36;]. В анализе рельефа островов мы ссылаемся на гипотезу большинства авторов, представленные в фондовых материалах. В полевых исследованиях нами не были посещены острова, так как они включены в Алакольский государственный природный заповедник [110].

Остров Улкен Аралтобе поднимается над озером массивной плосковершинной глыбой на 95 м. Максимальную высоту имеет сопка, расположенная в западной части острова. Сложен остров коренными породами палеозоя – среднего девона и верхнего карбона. Всю центральную часть острова занимает слабо расчлененная холмистая равнина, приподнятая над современным уровнем озера на 58-60 м. Она выработана в коренных породах палеозоя, которые выходят преимущественно на вершинах холмов. Равнина представляет собой высокую озерную террасу. Ее выровненная

поверхность очень хорошо прослеживается с западной стороны острова и находится на одном уровне с высокой террасой островов Киши Алаколь и Среднего. На значительной части побережья эта терраса довольно крутым уступом обрывается к пологохолмистой поверхности хорошо выраженной низкой террасы (6-7), опоясывающей весь остров в его прибрежной части. Уступ высокой террасы рассечен эрозионными врезами, образованными временными потоками паводковых вод. Низкая терраса образована в результате аккумулятивной работы озера за счет наносов временных потоков. Средняя высота низкой террасы 6 м. Терраса постепенно снижается в сторону озера и на значительном расстоянии обрывается клифом. На восточном и северо-восточном побережьях низкая терраса сливается с косами и пляжем. Морфометрические характеристики острова Улкен Аралтобе: площадь – 26 км², длина 9 км, ширина – 5 км [56, с. 114-115].

Остров Средний является наименьшим из описываемых островов (площадь 0,6 км²). Он представляет собой выступ коренных пород палеозоя, имеющих вид пологовершинной скалы, которая поднимается над уровнем озера на 65 м, абсолютная высота его – 411 м над уровнем моря [56, с. 118].

Аккумулятивный рельеф. *Плоская озерная нерасчлененная равнина верхнечетвертичного возраста (Q₃)* занимает северо-западное побережье оз. Алаколь [109, с. 37]. Она представляет собой архипелаг островов, распространенный с правого борта р. Уржар на северо-востоке, на западе и юго-западе ее ограничивает залив между оз. Алаколь и Кошкарколь, переходящий в озерно-болотную равнину, которая примыкает к оз. Алаколь. В средней, восточной части озерной равнины расположен с. Камыскала. Длина плоской озерной равнины вдоль берега составляет около 15 км.

В настоящее время современное поднятие уровня озера затопило пониженные участки равнины. На сушу выходят формы рельефа озерной равнины с абсолютными высотами более 350-351 м. Стоит отметить чередование суши и затопленной части напоминающих гряды с гребневой и пониженной частью, направлением из северо-запада на юго-восток. По данным полевых исследований озерная равнина, на котором расположено с. Камыскала на современном этапе является островом. С юго-восточной и восточной стороны с. Камыскала расположена насыпная грунтовая дамба, которая отделяет селитебные земли от уреза воды и выполняет защитные функции от подтопления. Грунтовая насыпная дамба со стороны озера подвергается размыву, так как на всем протяжении дамбы урезом воды является ее откос. Вдоль дороги со стороны суши повсеместно наблюдается просадки воды с озера. В южной части острова дамба размыва, образован абразионный уступ высотой до 1 м. Происходит активная денудация берега с выработкой лопастей, урез воды проходит по основанию уступа. Юго-западнее от с. Камыскала, рельеф озерной равнины имеет полого-холмистый вид. Со стороны озера отчетливо выделяется возвышенные и пониженные части холмистой равнины, обрывающиеся у берега береговым абразионным уступом, начиная от Малого залива (к юго-западу от с. Камыскала). Высота

уступа 3 м у Малого залива в юго-западном направлении высота берегового уступа увеличивается до 7 м в гребневой части пологохолмистой равнины. Клиф сложен глинами, суглинками, супесями. Урез воды от основания уступа отделяет узкая полоса пляжа от 1 до 3 м, местами пляж отсутствует. Выработка данного уступа происходит от восточного ветра Ебы. К основанию уступа повсеместно перевиты оплывины, которые на пляжной зоне, у выхода Малого залива в открытое озеро выполняет функцию защиты уступа от действия волн, помогая аккумулировать осадочную породу (песок, сухой тростник), образуя и увеличивая ширину пляжа – который переходит в подобие косы, замыкающая границу суши с водной поверхностью у основания Малого залива.

В центральной части побережья озерной равнины в понижениях высота клифа снижается до 1,30 м, на гребнях до 4 м. Уступ имеет осложненную структуру – телом обвала, нишами вымывания, останцами (в основном фундаметов основания). Останцы берегового уступа (островки), образованные в результате активной переработки берега. Они являются индикаторы значительного отступления уступа за короткое время. Вблизи кромки уступа наблюдаются трещины. На юго-запад наблюдается понижение уступа до 0,5 м, который также подвержен переработке. На расстоянии 10 м наблюдается вынос оплывин и сухого тростника, о чем свидетельствует измененность данного берега, который более высоких волнах затапливается [111].

Берег озерной плоской равнины по характеру формирующих его процессов относится к абразионным. На всем его протяжении хорошо выражен береговой уступ, в гребневых частях равнины высота уступа достигает более 6 метров (рисунок А.10). Практически вдоль всего побережья урезом воды является основание уступа, редко имеется пляж длиной 1-2 метра.

Остров Пески. Южный берег острова Пески имеет абразионный уступ с нарастанием высоты уступа с запада на восток с 0,5 м до 6 м (рисунок А.11) Ширина пляжа до 1м. Урез воды проходит в основном к основанию уступа. Происходит активная денудация от воздействия ветро-волновых условий (ветер Ебы). Уступ сложен суглинками, супесями, пляж сложен среднезернистым песком. Северная часть острова представляет собой низменный хомогенный берег, поросший тростником. В западной оконечности острова подстилающий грунт сильно увлажнен, представляет собой болотистую местность. По нашим предположениям после насыщения влагой данный участок побережья острова, будет утерян. По периметру острова местами прибиты тростниковые оплывины. Взятые пробы грунта из стенки берегового уступа, показал литологическое сходство с озерной и озерно-аллювиальной равниной. Значительно изменились морфометрические параметры острова (таблица А.2). В современных природных условиях, площадь острова стремительно уменьшается.

Озерная плоская равнина верхнечетвертичного возраста Q₃, расчлененная сорами и солончаками (5-7 м). Равнина расположена на западном побережье оз. Алаколь, от акватории озера она отделяется полосой современной озерно-болотной равниной. Естественной границей равнины со стороны суши является урочище Шубартобек, расположенное на поверхности озерно-болотной равнины.

По данным описания Твердисловым Ю.А. и др. (в 1960-1962 гг.) равнина была плоской, редко на ее поверхности наблюдались блюдцеобразные понижения, занятые солончаками. По характеру рельефа плоская верхнечетвертичная озерная равнина отличается от полого возвышающейся над ней денудационной пологоволнистой равнины [109, с. 37]. Поверхность приозерной равнины испещрена значительным количеством мелких, а иногда и крупных западин. Некоторые из них заняты неглубокими озерами, в том числе самосадочными. Несомненно, образовались они вследствие сокращения озера. На приозерной равнине, восточнее урочища Шубартобек, встречаются террасовидные уступы (высотой до 2-3 м). Они сформировались при более высоком уровне озера [56, с. 112].

В настоящее время озерная плоская расчлененная равнина протягивается вдоль побережья на 20 км. По данным космоснимков и цифровой модели рельефа, поверхность равнины расчленена сорами и солончаками, с относительными высотами 5-7 м. В средней части равнины, поверхность расчленена руслом водотока Жолдыозек, образованный артезианскими источниками. Южнее водотока Жолдыозек расположено грязелечебное месторождение, в народе называемое «Коссор», приуроченное к поверхности двух рядом расположенных соров.

Озерно-болотная плоская затопленная равнина, с прибрежной водной растительностью, современного возраста (Q₄). Наблюдаемое повышение уровня озера поспособствовало обширному распространению современной озерно-болотной равнины в прибрежной зоне вокруг оз. Алаколь. Основные площади равнины расположены в северном, северо-восточном, западном и южном побережьях, фрагментарно равнина также встречается вдоль восточного и юго-западного побережья (рисунок А.12). Общая протяженность всех участков равнины вдоль берега озера составляет около 130 км. По определению Твердислова Ю.А. и др (в 1960-1962 гг.) равнина совершенно плоская, едва возвышающаяся над озерами, сильно заболоченная и заросшая тростником [109, с. 37-38]. На отдельных участках западного, южного и восточного побережья затопленная равнина отделяется от озера песчаными и галечными отмелями и береговыми валами. Площадное распространение современной озерной равнины зависит от морфометрических условий поверхности прибрежного рельефа (его абсолютных высот и уклона). В основном континентальная граница равнины проходит в пределах 350-351 м над уровнем моря. В западном побережье равнина занимает низменную территорию урочища Шубартубек и

прилегающих низменных участков к берегу. По данным Казанской Е.А. (1961-1964) низина урочища обильно увлажняется водами, выходящими на поверхность в виде родников; она заросла тростником, камышом и кустарниками [56, с. 112-113]. Урочище Шубартубек отделяет с востока озерную плоскую равнину от конусов выноса р. Тентек. Затопленное урочище протянулось с северо-запада на юго-восток шириной от 4 до 6 км.

На северном побережье равнина занимает низменные участки пологохолмистой денудационной равнины, а также древние русла рек. На северо-востоке современная озерная равнина получила обширное распространение на затопленных территориях озерно-аллювиальной равнины о чем свидетельствует затопленные грунтовые дороги, местами наблюдаются положительные формы рельефа – островки со степной растительностью. В пределах подтопления почва представляет собой набухшую поверхность, при ходьбе на которой почва продавливается. Наблюдается обширное подтопление территории озерно-аллювиальной равнины с проявлением процессов поверхностного почвенного засоления. Равнина сложена современными озерными отложениями, местами сильно заболоченная, узкой полосой окаймляет южный берег оз. Алаколь в районе урочища Онагаш, абс. отм. 351 м. Незначительное распространение небольших участков, отделенные от оз. Алаколь узкими песчано-галечными косами, наблюдаются севернее от рекреационной зоны с. Кабанбай. Узкая (не более 7 – 10 м) полоска песчано-галечной отмели прослеживается по побережью озера и к западу от с. Кабанбай.

Озерно-болотная плоская, слабонаклонная расчлененная равнина (современная Q₄). Занимает восточное побережье залива Киши Алаколь в виде полосы шириной от 1 до 5 км и длиной до 29 км вдоль побережья озера (рисунок А.13). Абсолютные высоты в пределах равнины варьируют от 351 до 377 м, равнина немного наклонена к озеру. Среди плоской равнины много обширных болот (урочище Узынбулак), встречаются небольшие озерки. На расстоянии 1-3 км от озера, на равнине отчетливо прослеживается тектонический уступ (по Киши-Алакольскому разлому) обращенный на запад. У юго-восточной оконечности озера его высота достигает 10-12 м, севернее она уменьшается до 2-3 м [32, 112].

Наличие террас со сглаженными уступами, свидетельствуют о более высоком уровне озера в прошлом. Береговая часть сложена суглинками и супесями, на верхней террасе обнажаются коренные породы. Террасы в пределах этого берега выражены четко, особенно высокая. Первая, современная, аккумулятивная терраса (галечниковый пляж) возвышается над уровнем озера на 0,4-1,0 м, вторая – на 4-5 м, третья – на 9-10 м, четвертая – на 21-23 м. Выработаны они в рыхлых четвертичных отложениях. У их подножия выходят родники с хорошей пресной водой. На уступах террас найдена хорошо окатанная галька [56, с. 105]. На участках разгрузки постоянных и временных водотоков, питаемые подземными водами, в пределах уреза воды озера, озерно-болотная равнина переходит в озерно-

болотную затопленную, которая отделяется от озера узкой полосой пляжа (прибрежной отмелью) шириной 10-20 м, образованный вдольбереговым переносом.

В исследованиях 1961-1964 гг. ученые описывают ширину равнины от 2 до 6 км [56, с. 103; 112, с. 64], тогда как в проведенном исследовании, нами определена ширина равнины от 1 до 5,5 км. Современное повышение уровня озера, также видоизменило положение береговой линии в сторону суши, восточного побережья залива Киши Алаколь от 0,5 до 1 км. Равнина используется как сенокосные и пастбищные угодья, проезд на автотранспорте к берегу затруднен повсеместного выклинивания грунтовых вод.

Озерно-аллювиальная, пологоволнистая с солончаками, расчлененная равнина (10-20 м) (верхнечетвертичная – современная – Q_{3-4}) (рисунок А.14). Пологоволнистая равнина сформировалась на конусах выноса и на озерных и речных террасах. На юге равнина переходит в озерно-болотный рельеф побережья Киши Алаколь, на севере естественной границей является грядово-бугристая эоловая равнина ур. Косайшагыл. Южная часть равнины занимает плоские конусы выноса р. Тасты, северная часть включает урочище Карабулак с многочисленными небольшими постоянными и временными водотоками. Общая протяженность вдоль берега составляет 24 км из них около 13 км между озерно-аллювиальной равниной и озером протягивается узкой полосой озерно-болотная равнина. Солончаки получили распространение севернее плоского конуса выноса р. Тасты. Наибольшая площадь солончаков в рельефе встречается в урочище Карабулак.

Равнина полого наклонена в сторону озера. Рельеф равнины пологоволнистый за счет расчленения ее неглубокими староречьями и руслами временных водотоков. По материалам Твердислова Ю.А. и др. часть конуса выноса р. Тасты формировалась в прибрежной части озера и равнины, образовавшаяся на ней равнина, имеет смешанное – озерно-аллювиальное происхождение. Берег севернее рекреационной зоны с. Кабанбай сложен в основном озерными глинистыми отложениями. Они свидетельствуют о том, что в древнее время здесь был залив, а современная пологонаклонная равнина образована процессами озерной аккумуляции [56, с. 103-104; 112, с. 64-65].

По материалам Казанской Е.А. (1961-1964) к югу от основания Жарбулакской косы (коса брала свое начало от одноименного мыса, в настоящий момент затоплена) вдоль берега располагался невысокий суглинистый уступ, относительная высота которого постепенно повышалась в южном направлении, в пределах рекреационной зоны с. Кабанбай она достигала 5 м [56, с. 105]. Согласно проведенным полевым исследованиям (2013-2019), берег аккумулятивно-абразионный, озерно-аллювиальная равнина, в этом же районе обрывается к берегу 1-2 метровым суглинистым уступом (рисунок А.15) [5, р. 200-203]. Это говорит о том, что рельеф побережья претерпевает значительные изменения в результате современного

повышения уровня озера. На данном участке процессы переработки берегов являются доминирующими в рельефообразовании побережья. Клиф сложен суглинками и тонкопесчаные глинами, встречаются погребенные почвы, свидетельствующие о том, что берег неоднократно испытывал наступание водоема, пляж сложен галечником, включающий различные цвета кремнистых сланцев, песчаников, красных и розовых гранитов, гранодиоритов, эффузивных порфиров, большое распространение имеют светло-серые известковые конкреции.

Равнина хорошо увлажнена, что благоприятствует произрастанию здесь влаголюбивой растительности (чия, лоха, камыша, тростника). Выходы этих источников начинаются в урочище Карабулак и продолжаются до верховий залива Киши Алаколь. Подземные воды здесь имеют берегообразующее значение. Они формируют небольшие русла, рассекающие береговую зону, вместе с процессами увлажнения и заболачивания побережья. Почти непрерывной полосой вдоль берега тянется узкий галечниковый пляж. Высота его до 1 м, средняя ширина – до 7-10 м, преобладающие размеры галек 1 – 5 см. Местами пляжная полоса отсутствует, вода омывает основание уступа [111, с. 134-135].

Побережье озерно-аллювиальной равнины севернее плоской дельты р. Тасты до Жарбулакского мыса, активно осваивается под нужды туризма и рекреации. Происходит техногенное видоизменение рельефа побережья (отсыпка грунтом солончаков, болот и русел водотоков, для строительства, расположенных в пределах береговой линии). Побережье в настоящее время подвергается интенсивным абразионным процессам со стороны озера и испытывает антропогенные нагрузки со стороны суши. Проведенные берегоукрепительные работы нарушили ход естественных процессов в прибрежной зоне, вызвавшее дисбаланс эрозионных и аккумулятивных процессов на берегу.

Озерно-аллювиальная плоская, слабонаклонная, слаборасчлененная равнина на периферических частях пролювиального конуса выноса (верхнечетвертичная Q_3) (рисунок А.16). Равнина образована в северо-восточной периферийной части пролювиального конуса выноса р. Жаманты. Равнина расположена на юго-западном побережье в районе затопленной старой железной дороги. Протяженность вдоль берега составляет 14 км, однако равнина не имеет прямого выхода к озеру, ее ограничивает тонкая полоса озерно-болотной затопленной равнины. Равнина плоская, ровная, слабо наклонена в сторону озера. По мнению К.В. Курдюкова (1950 г.), суглинки слагающие эту равнину, представляют собой отложения подводных частей конусов выноса рек, отлагавшиеся в древнем оз. Алаколь [113, 114].

Со стороны гор равнину опоясывает конус выноса р. Жаманты. Граница между конусом выноса и равниной хорошо просматривается на местности. Ярко выражена морфометрия рельефа, переход уклона шлейфа конуса выноса в плоскость, смена растительного покрова. В связи с современным повышением уровня озера периферийная часть равнины

затоплена, на ней формируются водно-болотные угодья озерно-болотной затопленной равнины. По границе двух равнин полосой проходят заросли густого, высокого тростника (рисунок А.16). На юго-востоке равнина ограничивается в районе основания косы Белькудык. Коса вдаётся в озера на расстояние около 4 км. На северо-западе равнина переходит в озерно-аллювиальную равнину возраста Q_{3-4} .

Аллювиально-дельтовая, плоская, пологонаклонная равнина низких речных террас, пойм и дельт (современная Q_4) [109, с. 37-38; 112 с. 54]. Данный тип равнин приурочен к главным водным артериям озера – р. Жаманты (юго-западное побережье), р. Ырғайты (южное побережье), рекам Эмель и Катынсу (юго-восточное побережье). Ранее до начала современного подъема уровня озера, участок аллювиально-дельтовой равнины р. Уржар также входил в область исследования (северное побережье), однако в настоящее время ее место заняла озерно-болотная затопленная равнина. Расположение области питания твердого стока рек, характеризует отложения, которыми сложена равнина, включая русла, поймы, террасы и дельты этих рек. Незначительные расстояния между склонами гор Жетысу Алатау и озерной системой (от 14 км до 22 км) обозначили развитие валунно-галечникового состава аллювиально-дельтовых равнин юго-западного и южное побережья. Северо-восточное побережье озера Алаколь отдалено от предгорий и гор Тарбагатай на расстояние от 70 до 180 км. Значительная протяженность и уклоны позволяют рекам донести мелкие обломочные породы в твердом стоке до базиса эрозии и сформировать дельтовые наносы в пределах береговой зоны озер [85, с. 72-73]

Современный равнинный рельеф низких речных террас и пойм юго-западного побережья характеризуется наличием террас, которые имеют ровную поверхность, слабо наклоненную к реке и обычно состоят из более мелких речных террас, представляющих следы движения меандр реки. Высота их до 5-7 м. Они широко распространены по рекам Жаманты и Ырғайты (рисунок А.17) [113, с. 37]. Дельта р. Жаманты развита на аккумулятивном берегу, которая образовала лопастную форму в побережье озера. При впадении река блуждает среди галечниковых наносов, разбиваясь на несколько рукавов, между которыми прослеживаются неглубокие (до 0,5 м) сухие русла. Выступ дельты в настоящее время частично затоплен и представляет низкое заболоченное пространство. Со стороны озера дельта блокирована галечниковой косой Кызылагаш [56, с. 98]. Долины рек Жаманты и Ырғайты глубоко врезаются в собственные конусы выноса и образуют каньоны вблизи выхода из гор. Глубина вреза р. Жаманты достигает – 50 м, р. Ырғайты – 60 м. Здесь же наблюдается до трех надпойменных террас, ниже сливающихся с периферическими частями конусов выноса. В устьях долин рек Жаманты и Ырғайты образуются молодые конусы выноса [32 с. 84]. Современная дельта р. Ырғайты разбита на 3 рукава, образующие обширные шлейфы, заканчивающиеся на речной долине р. Жаманоткел, которая соединяет оз. Жаланашколь с Алаколем. Реку

питают ключи, выходящие у основания конусов выноса рек Ыргайты, Кусак Теректы и др. [56, с. 106-108]

Плоская поверхность пойм прослеживается в виде нешироких (редко более 1 – 1,5 км) полос по долинам рек Эмель, Катынсу и Шагантогай (рисунок А.18). В пойме р. Эмель отмечаются многочисленные старицы и протоки. Русло изобилует песчаными отмелями и косами. Поймы рек врезаны в поверхность равнин на глубину от 1 – 2 до 5 – 6 м [112, с. 57]. На северо-восточном побережье, как отдельные участки, выделяются дельты рек Катынсу и Эмель на которых образована плоская полого наклонная равнина. В настоящее время они подверглись затоплению. По данным Казанской Е.А. (1961-1964) р. Катынсу имеет дельту лопастного типа, р. Эмель – клювовидную. Сложены они, как и русла эти рек, мелкозернистым песком, огромные массы которого выносятся ими в озеро [56, с. 108].

Аллювиально-пролювиальная, плоская, пологонаклонная, слаборасчлененная равнина (верхнечетвертичного периода Q_3) на конусах выноса рек Тентек, Жаманты и Ыргайты (юго-западное побережье) [113, с. 37-38]. Равнины образованы аллювиально-пролювиальным выносом осадочных горных пород, о чем свидетельствует ярко выраженная форма конусов выносов, образованные главными реками юго-западного побережья. В область исследуемой территории заходит только юго-восточная оконечность конус выноса р. Тентек, ограничивающаяся со стороны озера периферийной частью конуса выноса р. Тентек. Река Тентек у выхода из гор образовала прекрасно выраженный слабо выпуклый конус выноса. По поверхности конуса выноса сформировалась почти плоская пологонаклонная равнина. Она имеет очень пологий (около 1 градуса) уклон и к периферии конуса постепенно выполаживается до плоской. Равнина не глубоко прорезана радиальной сетью сухих русел, хорошо выраженных лишь у подножия гор. Только современная долина р. Тентек врезана в равнину сравнительно глубоко (у выхода из гор – почти на 30 м) [109, с. 37].

Аллювиально-пролювиальная равнина на конусах выноса рек Жаманты и Ыргайты занимает обширные территории юго-западного Приалаколья (рисунок А.19). Всего протяженность равнины вдоль побережья составляет 56 км. Из них 23 км равнины относятся к конусу выноса р. Жаманты и 33 км к конусу выноса р. Ыргайты. Равнина с правого и левого борта р. Жаманты участками обрывается к озеру крутым береговым уступом (рисунок А.19 а, в). В составе пород уступа преобладают гравий, галечник сцементированные суглинками. От основания дельты р. Жаманты в северо-западном направлении абразионно-аккумулятивный берег с высотой берегового уступа до 6,3 м, протягивается на 10 км до основания косы Белькудык. Характерная особенность побережья наличие трех аккумулятивных кос (Большой Балгын, Малый Балгын и Безымянный), берущие начало из одноименных мысов. Протяженность косы Большой Балгын около 500 м, косы Малый Балгын около 2 км (рисунок Б.55 б). Средняя ширина косы в пределах 20 – 30 м, большие значения ширины характерны для основания уступа и меньшие

значения для оконечностей уступа. Превышение над урезом воды около 1 м, сложены косы разнотерным песком галькой, галечником, редко валунами. Вдоль всего эрозионного берега полосой расположен пляж, средняя ширина которого 8-10 м. В настоящее время побережье активно вовлечено в туристско-рекреационное обустройство. В средней части конуса выноса, равнина используется под поливное земледелие.

Юго-восточнее от правого борта дельты р. Жаманты берет свое начало другой абразионно-аккумулятивный береговой участок равнины. На данном участке равнины расположено с. Коктума. Общая протяженность равнины вдоль побережья с отвесным береговым уступом более 11 км, протягивается в юго-восточном направлении до начала урочища Онагаш (северо-западная оконечность конуса выноса р. Ыргайты). Высота уступа доходит до 9-9,5 м, сложен уступ суглинками и супесями. Вдоль берегового уступа полосой протягивается гравийно-галечниковый пляж, шириной 4-8 м (рисунок А.20). Для данных эрозионных берегов характерны лопастные формы.

Поверхность аллювиально-пролювиальной равнины на конусах выноса р. Ыргайты полого наклонена к северо-востоку. Равнина слабо расчленена руслами временных водотоков, слабо наклонена, в периферии практически плоская поверхность. Равнина сложена разнотерным обломочным материалом, на поверхности видны галька, галечник, песок (рисунок А.21). Современное русло р. Ыргайты врезаны на глубину до 30 м у вершины конуса выноса, к периферии конуса глубина вреза убывает до 3-5 м. В конусы вложены современные речные террасы, что и определяет возраст конусов как верхнечетвертичный [113, с. 37]. Побережье конуса выноса р. Ыргайты характеризуется низменным аккумулятивным берегом по его периферии. По периметру со стороны озера аллювиально-пролювиальную равнину окаймляет озерно-болотная равнина, расширяющаяся в юго-восточном направлении до левого борта современной дельты р. Ыргайты. Межконусное пространство рек Жаманты и Ыргайты аллювиально-пролювиальная равнина опоясывает делювиально-пролювиальную равнину со стороны Жетысу Алатау по периферийной части.

Аллювиально-пролювиальная, плоская полого наклонная равнина на пролювиально-аллювиальных шлейфах и конусах выноса, восточное побережье (верхнечетвертичная Q₃) (рисунок А.22). В область исследования заходит юго-западная оконечность аллювиально-пролювиальной равнины, занимающая междуречное пространство рек на юге – Долаты, на севере Тасты. Со стороны озера равнину опоясывает озерно-болотная равнина. Общая протяженность участка составляет 15 км, шириною 1-1,5 км. Пологонаклонная плоская или слабо всхолмленная равнина на верхнечетвертичных пролювиально-аллювиальных шлейфах и конусах выноса. Имеет пологий наклон (1-2 градуса, вблизи гор до 3-5 градусов) в сторону озера. Абсолютные высоты в ее пределах изменяются от 400 до 600 м. Равнина слабо расчленена руслами временных потоков [112, с. 49].

Аллювиально-озерная, плоская, полого наклонная равнина на конусах выноса и континентальных дельтах, северо-восточное побережье (верхнечетвертичная, современная Q₃₋₄) (рисунок А.23). Равнина развита на конусах выноса и континентальных дельтах рек Уржар и Катынсу. Равнина плоская полого наклонная в сторону озера. В пределах всей равнины прослеживаются слабо выраженные сухие русла – следы блуждания сформировавших ее рек. Общая протяженность равнины вдоль берега около 31 км, со стороны озера равнину опоясывает широкой полосой озерно-болотная затопленная равнина. На востоке равнина граничит с грядово-бугристым эоловым рельефом. Современные долины рек Уржар и Катынсу врезаны в поверхность континентальных дельт на глубину 3-4 м. Юго-западная часть равнины заболочена. Не исключено, что периферические части континентальных дельт рек Уржар и Катынсу сформировались в условиях озерного бассейна и являются по существу озерными равнинами. Континентальные дельты вложены в среднечетвертичные озерные пески, на которых впоследствии сформировалась грядово-ячеистая равнина, отделяющаяся от пологонаклонной дельтовой равнины хорошо выраженным в рельефе уступом высотой до 20 м [109, с. 37-38]

Делювиально-пролювиальная, полого наклонная равнина на пролювиальных конусах выноса, юго-западное побережье (верхнечетвертичная, современная Q₃₋₄). Верхнечетвертичная пологонаклонная равнина на центральных частях пролювиальных конусов выноса развита севернее Жетысуского разлома (рисунок А.24). Конусы образованы выносами рек Тентек, Жаманты, Семерлы, Бокайсай и Ырғайты. Они имеют полого наклоненную к северо-востоку поверхность, изрезанную мелкими (до 2 м) овражками. Сложены галечниками. В них врезаны на глубину до 30 м современные русла рек Жаманты и Ырғайты, к периферии конусов глубина вреза убывает до 3-5 м. В конусы вложены современные речные террасы, что и определяет возраст конусов как верхнечетвертичный [113, с. 37].

Современный равнинный рельеф на пролювиальных конусах выноса. Рельеф этого типа – наклонная поверхность современных конусов выноса, которые четко выделяются вдоль Главного Жетысуского разлома. Поверхность их выпукла, наклонена к северо-востоку и изрезана небольшими оврагами. В конусы выноса врезаны русла современных рек на глубину до 6 м, а в периферической части их в настоящее время происходит разнос обломочного материала [113, с. 37].

Грядовая, бугристая и ячеистая равнина на закрепленных песках, северо-восточное побережье (верхнечетвертичная Q₃). Бугристо-грядово-ячеистая равнина на закрепленных песках наблюдается в пределах песчаных массивов Бармаккум и Коссайшагыл (рисунок А.25). Массив Коссайшагыл расположен между урочищем Карабулак на юге, с севера массив ограничивается поймой р. Эмель с левого борта. Массив Коссайшагыл субмеридионально разделяется на 2 типа эоловых равнин: грядово-бугрист-

ячеистую и грядово-бугристо-ячеисто-чуротную. В область исследования заходит только юго-восточная оконечность массива Бармаккум, ограниченная на юге правым бортом р. Эмель, со стороны озера заливом Жолдыозек. В песках преобладает ячеистый рельеф с отдельными буграми и замкнутыми котловинами между ними. Реже прослеживаются песчаные гряды, плохо выраженные, с симметричными склонами. Протяженность их обычно ограничивается несколькими сотнями метров. Преобладающее простирание гряд широтное или субширотное. Высота гряд и бугров обычно не более 2–3, реже 4–5 м. Пески закреплены травянистой и кустарниковой растительностью. Только в массиве Коссайшагыл имеются небольшие участки развеваемых песков. Самый крупный из этих участков не превышает в длину 1,5 км. Все участки развеваемых песков имеют вид бугров, вытянутых в широтном направлении, с пологим западным и крутым восточным склоном. Бугры осложнены поперечными (меридиональными) грядами, имеющими также асимметричное строение. Над окружающим массивом закрепленных песков бугры поднимаются на 12–15 м [109, с. 38].

Грядовая, бугристая и ячеистая, чуротная на закрепленных песках массива Коссайшагыл (верхнечетвертичная и современная Q₃₋₄) (рисунок А.26) [115]. Преобладающими формами рельефа являются грядово-ячеистые пески высотой 2–3 м, реже 4–5 м. Абсолютные отметки колеблются в пределах 355–397 м. Современное повышение уровня оз. Алаколь привела к затоплению межгрядовых понижений, массива Коссайшагыл со стороны озера.

Протяженность равнины вдоль побережья составляет около 20 км, в сторону суши равнина распространяется до 3–4 км. Субширотное расположение гряд формирует абразионно-аккумулятивный берег. Межгрядовые понижения затоплены, при западном ветре, волны распространяются вглубь по межгрядовым понижениям, часто они заняты тростником. Вершины гряд и бугров в результате переработки образуют абразионный берег с относительной высотой до 3 м. Вдоль абразионных участков берега расположен неширокий песчаный аккумулятивный пляж, отсутствующий в местах межгрядовых понижений. Эоловые отложения представлены тонкозернистыми пылеватыми песками, закрепленными на большей части травянистой растительностью [109, с. 38–39].

Антропогенно-трансформированные формы рельефа. Поливное земледелие развито на аллювиально-пролювиальных наклонных равнинах, на поверхности конусов выноса рек Жаманты и Тентек (рисунок А.27). Естественная поверхность равнины видоизмененна каналами и бороздками, составляющие систему ирригации. Доступ поверхностной поливной воды, морфометрия и морфология конуса, а также климатические условия позволяют возделывать различные сельско-хозяйственные культуры (соя, сахарная свекла, зерновые, масляничные и овощные культуры). Для поверхности равнины характерны плоскостной смыв, линейная эрозия, на

периферии встречаются солончаки, а в местах сброса и скопления дренажных вод наблюдаются подтопление и заболачивание.

Туристско-рекреационное освоение развито на аллювильно-пролювиальных равнинах юго-западного (рекреационная зона с. Акши и с. Коктума) и восточного побережья (рекреационная зона с. Кабанбай) (рисунок А.28). Общая протяженность побережья, используемая в рекреации и туризме, составляет 21 км. Происходит значительное видоизменение побережья под воздействием туристско-рекреационного освоения. Распространены искусственное выполаживание берегового абразионного уступа, бессистемные берегозащитные сооружения, капитальное строительство.

Результатом данного исследования является Геоморфологическая карта побережья оз. Алаколь масштаба 200 тыс. (рисунок А.29)

2.1.4 Гидрометеорологические

Расположение Алакольской впадины в Центральной Азии обуславливает ярковыраженность резко-континентальности и засушливости климата [31, с. 26-27;116,117]. Наиболее типичны здесь холодная и малоснежная зима в сочетании с жарким и сухим летом [31, с. 37]. В водосборном бассейне Алаколь-Сасыккольской системы озер находится 5 метеостанций Казгидромет: Ушарал (386 m a.s.l.), Уржар (489 m a.s.l.), Бахты (441 m a.s.l.), Алаколь (360 m a.s.l.), Жаланашколь (377 m a.s.l.). Однако метеоданные в свободном доступе по основным параметрам имеются только у станции Ушарал, по остальным станциям были использованы в анализе имеющиеся архивные данные. Данные метеостанций Уржар и Бахты в исследовании не использовались, из-за их отдаленного расположения от территории исследования.

Одним из главных факторов в берегообразовании оз. Алаколь является гидрологический режим, отражающий физико-географические особенности и климатические условия бассейна Алаколь-Сасыккольской системы озер. Проведен обзор предыдущих исследований, анализ водного баланса на основе расчетных данных за последние 45 лет [118], анализ динамики уровня озера по данным стационарного наблюдения за 79 лет [118], динамики площади водного зеркала озера за 28 летний период по данным космоснимков Landsat.

Режим питания озера поверхностный (таяние ледников и снежного покрова, дождевое) и подземный. В озеро впадают реки Уржар, Емель, Катынсу, Жаманоткел, Ыргайты и Жаманты [31, с. 52-53]. Исследования уровня оз. Алаколь с 1884 по 1960 гг. выявили синхронный характер колебания уровня воды в озере, повторяющий вековой и многолетний ход климатообразующих факторов. Многолетние колебания уровня оз. Алаколь могут достигать 5-6 м, которые влияют на изменение площади водного зеркала и положения береговой линии озера [31, с. 129].

Анализ водного баланса на основе расчетных данных за последние 45 лет показывает увеличение тренда поступления и расхода воды в озере [118]. Наблюдается общий сдвиг в сторону увеличения объема воды в озере. Линии тренда прихода и расхода вод в водном балансе построен методом полиномиальной аппроксимации со степенью 4 (рисунок А.30).

Динамика колебания притока воды происходит в пределах от 2 до 4,5 км³. Данный период охватывает две фазы снижения и две фазы увеличения объема притока воды, начиная с 2008 г по настоящее время, наблюдается фаза увеличения.

Анализ динамики уровня оз. Алаколь по данным стационарного наблюдения выявил общий продолжающийся тренд повышения уровня воды с 1950 г по настоящий период (рисунок А.31). Динамика колебания уровня озера включает временной интервал понижения значений с 1973 по 1987 гг. с 349,76 м до 347,21 м над уровнем моря. Начиная с 2006 г. был зафиксирован среднегодовой уровень озера на отметке выше 350 м. По данным полевых исследований в 2018 г. с использованием высокоточного GPS приемника Trimble R8-4 GNSS в первой декаде июня уровень воды был на отметке 351.0994 метров над уровнем моря.

Анализ данных уровня воды и среднегодовых осадков за указанный период показывает взаимосвязь объема воды в озере с климатическими условиями [70, р. 48-51]. Например, понижению уровня озера на более 2 метра способствовали уменьшение осадков за аналогичный период с 1973 по 1987 (рисунок А.32).

По данным метеостанций Ушарал и Алаколь среднегодовая температура выросла на 1°C в период с 1970 по 2018 гг. По данным Kapitsa et al. температура за летние месяцы (JJA) повышалась со скоростью 0.18 °C за каждое десятилетие в период с 1960 по 2014 гг. по данным региональных станций Жетысу Алатау [119]. Положительный долгосрочный тренд температуры способствует увеличению стока воды [120]. Среднегодовые осадки увеличились с 270 до 320 мм. Среднегодовые значения получены путем отношения суммы среднемесячных измеренных данных на 12 месяцев. Разница значений определена с использованием линейного тренда в Эксел (рисунок А.33).

Последствия регионального изменения климата (повышение температуры), усиливают скорость таяния высокогорных ледников Жетысу Алатау, северная часть которого входит в водосборный бассейн оз. Алаколь [119, р. 1851-1852,120]. Темпы сокращения ледников в Балхаш-Алакольском бассейне следует за изменениями накоплений (баланса зимней массы) и летней температуры [120, р. 389-390]. Сток рек Северного Тянь-Шаня остается стабильным, и даже имеет положительные тенденции во всех показателях стока с 1950, на водосборных бассейнах с более высокой ледниковостью более 10% [120, р. 1147-1148]. Таким образом, поступление воды превышает его расходную часть, что ведет к увеличению уровня воды в оз. Алаколь. Также существует мнение о воздействии тектонических

движений на положение уровня воды в оз. Алаколь [122]. Для изучения данного фактора необходимы дополнительные, более детальные исследования.

Полученные значения позволяют провести взаимосвязь между гидрометеорологическими условиями и продолжающимся увеличением уровня воды оз. Алаколь. Наблюдаемое повышение уровня озера подтверждает восприимчивость бессточных континентальных озер Центральной Азии к изменению климата.

2.1.4.1 Ветро-волновые

Особенности ветрового режима связаны с орографией района, которая определяет сложную трансформацию ветров, обусловленных общими синоптическими процессами и возникновением местных ветров. Здесь наблюдаются ураганные местные ветры – юго-восточные «Ебы» и северо-западные «Сайкан» [30, с. 408-409].

Для анализа ветро-волновых условий оз. Алаколь были использованы многолетние данные по метеорологическим станциям (МС) Алаколь, Ушарал и Жаланашколь (рисунок А.34) [123].

В отношении ветрового режима метеостанция Ушарал репрезентативна для северо-западной половины оз. Алаколь, однако метеостанция неполностью отражает ветры, дующие по продольной оси озера (ветер «Ебы»). Метеостанция Алаколь репрезентативна для юго-западного побережья, метеостанция Жаланашколь для юго-восточной части и частично осевой зоны оз. Алаколь [31, с. 153].

МС Жаланашколь. В МС Жаланашколь, расположенная у северного выхода Жетысуских ворот, в силу орорафических условий преобладают ветры юго-восточных и южных, северо-западных и северных направлений (таблица А.2, рисунок А.34, рисунок А.35). В весенне-летний период (март-август) доминируют ветры северного, северо-западного, южного и юго-восточного направления, а среднемесячные скорости не превышают 2,5-8,5 м/с. В осенне-зимний период (сентябрь-февраль) отмечается резкое усиление ветра (среднемесячные скорости до 13 м/с) с явным преобладанием юго-восточного и южного направлений. Средняя повторяемость штилей изменяется от 8-9% в январе-феврале до 25-27% в июне-августе [30, с. 411].

Среднегодовое число дней со штормом может достигать до 139 дней. Максимумы отмечается в зимний период (декабре-феврале), повторяемость сильных ветров >15 м/с может достигать до 51% от общего числа наблюдений (таблица А.3). Максимальные скорости ветра в весенне, осенне, зимний период достигают – 60 м/с с порывами ветра до 70 м/с (при ветрах «Ебы»), в летние месяцы до 20 м/с (рисунок А.36) [30, с. 410].

МС Ушарал. Метеостанция Ушарал, была организована в 1933 г., она расположена в пустынно-равнинном районе Алакольской впадины в 35 км западнее от оз. Алаколь. В течение года преобладают ветры западных, восточных и юго-западных направлений (таблица А.4, рисунок А.34).

Среднегодовая повторяемость штилей достигает до 31% с максимумами в декабре-январе (39-40%) и в июле-августе (27-28%). Среднегодовая скорость ветра 2,7 м/с, максимальная достигает 33 м/с. (рисунок А.37) [30, с. 410-412].

В отличие от южной станции Жаланашколь, здесь отсутствует зимнее усиление скорости ветра и прослеживается два сравнительно слабо выраженных максимума весенний (апрель-май) и несколько меньший осенний (сентябрь-ноябрь). Среднегодовое число со штормом по данным наблюдений составляет от 32 до 58 дней, максимальное в январе и марте – 3,8-4,3. В течение года повторяемость сильных ветров >15 м/с незначительная, максимум составляет 1,5% от общего числа наблюдений (таблица А.5) [30, с. 410-412].

Максимальные скорости ветра наблюдаются при юго-восточных ветрах в осенне-зимние месяцы с максимумом в апреле (33 м/с), порыв ветра может достигать до 40 м/с (рисунок А.38).

МС Алаколь. Метеостанция Алаколь расположена на стыке горного и пустынного равнинного района Алакольской впадины, в 150 м от уреза воды оз. Алаколь. Наблюдения проводятся с 1965 г. Среднегодовая повторяемость штилей составляет 17% с максимумами в феврале-марте (22-25%) (таблица А.6). По многолетним наблюдениям, на метеостанции Алаколь среднегодовая скорость ветра составляет 2,8 м/с, наибольшая среднемесячная 3,7 м/с, а максимальная 36 м/с с порывом до 46 м/с (рисунок А.39) [30, с. 411-412].

В весенне-летний период доминируют ветры западного, восточного и северо-западного направления, а среднемесячные скорости не превышают 2,5-3,4 м/с. В осенне-зимний период преобладают ветры западного, юго-восточного и юго-западного направлений (рисунок А.34).

Число дней с сильным штормом в году составляет около 50-60 дней, максимальное в апреле и ноябре. В МС Алаколь как в МС Ушарал отсутствует зимнее усиление скорости ветра и наблюдается сравнительно слабо выраженные максимумы – весенний (март-апрель) и несколько высший осенний (октябрь-ноябрь) соответственно 3,9-5,0% и 5,3-7,1% от общего числа наблюдений (таблица А.7).

Максимальные скорости ветра в течение года колеблется от 30 до 36 м/с с порывом ветра 46 м/с, а в летние месяцы уменьшается до 20 м/с, порыв ветра составляет 26 м/с (рисунок А.40).

При выходе из Жетысуских ворот «Ебы» имея юго-восточное направление над северо-западной половины оз. Алаколь под влиянием местных восточных ветров (Бахтинский ветер) или общего барического поля часто приобретает восточное направление. Струя «Ебы» смещается в одних случаях к западу, в других – к востоку. При западном положении струи он захватывает юго-западное, западное и северо-западное побережье оз. Алаколь и с. Ушарал, при восточном – о. Аралтобе, юго-восточное, восточное и северо-восточное побережье оз. Алаколь [30, с. 409]. «Ебы»

достигает ураганной силы в осенне-зимний период (50-70 м/сек), его продолжительность достигает 3-7 суток, но обычно не превышает 2 суток.

Ветер «Сайкан» дует с хребта Сайкан с северо-запада на юго-восток в сторону озера Ебынур, когда над оз. Алаколь устанавливается высокое давление [124]. Ураганной силы (скорость ветра достигает 50-60 м/с) он достигает преимущественно в осенне-зимний период, но штормовая активность его распределена более равномерно в течение года. Продолжительность «Сайкана» не превышает 1-2 суток.

Волновые процессы. Специфический характер ветрового режима обуславливает весьма пеструю картину волнения на акватории оз. Алаколь. Ветровое волнение возникает при воздействии ветра на водную поверхность озера. При этом энергия ветра передается поверхностному слою воды, частицы которого начинают совершать колебательные движения. Благодаря вязкости воды движение постепенно распространяется и на более глубокие слои, причём все частицы воды, находящиеся в одной фазе кругового движения, располагаются рядами, перпендикулярно направлению ветра [125].

Волновые процессы оказывают механическое воздействие на абразионные и аккумулятивные берега. На абразионных берегах под воздействием волнового удара происходит абразия отвесного берегового уступа. На юго-западном, восточном и северном абразионном побережье озера, волны ориентированы по направлению господствующих ветров – юго-восточных, северо-западных и восточных румбов. Образованные ветровые волны обрушиваются на береговой уступ под прямым углом или близким к этому значению. Ветровое волнение на оз. Алаколь можно охарактеризовать результатами Алакольской экспедиции Алма-Атинской гидрометеорологической обсерватории (1961-1964 гг.). Наблюдения проводились с помощью максимально-минимальных волномерных вех [30, с. 447]. Сведения о повторяемости высот волн за 1961-1964 гг. у с. Коктума приведены в таблица А.8.

Наиболее частое и сильное волнение наблюдается в октябре-декабре, соответственно разрушение береговой зоны от ветрового волнения следует ожидать в это время. Число дней волнения с высотой 0,75-1,25 м в ноябре-декабре достигает 30-50% и более. Продолжительность непрерывного волнения высотой 1,25-2,5 м в отдельные годы может достигать 4-5 суток. Повторяемость волн по направлениям (%) за 1961-1964 гг. на оз. Алаколь у с. Коктума даны в таблица А.9. Направления волн в основном соответствуют направлениям господствующих ветров в юго-западной части оз. Алаколь [31, с. 161].

Работа волны у берега и сила ее удара зависят от высоты волны, т.е. массы волны и скорости, с которой она ударяется о берег. Высота волны зависит от силы ветра, продолжительности его действия, длины разгона и глубины водоема в прибрежной зоне [31, с. 160].

Известно, что в прибойной зоне опрокинутые (разрушенные) волны в виде прибойного буруна накатываются на берег пенистыми языками, образуя заплеск. При этом поступательная скорость и высота вскатывания волны зависят от скорости ее распространения, высоты, уклона берегового откоса и его шероховатости. У отмелых берегов зона прибоя имеет различную ширину в зависимости от того, на каком расстоянии от берега волны начинают разрушаться. У приглубых берегов зона прибоя очень узкая или вовсе отсутствует, так как при относительно большой глубине дна, волны разрушаются вблизи берега и, таким образом, зона заплеска соприкасается с зоной разрушения волны (рисунок А.41) [126]. Волны подходят к берегу с неистраченной на трение энергией, поэтому вызывают интенсивную абразию суши и снос обломочного материала к основанию подводного склона.

На абразионных берегах юго-западного, восточного и северо-западного побережья ширина пляжа колеблется от менее 1 метра до нескольких метров или вовсе отсутствует (рисунок А.42). Урез воды при волнении доходит до основания берегового уступа, усиливая процессы переработки берегов.

На волновой режим восточного побережья (рекреационная зона с. Кабанбай) воздействует юго-восточный ветер «Ебы» и северо-западный «Сайкан» (местные жители называют «Кубыла»). Средняя ширина галечникового пляжа до 7 м. По данным Е. А. Казанской, при низком уровне воды в озере (1939 г.) уступ восточного берега не подвергался абразии, так как ширина надводной аккумулятивной террасы достигала 150-200 м и волны не докатывались до основания уступа. Вдоль берега образовался глинистый бенч. По данным полевых исследований (2018-2019 гг.) глубины нарастают довольно интенсивно, в 100 м от уреза воды составляют 4-5 м, т.е. является приглубым берегом [31, с.104-105]. На данный момент береговая зона ключевого участка, а также инфраструктурные рекреационные объекты интенсивно подвергаются ветро-волновому воздействию.

Восточное, северо-восточное побережье (ур. Косайшагыл) по ветро-волновым условиям аналогичен восточному побережью. Ветровое волнение образуется от воздействия ветра западного румба. Торцевая часть гряд, грядово-бугристых песков Косайшагыл представляет собой абразионный уступ у уреза воды. Понижения гряд и аккумулятивные берега затоплены водой в зоне смыкания с урезом воды озера. Также они подвержены затоплению в результате сгонно-нагонных явлений, обусловленные ветровым режимом. Подводный береговой склон является пологим, глубина увеличивается постепенно.

Северо-восточное побережье представляет аккумулятивные дельтовые равнины рек Уржар, Катынсу и Емель. Низменный аккумулятивный берег окружен мощным тростниковым поясом со стороны озера. Тростниковая растительность, выполняет волногасящую функцию, предохраняет от размыва берег и способствует отложению наносов. Данный участок подвержен сгонно-нагонным явлениям по ветрам южных румбов.

На северо-западном побережье, юго-западнее с. Камыскала волнами, образованными ветрами южных направлений, формируется лопастное расчленение берегового уступа. Профиль подводного берегового склона отличается пологостью (на расстоянии 450 м от уреза воды глубины достигают 6 м), однако здесь происходит интенсивная переработка берегов под воздействием ветровых волн, юго-восточных румбов (рисунок А.43).

Следует отметить воздействие ветро-волновых условий оз. Алаколь на проявление сгонно-нагонных процессов. Наиболее значительных размеров ветровые сгоны и нагоны уровня воды наблюдаются при ветрах юго-восточных и северо-западных направлений, в северо-восточной и северо-западной мелководной части оз. Алаколь, а также на противоположной оконечности водоема – в заливе Киши Алаколь. При юго-восточных и южных ветрах происходит сгон в юго-восточной оконечности и нагон в северо-западной части озера. При ветрах западных направлений значительный нагон наблюдается в устье р. Уржар, а также на других участках северо-восточного и восточного побережья, при восточных и юго-восточных ветрах – на северо-западном побережье [111, с. 134-135].

В северо-западной части озера значительные нагоны (сгоны) в соответствии с ветровым режимом чаще наблюдаются в весенний (IV-V) и осенний (X-XI) периоды, в юго-восточной части – в октябре-декабре [31, с. 139].

1961-1964 гг. Алакольской экспедицией Алма-Атинской гидрометеорологической обсерватории были зарегистрированы наибольшие высоты волн в открытой области оз. Алаколь. Результаты наблюдения показали, что даже в мелководной и суженной северо-восточной части оз. Алаколь высота волны достигает 2-3 м. Если в сравнительно мелководном и полуизолированном островами районе западнее от о. Кишкене Аралтобе при ветре порядка 16-24 м/сек зафиксирована высота волны 3,4 м, то в районе ожидаемой максимальной высоты волны при ветрах «Ебы» скоростью 40 м/сек и более она может достигать, по-видимому, порядка 5-6 м [30, с.449-450].

Р. Д. Курдином был выполнен расчет высоты волны для всей акватории оз. Алаколь при ветрах различного направления и скорости. Расчет производился по методике А. П. Браславского, где им используются профили по направлению ветра, пересекающие все озеро через 2 км и батиметрическая карта оз. Алаколь [31, с.161-167]. Расчетные картограммы волнения позволяют оценить возможную высоту волны при различных направлениях и скоростях ветра для любой части озера. Результаты расчета для основных направлений ветра при скорости 20, 30 и 40 м/сек приведены в рисунок А. 44, А.45, А.46 [30, с. 451-453].

По расчету Р. Д. Курдина, при ветрах 10 м/сек высота волны в открытой области не превышала 0,75-1,25 м, исключая центральную и юго-западную части озера, где при южных («Ебы») и северных ветрах она достигала 1,4-1,6 м. При скорости ветра 15 м/сек высота волны уже

достигали 2-2,5 м. При ветрах северо-западного направления («Сайкан») со скоростью 20 м/с, высота волны может достигать до 3,5 м, а при скорости ветра 30 м/с до 5,5 м. Область наибольшей высоты волны находится на юго-западной части оз. Алаколь (рисунок А.44). При ветрах восточного направления при скорости ветра 20 м/с высота волны может достигать до 3 м, а при скорости ветра 30 м/с до 5 м. Область наибольшей высоты волны размещается у западного побережья (рисунок А.45). При ветрах юго-восточного направления («Ебы») со скоростью ветра 20 м/с высота волны достигает до 3,5 м, при скорости ветра 30 м/с до 5,5 м, при скорости ветра 40 м/с до 7 м. Область наибольшей высоты волны находится западнее от о. Улькен Аралтобе (рисунок А.46) [30, с. 451-453].

Расчетные картограммы волнения позволили получить численные параметры волнений на всем зеркале водоема, включая прибрежные зоны. На данном этапе по предварительному анализу расчетные величины высоты волнения с учетом направления и скорости ветра, отображают действительную ситуацию на местности. О чем свидетельствуют полевые наблюдения: волноприбойные ниши на береговых уступах, увлажненность основания уступа, наличие останцов уступа и др. При юго-восточных, восточных и западных ветрах абразионные берега оз. Алаколь подвержены наиболее высоким значениям высот ветрового волнения.

При проведении полевых исследований на ключевых участках (№ 3 – рекреационная зона с. Кабанбай, 4 – ур. Косайшагыл, 6 – с. Камыскала) была использована профессиональная метеостанция Davis Vantage Vue, которой зафиксированы основные показатели ветра (рисунок А.47, таблица А.10).

На ключевых участках № 3 (рисунок А.48) и № 4 (рисунок А.49) были проведены визуальные наблюдения за ветро-волновыми процессами, которые позволили определить параметры элементов волны, включая длину, высоту волны и величину высоты прибоя (от 1 до 2 м) (таблица А.11).

В камеральных условиях были уточнены результаты визуального наблюдения с применением эмпирической формулы В. Г. Андреенова [127]:

$$h = 0,0208W^{5/4}D^{1/3}, \quad \lambda = 0,304WD^{1/2}$$

где, высота (h) и длина (λ) волны зависят от скорости ветра (W) и длины разгона (D).

На ключевом участке № 3 (14.06.18 г.) были проведены: визуальные наблюдения за элементами ветровых волн, определение средней скорости ветра на промежутке его усиления – 2,2 м/с. Аналогичные работы были проведены на ключевом участке № 4 (16.06.18 г.), где средняя скорость ветра – 1,5 м/с. Показатель длины разгона волн, учитывая западное направление волн, было принято 40 км для с. Кабанбай и 43 км. для ур. Косайшагыл. Расчетные данные элементов волн по формуле В. Г. Андреенова и результаты визуального наблюдения приведены в таблица А.12. Высота волны по визуальному наблюдению и по расчетным данным сравнительно совпадают, но длина волн несколько отличаются.

Озеро Алаколь уникально среди внутренних водоемов в отношении высоты и повторяемости ветрового волнения. Эта особенность озера объясняется сочетанием необычно сильных ветров (до 50-60 м/сек) с глубоководностью водоема (средняя глубина 22 м), а также его вытянутостью вдоль оси наиболее сильных ветров (длина разгона волны при ураганных юго-восточных ветрах составляет около 100 км). Оценка ветроволновых условий и его влияния на переработку берега оз. Алаколь должны основываться на гидрометеорологических данных, полученных в стационарных условиях [31, с. 151-171]. В осенне-весенние периоды ветроволновые условия являются ведущими факторами в переработке берегов оз. Алаколь. При высокой скорости ветра увеличивается высота волны и сила удара волны о берег, имеющий разрушительный характер. При этом элементы волн, возникающих под воздействием ветра, зависят как от скорости ветра, так и от продолжительности его действия, рельефа дна подводного берегового склона и длины разгона волны.

Следует отметить, что сильные ветры, дующие над водоемом, помимо ветровых волнений, воздействуют также на ветровые навалы льда в прибрежной зоне.

Волнение представляет собой процесс колебания озерной поверхности. Оно классифицируется по различным признакам. По визуальному наблюдению были выделены 2 типа волнения: заплеск, когда на невысокий уступ вода накатывается по поверхности пляжа и ударно-волновой тип волнения, который вследствие подмывает основание уступа и далее идет процесс обрушения легко размываемых горных пород. Заплеск соленой воды на поверхность уступа образует процесс инфильтрации, что в результате приводит к разрушению легко размываемых пород (это пляжи рекреационной зоны Кабанбай и Акши). Ударно-волновой тип волнения, т.е. его движущая сила зависит от интенсивности и скорости ветра до 50-60 м/сек [128] с порывами ветра до 70 м/с (при ветрах «Ебы») [31, с. 154], который происходит в весенне, осенне и зимние периоды. Данный тип волнения происходит в основном на восточном (рекреационная зона Кабанбай), юго-западном (рекреационная зона Акши и с. Коктума) побережье и на северо-западном побережье озера (юго-восточнее с. Камыскала).

По форме волн различают регулярное и нерегулярное волнение. Регулярность волн зависит от режима ветров, т.е. скорости, направления и повторяемости ветров. В осенне-весенние периоды ветроволновые процессы являются ведущими факторами в переработке берегов оз. Алаколь. Наиболее частое и сильное волнение наблюдается в октябре-декабре, соответственно активизации экзогенных процессов или разрушение береговой зоны от ветрового волнения следует ожидать в осенне – зимние периоды (таблица А.8). Число дней волнения с высотой 0,75-1,25 м в ноябре-декабре достигает 30-50% и более. Продолжительность непрерывного волнения высотой 1,25-2,5 м в отдельные годы может достигать 4-5 суток [31, с. 159-162].

По степени развития различают развивающееся и затухающее волнение, которое зависит от строения подводного берегового склона. Как показывает анализ исследования морфометрии рельефа подводного берегового склона на прибрежных территориях рекреационных зон с. Кабанбай, с. Акши, с. Коктума, юго-западнее с. Камыскала, преобладает приглубый берег имея относительно большую глубину дна. У приглубых берегов зона прибоя очень узкая или вовсе отсутствует, в результате этого ветровые волны разрушаются об основание берегового уступа. Волны подходят к берегу с нерастроченной на трение энергией, поэтому вызывают интенсивную абразию суши и снос обломочного материала к основанию подводного склона. На территориях северо-западных и северо-восточных берегов, берега отмелье, соответственно волны имеют затухающий характер. У отмельных берегов зона прибоя имеет различную ширину в зависимости от того, на каком расстоянии от берега волны начинают разрушаться.

Анализируя выше сказанное при юго-восточных, восточных и западных ветрах абразионные берега оз. Алаколь подвержены наиболее высоким значениям высот ветрового волнения (с. Кабанбай, с. Коктума, с. Акши). В осенне-весенние и зимние периоды ветро-волновые условия являются ведущими факторами в переработке берегов оз. Алаколь. Сочетание сильных ветров (Ебы, Сайкан, 50-60 м/сек) [31, с.154-155] с глубоководностью водоема и сформировавшимися морфометрическими условиями подводного берегового склона, обосновывают значительную роль ветро-волновых условий в развитие берегов озера.

2.1.4.2 Ледовые явления

Использование и анализ архивных (2002-2015гг.) гидрометеорологических данных («Ледовые явления на участке поста Акши», «Толщина льда и высота снега на льду») РГП «Казгидромет» [129], а также весенние полевые исследования позволили проанализировать воздействие ледовых явлений на рельефообразование в прибрежной зоне оз. Алаколь.

Ледовые массы способны оказывать прямое механическое, термическое и физикохимическое воздействие на берега. Среди них наиболее опасна экзарация – деструктивное механическое воздействие льдов на грунт, связанное с динамикой ледяного покрова под влиянием гидрометеорологических факторов и рельефа береговой зоны [130].

По характеру ледового режима озеро Алаколь относится к типу с устойчивым ледоставом зимой. В зависимости от ветровых условий и облачности в разные годы ледяные образования могут изменяться в широких пределах (таблица А.13).

По данным многолетних материалов за период 2002 - 2015 годы толщина льда составляет от 3 до 65 см (рисунок А.50). Начало разрушения льда начинаются в конце февраля (2002) и в начале апреля (2010-2011) и заканчиваются во II декаде марта – в середине апреля, очищение ото льда

начинается с конца марта до III декады апреля (2015). В 2010-2011 годах разрушения льда пришло на начало апреля, продолжительность разрушения составила всего 5 суток до 5 апреля. Иногда весенний ледостав заканчивается в середине марта, например, в 2006 году начало разрушения льда пришло на первые числа марта, завершился ледостав 11 марта (таблица А.13).

Весенний ледостав оз. Алаколь принимает активное участие в переработке берегов. Прямое и косвенное воздействие на рельефную среду прибрежной полосы суши происходит путем столкновения с береговым уступом, процессом ледового тороса, аккумуляции и таяния глыб ледяного покрова и ледяных полей под действием ветра и температуры.

Разрушительное воздействие ледовых торосов на берег зависит от скорости (40-52 м/с) и направления ветра [128, с. 184]. На аккумулятивных берегах ледяные глыбы выбрасываются на берег, выталкивая песчано-галечниковый материал с глинистой составляющей на десятки метров (рисунок А.51), создавая огромные ледовые торосы (рисунок А.52). Толщина ледяных глыб может достигать десятки сантиметров (толщина льда в 2013 году - 80 см, высота снега у берега в 2011 году 65 см) [129, с. 324-325]. Ледовая масса врезается в основание берегового клифа под действием мощности и скорости ветра, далее лед, тая, создает нишу, которая приводит к разрушению берегового клифа, а также инфраструктуры, расположенной на нем. Также в результате подпора ледовой массы со стороны озера, происходит ледовый торос. Происходит физическое воздействие на прибрежный подводный береговой склон, на поверхности лед перемещает и таранит грунты на расстояние до 100 м от уреза воды. В результате осевшие на склонах ледяные поля ломают древостой, кустарники и инфраструктурные объекты. Направление, скорость ветров, а также период весеннего ледостава говорит о сильнейшем воздействии ледовых масс на береговые процессы абразионных берегов восточного берега рекреационная зона с. Кабанбай.

По словам местных жителей, на восточном побережье происходит физическое разрушение берегового уступа под действием ледяных глыб и ледяных полей, влекомых ветром. Происходит врез в основание берегового уступа – угла ледяного поля и выхода его на расстоянии 10-15 метров от кромки берегового уступа на поверхности, далее лед, тая, приводит к разрушению берегового клифа и инфраструктуры расположенной на нем.

Полевые исследования в период весеннего ледостава показали подверженность восточного побережья (рекреационная зона с. Кабанбай) негативному воздействию от ледово-торосных явлений. Весенние натурные наблюдения показали интенсивное физическое воздействие на косу, расположенную севернее инфраструктурно развитой части восточного рекреационного берега. На поверхности косы находились множественные поваленные ледовые бугры, следы ледового тороса, перемещенный осадочный материал. Ледяные навалы высотой до 3м, активно тают. Некоторые ледяные навалы покрыты толстым слоем гравия-галечника и разнозернистого песка. Ледяной торос проходил местами до 100м в сторону

суши от уреза воды, сгребая поверхностный грунт и образовывая ниши, которые сейчас заполнены водой. Данное явление на этой территории является одним из главных факторов рельефообразования берегов, которое зависит от силы и направления ветра и волны. Данный процесс представляет серьезную угрозу прибрежной инфраструктуре береговых рекреационных зон. На данном примере можно предположить, что в зоне воздействия находятся территории от уреза воды – 100м, которые могут подвергнуться разрушению. Однако на юго-западном денудационном побережье (рекреационные зона Акши и Коктума) весенние ледовые процессы протекают без какого либо существенного физического воздействия на берег.

2.2 Антропогенные факторы

Анализ землепользования исследуемой территории позволил выделить основные виды имеющейся антропогенной деятельности: *селитебный, промышленный, транспортный, сельскохозяйственный, рекреационный, берегозащитный*

2.2.1 Селитебные

В пределах исследуемой территории расположены 7 населенных пунктов: из которых Коктума, Акши, Алаколь, Камыскала расположены в надводной части береговой зоны озера, в пределах прилегающих равнин расположены села Жайпак, Кайнар и Кабанбай. Техногенное воздействие в формирование береговой зоны наблюдается в селах Камыскала и Акши.

В советский период, по словам старожил с использованием драги были созданы искусственные косы, вдоль береговой линии для защиты от эрозии берегового клифа с. Акши. На сегодняшний день косы продолжают эффективно выполнять функции защиты от переработки берегов. Однако береговой уступ, не входящий в зону опоясывания кос, подвержен интенсивной ветро-волновой переработке. Лопастные формы берегов указывают на усиление процессов эрозии уступа на северо-западных оконечностях кос, при этом тело косы защищает от эрозии тыльную часть береговой линии в пределах своей длины. Самая большая коса в длину достигает 1,8 км, она защищает от ветро-волновой эрозии основную часть первоначальной территории с. Акши. В настоящий момент рекреационная территория села расширена вдоль береговой зоны в северном и южном направлении. Таким образом, искусственные косы с. Акши сохраняют берег с тыльной стороны, но при этом усиливают переработку берегов в пределах своей оконечности, образуя лопастные берега рисунок А.53.

Современное повышение уровня воды в озере способствует затоплению и размыву дорожного полотна по направлению в села Камыскала и Уялы. В связи с чем жителей села перевезли в другое место, а само село Уялы, было упразднено. Возможно в будущем, аналогичные меры будут применены к с. Камыскала, территория и транспортная инфраструктура которого подвержена значительной уязвимости от последствий роста уровня

воды в озере. В настоящий период суша под населенным пунктом представляет собой остров. Для защиты жилых строений от подтопления разрушения вдоль восточной границы села построена насыпная грунтовая дамба. По основанию восточного склона дамбы расположен урез воды. Местами дамба подмывается, также вдоль насыпи со стороны суши прослеживается фильтрация воды со стороны водоема (рисунок А.54).

2.2.2 Промышленно-транспортные

Добыча полезных инертных ископаемых (бесконтрольное изъятие песка и гальки с пляжной и дельтовой зоны для строительных нужд). Аллювиально-пролювиальные равнины, поймы и дельты рек юго-западного и восточного побережья, представляют собой огромные залежи валунно-галечникового строительного материала. Выделяются несколько промышленных карьера по добыче сырья в пойме рек Тентек, Жаманты и Жарбулак расположенные в пределах области исследования (рисунок А.55). Сырье из этих карьеров используется в инфраструктурном освоении побережья озера и строительства дорог.

Вблизи населенных пунктов и рекреационных зон происходит стихийная добыча полезных ископаемых с пляжа и дельтовой зоны рек (рисунок А.56). Оказывающая прямое негативное воздействие на трансформацию естественного рельефа береговой зоны. Антропогенные формы рельефа способствуют активизации рельефообразующих процессов, что в свою очередь усиливают процессы деструкции берегов. Бесконтрольное изъятие валунно-галечника и песка ведет к сокращению ширины пляжей и эрозии аккумулятивных берегов. В будущем объемы несанкционированного изъятия песчано-гравийного материала в прибрежной зоне оз. Алаколь будут увеличиваться из-за активного освоения новых прибрежных территорий под строительство рекреационных объектов и инфраструктуры. Без принятия превентивных мер местными административными органами, данная техногенная деятельность может привести к дефициту поступающих наносов, что в свою очередь способствует усилению динамики эрозии берегов озера и их отступания, в том числе в рекреационных зонах с.Акши, с. Коктума и с. Кабанбай. Добыча песка, гравия и гальки, усиливает абразию и размыв пляжей и ведет к отступанию берегов.

В пределах территории исследования расположен транспортный коридор нового Шелкового пути «Западный Китай – Западная Европа», состоящая из автомобильной дороги (Ушарал - Достык) и железной дороги (Актогай - Достык). Также транспортную инфраструктуру представляет нефтепровод Атасу – Алашанькоу, проложенный вдоль автомобильной и железной дороги. В настоящее время проводится капитальный ремонт автомобильной дороги, где учитываются морфометрические условия предгорной равнины, ее эрозионная сеть от временных и постоянных водотоков. Ранее старое основание дорог перекрывала естественные

эрозионные бороздки водотоки, тем самым образовывая подпруживание и заболачивание. Стоит отметить перенос железной дороги, в следствие затопления участка между разъездами Жайпак и Акши, в результате подъема уровня воды в озере.

2.2.3 Сельскохозяйственные

Сельское хозяйство исследуемой территории по своей специализации района имеет растениеводческое направление с развитым животноводством [131]. В Алакольском районе имеются 897,6 тыс. га земли сельскохозяйственного назначения из них пашни занимают, 85,4 тыс.га. земли, 248 га – многолетние насаждение, 52,2 тыс. га – сенокос и 728,0 тыс. га – пастбищных земель [132]. В Уржарском районе земли сельскохозяйственного назначения составляют 2 129,6 тыс. га, из них пастбищные земли -1 683,7 тыс. га, посевная площадь - 181,1 тыс. га [133].

Орошаемые пашни представлены веером орошения на древней дельте р. Жаманты, также в исследуемую территорию входит юго-восточная оконечность веера орошения р. Тентек (рисунок А.57а). Естественной границей орошаемого массива р. Тентек является аккумулятивно-озерная равнина (рисунок А.57б). Юго-западнее аккумулятивно-озерная равнина протягивается до основания косы Белкудык окаймляя практически половину площади фронтальной части древней дельты р. Жаманты. Далее границей между берегом озера и ирригационными землями является железная дорога Актогай-Достык до левого борта поймы р. Жаманты. Самый крайний участок сельскохозяйственных пашен расположен между правым бортом поймы и дельты р. Жаманты и с. Коктума. На данном участке прямого влияния сельскохозяйственных орошаемых угодий на рельефообразование береговой зоны не наблюдается. Однако стоит отметить о повышенном воздействии на аккумулятивную озерную равнину от с/х деятельности в виде спусков излишек поливной воды по мелким речным руслам. В следствие усиливается расчленение равнины, твердый сток которого выносятся в береговую зону, где формируется аккумулятивный берег.

Южнее с. Коктума прорывы воды из тогана (арыка) к береговому уступу привели к образованию прибрежной овражной эрозии. Легкоразмываемые горные породы подстилающего рельефа, позволяют очень динамично прогрессировать овражной эрозии. Учитывая относительную высоту 9 – 10 м между пляжем и поверхностью уступа, распространение получили корытообразные формы овражной эрозии (рисунок А.58). Устранение прорыва воды из арыка приостановила динамику оврагообразования в сторону суши, однако не защищает от продолжения эрозии. При атмосферных осадках осадочные породы (супеси, суглинки и пески) будут постоянно выноситься в котловину озера, расширяя площадь территории подвергающихся овражной эрозии. Происходящий вынос горной породы образовал микродельту на берегу.

На аллювиально-пролювиальных, озерно-аккумулятивных равнинах

повсеместно развито животноводство, данные территории отличаются богатой кормовой базой и обширными сенокосными угодьями (рисунок А.59). Заготовка кормов производится в основном на озерно-аккумулятивных равнинах западного, восточного и северо-восточного побережья озера. Развитие животноводства на побережье целиком зависит от природных факторов берегообразования, на современном этапе происходит уменьшение сенокосных и пастбищных угодий за счет увеличения площади зеркала озера [103, р. 8]. Однако на эоловой равнине северо-восточного побережья (ур. Косайшагыл) пастбищное животноводство (пере выпас скота, вытаптывание в местах загонов и зимовок), спровоцировали развитие дефляционных процессов (рисунок А.60). Отсутствие растительности на песчаных массивах делают ее уязвимой к различным экзогенным процессам, в том числе переработке берегов.

2.2.4 Рекреационные

Развитие рекреации предполагает активное использование берегов озера Алаколь, причем рекреационное освоение вносит свою роль в переформирование первоначального рельефа и активизацию процессов берегообразования. Усиление негативных аспектов рекреационной деятельности в первую очередь отражается на состоянии пляжей, береговых клифов и прибрежных территорий озера.

Отсутствие пляжей и сложные условия выхода к воде на абразионных берегах заставляют организаторов отдыха создавать искусственное доступное рекреационно-геоморфологическое пространство в виде выполаживания береговых уступов, строительства различной необходимой инфраструктуры (санаторий, дома отдыха и др.), набережных, стихийных сооружений, к сожалению, не всегда учитывающие факторы рельефообразования надводной части береговой зоны.

Основными туристскими местами отдыха на юго-западном побережье являются рекреационная зона с. Акши и с. Коктума, на восточном берегу рекреационная зона с. Кабанбай. Наиболее привлекательные объекты побережья озера Алаколь – аккумулятивные формы – косы и пляжи, находящиеся в пределах поселений, характеризуются высоким клифом и небольшой шириной галечных пляжей [134]. Обустройство береговой зоны в основном производится без учета локальных геолого-геоморфологических, ветро-волновых, ледово-термических и др. природных условий, а также вдоль берегового переноса и аккумуляции [135]. Так в результате полевых исследований были зафиксированы разрушения фронтальной части променада от ветро-волнового воздействия. Деформация и разрушение отделочных материалов променада в местах разгрузки мелких водотоков, при строительстве не были учтены русла мелких водотоков, которые имеют зону разгрузки в озере Алаколь, а также система ливневых стоков. Продолжение обустройства побережья без изучения и учета рельефообразования берегов, будут приводить к постоянному материальному ущербу [134, с. 4-5].

3 СОВРЕМЕННЫЕ ПРОЦЕССЫ РЕЛЬЕФООБРАЗОВАНИЯ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ЭКОЛОГО-ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ БЕРЕГОВОЙ ЗОНЫ ОЗЕРА АЛАКОЛЬ

3.1 Морфометрические условия бассейна Алаколь-Сасыккольской системы озер на основе геоинформационного моделирования

Для анализа морфометрии современного рельефа Приалаколья, значительная часть которого, сформирована благодаря деятельности рек, образованы хорошо читаемые конусы выноса, нами было решено проанализировать морфометрию всего водосборного бассейна. Изучаемая территория расположена в пределах водосборного бассейна системы озер Алаколь, Сасыкколь, Кошкарколь и Жаланашколь, которая с севера ограничена хребтом Тарбагатай, с юга хр. Жетысу Алатау, на востоке и юго-востоке хребтом Барлык. Между хребтом Барлык и Жетысу Алатау расположен узкий межгорный прогиб – Джунгарские ворота [136]. Здесь граница Алаколь-Сасыккольской аккумулятивной равнины проведена условно юго-восточнее озера Жаланаш на абсолютных отметках 463 метра в водораздельной части данного прогиба. На севере граница равнины проведена условно в закраине озерно-аллювиальных отложений, которая западнее плавно переходит в Балкашскую впадину [6, с. 15-16]. Анализ космических снимков [102] и материалов Национального Атласа Республики Казахстан [137] позволил провести границу по аккумулятивной эоловой равнине юго-восточнее станции Актогай и севернее гор Аргынаты на абсолютных отметках в 361 метр (рисунок Б.18). В системе оценки и использования ресурсов поверхностных вод изучаемый бессточный бассейн является частью Иле-Балхашского водохозяйственного бассейна [137, с. 74-75].

Применение новейших дистанционных методов изучения и уточнения морфометрических параметров бассейнов озер, как целостной геосистемы, и возможность их мониторинга на основе анализа данных дистанционного зондирования и геоинформационного моделирования дает новые возможности решения задач гидрологии, геоморфологии и в целом рационального природопользования. Актуально их применение для труднодоступных горных частей водосборных бассейнов, но особенно важно их применение для трансграничных бассейнов, ввиду сложности их натурных обследований. Изучение и детализация морфометрических параметров бассейна является важным условием для получения уточненной оценки и картографирования водных ресурсов, оценки риска развития опасных водообусловленных процессов и их возможного воздействия на селитебные и хозяйственные объекты. На основе анализа цифровой модели рельефа и космических снимков позволили определить особенности морфометрического строения бассейна Алаколь-Сасыккольской системы озер, влияющие на водно-ресурсный потенциал территории [85, с. 64].

Изученность рельефообразующих, геоморфологических процессов описываемого бассейна озер, современными методами исследования остаются не достаточными. Не построены карты традиционно используемых картометрических и морфометрических характеристик рельефа (уклоны, экспозиции, достоверная эрозионная сеть, интенсивность горизонтального и вертикального расчленения, и др.). Вместе с тем, данная территория представляет особый научный интерес благодаря уникальности геологического строения, географического расположения и развитием на ней опасных эндогенных и экзогенных процессов. В качестве последних стоит упомянуть амплитуду высот, генетическое и морфологическое разнообразие рельефа Алакольской впадины [85, с. 72].

Абсолютные высоты исследуемой территории находятся в пределах от 350 (береговая линия оз. Алаколь) – 4000 (водораздел Жетысу Алатау) метров над уровнем моря (рисунок Б.19) [102]. Водосборный бассейн по ширине в его средней части составляет 310 км, по длине 210 км. Используя инструменты модуля 3d Analyst, программного обеспечения ArcGIS 10.1, произвели обработку и вычисление входной цифровой модели рельефа для создания трехмерной визуализации рельефа.

Область формирования поверхностных водотоков в северной и северо-восточной частях Алаколь-Сасыккольского бассейна занимает практически две трети от общей площади водосбора. На ней берут начало следующие реки: Эмель, Катынсу, Уржар, Тасты, Кусак и др. Водосборная территория южной и юго-восточной частей бассейна охватывает одну третью часть всей площади бассейна, но, при этом, суммарный сток формирующихся здесь постоянных и временных водотоков составляет основную долю водного баланса всех расположенных здесь озер [6, с. 16].

Водосборный бассейн по ширине в его средней части достигает 310 км, по длине составляет 210 км. Используя инструменты модуля 3D Analyst программного обеспечения ArcGIS 10.1 проведена обработка и вычисление входной ЦМР для создания трехмерной визуализации рельефа.

Главные реки описываемой территории – Тентек, Жаманты, Ыргайты, Оленды и Токты, их истоки расположены на северном склоне восточной части Жетысу Алатау. Для наглядного представления и анализа морфометрических особенностей исследуемых территорий, влияющих на гидрологические и геоморфологические параметры, построены продольные и поперечные профили основных рек бассейна и созданы их 3D модели (рисунок Б.20, рисунок Б.21, рисунок Б.22). Используя инструменты Spatial Analyst проведена обработка ЦМР, получена уточненная информация о характеристиках рельефа, в том числе по уклонам и экспозиции склонов (рисунок Б.23). Уклоны и экспозиция поверхности - фундаментальные геоморфологические параметры, которые закономерно связаны с экзогенными процессами и явлениями. Статистический анализ соотношения площадей с различными уклонами поверхности над урезом концевых озер свидетельствует о том, что практически для двух третей бассейна характерны

уклоны менее 10 градусов, что в целом свидетельствует здесь о небольших скоростях протекания процессов формирования рельефа аккумулятивных равнин (таблица Б.6). Территории с высокой активностью денудационных процессов, при уклонах свыше 30 градусов, занимают менее 3% бассейна [85, с. 68].

Уклон представляет скорость изменения высоты для каждой ячейки цифровой модели рельефа (ЦМР). Уклон вычисляется в градусах, значения которого находятся в диапазоне от 0 до 90 [138]. Исследуемая территория, по полученным данным, характеризуется наличием слабонаклонных, пологих и покатых склонов и равнин, крутых и обрывистых склонов. Так можно выделить районы с интенсивным поверхностным стоком, меньшей инфильтрацией, с высокой интенсивностью прохождения эрозии и выноса обломочного материала в концевые водоемы, которым характерны большие уклоны [139]. По рисунку Б.23 а эти территории четко оконтуриваются темно розовым цветом и им соответствуют южные склоны гор Тарбагатай, Барлык и Майли, горы Жетысу Алатау. Уменьшаются величины уклона к областям аккумуляции, где описываемые процессы происходят с меньшей интенсивностью. Уклоны идентифицируются как направление вниз по склону от каждой ячейки к ее соседям.

Экспозицию склона также можно рассмотреть, как направление наклона с точки зрения расположения к стороне света или направление по компасу. Измеряется по часовой стрелке в градусах от 0 градусов на севере до 360 градусов. Значение каждой ячейки в экспозиции набора данных указывает на направление наклона (рисунок Б.23 б). Экспозиция склона характеризует его ориентацию по отношению к потоку солнечных лучей, а значит и к количеству радиации, получаемой земной поверхностью. Благодаря этому экспозиция склона существенно влияет на локальный климат (микроклимат) участка [139]. На южном склоне гор Тарбагатай преобладают южные, юго-западные и юго-восточные экспозиции склонов, общий рисунок носит мозаичный характер. Данным экспозициям склонов свойственно проявление аридности. Основная интенсивность проявления эрозии привязана к сезонным процессам таяния снега. Аналогично под это описание подходят западные экспозиции склонов гор Барлык.

Отчетливо прослеживается экспозиция склонов в горах Барлык, особенно по конусам выноса, направленным к восточному и северо-восточному побережью озер Алаколь и Жаланашколь. Широкое площадное распространение сходных экспозиций склонов свидетельствует о наличии активных в новейшее время тектонических нарушений. В долинах рек, формирующихся в горах Жетысу Алатау, наблюдаются различные экспозиции склонов. Только в районах аккумуляции обломочного материала (конусах выноса), граничащих с озерами Алакольской аккумулятивной равнины, преобладают северные, восточные, северо-западные направления экспозиций склонов [85, с. 69].

Параметры эрозионной сети зависят от заданной детализации или генерализации. Если позволяет выходной масштаб, эрозионная сеть может быть максимально разветвлена и отразит практически все мелкие тальвеги временных водотоков и логов. Поэтому, учитывая фиксированный средний выходной масштаб, было произведено последовательное уменьшение количества водотоков низших порядков с 11 до 8 (рисунок Б.24 а) [140]. На этой стадии удалость по выраженному перегибу рельефа уточнить границы Алакольской низменной аккумулятивной равнины (рисунок Б.24 б). Она проходит между наклонным шлейфом пролювиальных конусов выноса и пологосклонными аллювиальными и озерными равнинами. Такая закономерность объясняется затуханием процессов линейной эрозии и доминированием в ней абразионных, абразионно-аккумулятивных и аккумулятивных экзогенных процессов [140].

Исходными данными для создания густоты речной сети мы использовали полученные постоянные водотоки и квадратные ячейки со стороной в 10 км, соотношением км/км². Ячейка в 10 км² разборчиво раскрывает информацию в формате А4. Так, при необходимости ячейки могут быть построены в соответствии с необходимым выходным масштабом, т.е. уменьшением площадей до 4 км². В качестве показателя горизонтального расчленения, использовалась длина тальвегов постоянной речной сети. По рисунку Б.25 показатели густоты речной сети расположились неравномерно. Участки с длинами водотоков от 30 до 50 км находящихся в 100 квадратных километрах наиболее густо расположены в бассейнах рек Эмель, менее густо Катынсу и Уржар. Территории бассейнов рек Ыргайты, Жаманты и Тентек отличаются не высокой густотой расчленения от 2 до 20 км на 100 км² [85, с. 67-68].

Результатом исследований явился комплекс детальных морфометрических показателей по бассейну Алаколь-Сасыккольской системы озер, полученный на основе анализа цифровой модели рельефа и данных дистанционного зондирования. Использование новейших геоинформационных технологий позволило изучить трансграничный бассейн, как единую целостную систему. При этом существенным вкладом явилось уточнение морфометрических показателей, полученных по китайской части бассейна, а также по труднодоступным горным территориям казахстанской части. Полученные результаты по речным и озерным системам Алаколь-Сасыккольского бассейна являются важной составляющей при изучении водного режима рек и озер бассейна, для уточнения гидрологических расчетов расходов, оценки характера половодья и скорости течения рек, для уточнения изменения уровня озер и других взаимосвязанных с морфометрией гидрологических характеристик бассейна [85, с. 72].

Морфометрические условия Алаколь-Сасыккольского бассейна оказывают влияние на водно-ресурсный потенциал в виде формирования речных бассейнов отдельных горных систем. Где ведущую роль играют

перепад абсолютных высот, площадь водосбора, экспозиция и уклон склонов, развитие эрозионной сети, литологический состав подстилающей поверхности. Также данные характеристики оказывают значительное влияние на развитие опасных экзогенных процессов, происходящих в береговой зоне оз. Алаколь. Этому способствуют следующие закономерности. Реки с истоком в горах Тарбагатай имеют самую длинную протяженность и значительный водосборный бассейн.

Развитие берега обусловлено абразионно-аккумулятивными процессами. Активизация абразии, вызванная комплексом факторов, в том числе и морфометрическими условиями, привела к формированию крутого 9 – метрового клифа, который угрожает селитебным территориям и объектам инфраструктуры [81, с. 325].

3.2 Современные процессы и экологические аспекты рельефообразования береговой зоны озера Алаколь

Рельефообразующие процессы (геоморфологические) – это процессы, под воздействием которых формируется и развивается рельеф земной поверхности. Различают эндогенные и экзогенные процессы [141]. Современное повышение уровня озера Алаколь привело к активизации экзогенных рельефообразующих процессов на побережье: затопление и заболачивание берегов, переработке абразионных берегов (абразии и аккумуляции берегов), сгонно-нагонные явления, сорообразование и засоление в прибрежных понижениях суши, дефляции, плоскостному смыву, речной боковой и русловой эрозии, также усилилась техногенная деятельность [142,143]. Перечисленные экзогенные процессы неблагоприятно воздействуют на экологию окружающей среды. Возникают экологические опасности в процессе взаимодействия рельефообразующих процессов с природо-хозяйственными системами.

Результаты анализа морфометрии позволили выявить закономерность рельефообразования различной конфигурации береговой зоны в зависимости от типов берегов. Аккумулятивный рельеф озерных, аллювиально-озерных и эоловых равнин западного и северо-западного, северного и северо-восточного побережья оз. Алаколь подвержены обширным процессам затопления, сорообразования, а также сгонно-нагонным явлениям. Данные берега отличаются значительной динамикой изменения положения береговой линии. Берега являются низменными, повышение абсолютных высот от уреза воды происходит постепенно и простирается на большие расстояния [111, с. 130].

Побережья денудационного рельефа (делювиально-пролювиальная равнина) и аккумулятивного рельефа (озерно-аллювиальная и аллювиально-пролювиальная равнина на конусах выноса) подвержены процессам интенсивной переработки берегов, проявляющаяся в виде абразии и аккумуляции в динамичной части береговой зоны. Процессы провоцируют неблагоприятные экологические и чрезвычайные ситуации, а иногда

представляют угрозу безопасности и жизнедеятельности. Данные экзогенные процессы распространены на юго-западном, восточном и северном побережье оз. Алаколь. Эрозионным (абразионным) берегам характерны лопастные формы, а также наличие песчано-галечникового пляжа и кос. Образование эрозионных берегов на наклонных предгорных равнинах, объясняется значительным слоем накопления осадочных горных пород. Абсолютные высоты, которые у кромки берегового уступа находятся выше уровня уреза воды от 1 метра в периферийной части и до 9-10 метров в гребневой части древнего конуса выноса (юго-западное побережье) и 5-6 м гребневой части пологоволнистой равнины. Наличие берегового клифа делает динамику положения береговой линии менее активной, хотя уступ сложен легкоразмываемыми горными породами (суглинки, супеси, глины) [144]. При этом переработка берегов имеет наибольшее негативное воздействие на населенные пункты, рекреационные зоны, транспортную инфраструктуру и др. Результаты полевых исследований показали высокую скорость переформирования абразионного уступа (денудационного) юго-западного и восточного берегов. Выявлены участки с динамикой более 3-4 метров в год [5, р. 203].

Подтопление и заболачивание. Процессы получили развитие на аккумулятивных прибрежных равнинах северо-западного, северного и северо-восточного побережья оз. Алаколь, обусловленные морфометрическими условиями [103, р. 5]. Первые исследования и наблюдения за процессами начались с середины прошлого столетия. Одной из основных причин развития подтопления является современное повышение уровня озера на протяжении последних 70 лет (рисунок А.31). Коровин В.И. и Курдин Р.Д. связывают значительные изменения площади водного зеркала и положения береговой линии с многолетним колебанием уровня оз. Алаколь, достигающее 5-6 м. Многолетние колебания приводили к периодическому затоплению и переносу населенных пунктов, расположенных на низких и пологих северо-западных и северо-восточных берегах водоема [145]. Филонец П.П. в своих результатах исследования приводит количественные параметры изменения положения береговой линии. Вследствие подъема уровня воды береговая линия отодвинулась, по сравнению с прежней, на несколько десятков метров, и даже несколько километров (так уровень озера с 1950 по 1962, поднялся на 4 м 25 см). Северные его берега по сравнению с положением на 1939 г., отодвинулись местами на 6 км. [146]. По данным наблюдений гидропоста «Казгидромет» на оз. Алаколь уровень воды с 1962 по 2015 гг. поднялся еще на 2,7 м, превысив отметку 350 м абсолютной высоты. При этом, в период с 1974 по 1987 гг. наблюдался спад уровня на 2,67 м., который сменился подъемом уровня, продолжающийся в настоящее время. Также количественные данные приводит в своих работах Казанская Е.А (1961-1964), по сравнению с 1941 г. озеро переместилось к северу на 4-5 км. Затоплена дельта р. Уржар, озеро постепенно подошло к с. Камыскала, разрушило и смыло в нем две улицы

[56, с. 108-109]. Таким образом, на сегодняшний день общая площадь занятая процессами подтопления и заболачивания составляет 381,9 кв. км, по данным картографического анализа.

Для анализа современного этапа развития процессов подтопления и затопления в данной работе были использованы дистанционные и полевые методы исследования, подробно расписанные в подразделе 1.2.2. Расчетным индексом MNDWI, были получены береговые линии с пяти летним интервалом за 28 лет, с 1990 по 2018 год (рисунок Б.1). Определена динамика береговой линии озера Алаколь начиная с 1990 года по отношению к береговой линии 2018 года через каждые 5 лет. Существенные изменения претерпевает территория ключевого участка северо-восточного аккумулятивного берега, междуречье рек Эмель, Катынсу и Уржар. За 28 лет береговая линия озера продвинулась в сторону суши от 650 м до 1 км в отдельных местах. Это преимущественно низменные аккумулятивные берега на которых находятся в данное время обширные водно-болотные угодья (рисунок Б.1).

За исследуемый период наблюдается увеличение площади зеркала озера в общем на 120 км². Выделяются два основных пика роста с 2000 по 2010 гг. и с 2015 по 2018 гг. причем за последний пик, площадь водного зеркала увеличилась на 50 км². Общая площадь озера превысила 3000 кв. км. Длина береговой линии за 28 лет увеличилась на 95,5 км и составила 517 км. В основном изменения в длине и конфигурации береговой линии произошли в северо-восточной, северной и северо-западной части озера. Данные территории являются низменными, аккумулятивными берегами. Под воздействием местных климатических факторов и морфометрических условий, повышение уровня озера негативно воздействует на прибрежную зону. Обширному затоплению подверглись пастбищные и сенокосные угодья северо-восточного и северо-западного побережья [111, с. 132].

Подтопление и заболачивание негативно воздействует на функционирование природно-хозяйственных систем и в целом жизнедеятельности местных жителей (рисунок Б.2). Так, повышение уровня привело к подтоплению более 4 км асфальтированной дороги Ушарал-Камыскала на северном побережье. Затопление распространяется в понижениях полого волнистой равнины. Территория вдоль дороги затоплена со стороны оз. Алаколь, а также со стороны оз. Кошкарколь. На суше остались только дорожное полотно и обочина. Затопленная местность местами заросла тростником. Подтоплены грунтовые дороги юго-восточного побережья в пределах прибрежной части урочища Косайшагыл, междуречий Эмель – Катынсу – Уржар. Железобетонные столбы высоковольтных линий электропередач дали крен и находятся в аварийном состоянии в результате подтопления и заболачивания, вдоль автодороги Ушарал – с. Камыскала. Также подтопления опор ЛЭП наблюдаются в междуречье рек Эмель и Катынсу. Подвержены разрушению частные строения жилого фонда в результате затопления и заболачивания селитебных территорий с.

Камыскала. Жителей с. Уялы были переселены, а само село упразднено в результате затопления и размыва асфальтированной автодороги, связывающей с г. Ушарал (рисунок Б.2 б). На северо-восточном побережье по словам жителей с. Коктал затоплены значительные ценные сельскохозяйственные земли – сенокосные и пастбищные угодья. На их месте в настоящее время получают развитие водно-болотные угодья. В связи с, значительными сокращением сенокосов и пастбищ, жители с. Коктал вынуждены менять свой хозяйственный уклад, от ведения отгонного животноводства в пользу промыслового рыболовства [111, с. 134].

Наибольшая заболачиваемость приурочена к плоским берегам озера Алаколь. Болотно-сазовая зона протягивается вдоль восточного побережья Алаколя шириной от 1 до 5-6 км. Участки выклинивания подземных вод у основания конусов выноса временных водотоков представляют собой обширные заболоченные пространства. Заболачивание является осложняющим фактором хозяйственного освоения территории. На низменных побережьях озера (отметка уровня воды на 1.07.2018 г. – 351,09 м) местами отмечается активизация процессов затопления и заболачивания земель, что вызвано подъемом уровня воды в озере. Естественно, что участки затопления и заболачивания обычно не пригодны для строительства каких-либо сооружений или коммуникаций [32, с. 80; 147,148].

Сгонно-нагонные процессы. Морфометрические условия береговой зоны и типы берегов оз. Алаколь определяют области распространения сгонно-нагонных явлений. Низкие аккумулятивные берега со слабым уклоном и незначительным нарастанием абсолютных высот – являются местом развития и прохождения описываемых процессов. К таким берегам относятся западная, северная, северо-восточная и южная часть оз. Алаколь (рисунок Б.3). На абразионных и абразионно-аккумулятивных берегах сгонно-нагонные явления могут привести к подъему уровня, но не вызовут затопление побережья. Движущей силой процесса является непростой ветровой режим Алакольской впадины. Поэтому динамика береговой зоны также определяется сгонно-нагонными процессами и связанными с этим перемещением наносов во взвешенном состоянии [31, с. 133-139]. Анализ морфометрических характеристик ветровых условий, позволил выявить критерии опасных сгонно-нагонных ветров, представленных в таблице Б.1 [149].

По данным Коровина В.И. и Курдина Р.Д. (1960-1963) наиболее значительных размеров ветровые сгоны и нагоны уровня воды наблюдаются при ветрах юго-восточных и северо-западных направлений на оз. Алаколь, в его мелководной северо-западной части, а также на противоположной оконечности водоема – в заливе Киши Алаколь. При юго-восточных и южных ветрах происходит сгон в юго-восточной оконечности и нагон в северо-западной части озера. При ветрах западных направлений значительный нагон наблюдается в устье р. Уржар, а также на других

участках северо-восточного и восточного побережья, при восточных и юго-восточных ветрах – на северо-западном побережье [145, с. 137].

По данным наблюдений Коровина В.И. и Курдина Р.Д в 1960 – 1963 гг. на посту с. Рыбачье (с. Камыскала) наибольшая высота подъема уровня воды при нагонах достигает 0,8 – 1,0 м. Продолжительность нагонов (сгонов) колеблется от нескольких часов до нескольких суток. В северо-западной части озера значительные нагоны и сгоны в соответствии с ветровым режимом чаще наблюдаются в весенний и осенний периоды, в юго-восточной в октябре и декабре [145, с. 137].

Сорообразование и засоление. В области исследования процессы сорообразования и засоления получили распространение на аккумулятивных озерных и озерно-аллювиальных равнинах западного и восточного побережья оз. Алаколь, а также на оконечностях денудационной равнины на северо-западе. В пределах озерных равнин Алаколя создались благоприятные условия для активного развития процессов континентального засоления, обусловленного аридностью климата при глубине залегания уровня грунтовых вод менее 2-3 метров от поверхности земли. На площадях развития лессовых пород, засоленность почво-грунтов невысокая, но подчинена нарастанию суммы воднорастворимых солей вверх по разрезу. В пониженных участках аллювиально-озерной равнины высокое содержание солей приводит к образованию соров и солончаков. На западном побережье, понижения озерной равнины заняты сорами называемые в народе «Коссор». Высыхающие озера в летний период на сорах «Коссор» известны своим месторождением лечебных грязей [150]. Сорообразование и засоление на западном берегу на юге граничит с периферийной частью веера орошения р. Тентек, на севере с равнинным перешейком между озерами Алаколь и Кошкарколь. Общая площадь, занимаемая процессами, составляет 67,6 кв. км.

Сорообразование и засоление на восточном побережье оз. Алаколь занимает площадь 136,2 кв. км. На территории не имеются ссоры на высыхающих озерах значительных размеров как на западном побережье, однако здесь процессы засоления получили большое площадное распространение (рисунок Б.4). На севере площадь распространения процессов ограничивается ур. Косайшагыл, на юге граничит с озерно-болотной равниной залива Киши Алаколь. На обоих участках распространена галофитная растительность, в рельефе характерны такырные и соровые понижения на которых растительность отсутствует.

Повышенная засоленность, особенно на участках развития глинистых отложений, ухудшает их дорожно-строительные свойства, увеличивая коррозирующие способности. Засоленность почво-грунтов является одним из осложняющих факторов при хозяйственном освоении земель под орошаемое земледелие, где процессы соленакопления достаточно активизированы [142, с. 189; 143, с.77].

Абразионные процессы в периферийной части конусов выноса (переработка берегов.) Рельеф берегов, образованный абразионными процессами представлен на юго-западном, восточном и северо-западном побережье оз. Алаколь (рисунок Б.5). Переработка берегов активизировались в настоящее время на фоне новейшего поднятия уровня воды озера. Колебания уровня, достигающие в многолетнем разрезе 5-6 м, сопровождаются значительными изменениями береговой линии. Абразионно-аккумулятивные процессы в различных частях озера протекают с различной интенсивностью в зависимости от направления волновой равнодействующей, параметров волнового режима и геологического строения склонов [147, с. 164-165,148,]. Развитие абразионного берега на северо-западном побережье приурочено к периферии древнего конуса выноса р. Жаманты, представляющая собой пологонаклонную аллювиально-пролювиальную равнину, обрывающуюся у озера. Суглинистый абразионный уступ берет свое начало на севере от основания косы Белкудык. Относительные высоты уступа повышаются в южном направлении до 4 - 6 м в гребневой части, который практически протягивается вдоль всей полосы рекреационной зоны Акши. Также южнее изменяется литологический состав, где в разрезе уступа преобладают галька и галечник, цементированные суглинками и глинами.

В районе современной дельты р. Жаманты относительные высоты падают, а абразионный берег переходит в аккумулятивный. Общая протяженность описываемого абразионного берега составляет 10 км. Продольный профиль берегового уступа имеет вид лопастных выемок и выступов. На сегодняшний день на всем протяжении описываемого берега происходит активное рекреационное освоение, идет капитальное строительство турбаз, домов отдыха, прокладывается инфраструктура. Как показали полевые мониторинговые исследования, застройка первой линии ведется без учета переработки берегов. Полевые инструментальные измерения динамики абразионного процесса за один год в среднем составляет 5-6 м в районе основания косы Белкудык. Юго-западный берег покрыт осыпями и разбит вертикальными трещинами [111, с. 138].

Южнее дельты р. Жаманты на расстоянии 4 км протягивается южный береговой уступ юго-западного побережья. Уступ суглинистый с редкими включениями разнозернистого песка и галечника. Абразионные процессы сформировали крутой береговой уступ с относительной высотой от 1 до 9 метров в гребневой части. В северной части абразионного уступа расположено с. Коктума, естественной границей селитебных территорий со стороны озера является непосредственно береговой уступ. Высокий береговой клиф угрожает селитебным территориям и объектам инфраструктуры с. Кокума (рисунок Б.6) [5, р. 198-200].

Морфометрические характеристики рельефа значительно оказывают влияние на ведущие аккумулятивные и абразионные процессы береговой зоны. Описываемый береговой уступ, сложенный легкоразмываемыми

лессовидными супесями и суглинками, подвергается интенсивному размыву. Абразия здесь связана с тем, что равнодействующая сильных ветров юго-восточного направления ориентирована перпендикулярно к берегу [32, с. 31-32; 148]. Полевые мониторинговые исследования с 2013 по 2019 гг., позволили определить динамику развития абразионного процесса на основе 4 установленных мониторинговых площадок. Динамика переработки берегового уступа в активной зоне составляет от 3 до 4 м за один год. Выявлено изменение высоты берегового клифа от 5-6 метров (1964г.) [56, с. 98] до 9 метров.

Абразионные процессы получили развитие на восточном берегу озера, вдоль рекреационной зоны с. Кабанбай. Общая протяженность берега с размываемым береговым уступом составляет 2,5 км. С севера и юга береговой клиф сменяется аккумулятивным валунно-галечниковым пляжем, ограничивающим береговую линию озера от прибрежной низменной подтопленной равнины. В обнажениях клифа суглинки и глины тонкопесчанистые, встречаются погребенные почвы, свидетельствующие о том, что берег неоднократно испытывал трансгрессию водоема. Уступ берега подвержен интенсивной абразии, здесь можно наблюдать различные формы разрушения берега – ниши размыва, столбчатые останцы и др. Почти непрерывной полосой вдоль берега тянется узкий галечниковый пляж. Высота его до 1 м, средняя ширина – до 7 м, преобладающие размеры галек 1- 4 см, реже до 7 – 10 см. Местами пляжная полоса еще залита водой, которая омывает основание уступа [56, с. 104-105].

На описываемом береговом участке переработка берегов имеет весьма динамичный характер. Так по данным Казанской Е.А. исследуемый участок к югу от основания Жарбулакской косы постепенно повышался, появлялся невысокий суглинистый уступ, относительная высота которого против с. Жарбулак (с. Кабанбай) достигала 5 метров, а в настоящее время относительная высота уступа на этом же месте всего лишь 2 м.

По данным проведенных полевых исследований на восточном берегу динамика переработки берегового уступа в активной зоне составили около 3,0 м за один год, измеренные по двум мониторинговым площадкам. Следует отметить, неравномерную переработку берегов на мониторинговых участках. Однако по всем реперам отмечается устойчивое движение бровки берегового уступа в сторону суши [5, р. 200-203].

Переработка берегов с образованием отвесного абразионного уступа распространено также в северо-западной части побережья озера, представленной озерной равниной. Общая протяженность абразионного побережья составляет 12 км. По поперечному профилю берегового уступа четко прослеживается полого волнистость равнины. Клиф сложен глинами, суглинками, супесями. Урез воды проходит по основанию уступа. Происходит подмывание грунтов основания уступа волнами. Грунты размываются, теряют свою упругость и прочность, вследствие чего происходит обрушение верхней части на пляж. Главной причиной волнового

действия является поперечное расположение берегового уступа к восточному ветру «Ебы». При скорости ветра от 2,5-3 м/с вызываемое волнение достигает основания уступа, в результате происходит размывание и увлажнение грунтов (промачивание). Данная скорость ветра является достаточной для активной переработки берегов. При более сильных показателях ветра процесс усиливается. Динамика абразии высокая, интенсивная, о чем свидетельствуют останцы, а также выступающий глиняный бенч у основания уступа. Так проведенные полевые мониторинговые исследования позволили зафиксировать расстояние от памятника по перпендикуляру до кромки уступа, в 2018 было 19,5 м, в 2019 г стало 5,65 м (рисунок Б.7) [111, с. 140].

Относительная высота уступа в гребневой части равнины достигает 6-7 м. В юго-западной части описываемого побережья уступ имеет осложненную структуру – телом обвалов, нишами вымывания, останцами, в основном фундаментом основания. Вблизи кромки уступа наблюдаются трещины. К западу наблюдается понижение уступа до 0,5 м, которое также подвержено денудации. На расстоянии 10 м наблюдается вынос оплывин и сухого тростника, о чем свидетельствует низменность данного берега, которая затапливается при более высоких волнах. Переработка берегов сокращает площадь территории земельных угодий данной равнины, относящиеся к пастбищам и сенокосам [111, с. 140].

Процесс дефляции участвует в формировании современного облика песчаных эоловых массивов Бармаккум и Косайшагыл. Песчаные массивы хорошо закреплены растительностью, однако встречаются участки вторичного развевания. Сильные ветры обуславливают интенсификацию процесса дефляции. Среди закрепленных песков имеются массивы подверженные развеванию и перестройке - характерны котловины выдувания, ветровая рябь и песчаные гребни на вершинах барханов (рисунок Б.8) [111, с. 141].

Дефляционные процессы, имеют площадное распространение. Нарушение растительного покрова песчаных массивов бессистемным выпасом скота также способствует переработке эоловых песков. Развитое на предгорных наклонных равнинах орошаемое земледелие нарушило гидрогеологические условия, что повлекло за собой активизацию процессов дефляции. Особенно дефляционные процессы усиливаются отгонным животноводством, посредством вытаптывания и перевыпаса пастбищ, прилегающих к загонам и зимовкам [111, с. 141].

Плоскостной смыв является одним из господствующих процессов. Развитие процесса зависит от интенсивности атмосферных осадков, строения рельефа, литологии пород и состояния растительного покрова. Усиленная эрозия возникает при крутизне склонов свыше $3-5^{\circ}$ и особенно интенсивна при крутизне $12-15^{\circ}$ и более. Активизация процесса приходится на период весеннего половодья и время ливневых дождей. В песчано-глинистых грунтах плоскостной смыв приводит к образованию рытвин, оврагов и общей

нивелировке рельефа. Овражная эрозия интенсивно развивается в лессовидных суглинках аллювиально-пролювиального генезиса. Хозяйственная деятельность зачастую становится причиной возникновения оврагов. На каналах мелиоративной сети развивается линейная и боковая эрозия. На автодорогах, расположенных вблизи оросительных каналов возникают деформации полотна и размыв придорожных кюветов [111, с. 141].

Эрозионная деятельность рек и временных водотоков. Процессы боковой эрозии прослеживаются на всех основных реках, впадающих в оз. Алаколь. Морфометрические условия (перепад высот, уклон, экспозиция), а также легкоразмываемые осадочные породы, способствуют распространению процессов боковой эрозии. Эрозионная деятельность временных водотоков формируют сеть сухих борозд и русел, приуроченные к делювиально-пролювиальной наклонной равнине, конусам выноса, аллювиально-озерных равнин, а также озерно-болотной плоской равнине залива Киши Алаколь (рисунок Б.9). Русловая эрозия проявляется во время весеннего половодья и время ливневых дождей, что приводит к подмыву и обрушению берегов. Результатом проявления речной эрозии здесь являются отмели, расширенные пойменные террасы [56, с. 104]. Смытый осадочный материал выносятся на побережье озера, где мелкодисперсные отложения уходят в осадок на дно водоема, а гравийно-галечник и разнозернистый песок вовлекаются в аккумулятивно-эрозионную деятельность прибрежных процессов.

Реки с истоком в горах Тарбагатай имеют самую длинную протяженность и значительный водосборный бассейн. Описываемое северо-восточное побережье озера Алаколь отдалено от предгорий и гор на расстояние от 70 до 180 км. Значительная протяженность и уклоны позволяют рекам донести мелкие обломочные породы в твердом стоке до базиса эрозии и сформировать дельтовые наносы в пределах береговой зоны озер. Незначительные расстояния между склонами гор Жетысу Алатау, Барлык и озерной системой (от 14 км до 22 км) обозначили нынешний облик береговой зоны оз. Алаколь. Близкие расстояния и высокая энергия рельефа сформировали значительные конусы выноса из обломочного материала. Подошва шлейфа конусов выноса южного и юго-западного побережий озера отчетливо окаймляет береговую линию и диктует современный облик и литологическое строение береговой зоны [111, с. 142].

Техногенная деятельность. В последние десятилетия, благодаря высокому туристскому потенциалу озера Алаколь, прибрежная зона значительно подвергается антропогенному воздействию. Происходит увеличение площади инфраструктурного освоения побережья, в целом техногенные процессы приобретают значительные масштабы на исследуемой территории. Застраиваются земли побережья инфраструктурными и рекреационными объектами. Общая площадь освоения прилегающей суши к озеру по данным анализа космоснимков достигает 10 км², протяженность пляжей и аккумулятивных кос, используемых в пляжном отдыхе достигают

21 км (рисунок Б.10). Основные участки техногенной деятельности расположены на современных курортных зонах побережья озера – это рекреационная зона сел Акши и Коктума в Алматинской области (юго-западный берег), рекреационная зона с. Кабанбай, Восточно-Казахстанской области (восточный берег). Многие рекреационные объекты на побережье озера реализуются в рамках государственных программ развития туристской отрасли. Однако принимаемые административные меры не всегда учитывают необходимость разностороннего подхода к освоению туристского потенциала, в частности прибрежных территорий. Они включают обязательное проведение комплексных научно-прикладных исследований природных условий [111, с. 143].

Крупные гостиничные комплексы, в целях ландшафтного проектирования, обустройства и строительства набережной и обеспечения доступа отдыхающих к пляжу (с учетом высокого берегового уступа 1-9 м), производят значительные техногенные нарушения подстилающего грунта берегов. Тяжелой техникой искусственно выколачивают и изымают грунт берегового клифа на всю длину используемого берегового участка и на ширину в сторону суши на несколько десятков метров (рисунок Б.11). Гостевые дома также повсеместно создают искусственные пологие спуски или оборудуют их деревянными лестницами [111, с. 144].

Вдоль берега в с. Кабанбай построен современный набережный променада, в 2019 году его увеличили еще на 400 метров. Вместе с данными реконструкциями техногенно трансформируется и прибрежная полоса суши, изменяются морфометрические и морфологические условия рельефа. Вне набережного променада, производится отсыпка грунтом русел мелких водотоков и болотистой местности, образованного между пляжем и прибрежной сушей для строительных работ. Значительно видоизменяется природный облик побережья (рисунок Б.10 в,г) [111, с. 145].

Степень негативного воздействия на развитие экзогенных процессов прибрежной зоны озера Алаколь зависит от количества отдыхающих людей, интенсивности использования и благоустроенности рекреационной территории, т.е. степени развития рекреационной инфраструктуры. При отсутствии рекреационной инфраструктуры возрастает количество неорганизованных (самодеятельных) отдыхающих, которые стихийно осваивают рекреационные территории, нарушая их естественное состояние таблица Б.2 [151]. Решение проблемы рекреационного природопользования требует с одной стороны решения задачи полного удовлетворения рекреационного спроса отдыхающих и, с другой стороны, нормирования рекреационных нагрузок на территориальные рекреационные системы [34, с. 19].

Добыча полезных ископаемых. Выявлена бесконтрольная добыча аккумулятивных аллювиальных и озерных отложений (строительный инертный материал: песок, гравий), с территории береговых кос, дельты р. Жаманты, русла р. Тасты и др., мест обитания и гнездования

водоплавающих и околоводных птиц. Происходит техногенное негативное воздействие на прибрежные экосистемы, страдает древесная и кустарниковая дельтовая растительность, нарушается поверхностная рельефная среда, провоцирующая развитие эрозии и деградации земель, нарушается поверхностный сток протоков реки (рисунок Б.12) [111, с. 146].

Результатом проведенных исследований является карта Современных рельефообразующих процессов побережья озера Алаколь масштабом 200 тыс. (рисунок Б.13). Детально проанализированы современные рельефообразующие процессы Приалаколя. Результаты анализов являются базовой основой в выявлении роли процессов рельефообразования в формировании неблагоприятных эколого-геоморфологических условий.

3.3 Эколого-геоморфологический анализ береговой зоны озера Алаколь с использованием ГИС-технологий и ДЗЗ

3.3.1 Современные тенденции изменений основных параметров оз. Алаколь с использованием ГИС технологий и ДЗЗ

Большая часть территории Казахстана находится в пустынной и полупустынной зоне с резко-континентальным климатом (Mannig at al., 2013; Lioubimtseva & Henebry, 2009) [116; 117, p.1]. Основная часть территории относится к замкнутым речным бассейнам Казахстана и Центральной Азии, северные и восточные районы Казахстана относятся к бассейну Северо-Ледовитого океана (Үәріуев at al., 2017) [152]. Для озер данной территории характерны высокая степень межгодовой и внутри годовой изменчивости водной поверхности водоемов (Elake, 2018) [118]. Континентальные озера замкнутых бассейнов особенно восприимчивы к изменению климата и возрастающему антропогенному воздействию (Үәріуев at al., 2017; Friedrich & Oberhänsli, 2004) [152, p. 9,153]. Увеличивается степень негативного воздействия антропогенной деятельности на прибрежные территории бессточных озер, которая является важной зоной жизнедеятельности (сельское-хозяйство (Zeng at al., 2019) [154], рыболовство (Plisnier at al., 2018) [155], туризма). Расширение ирригации за последние десятилетия привели к отступанию берегов и сокращению зеркала Аральского моря (Micklin, 2007) [156]. Из-за строительства около 30 водохранилищ для орошения сельскохозяйственных угодий в бассейне озера Эбинур, площадь озера сократилась на 31,4% (Zeng at al., 2019) [154, p. 739], Чрезмерное использование поверхностных вод для ирригации сельскохозяйственных районов привело к уменьшению площади озера Урмия на 88% (AghaKouchak, 2015) [73, p. 4]. Не стабильным прогнозируется уровень воды Каспийского моря. Увеличение скорости испарения над Каспийским морем на фоне глобального потепления будет доминирующим фактором в снижении уровня воды (Chen, 2017) [157]. Проблема неустойчивости берегов и прибрежных экосистем на водоемах замкнутых бассейнов Казахстана может быть усилена под воздействием изменения климата (Deng, & Chen, 2017) [158].

Одним из внутренних водоемов с динамично меняющейся площадью зеркала и нестабильной прибрежной зоной является оз. Алаколь. По данным наблюдений гидропоста Акши (юго-западный берег) Казгидромет за последние десятилетия происходит повышение уровня воды в озере (рисунок А.31). Исследования уровня оз. Алаколь с 1884 по 1960 гг. выявили синхронный характер колебания уровня воды в озере, повторяющий вековой и многолетний ход климатообразующих факторов. Многолетние колебания уровня оз. Алаколь, могут достигать 5-6 м, которые влияют на изменение площади водного зеркала и положения береговой линии озера (Коровин & Курдин, 1965) [145, с. 129]. При этом нужно учитывать морфометрические особенности водоема и регионального топографического профиля (Qiao, 2019) [71, p. 238]. Определение изменения площади внутренних озер Центральной Азии, в том числе оз. Алаколь с 1975 по 2007 гг. с использованием разновременных космоснимков Landsat проводили Bai et al., (2011) [68, p. 250], Bai et al., (2012)[159]. С использованием Normalized Difference Water Index (NDWI) были получены береговые линии за 1975, 1990, 1999 и 2007 гг.

Площадь поверхности озера не имела существенных изменений за исследуемый период, однако были зафиксированы незначительное снижение площади с 1975 до 1990гг. и последующий тренд увеличения площади озера, начиная с 1990 г. Авторы связывают данные процессы с последствиями глобального изменения климата в Центральной Азии и антропогенной деятельностью. Исследования внутригодовой и межгодовой динамики изменения площади водных объектов Центральной Азии с использованием medium resolution remote sensing data of the Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR) и космоснимков Modis за период с 1986 по 2012 гг. проводили Klein et al., (2013) [69, p. 338]. Результаты показали стабильное состояние площади Алаколь-Сасыккольской системы озер за весь период и сезоны исследования. По данным Казанской (1965) на фоне новейшего поднятия уровня озера Алаколь наблюдается активизация абразионных процессов берегов [56, с. 119].

Динамика переработки абразионных берегов по данным полевых мониторинговых исследований юго-западного и восточного берега оз. Алаколь в среднем составляет от 1 до 4 метров (Valeyev at al., 2019) [5, p. 203]. Алаколь становится центром отдыха и туризма, развивается инфраструктура, однако берегообразование под воздействием природно-антропогенных факторов, приводит к разрушению инфраструктурных объектов, потере земельного фонда, материальному ущербу (Valeyev at al., 2019; Abitbayeva at al., 2016) [5, p. 203; 160].

Повышение уровня воды озера приводят к негативным процессам в экосистемах побережья, превращает водно-болотные угодья в открытую акваторию озера, а земли прибрежной суши в водно-болотные угодья (Plag & Jules-Plag, 2013) [161]. Водно-болотные угодья оз. Алаколь имеют международное значение (Ramsar Sites) (Ramsar, 2007) [162] являются одним

из ключевых участков глобального значения на пути миграции птиц в Евразии (UNESCO, 2013 (Man and Biosphere) [163]. Оз. Алаколь имеет денудационные и труднодоступные в полевых исследованиях аккумулятивные берега, на которых расположены ВБУ. Применение данных дистанционного зондирования для мониторинга изменения положения береговой линии площади озера, на данных территориях является единственным доступным методом (Bai et al., 2012) [159, p. 147].

Под воздействием описанных факторов, рельефообразование береговой зоны является динамичным взаимодействием воды и суши. По наблюдениям зарубежных ученых, размыв берегов составляет до нескольких десятков метров в год, нанося существенный материальный и экологический ущерб. А. Misra & R. Balaji (2015) использовали ДДЗ для исследования динамики изменения береговой линии вдоль прибрежных районов Южного Гуджарата. Одним из главных факторов эрозии берегов является антропогенное воздействие (Misra & Balaji, 2015.) [75, p. 384-388]. Li et al. (2014), определили скорость изменения берегов центра устья р. Янцзы с 1987 по 2010 гг. с использованием разновременных изображений дистанционного зондирования [164]. Qiao et al. (2018) определили изменения береговой линии в Шанхае за последние 55 лет с 1960 по 2015 год, с использованием historical Declassified Intelligence Satellite Photography (DISP) and Landsat time series data at five-year intervals (Qiao et al., 2018) [74, p. 233-234]. Behling et al. (2018) использовали снимки за 30 летний период (1984-2014), для мониторинга изменений береговой линии двух Намибийских прибрежных лагун [76, p. 264]. Метод позволил детально идентифицировать наносы и прогрессирующее эрозии на побережье.

Для понимания происходящих колебательных процессов уровня оз. Алаколь необходимы исследования изменения положения береговой линии во временном интервале. В работе будет определена динамика изменения береговой линии оз. Алаколь за 28 лет на четырех участках с применением разновременных данных дистанционного зондирования. Береговые линии будут получены на основе использования индекса MNDWI при анализе космоснимков Landsat, который позволит определить изменения площадей водоема в разрезе лет и их воздействие на береговую зону. Результаты исследования важны для планирования мониторинга и разработки рекомендаций для организации устойчивого использования береговой зоны.

Основные морфометрические характеристики озера Алаколь представлены за 2017г по материалам космических снимков Sentinel-2A (resolution 10m) в таблице Б.3 (Elake, 2018; <https://earthexplorer.usgs.gov/>; Филонец & Омаров, 1973; HydroLAKES, 2016) [118,165–167].

Для мониторинга динамики береговой линии использовались данные дистанционного зондирования (DEM (SRTM) with resolution 30m, многоспектральные спутниковые изображения Landsat с разрешением 30 м, дополнительно для проверки было получено изображение Sentinel 2B), исторические топографические карты и тематические карты. Данные ДДЗ

был получены свободно из каталога геологической службы США USGS (<https://earthexplorer.usgs.gov/>), в том числе 28 разновременных космоснимков Landsat TM/ETM/OLI TIRS с пространственным разрешением 30 м (<https://earthexplorer.usgs.gov/>). Из них были отобраны 7 разновременных космоснимков с облачностью менее 15 %, с 1990 по 2018 гг. интервалом каждые 5 лет (таблица Б.4). Предварительно выполнена фильтрация объектов на снимках, искажающих изображение местности (облачность, слабая дымка, тени от облаков), радиометрическая и атмосферная коррекции, pan-sharpening с использованием ArcGIS 10.1 (Sun et al., 2012; Karim et al., 2018) [168,169].

Труднодоступность северного, северо-восточного, северо-западного и южного аккумулятивного берега оз. Алаколь, занятые водно-болотными угодьями, усложняют выполнение наземной традиционной морфометрической оценки береговой линии. Применение данных дистанционного зондирования позволят проследить историю изменения береговой линии и выделить участки для мониторинга. Исследование динамической зоны, места взаимодействия воды и суши с применением данных дистанционного зондирования представлены широко в мире. Например, космоснимки Landsat были использованы при исследовании озер Центральной Азии (Bai et al., 2011) [68, p. 249-250], малых бессточных озер Северного Казахстана (Yariyev et al., 2019) [70, p. 42-55], озер плато Тибет, Китай (Qiao et al., 2019) [71, p. 232-233], озера Виктория, Африка (Awange et al., 2019) [72, p. 203], озеро Урмия, Иран (AghaKouchak et al., 2014) [73, p. 2] и др.

Определение ключевых участков для мониторинга. Из DEM были извлечены морфометрические характеристики (slope, aspect and elevation) полосы суши, прибрежной зоны (рисунок А.3). Анализ морфометрии и природно-экономических условий позволил выделить 4 прибрежных ключевых участка для мониторинга:

- юго-западный, денудационный (с. Коктума);
- восточный, денудационно-аккумулятивный (с. Кабанбай);
- северо-восточный, аккумулятивный (междуречье рек Эмель, Катынсу и Уржар);
- северный, денудационно-аккумулятивный (западнее с. Камыскала).

Динамика береговой линии за 28 лет. Определена динамика береговой линии озера Алаколь начиная с 1990 года по отношению к береговой линии 2018 года через каждые 5 лет (таблица Б.5). Наибольшие изменения претерпевает аккумулятивные береговые зоны (преимущественно северная, северо-восточная, северо-западная части береговой линии) поскольку они интенсивно затопляется вследствие повышения уровня воды в озере.

Территория ключевого участка юго-западного, денудационного берега является селитебной территорией с. Коктума (рисунок Б.14 а). Берег имеет 6 метровый береговой уступ, который интенсивно подвергается абразионным процессам. Береговая линия за период с 1990 по 2018 гг. на протяжении всего

берега в среднем продвинулась в западном направлении более 130 м, наиболее резкие изменения произошли за период с 2000 г. по 2005 г. (таблица Б.5).

Существенные изменения претерпевает территория ключевого участка северо-восточного аккумулятивного берега, междуречье рек Эмель, Катынсу и Уржар. За 28 лет береговая линия озера продвинулась в сторону суши приблизительно на 1 км в отдельных местах. Это преимущественно низменные аккумулятивные берега на которых находятся обширные водно-болотные угодья (рисунок Б.14 б) [111, с. 132].

Территория ключевого участка восточного денудационного берега является рекреационной зоной с. Кабанбай (рисунок Б.14 в). Надводная часть береговой зоны подвержена интенсивной переработке берегов. За 28 летний период динамика береговой линии в сторону суши составила более 200 м. Для данного участка характерно неравномерное изменение положения береговой линии.

Территория ключевого участка юго-западнее с. Камыскала представляет собой денудационно-аккумулятивный берег. Низменные аккумулятивные берега подвержены затоплению, определено смещение береговой линии озера в среднем на 120-180 м. На абразионных берегах динамика положения береговой линии за 28 лет не превышает 50-70 м (рисунок Б.14 г). Отмечены отдельные ареалы интенсивного затопления, где береговая линия сместилась почти до 1200 м в северном направлении за данный период.

Анализ результатов интерпретации береговой линии озера Алаколь по разновременным спутниковым снимкам позволил выявить изменение площади поверхности воды и длины береговой линии озера в сторону увеличения (рисунок Б.15, рисунок Б.16). Линия тренда изменения площади озера и длины береговой линии построена методом полиномиальной аппроксимации со степенью 2, [103, р. 8].

За исследуемый период наблюдается увеличение площади зеркала озера в общем на 120 км². Выделяются два основных пика роста с 2000 по 2010 гг. и с 2015 по 2018 гг. причем за последний пик, площадь водного зеркала увеличилась на 50 км². Расчетные данные водного баланса озера Алаколь имеют колебательный характер, однако общий тренд всего притока и испарения показывает рост за последние 30 лет (Elake, 2018) [118].

Длина береговой линии за 28 лет увеличилась на 95,5 км и составила 517 км. В основном изменения в длине и конфигурации береговой линии произошли в северо-восточной, северной и северо-западной части озера. Данные территории являются низменными, аккумулятивными берегами [103, р. 8].

В 2018 г. площадь зеркала оз. Алаколь превысила 3000 км². Рост площади озера приводит к значительному изменению положения береговой линии. Аккумулятивные берега подвергаются к обширным затоплениям, усиливается переработка и размыв эрозионных берегов. Воздействие

повышения уровня воды на побережье напрямую зависит от морфометрических условий надводной части прибрежной территории. Полученные результаты подтверждают доводы о современной трансгрессии озера, возможно усиливающейся действием изменения климата [170]. В рамках исследования была детально изучена динамика изменения положения береговой линии оз. Алаколь, в следствие увеличения уровня озера за период 1990-2018гг. Полученные результаты совпадают с исследованиями Bai et al., 2011. Исследования китайских ученых во главе Bai et al, определили, что начиная с 1990 г происходит увеличение площади водного зеркала оз. Алаколь (1990-2007) [68, p. 254]. Результаты работ Klein et al., 2013 показывают, что площадь поверхности Алаколь-Сасыккольской системы озер остается очень стабильной в течение всего наблюдаемого периода времени, в том числе всех трех летних месяцев, без каких либо, существенных отклонений (с 1986 по 2012) [69, p. 347]. Основная причина стабильности этой озерной системы Klein et al., 2013 выделяет the semi-natural and periodical drainage of several mountainous rivers with barely upstream regulations. Bai et al., 2011 основной причиной изменения площади озера определил изменение климата в Центральной Азии и воздействие антропогенной деятельности [68, p. 255].

Результаты анализа выявили значительную роль гидрологического режима в активизации рельефообразующих процессов побережья. Повышение уровня воды приводит к затоплению аккумулятивной прибрежной суши и усилению переработки эрозионных берегов. Способствует усилению ветро-волновых процессов и вдольбереговому переносу осадочного материала. Выявлена взаимосвязь между региональными климатическими условиями и повышением уровня воды в озере.

Морфометрические характеристики берега оз. Алаколь. Рост площади озера, приводит к значительному изменению положения береговой линии. Аккумулятивные берега подвергаются к обширным затоплениям, усиливается переработка и размыв эрозионных берегов. Воздействие повышения уровня воды на побережье напрямую зависит от морфометрических условий надводной части прибрежной территории.

Рельеф побережья занимает главную роль формирования различных типов берегов оз. Алаколь. Анализ морфометрических характеристик побережья с использованием ЦМР (склон, экспозиция и гипсометрия) позволил выявить зависимость между преобладающими экзогеодинамическими процессами и морфометрией прилегающей суши (рисунок Б.14). Относительно близкое расположение древних дельт и озерных равнин между урезом воды и склонами гор, поспособствовали образованию эрозионных и аккумулятивных берегов (рисунок Б.17). Аккумулятивные – озерные, дельтовые и золотые берега северо-восточного и северо-западного берега оз. Алаколь подвержены обширным процессам затопления, сорообразования, а также сгонно-нагонным явлениям (рисунок

Б.17 а). Данные берега отличаются значительной динамикой изменения положения береговой линии. Берега являются низменными, повышение абсолютных высот от уреза воды происходит постепенно и простирается на большие расстояния. Эрозионно-аккумулятивные – аллювиальные и озерно-аллювиальные берега подвержены процессам интенсивной переработки берегов, абразии и аккумуляции в динамичной части береговой зоны (рисунок Б.17 б).

Данные берега расположены в юго-западной, восточной и северной части оз. Алаколь. Эрозионным берегам характерны лопастные формы, а также наличие песчано-галечникового пляжа и кос. Образование эрозионных берегов на наклонных предгорных равнинах, объясняется значительным слоем накопления осадочных горных пород. Абсолютные высоты, которых у кромки берегового уступа находятся выше уровня уреза воды от 1 метра в периферийной части и до 9 метров в гребневой части древнего конуса выноса [111, с. 138].

Воздействие увеличение площади озера на береговую зону. Из-за отсутствия на местах (in-situ) оборудования для исследования и мониторинга условий поверхностного и подземного стока, испарения, ледниками бассейна, а также не доступностью метеоданных, серьезно ограничивает разработку стратегии устойчивого управления водными ресурсами в засушливом регионе, а также понимание природных процессов и их развитие в будущем [171]. Выполненное исследование позволило выявить продолжающееся увеличение площади зеркала озера. Под воздействием местных климатических факторов и морфометрических условий, повышение уровня озера негативно воздействует на прибрежную зону. Затоплению подверглись пастбищные и сенокосные угодья северо-восточного и северо-западного побережья. Повышение уровня воды превращает водно-болотные угодья в открытую акваторию озера, а земли суши в водно-болотные угодья [161, р. 179]. Юго-западный и восточный берег озера подвержены эрозионным процессам. Переработка берегов наибольшее негативное воздействие наносит на населенные пункты, рекреационные зоны и транспортную инфраструктуру. По результатам полевых исследований скорость переформирования абразионного уступа (эрозионного) составляют более 3-4 метров в год [5, р. 203].

Результаты показали закономерность изменения конфигурации береговой линии в зависимости от типов берегов. Низменные, дельтовые северо-восточные и северо-западные берега оз. Алаколь наиболее подвержены обширным затоплениям. На аккумулятивных берегах динамика береговой линии в сторону суши за 28 летний период составила от 204 до 925 м, согласно точкам наблюдения. Затоплены обширные территории сельскохозяйственных земель (сенокосы, пастбища), деградированы водно-болотные угодья, расположенные со стороны открытой воды озера, подтоплены грунтовые дороги и инженерные сети. Сюда относятся северо-восточное, северное и северо-западное побережье оз. Алаколь. На

денудационных берегах динамика береговой линии в сторону суши за 28 летний период составила от 66 до 218 м, согласно точкам наблюдения. Наличие берегового клифа делает динамику положения береговой линии менее активной, хотя уступ сложен легкоразмываемыми горными породами (суглинки, супеси, глины) (Митрофанова et al., 2018) [144, с.97-98]. При этом переработка берегов имеет наибольшее негативное воздействие на населенные пункты, рекреационные зоны и транспортную инфраструктуру.

3.3.2 Эколого-геоморфологический мониторинг динамики рельефообразования абразионных берегов оз. Алаколь по данным полевых инструментальных исследований

В последние годы озеро Алаколь становится центром отдыха и туризма, развивается инфраструктура, с выраженной техногенной нагрузкой на береговые территории. При этом обостряется характер берегообразования под воздействием нестабильности природно-антропогенных условий, что приводит к разрушению инфраструктурных объектов, потере земельного фонда, материальному ущербу. Полевые исследования рельефообразования берегов оз. Алаколь лабораторией геоморфологии и геоинформационного картографирования начали выполняться с 2013 г. в целях мониторинга динамики абразионных берегов. В результате появляется возможность предварительного анализа и определения динамики развития абразионных береговых уступов на основе полевых и камеральных исследований.

Анализ опубликованной научной литературы, показал, что накоплен ценный материал, включая классификацию берега озера Алаколь по ведущим экзогенным процессам [56, с. 88-121; 81, с. 329; 85 с. 72; 172–174]. Однако последние данные по изучению негативного воздействия развития экзогенных процессов в береговой зоне имеют пятидесятилетнюю давность. За это время изменилась гидрологическая ситуация, увеличилась рекреационная и хозяйственная нагрузка, происходит изменение климата и, главное, появились новые эффективные методы исследования. Поэтому, актуальность получения новых мониторинговых данных с использованием современных инструментально-измерительных приборов не подлежит сомнению.

Юго-западный берег (рекреационная зона с. Акши). На территории рекреационной зоны с. Акши всего было установлено 3 мониторинговых площадок в 2018 г. Наблюдения проводились в течение двух лет (2018-2019). Интенсивное инфраструктурное освоение побережья затрудняет проведение мониторинговых исследований переработки берегов. Как правило, землепользователи делают капитальное ограждение, выполаживают береговой отвесный уступ, проводят инженерные берегоукрепительные работы, которые препятствуют натурным мониторинговым исследованиям. Мониторинговая площадка № 1 расположена в северной части рекреационной зоны, в ней были заложены 4 наблюдательных репера (рисунок Б.26). По всем реперам динамика переработки берегов составила 6,5

м за один год. Данный участок, являясь самым крайним, пока не испытывает техногенную нагрузку и сохраняет естественный природный ландшафт. Береговой уступ имеет высоту от 1 до 2,5 метра, который по данным измерений подвержен интенсивной переработке. В связи с чем, местным исполнительным органам и будущим землепользователям этой территории, следует учесть процессы современного берегообразования при планировании и освоении прибрежной территории.

Мониторинговая площадка № 2 состоит из 3 наблюдательных репера (рисунок Б.27). Участок расположен с тыльной части косы. Относительная высота берегового уступа в пределах 4-5 м. На расстоянии 150 метров от кромки уступа расположены объекты строительства зон отдыха. Динамика переработки берегов варьируется от 4 до 5,5 м в год. Береговой уступ имеет естественные формы, отсутствуют какие либо выполаживающие элементы. На момент проведения исследования на участке отсутствовали действующие объекты рекреации. Весенние наблюдения выявили многочисленные линейные обвально-осыпные и оползневые процессы в пределах берегового клифа, достигающие уреза воды. В теплый период года, обломочная горная масса вымывается волнами водоема.

Юго-западный берег (с. Коктума). Выровненный участок юго-западной береговой зоны оз. Алаколь простирается от дельты р. Жаманты и поворота ее на восток (длина 14 км). Развитие берега обусловлено абразионно-аккумулятивными процессами. Суша представляет собой шлейф конусов выноса, образованный реками и временными протоками, стекавшими с Жетысу Алатау. Пространство от озера до гор занимает предгорная пологонаклонная щебенисто-каменистая равнина с отметками у гор 600-700 м, а у озера – 350 м. Иными словами берег слагают пролювиально-аллювиальные отложения четвертичного возраста. По данным Казанской Е.А. в 1961-1964 гг. к северу и югу от с. Коктума простирался клиф высотой в 5-6 м, сопровождающийся узким галечниковым пляжем – шириной до 10 м. В наши дни ширина пляжа остается без изменений, тогда как высота берегового уступа в указанных местах достигает более 9 [97, с. 98].

Береговой уступ является естественной границей селитебной зоны с. Коктума. В пределах берегового клифа у с. Коктума было установлено 6 мониторинговых площадок в 2013-2014 гг. Повторные инструментальные измерения проводились в ноябре 2014 и 2016 гг. и июне 2018 и 2019 годов. Результаты наблюдений за динамикой переработки берегового уступа в активной зоне составили от 17 до 30,2 м за шести летний период. Следует отметить неравномерную переработку берегов на мониторинговых участках. Однако по всем реперам отмечается устойчивое движение бровки берегового уступа в сторону суши (таблица Б.7).

Мониторинговая площадка № 4 (рисунок Б.28) была заложена в 2013 г. На ней установлены 2 основных репера, а также взяты географические координаты от двух бетонных опор в качестве дополнительных реперов. По I

и II реперу динамика отступления бровки уступа в сторону суши составляет – 21,1 и 22,8 м соответственно за шесть лет. На 7 репере, расположенный в южной части мониторинговой площадки шести летние значения составили – 23,4 метров. Динамика абразионного процесса в среднем составляет 3,5 м. в год (таблица Б.7). Жилые строения и инфраструктурные объекты находятся в 40-50 метрах от берегового клифа. Местные жители констатируют факт ежегодного приближения берегового клифа к их домам. Асфальтированная дорога в южном направлении срезана уступом. Анализ полученных результатов показал увеличение скорости переработки берегов на мониторинговом участке с севера на юг.

На мониторинговой площадке № 5 (рисунок Б.29), были установлены 2 репера в 2014 г. По I и II реперу на момент закладки расстояние до бровки уступа составляло 43 и 25 метров соответственно. Проводя повторные наблюдения в 2016 году, было обнаружено антропогенное нарушение берегового клифа напротив строений базы отдыха. Тяжелой техникой был изъят подстилающий грунт с поверхности берегового уступа до пляжа объемом более 1000 м³. Размеры нарушенного берегового участка составили: шириной 25-30 метров, длиной 20 метров, глубиной у основания пляжа до 8-9 метров.

В связи, с чем не были измерены данные по первому реперу, по второму реперу динамика составила 16,1 м за 5 лет. Углы данного участка были привязаны к системе координат для дальнейшего мониторинга. Динамика переработки берегов составила более 3 м (таблица Б.7). Предполагается данное техногенное воздействие преследовало 2 цели. Первая это уменьшить или исключить динамику переработки берегов для сохранения летних домов отдыха от разрушения, второе сделать удобным доступ на пляжную зону побережья. Дальнейшее развитие переработки берегов будет уточняться при регулярных полевых исследованиях.

Мониторинговая площадка № 3 заложена в 2013 году (рисунок Б.30). Опорный участок расположен в центральной части береговой линии населенного пункта. Были установлены 4 репера по профилю на расстоянии от бровки уступа в среднем длиной 33 метра. Территория представляет собой незастроенный открытый участок. Динамика перемещения бровки уступа за шесть лет на I репере составила 21,5 м, на II репере – 19,1 м, на III репере – 20,6 м, на IV репере – 19,4 м. Средняя скорость отступления абразионного уступа равна более 3 м в год. Из отвесной стены берегового клифа был произведен отбор проб на физико-химический анализ. Визуально определен гранулометрический состав основных слагающих слоев берегового уступа, их мощность (таблица Б.7).

Восточный берег (с. Кабанбай). Мониторинговые площадки были организованы на абразионном берегу в западной части рекреационной зоны отдыха с. Кабанбай. В 2013 году были заложены 2 площадки и проведена первая инструментальная съемка профиля берега по створам. Критерием выбора опорных участков послужили близость рекреационных и

инфраструктурных объектов к активной зоне переформирования берегов, с учетом берегозащитных инженерных конструкций на абразионном берегу. Исследуемый участок находится в трех километрах западнее с. Кабанбай. В последние годы территория летней зоны отдыха увеличилась по площади. Капитальное строительство летних домов отдыха и инфраструктурных объектов происходит как вдоль берега в южном и северном направлении, так и вглубь суши. Эти земли нуждаются в дополнительной отсыпке грунтов, так как повсеместно наблюдается засоление почв, из-за близкого залегания к поверхности подземных вод.

На мониторинговой площадке № 1 (рисунок Б.31) были установлены 4 репера по профилю в 2013 году. При выборе профиля на расстоянии от 5 до 17 метров от бровки берегового уступа группа не имела данных о современной динамике переработки этого берега. Вышеназванные короткие расстояния оказались недопустимыми для закладки опорных участков и проведения мониторинга. При повторном проведении инструментальных измерений в 2014 году было зафиксировано, что на месте профиля по трем реперам выработан бенч. Береговой уступ вместе с реперами был разрушен. Сохранился только один репер № I. Таким образом, динамика отступления бровки берегового уступа составила на репере № I – 12,8 м за три с половиной года, по II реперу более 10 м, III реперу – более 6 м, VI реперу – более 14 м. По трем последним реперам данные приблизительные. Общая динамика абразионных процессов по разным годам и реперам наблюдения составила от 0,5 до 14 м в год (таблица Б.7).

В 2016 году при рекогносцировке прилегающей территории к опорному пункту № 1 в качестве новых створов были определены соответствующие стационарные объекты. Произвели привязку трех реперов с использованием прибора спутниковой навигации, два из них фундаменты зданий, а третий створ – основание водокачки. Выполнены инструментальные измерения расстояния от репера к бровке уступа. Из отвесного берегового клифа произведен отбор проб на физико-химический анализ. Были определены визуально гранулометрический состав основных слагающих слоев берегового уступа и их мощность.

По данным полевых наблюдений в переработке берегов активно принимают участие юго-западный ветер «Сайкан» и весенняя переработка берегов поверхностным льдом. Зафиксированы изливающиеся водопункты, оказавшиеся в прибрежной зоне озера в результате отступления берегов.

Полевые наблюдения позволили предположить, что одной из причин активной динамики переработки берегов является нарушение вдольберегового переноса осадочных пород антропогенной инженерно-технической деятельностью в береговой зоне озера. В 2009 году на участке был построен поперечный волнолом, длиной 168 метров для защиты берегового уступа от разрушительного действия волн [175]. Анализ полевых наблюдений и космоснимков выявил аккумуляцию, нарастание пляжной зоны, сложенной из гальки и песка на территории расположенной южнее

волнолома. На берегу севернее волнолома напротив динамика, переработки берегов усилилась, происходит активное перемещение берегового уступа в сторону суши. По исследованиям Jeffrey H. List одной из причин эрозии берегов является нарушение вдоль берегового переноса осадочных отложений в литоральной зоне. Происходит нарушение баланса прихода, расхода и объемов запаса отложений внутри литоральной зоны, в которых участвуют вдольбереговое и поперечное перемещение, речной сток, антропогенное вмешательство и др.[176].

На мониторинговой площадке № 2 (рисунок Б.32) были установлены 3 репера по профилю в 2013 году. Расстояния от бровки уступа до реперов составили от 3,5 до 7 метров. Параллельно береговому уступу на указанных расстояниях расположен металлический забор частного дома отдыха. При проведении инструментальных измерений в 2016 г, сохранились только 2 репера по линиям профилей № II и III. Первый репер был разрушен абразией. В мае 2013 г расстояние от репера до бровки клифа составляло – 3,68 м. Определена динамика развития переработки берегов на опорном участке № 4, по каждому реперу с перпендикулярным направлением к береговому уступу. На I репере предположительно – 4 м за три с половиной года, на II репере – 4,24 м, III репере – 3,7 м. В целом общая динамика переработки берегов на мониторинговом участке составила от 1 до 3,8 метра в год (таблица Б.7).

Для дальнейшего экологического полевого мониторинга абразионного процесса были заложены новые реперы для фиксирования динамики абразионного процесса. В качестве реперов определили три фонаря освещения расположенные на территории базы летнего отдыха. Они находятся на значительном расстоянии от уступа берегового клифа и ориентированы вдоль береговой линии. Произведена координация новых реперов, фиксация расстояний до бровки берегового уступа в западном направлении относительно всех трех фонарей.

Проведение экологического мониторинговых полевых исследований денудационно-абразионных берегов, обусловлено необходимостью решения проблем устойчивого рекреационного освоения прибрежной территории оз. Алаколь, с целью снижения угрозы и негативного воздействия рельефообразующих процессов на ценные рекреационные территории, сельскохозяйственные угодья и селитебные земли. Для решения задач сохранения берегового абразионного уступа и увеличения рекреационного потенциала озера Алаколь, исследовательской группой был адаптирован полевой метод мониторинга преобразования рельефа берегов. Метод опробирован на практике в полевых исследованиях. Опыт мониторинговых полевых работ показал необходимость установки реперов по профилю на расстоянии не менее 20 м от бровки уступа.

Результаты полевых эколого-геоморфологических исследований показали высокую скорость переформирования абразионного уступа юго-западного, восточного и северного берегов. Выявлены участки с динамикой

более 3-4 метров в год, в отдельные годы на северном и восточном побережье выявлена динамика переработки берегов в пределах 14 м в год. На восточном побережье предполагаем нарушение вдольберегового переноса осадочных пород 168-ми метровым волнорезом, который усиливает динамику абразии. Неравномерное рельефообразование наблюдается в береговой зоне с функционирующими инженерными берегозащитными конструкциями, например, с одной стороны волнореза происходит аккумуляция, а с другой активная денудация. Для изучения и понимания сложившихся обстоятельств необходимы дополнительные камеральные и полевые исследования. Полученные результаты экологических полевых исследований будут способствовать глубокому пониманию процессов берегообразования внутренних озер, аридных зон, накоплению количественных данных, а также разработке эффективных методов берегоукрепления и управления береговыми территориями.

3.3.3 Определение количественных параметров динамики и объема переработки берегового клифа с применением 3D лазерного сканера

Наличие лазерного сканера RIEGL VZ-4000 в Институте географии и водной безопасности, позволило применить современные геодезические приемы и методы в изучении количественной динамики переработки берегов оз. Алаколь. Отличительной характеристикой метода является оперативное получение высокоточных трехмерных данных мониторинга и расчетов, а также значительный обзор съемки лазерного сканера (до 4 км). Метод наземного лазерного сканирования (НЛС) позволил определить количественные характеристики развития абразионного процесса, в частности объема переработанного грунта, линейные изменения поперечных и продольных профилей.

Применение метода НЛС в исследовании рельефообразования побережья распространены широко в мире. Оценку причин переработки берегового уступа и изменения береговой линии Езерского водохранилища (Польша) с применением НЛС проводили Kaczmarek et al (2019). Дифференциальный анализ разносезонных цифровых моделей местности позволил определить, что около 70% разрушения берегового уступа связано с воздействием разности температур (замораживание-оттаивание) и 20% от воздействия волновых процессов [177]. Исследование микротопографической изменчивости водно-болотных угодий в северной части штата Миннесота (США) с использованием НЛС, проводили Atticus et al. (2019). Разработана новая методика количественного определения изменения вертикальной и горизонтальной микротопографической структуры водно-болотных угодий на основе высокоточного ЦМР до 1 см [178]. С помощью высокоточной ЦМР ученые Lin et al. (2013) выполнили идентификацию разломов в горах центральной Японии с выделением мелких тектонико-геоморфологических типов рельефа [179]. Использовали высокоточный ЦМР, построенный в результате обработки данных НЛС, для

идентификации трещин в обнажениях разных литологических пород для предотвращения опасных процессов Cao et al. (2017) [180].

Основные этапы применения метода наземного лазерного сканирования:

- выбор ключевых участков для мониторинга;
- продольный ход лазерной площадной съемки элементов побережья (первый ход - пляж и стена берегового уступа, второй и третий ход – поверхность абразионного берега) (рисунок Б.98);
- сшивка облаков точек (рисунок Б.98);
- создание высокоточной ЦМР до 1 см (рисунок Б.33);
- сравнение разновременных цифровых моделей рельефа (рисунок Б.34).

Количественные показатели динамики переработки денудационных берегов, были получены в результате обработки и анализа данных лазерной съемки за 2 года (2018-2019). Имеющийся временной интервал позволил вычислить скорость и объем абразионного процесса за один полный календарный год. Камеральные работы проводились в специальном программном обеспечении RiSCAN PRO. При сравнении полученных результатов инструментальной съемки по реперам соответствуют количественным данным лазерной съемки. За результат динамики переработки берегов в программном обеспечении бралось расстояние между береговыми уступами разных лет. Значения показателей объема определили вычислением плоскости между двумя разновременными поверхностями берегового клифа цифровой модели рельефа.

Мониторинговый участок «Малая Коса» (левый берег рекреационной зоны Акши) охватывает 200 метров вдольберегового участка побережья. Средняя динамика отступления берега за один год (2018-2019) составила от 5,5 до 6 м, при высоте берегового уступа 3,5-4,5 м. Для наглядной визуализации динамики переработки берегов на данном участке построили 2 поперечных профиля (рисунок Б.35). Скорость отступления берегов на первом профиле составила 5,5 м/год (h уступа - 3,7 м), на 2-ом поперечном профиле 6 м/год (h уступа 4,4 м).

Мониторинговый участок коса «Малый Балгын» (левый берег рекреационной зоны Акши) занимает 150 метров вдольберегового участка побережья. Динамика отступления берега за один год (2018-2019) составила от 1,3 до 2 м, при высоте берегового уступа 2,2-3,7 м. Значения динамики получены на основе анализа двух поперечных профиля берегового уступа (рисунок Б.36). На данном участке мониторинг показал самые низкие значения скорости переработки берегового уступа.

Мониторинговый участок южнее основания косы «Белкудык» (левый берег рекреационной зоны Акши) включает 100 метров вдольберегового побережья. Динамика отступления берега за один год (2018-2019) составила от 7,2 до 7,4 м, при высоте берегового уступа 1,2-1,5 м. Динамика определена в результате построения и анализа двух поперечных профиля (рисунок Б.37).

Значения динамики переработки берега выделяют этот участок как самый уязвимый к современным процессам берегообразования побережья рекреационной зоны Акши.

Мониторинговый участок «с. Коктума» занимает 600 метров вдольберегового побережья селитебных земель с. Коктума. Динамика отступления берега за один год (2018-2019) составила от 1,3 до 4 м, при высоте берегового уступа 7,2-9 м. Значения вычислены по данным шести поперечных профилей, построенные интервалом 100 метров (рисунок Б.38).

Полученные количественные данные скорости отступления берегов позволили обозначить следующие закономерности рельефообразования побережья рекреационной зоны Акши и с. Коктума:

- динамика берегов усиливается на подветренных участках, завернутых оконечностей кос, чему свидетельствуют сформировавшиеся дугообразные формы берега.

- Интенсивность эрозии берегов зависит от относительных высот берегового уступа, чем ниже относительная высота, тем интенсивнее переработка берегов.

- Наряду с отступанием денудационных берегов, наблюдается изменение форм аккумулятивного рельефа, наблюдается рост наносов в концевой части прибрежных кос.

- количественные параметры скорости отступления берега от 1,3 до 7,4 м/год, определяют абразионные процессы как ведущие в рельефообразовании побережья (таблица Б.8).

Количественные характеристики объема переработанного грунта берегового уступа по результатам двух летнего мониторинга (2018-2019 гг.) представлены в таблице Б.9. Расчет плоскости между двумя цифровыми моделями местности проводился на определенных репрезентативных отрезках вдольберегового побережья, длиной от 100 до 200 метров. Данный подход позволяет сохранить высокую точность расчетов при проведении геопространственных вычислений в программном обеспечении, уменьшает время обработки исходных данных. Показательные результаты вычислений на определенных участках, приемлемы для интерполяции на соседние береговые уступы с идентичными природными условиями. Мониторинговый участок коса «Малый Балгын» (левый берег рекреационной зоны Акши) включает 150 метров вдольберегового участка побережья. Объем эрозии берегового клифа составил 2794 м³ при высоте берегового уступа 2,2-3,7 м.

Мониторинговый участок «Малая Коса» (левый берег рекреационной зоны Акши) при длине охвата 200 метров вдольберегового участка побережья, объем переработки берегов составил 3394 м³, высота уступа 3,5-4,5 м. Участок южнее основания косы «Белкудык» (левый берег рекреационной зоны Акши) занимает 100 метров вдольберегового побережья. Объем переработанной аккумулятивной массы берегового уступа составил 2199 м³, при высоте уступа 1,2-1,5 м. Мониторинговый участок «с. Коктума» для расчета объема использовали 200 метров вдольберегового

побережья селитебных земель с. Коктума. Объем переработанного грунта берегового клифа составил 5536 м³, при высоте уступа 7,2-9 м.

Полученные количественные параметры объемов переработки берегов за 1 год позволили определить, что в среднем эрозии подвергается более 1500 м³ грунта берегового клифа на каждые 100 м берега в независимости от высоты уступа. Для расчетов общего объема переработанной массы для схожих условий можно провести путем простых математических расчетов. Следует учесть, разнообразность природных условий денудационных побережий, где объемы переработки могут значительно отличаться. Необходимо продолжить мониторинговые исследования побережья с применением лазерного сканера, увеличиться временной ряд наблюдений, которые позволят обозначить пространственно-временные закономерности развития переработки денудационных берегов оз. Алаколь.

4 ПУТИ СТАБИЛИЗАЦИИ ЭКОЛОГО-ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ БЕРЕГОВОЙ ЗОНЫ ОЗЕРА АЛАКОЛЬ

4.1 Эколого-геоморфологическая оценка воздействия процессов современного рельефообразования на систему природопользования побережьями

В современном берегообразовании участвуют абразионные, абразионно-аккумулятивные и аккумулятивные процессы (таблица В.1). Все типы берегов между собой тесно связаны. Облик берега складывается под влиянием геологических, геоморфологических, климатических, гидрометеорологических и в последние десятилетия техногенных факторов. В связи с этим различные типы берегов группируются в закономерные сочетания, что позволяет все побережье озера, по комплексу признаков, разделить на отдельные районы, учитывая при этом ведущие процессы берегообразования.

Исследуемый регион сочетает в себе разнообразные природные рекреационные ресурсы, сельскохозяйственные угодья, селитебные территории, транспортную сеть национального значения (автодороги, железные дороги, нефтепровод). На прибрежных территориях озера Алаколь функционирует несколько типов рекреационных систем. В зависимости от специализации все вышеперечисленные системы зависят от свойств рельефа территории. Рельеф играет как ресурсную роль, так и роль условия функционирования этих систем. Поверхность рельефа подвергается влиянию климата, гидродинамики озера, флоры и фауны, человека, вследствие чего эволюционирует. Поэтому организаторам любой хозяйственной деятельности в прибрежной зоне необходимо учитывать не только сами геоморфологические характеристики, но также и свойства обстановки, которые могут определять морфологию и динамику рельефа, обосновывая пригодность территории для этого типа природопользования [39, с. 58-59].

При рассмотрении факторов, влияющих на геоэкологическую устойчивость рельефа, Кубаткин (2006) предлагает разделить их на два основных блока: анализ природной и антропогенной нагрузки на рельеф с учетом региональных особенностей [14, с. 5]. Данный подход позволит выявить зоны эколого-геоморфологического риска на исследуемой территории в зависимости от устойчивости рельефа к природным и антропогенным воздействиям. Автор предлагает проводить оценку природных и природно-техногенных условий воздействия на рельеф по степени опасности проявления негативных процессов, по степени вероятности возникновения чрезвычайной ситуации, путем вычисления или экспертных оценок. Выделение зон эколого-геоморфологического риска является основой для рекомендаций по разработке комплекса ограничений по нагрузке на рельеф с целью сохранения окружающей среды в процессе хозяйственной и иной деятельности [14, с. 5-6].

Для анализа техногенного и природно-техногенного морфогенеза предварительно была создана карта землепользования исследуемой территории (рисунок Б.1). За основу классификации типов антропогенного рельефа были приняты труды Белоусова Л.И (2011):

- рекреационный (искусственное выполаживание берегов);
- берегоукрепительный (инженерные защитные железобетонные конструкции, пирс, волнорезы);
- горнопромышленный (карьеры);
- селитебный (населенные пункты);
- водохозяйственный (каналы);
- агрогенный (пашня, сенокосы, пастбища);
- линейно-транспортный (авто- и железные дороги, трубопроводы, ЛЭП);
- техногенно-накопительный (свалки бытовых отходов) [15, с. 13].

Научной основой для анализа эколого-геоморфологических условий в нашем исследовании выступают карты геоморфологии, современных рельефообразующих процессов и землепользования исследуемой территории. Полученные результаты анализа природных, техногенных и природно-техногенных условий воздействия на рельеф позволили провести анализ эколого-геоморфологических условий территории, а также разработать легенду и содержание одноименной карты (рисунок В.2). Выделение ведущих процессов, оценку подверженности к неблагоприятным процессам рельефообразования, хозяйственной деятельности человека, проводили по материалам трудов Лихачевой Э.А. и Тимофеева Д.А. [12, с. 611]. Теоретическую основу исследования составляют научно-методические принципы и идеи выделения эколого-геоморфологического состояния территории и оценки антропогенной нагрузки на региональном и субрегиональном уровне [181].

Эколого-геоморфологический анализ включает оценку влияния рельефа на состояние экосистемы; обнаружение вредных воздействий геоморфологических условий на социосферу; оценку и прогноз неблагоприятных проявлений экзогенных процессов при определенном виде (видах) хозяйственного использования территории; разработку рекомендаций по снижению приведенных выше воздействий; сохранение и контролируемое изменение геоморфологических условий территории при ее хозяйственном использовании [16, с. 2].

Формы выражения оценок могут быть словесными/вербальными (условия и факторы неблагоприятны, благоприятны, наиболее благоприятны) или цифровой (1, 2, 3 ... и т.д.). Чаще используется цифровое выражение, потому что оно короче и позволяет проводить различные сопоставительные результаты [182]. В создании карты эколого-геоморфологических условий для обозначения уязвимости территорий к неблагоприятным рельефообразующим процессам нами использовалась четырех бальная шкала: низкая, слабая, средняя и высокая. Ранее покомпонентную интегральную оценку рекреационного потенциала

ландшафтов Приалаколья проводил Мукаев Ж.Т. Автором была определена интегральная оценка в баллах каждого компонента ландшафта: рельеф, климат, водные объекты и почвенно-растительного покрова [34, с. 37-51].

Выработанный денудационный рельеф. Эколого-геоморфологические условия пологоволнистой равнины денудационного рельефа, занимающей водораздел между озерами Алаколь и Кошкарколь на современном этапе, подвержена процессам подтопления (северо-западное побережье оз. Алаколь). Затоплению подверглась периферийная часть со стороны оз. Алаколь, территория вдоль русла реки-протоки Уялы и центральная часть водораздела. Со стороны оз. Алаколь побережье равнины подвержено активной переработке берегов в результате которой образовался береговой уступ. Затопленные территории рассматриваемой равнины нами отнесены к новому классу затопленные озерно-болотные плоские равнины. Они представляют в настоящий момент ценные водно-болотные угодья. Водно-болотные угодья являются местом обитания и питания водоплавающих и околоводных птиц и других видов диких животных.

На побережье оз. Уялы расположено с. Алаколь, основной хозяйственной деятельностью которого, является промысловое рыболовство. Действует рыбопитомник ОО «Алакөл-табиғаты», по словам работников ежегодно производится выпуск мальков в озера Алаколь и Уялы. Ранее восточнее с. Алаколь располагалось с. Уялы, которое было упразднено в 2015-2017 гг. из-за образовавшейся чрезвычайной экологической ситуации, затопления селитебных территорий и автодороги, связывающее село с г. Ушарал, в результате повышения уровня воды (рисунок В.1).

В пределах равнины на протяжении 2,5 км подтоплено основание насыпи автодороги Ушарал-Камыскала. Изменение физических условий грунта насыпи может привести к различного рода деформациям дорожной насыпи и покрытия. Водная среда изменяет физико-механические свойства насыпного грунта и подстилающего рельефа. В результате вдоль дороги наблюдаются накренившиеся бетонные опоры линии электропередач. В сельскохозяйственном отношении не затопленная территория равнины используется в качестве пастбища. Уязвимость территории к неблагоприятным современным процессам рельефообразования имеет среднюю степень.

Выработанный эрозионный рельеф. Территория выработанного эрозионного рельефа включает мелкосопочный рельеф острова Киши Аралтобе, высокая и низкая абразионные террасы островов Улкен Аралтобе, Киши Аралтобе и Средний. Территория трех островов включена в состав земель Алакольского государственного заповедника. Острова являются местом гнездования водоплавающих и околоводных птиц [183,184]. Однако остров Киши Аралтобе популярное место посещения для туристов восточного берега, при прогулке на катере по озеру. По словам водителей катеров, расстояние от берега до острова на катере преодолевают за 20 минут в одну сторону. Общая стоимость за один катер (5-6 посадочных мест)

составляет 20-25 тыс. тнг. Посещение острова становится обязательным атрибутом (даже брендом) местных туристских услуг, именно для отдыхающих на восточном побережье, несмотря на особый природоохранный статус. Уязвимость к неблагоприятным рельефообразующим процессам нами определена как низкая.

Аккумулятивный рельеф. Плоская озерная нерасчлененная равнина занимает северо-западное побережье оз. Алаколь. На восточной части равнины расположено с. Камыскала, хозяйственная деятельность местных жителей связана с промысловым рыболовством. С запада на восток равнину пересекает автодорога Ушарал-Камыскала. Эколого-геоморфологические условия диктуются ведущими природными процессами подтопления в результате современного подъема уровня и переработки берегов от воздействия ветровых волн и осадочной литологии со стороны оз. Алаколь. В с. Камыскала не имеется месторождения пресных подземных вод, в связи с этим вода в село доставляется из г. Ушарал самостоятельно местными жителями. Для технических нужд используют местную подземную сильноминерализованную воду. Селитебные земли со стороны оз. Алаколь защищает от подтопления и эрозии насыпная дамба. По данным полевых исследований дамба в нескольких местах подверглась размыву от воздействия волн, образовалась опасная экологическая обстановка, в низинах наблюдается фильтрация воды, приводящая к заболачиванию и засолению (рисунок В.3).

По словам местных жителей, раньше удавалось содержать подсобное хозяйство, однако сейчас, в связи с значительным сокращением пастбищ, содержать домашний скот, стало невозможным. Автодорожная насыпь отрезком около 2 км, при въезде в село затоплена, на поверхность выходит только обочина и асфальтированное покрытие. В результате изменения физико-механических свойств насыпных грунтов от водной среды, дорога в нескольких местах деформирована.

Данная территория отличается высокой интенсивностью переработки берегового уступа. Так по полевым инструментальным данным при высоте уступа 6 метров, динамика переработки берега за один год составила более 13 метров в месте расположения памятника (рисунок Б.7). По всей длине берега равнины урез воды проходит по основанию уступа. Происходит подмывание грунтов основания уступа волнами. Грунты размываются, теряют свою упругость и прочность, вследствие чего происходит обрушение верхней части на пляж. Главной причиной волнового действия является поперечное расположение берегового уступа к восточному ветру Ебы. При скорости ветра от 2,5-3 м/с вызываемое волнение достигает основания уступа, в результате происходит размывание и увлажнение грунтов (промачивание). Данная скорость ветра является достаточной для активной переработки берегов. При более сильных показателях ветра процесс усиливается [111, с. 140].

В естественных границах села на побережье расположены многочисленные моторные лодки рыболовецкой артели местных жителей. При посещении нами острова Пески, а также близлежащих к с. Камыскала прибрежных территорий, были обнаружены множество выброшенных пластиковых канистр от моторного масла. Пластиковые канистры и рыболовные китайские сети стали неотъемлемым атрибутом пляжей, наравне с песком, галькой и тростниковыми оплывинами. Замусоренность пластиковой тарой обнаружена нами в отдаленных местах, такие как остров Пески. По назначению пластиковой тары понятно, что проблема загрязнения окружающей среды озера создается непосредственно ее пользователями в лице местных жителей рыбаков. О загрязнение воды озера остатками нефтепродуктов из канистр остается только догадываться, но ясно одно данное природопользование наносит негативное воздействие на окружающую среду озера. Уязвимость описываемой территории к неблагоприятным современным процессам рельефообразования имеет высокую степень.

Озерная плоская равнина, расчлененная сорами и солончаками расположена на западном побережье оз. Алаколь. Выделяются два ведущих природных процесса отвечающие за эколого-геоморфологические условия территории, это подтопление низменных аккумулятивных берегов, засоление и сорообразование. На равнине расположены несколько небольших озер. В хозяйственной деятельности равнина мало используется, чему обязана своим географическим положением и процессам сорообразования. От ближайших населенных пунктов равнину отделяет урочище Шубартубек с озерно-болотным рельефом. Однако равнина обладает значительным рекреационным потенциалом благодаря месторождению лечебных грязей «Коссор» [150]. В поселке Жайпак расположен пансионат грязелечения, функционирующий на базе лечебных грязей «Коссор». В летний купальный сезон местное население добывают грязь и продают отдыхающим на пляжах рекреационной зоны Акши и с. Коктума. Равнину пересекает несколько грунтовых дорог, ведущих к берегу оз. Алаколь. Уязвимость территории к неблагоприятным современным процессам рельефообразования определена как средняя.

Озерно-болотная плоская затопленная равнина, с прибрежной водной растительностью. Основные площади равнины расположены в северном, северо-восточном, западном и южном побережьях, фрагментарно равнина также встречается вдоль восточного и юго-западного побережья. Общая протяженность всех участков равнины вдоль берега озера составляет около 130 км. Затопленная равнина является важным местом взаимодействия водных и наземных экосистем. Данная территория входит в систему водно-болотных угодий Алаколь-Сасыккольской системы озер. Водная растительность выполняет функции гашения энергии ветровых волн. Современное повышение уровня воды в озере приводит к деградации водной растительности на месте перехода растительности в открытую акваторию

озера. Однако затапливаемая суша побережья по данным полевых исследований, становится водно-болотными угодьями. В хозяйственной деятельности незначительно используются как пастбища, зимой на восточном побережье производят заготовку тростника в качестве стройматериала. Ведущим природным процессом на равнине является подтопление, который определяет природный фактор эколого-геоморфологических условий. Уязвимость территорий к воздействию современных процессов подтопления является высокой. Наиболее активно процесс происходит в северо-восточной, северной и северо-западной части побережья оз. Алаколь. Динамика затопления составляет от 200 до 1000 метров за 18 летний период по данным ДЗЗ [103, р. 6-7].

Озерно-болотная плоская, слабонаклонная расчлененная равнина. Занимает восточное побережье залива Киши Алаколь в виде полосы шириной от 1 до 5 км и длиной до 29 км вдоль побережья озера. По всей территории равнины выклиниваются многочисленные источники подземных вод. Распространены процессы заболачивания и засоления. Увлажнение равнины способствовало произрастанию богатой влаголюбивой растительности. На равнине расположены богатые сенокосные и пастбищные угодья. Из хозяйственной деятельности развито животноводство. Уязвимость территорий к воздействию современных процессов рельефообразования побережья является слабой.

Озерно-аллювиальная, пологоволнистая с солончаками, расчлененная равнина. Пологоволнистая равнина сформировалась на конусах выноса и на озерных и речных террасах. На юге равнина переходит в озерно-болотный рельеф побережья Киши Алаколь, на севере естественной границей является грядово-бугристая эоловая равнина ур. Косайшагыл. Равнина в урочище Карабулак отличается развитием солончаков. На основной части равнины преобладают процессы плоскостного смыва. На равнине расположен с. Кабанбай (численность населения 4396 человек), западнее от села на побережье расположена рекреационная зона Кабанбай (оценочное количество посещения за летний сезон 600 тыс. людей [185]).

Уязвимость территорий к воздействию современных процессов рельефообразования в урочище Карабулак мы относим к средней степени, основную равнину к слабой, рекреационную зону Кабанбай к высокой степени уязвимости. Берег равнины в районе рекреационной зоны Кабанбай имеет береговой уступ высотой до 2 метров, который подвергается интенсивной переработке берегов. По данным полевых исследований динамика абразионного процесса достигает 3,8 метра в год [5, р. 200-203]. Берега озера в последние годы испытывают высокую антропогенную нагрузку, связанную с резким ростом всестороннего туризма к озеру Алаколь. Наблюдается бурное развитие в прибрежной территории строительства различной необходимой инфраструктуры (санаторий, дома отдыха и др.), к сожалению, не всегда учитывающие факторы рельефообразования надводной части береговой зоны, вследствие чего

обострилась экологическая обстановка на побережье. Переработка берегов наносит значительный материальный ущерб землепользователям первой линии побережья, которые вынуждены каждый год обновлять конструкции берегоукрепления, восстанавливать прибрежную инфраструктуру, в том числе набережный променад рекреационной зоны с. Кабанбай (рисунок В.4).

По словам местных жителей под воду ушли несколько капитальных строений, асфальтированная дорога, самоизливающиеся скважины подземных вод. В результате техногенной берегоукрепительной деятельности видоизменяется побережье, нарушается вдольбереговой перенос осадочного материала.

В 2007 году специалисты проектного института "Казгипрпроводхоз" решили решить проблему (рекреационная зона с. Кабанбай) с помощью волнореза. За это время часть берега озера, защищенная волноломом, активно обустроивалась за счет снижения динамики береговой эрозии, об этом свидетельствует строительство санаториев и обширной набережной, в то время как незащищенная часть берега остается под воздействием абразионных процессов. Однако, за счет того, что волнолом размывало водой в 2012 году и в данный момент находится в полуразрушенном состоянии, современная набережная находится под воздействием разрушительной силы волны [186].

Экологическое состояние пляжей ухудшается из-за воздействия рекреантов и автомашин, проявляющееся в смещении масс наносов и изменении их состава, что в свою очередь также способствуют размыву пляжей [187]. Рекреационное воздействие по сути является составляющей многих факторов: прямых (вытаптывание, уплотнение почв, истребление представителей флоры и фауны замена некоторых видов растений сорными и др.) [150] и косвенных (изменения среды обитания). Воздействие рекреации на берега проявляются в переработке берегов, подтоплении, изменении русловых процессов, загрязнении почвогрунтов и воды, засорении территории, сукцессионных изменениях растений.

Полевые экологические мониторинговые исследования позволили детально изучить виды техногенного преобразования побережья. У дома отдыха «Дорожник» береговой уступ был видоизменен берегоукрепительными работами в 2019 г. На расстоянии более 100 м, вдоль уреза воды вбиты на глубину 4 м толстостенные металлические полукруглые сваи, с применением гидромолота. Данные сваи сварены между собой от поверхности воды до верхней части. Таким образом, данная металлоконструкция представляет собой цельный берегоукрепительный щит. Со стороны суши на расстоянии 5-6 м вбиты в землю металлические швеллеры, от которых перпендикулярно установлены распорки, для придания устойчивости берегоукрепительной металлической конструкции. Тыльная часть металлического щита из сваренных полукругов залита бетонной смесью и засыпана балластом. Высота металлического щита с засыпным грунтом с тыльной части над урезом воды составляет около 1 м.

Этим методом была увеличена ширина суши на 10-15 метров от кромки берегового уступа. С внешней стороны щита в воде расположено большое количество бетонных конструкции - тетраподов, выходящих на поверхность воды (рисунок В.5).

Зона отдыха «Аквамарин» открылась в 2015 г., расположена на первой линии, побережье которого подвержено переработке берегов. По словам администрации зоны отдыха за один год из 60 соток территории зоны отдыха, осталось 54-55 соток, остальное ушло под воду. Для защиты территории зоны отдыха от абразии, капитальных сооружений от разрушений, собственники своими силами провели берегоукрепительные работы, которые позволили сохранить территорию на протяжении 4 лет пользования (рисунок В.6). Однако после строительства в первое же межсезонье основной каркас берегозащитной конструкции были разрушены под воздействием ветровых волн, коррозии металла и других природных факторов. В связи с чем собственники вынуждены каждый год обновлять и совершенствовать инженерные берегозащитные конструкции для устойчивого управления территории. Ежегодно они вкладывают значительные суммы личных средств на восстановление берегоукрепления. Проведенные полевые исследования позволили зафиксировать техническое состояние берегоукрепления до межсезонья и после (рисунок В.7)

Материалы берегоукрепления включает металлические швеллеры, бетон, стальные каркасы, габионы, бетон, балласт и др. Технология заключается в забивании 4 метровых швеллеров в подводный прибрежный грунт на глубину 2-3 метра с использованием гидромолота. Далее каждый шпунт закрепляется между собой сваркой, металлоконструкция включает распорки, армировку и опорные шпунты со стороны суши. С тыльной стороны металлокаркасса заливается бетон и засыпается балласт. По словам администратора зоны отдыха, грунт под основанием забитых шпунтов (швеллеров) вымывается вдольбереговым переносом (рисунок В.7).

С учетом вышеизложенного уязвимость рекреационной зоны к неблагоприятным современным процессам рельефообразования определена как высокая.

Озерно-аллювиальная равнина в северо-восточной периферийной части пролювиального конуса выноса р. Жаманты. Равнина расположена на юго-западном побережье в районе затопленной старой железной дороги. Эколого-геоморфологические условия равнины складываются под воздействием процессов подтопления низменных аккумулятивных берегов. По территории проходит ветка железной дороги Актогай – Достык, а также грунтовые дороги. В сельскохозяйственном отношении территория используется в качестве пастбищ. Уязвимость территории к неблагоприятным процессам рельефообразования имеет среднюю степень.

Аллювиально-дельтовая, плоская, пологонаклонная равнина низких речных террас, пойм и дельт. Данный тип равнин приурочен к главным водным артериям озера – р. Жаманты (юго-западное побережье), р.

Ырғайты (южное побережье), рекам Эмель и Катынсу и Уржар (юго-восточное побережье). По юго-западному побережью проходит национальная транспортная сеть, включающая автодорогу Ушарал-Достык, железную дорогу Актогай – Достык и нефтепровод Атасу – Алашанькоу. Транспортная сеть пересекает аллювиально-дельтовые равнины р. Жаманты и Ырғайты. Из р. Жаманты ведется водозабор для полива сельскохозяйственных угодий. По руслу и пойме реки переносятся из гор валунно-галечниковый материал. Возможны проявления селевых процессов по руслам рек, в результате которых могут пострадать опоры и насыпи конструкции мостов авто- и железной дороги. В обеих поймах проводится регулирование русла путем отсыпки насыпей для предупреждения паводковых явлений. Долина реки Эмель не пересекают автодороги в пределах территории исследования. Река Катынсу пересекается вброд в районе с. Коктал, незначительно ведется забор для полива сельскохозяйственных угодий. Уязвимость территории к неблагоприятным процессам рельефообразования имеет среднюю степень.

Аллювиально-пролювиальная равнина на конусах выноса рек Тентек, Жаманты и Ырғайты (юго-западное побережье озера). Ведущим процессом рельефообразования равнины является плоскостной смыл, а также линейная эрозия по небольшим руслам, бороздкам временных водотоков. Линейная эрозия усиливается дефляцией сельскохозяйственной обработкой поливных земель на равнинах р. Тентек и средней части конуса выноса р. Жаманты, где образовались антропогенно-трансформированные формы рельефа. Верховья конуса выноса р. Жаманты, а также равнина конуса выноса р. Ырғайты используется в качестве пастбищ. По средней части конусов выноса проходят автомобильная и железная дорога и нефтепровод. Автомобильная дорога на текущий момент проходит капитальную реконструкцию. Нефтепровод закопан под землю, на поверхности видна насыпь линейной траншеи.

В периферийной части конуса выноса р. Жаманты находится населенный пункт Акши, железнодорожная станция и популярная рекреационная зона. Анализ природных процессов и хозяйственное землепользование, отвечающие за эколого-геоморфологические условия, позволили определить уязвимость территории к неблагоприятным современным процессам рельефообразования. Низкая степень уязвимости определена нами на равнине конуса выноса р. Ырғайты, слабая степень в верховье конуса выноса р. Жаманты, средняя на равнинах с развитым ирригационным орошением и сильная степень уязвимости у денудационных берегов с повышенным техногенным воздействием (рекреационная зона Акши, полигон ТБО).

По данным местных исполнительных органов юго-западное побережье за 2018 г. посетило более 1 млн. отдыхающих в течении купального сезона [188]. Развитие инфраструктуры на побережье рекреационной зоны Акши сопровождается значительным техногенным воздействием на естественные

морфометрические условия берега. Распространены искусственное выполаживание берегового абразионного уступа, бессистемные берегозащитные сооружения, капитальное строительство без учета рельефообразующих процессов побережья в частности высокой динамики переработки берегов. По данным полевых исследований в среднем подвергается эрозии от 0,5 до 6,5 метров берегового уступа в год. Аккумулятивные косы Малый и Большой Балгын выполняют защитную функцию денудационных берегов рекреационной зоны. Инфраструктурные объекты, расположенные с тыльной стороны кос, не испытывают негативного воздействия современного берегообразования.

Берега, выходящие в открытую акваторию озера, испытывают значительную динамику рельефообразования, которая наносит серьезный материальный ущерб землепользователям первой линии (рисунок В.8). Берег характеризуется экологической опасностью переработки берегов, в результате которого происходит разрушение различной инфраструктуры побережья, включая капитальные строения. Землепользователи первой линии наиболее критически относятся к сохранению материальных вложений, ежегодно констатируя приближение берегового уступа к капитальным сооружениям зон отдыха. Некоторые собственники переносят строения вглубь суши своих участков или приобретают другой участок и переносят зону отдыха. Другие землепользователи первой линии проводят берегоукрепительные работы для сохранения имущества.

По словам администратора дома отдыха «Керемет» за последние годы уступ передвинулся на 20-30 м. Северная оконечность косы Малый Балгын за один год увеличилась в длину на 70 м. В связи с чем, эрозия уступа уменьшилась, благодаря косе, которая препятствует воздействию ветровых волн. Собственник своими силами проводил берегозащитные мероприятия. С фронтальной части берегового клифа были установлены четыре 40 футовых контейнера, которые засыпали инертным материалом, также были установлены 6 метровые бетонные плиты перекрытия в вертикальном положении, закрывая береговой уступ от озера. За один год данный вид берегоукрепления оказался не эффективным, который был полностью разрушен.

Еще одним распространенным техногенным воздействием на денудационный берег рекреационной зоны Акши является выполаживание берегового уступа. Естественная морфометрия рассматриваемого берега имеет клиф высотой от 2 до 6 метров. Эти условия затрудняют доступ туристов к пляжу, планирование и обустройство территории для отдыха на участках и др. Поэтому землепользователями первой линии проводятся сглаживание подстилающего рельефа берегового уступа в значительных объемах (рисунок В.9). Данные работы значительно изменяют природные формы рельефа побережья. Для более детального изучения возможного негативного воздействия техногенного преобразования в рельефообразование побережья необходимо время. Однако уже не

вооруженным глазом видно, как у искусственно выположенных берегов урез воды продвинулся в сторону суши, по сравнению с естественным берегом, включающий береговой уступ.

По результатам анализа рельефообразования рекреационной зоны Акши, основная динамика процесса происходит на месте взаимодействия суши и водной поверхности. Эрозия берегов является одним из главных факторов рельефообразования денудационных берегов, которая зависит от силы и направления ветра и волны. Также процесс представляет серьезную угрозу прибрежной инфраструктуре береговых рекреационных зон. На этом примере можно предположить, что в зоне будущего возможного воздействия находятся территории до 100 метров от уреза воды, которые могут подвергнуться разрушению.

Активизация современных процессов берегообразования продолжается относительно недавно, о чем свидетельствуют срезанные абразионным процессом несколько курганов на поверхности берегового уступа, Джуркашев (1972) [32, с. 89]. До 2010-2014 гг., на юго-западном побережье располагалась группа из более чем 30 курганов разного размера (рисунок В.10 а,в,г,д) являющиеся археологическим памятником эпохи ранних кочевников (1 тысячелетие до н.э.). В настоящее время курганы практически полностью выровнены с землей. Территория с курганами отведена под инфраструктурное развитие, а также под развитие пляжного туризма.

Аллювиально-озерная равнина на конусах выноса и континентальных дельтах, северо-восточное побережье. Равнина развита на конусах выноса и континентальных дельтах рек Уржар и Катынсу. Современные эколого-геоморфологические условия равнины характеризуются процессами обширного подтопления прибрежных территорий. В результате повышения уровня озера, затапливаются грунтовые дороги, опоры линии электропередач, прилегающие сенокосные и пастбищные угодья. По словам одного из местных жителей с. Коктал за несколько лет были затоплены его сенокосные угодья площадью 500 га. Сокращение сельскохозяйственных угодий для ведения животноводства стало причиной изменения вида хозяйственной деятельности у жителей села. Многие сельчане освоили навыки промыслового рыболовства, которое в настоящий момент становится одним из основных видов деятельности у населения наряду с традиционными видами сельского хозяйства. Подтопление также ограничило доступ к урочищу Зелененькое, популярному рекреационному месту пляжного отдыха среди местных жителей и района. Уязвимость территории к неблагоприятным процессам рельефообразования имеет среднюю степень.

Делювиально-пролювиальная равнина на пролювиальных конусах выноса, юго-западное побережье. Конусы образованы отложениями рек Тентек, Жаманты, Семерлы, Бокайсай и Ыргайты. Эколого-геоморфологические условия равнины обуславливают наличие природных

процессов плоскостного смыва, линейной эрозии и переработки берегов по периферии, а также развитое антропогенное землепользование (селитебные территории, сельскохозяйственные угодья, транспортная сеть, рекреационная инфраструктура). Ведущим современным процессом рельефообразования равнины является переработка берегов в периферийной зоне. Береговой уступ подвергается интенсивным неблагоприятным экзогенным процессам (рисунок В.11). Также на равнине получили развитие плоскостной смыв, овражная эрозия и просадочность.

Сельскохозяйственное землепользование на равнине представлено пастбищными угодьями и ирригационными землями в пределах правого борта р. Жаманты в районе с. Коктума. Равнину пересекает автомобильная и железная дорога, нефтепровод. Железнодорожный перрон с. Коктума выполнен в виде бетонной платформы, предназначенный для посадки и высадки пассажиров. Здесь необходимы дополнительные работы по улучшению инфраструктуры железнодорожного сервиса для пассажиров (зал ожидания, ж/д касса, комната отдыха и др.) [134, с. 5].

Жители с. Коктума занимаются подсобным хозяйством, преобладает отгонное животноводство, а также предоставляют гостиничные услуги для отдыхающих в летний, купальный сезон. Для местного населения предоставление сервисных услуг отдыхающим является одной из главных статей дохода и занятости. Удовлетворение потребностей значительного количества отдыхающих в летний период на юго-западном и восточных берегах стимулируют занятость местного населения, а также привлечения трудовых ресурсов для предоставления услуг и сервиса (таблица В.2). В этот период потребляется большое количество продуктов не характерные для сельской территории, которые образуют огромное количество твердых бытовых отходов. Проблема городов по утилизации отходов становится актуальной в купальный период для рекреационных территорий побережья оз. Алаколь. Площадь полигонов твердых бытовых отходов у сел Коктума, Акши и Кабанбай превысили 1 кв. км по данным космических снимков. При сильных ветрах, характерных для этой территории, в осенне-весенний период, твердые бытовые отходы (пакеты, пластиковые бутылки) разносятся за пределы полигонов.

В зону проявления входит естественная прибрежная граница селитебной территории с. Коктума. По данным местных жителей несколько жилых улиц с. Коктума, были утрачены в результате размыва берегового уступа. По данным полевых исследований средняя динамика абразионного процесса колеблется в пределах от 3 до 5 метров в год, при высоте уступа от 2 до 9 метров. Корневая система деревьев способствует образованию береговой ниши вымывания в уступе глубиной до 4 – 5 м, длиной до 20 м. Ниша вымывания представляют собой опасную зону, так как в любой момент возможно обрушение деревьев в сторону пляжа. Вместе с береговым уступом разрушению подвергаются жилые домовладения, хоз постройки, дороги улиц, гостевые дома и др. По данным местных жителей местные

исполнительные органы предоставляют земельные участки в селе, людям чьи дома были разрушены перерботкой берегов (рисунок В.12). Уязвимость территории к неблагоприятным процессам рельефообразования с учетом природных и техногенных условий прибрежная часть равнины имеет высокую, а материковой части мы присвоили слабую степень.

Грядовая, бугристая и ячеистая равнина на закрепленных песках, северо-восточное побережье, расположена в пределах песчаных массивов Бармаккум и Коссайшагыл. На равнине выделяется ареал, прилегающий к берегу с подтопленными межгрядовыми понижениями, где ведущим процессом выступают подтопление и заболачивание. Процесс дефляции преобладает на материковой части равнины, в целом пески закреплены растительностью, но встречаются небольшие развеваемые участки. Песчаный массив используется в качестве пастбищных угодий. Уязвимость территории к неблагоприятным процессам рельефообразования имеет в подтопленной части среднюю степень и слабую в массиве с закрепленными песками.

В формировании эколого-геоморфологических условий исследуемой территории, прослеживается взаимосвязь геоморфологических условий побережья с современным повышением уровня воды в озере, взаимодействие которых приводит к интенсивному проявлению неблагоприятных экзогенных процессов. Распространение получили переработка денудационных берегов (абразионные процессы), подтопление и затопление на низменных, аккумулятивных берегах. Анализ природной составляющей эколого-геоморфологических условий приведен в таблице В.3. Хозяйственная деятельность побережья также неблагоприятно влияет на эколого-геоморфологические условия. Из них выделяются сельское хозяйство, селитебное, транспортное землепользование, рекреационное освоение побережья, бессистемные берегоукрепительные мероприятия, которые усиливают овражную эрозию, плоскостной смыв, переработку берегов, загрязнение твердыми бытовыми отходами и др. Анализ антропогенного воздействия на природно-хозяйственные системы приведен в таблице В.4.

В 2019 г. по данным официальных органов восточное и юго-западное побережье озера за летний период посетило более 1,7 млн. человек, без учета отдыхающих самостоятельно, по принципу экотуризма. С учетом интенсивного ежегодного роста туристов, а также принимая во внимание трансграничный потенциал (Китай, Россия) в будущем ожидается усиление техногенной нагрузки на рельефную среду водоема. Выявленные природные особенности рельефообразования побережья Алаколя в настоящей работе, рекомендуются в качестве основы, при принятии решении планирования и реализации любой хозяйственной деятельности на побережье Алаколя, включая инфраструктурное развитие побережья и укрепление берегов. Эколого-геоморфологическая оценка позволит местным исполнительным органам разработать превентивные меры для устойчивого развития побережья, с учетом научного мнения и результатов научных исследований.

Анализ эколого-геоморфологических условий выделил различные актуальные экологические аспекты, связанные с процессами рельефообразования. Различные типы рельефа в зависимости от взаимодействия своего расположения, хозяйственной деятельности и преобладающих экзогенных процессов, отражают настоящее экологическое состояние. Стоит отметить чрезвычайные экологические обстановки, сложившиеся на денудационных берегах рекреационных и селитебных зонах и аккумулятивного берега в районе с. Камыскала. В силу интенсивной, ежегодной абразии, застроенного берега, имеют место различные неблагоприятные воздействия на окружающую среду данного явления. К ним относятся утрата площади земельных участков, разрушение жилых домов, построек и рекреационной инфраструктуры, угроза здоровью и жизни людей, загрязнение озера строительными материалами, твердыми бытовыми отходами и продуктами жизнедеятельности и тд. В качестве экологических последствий развития экзогенных процессов в Приалаколье, приведены негативные изменения природно-хозяйственных систем в таблица 3.

Таблица 3 – Основные виды неблагоприятного экологического воздействия рельефообразующих процессов на ПХС побережья

Переработка денудационных берегов	Затопление аккумулятивных берегов	Ветровая эрозия, перенос песка	Плоскостной смыв	Обрушение обвалы оползни
Сокращение земельных ресурсов селитебного, рекреационного и с/х назначения, загрязнение вод продуктами переработки берегов (строительный материал, ТБО и органические отходы), угроза жизнедеятельности и безопасности населения	Изменение прибрежных экосистем суши, развитие галофитных видов растительности, деградация пастбищных и сенокосных угодий, засоление почв, выход из строя транспортной сети	Развитие подвижных песков в урочище Коссайшагыл, усиление процессов опустынивания. Перенос на территорию солей из зоны осушки оз. Эбинур (Китай)	Загрязнение побережья удобрениями и пестицидами, поступающих вместе с продуктами смыва, талыми и поверхностными водами из с/х угодий. Развитие линейной эрозии, загрязнение подземных вод	Угроза здоровью и жизни людей в период пляжно купального отдыха.

Обустройство береговой зоны в основном производится без учета локальных геолого-геоморфологических, ветро-волновых, ледово-термических и др. природных условий, а также вдоль берегового переноса и аккумуляции. Происходит техногенная трансформация прибрежной полосы суши, изменяются морфометрические и морфологические условия рельефа.

Назревает задача определения баланса рационального использования туристского потенциала оз. Алаколь. Для этого необходимо проводить мониторинговые экологические исследования природной и техногенной среды для разработки научно обоснованных мероприятий и рекомендаций [97, с. 393; 134, с. 4-5].

4.2 Основные тенденции развития эколого-геоморфологических условий береговой зоны озера Алаколь

В исследовании путей стабилизации побережья оз. Алаколь руководствовались общепринятым подходом постановки и решения задач прогнозного, характера обеспечивающих принятие управленческих решений в области природопользования [189]. Меры по управлению побережьем, должны учитывать текущие и прогнозируемые в будущем изменения в области изменения климата. Мониторинг прибрежной абразии должен использоваться в качестве инструмента для целей управления, практика мониторинга стимулирует чувство экологической ответственности и поощряет участие общественности в деятельности, связанной с поддержанием качества прибрежной окружающей среды [58, р. 8-9]. Castedo et al. (2013) выделяет способность прогнозирования прибрежной рецессии (абразии) и реакцию берегового уступа к изменяющимся условиям окружающей среды и антропогенному воздействию, фундаментальным требованием для управления прибрежной зоной и ее планирования [47, р. 171-174].

Для наиболее точного прогнозирования необходим длительный временной ряд наблюдений, наши мониторинговые исследования за динамикой переработки берегов начали выполняться с 2013 года. Всего для прогнозирования мы использовали 2-6 летние измеренные инструментальные данные динамики, многолетние метеоданные (30 лет) по метеостанциям, многолетние данные уровня озера (более 50 лет), а также цифровую модель рельефа SRTM (с разрешением 30 м). При проведении аналогичной работы Castedo et al. (2012) основывались на исторических данных динамики переработки берегов и на различных эмпирических и вероятностных методах. Однако калибровка и проверка модели затруднительны, поскольку измерения рецессии клифа в Великих озерах, а также в других областях, либо имеют недостаточную продолжительность или основаны на низкочастотных измерениях. В связи с чем, общая обоснованность этой и других прибрежных моделей должна основываться на соображениях, которые включают в себя достаточное повторение морфологии прибрежного профиля и современных темпов эрозии и режимов разрушения склонов, а также на том, согласуются ли прогнозы моделей с известными моделями развития прибрежных районов [47, р.168].

Учитывая сложность прибрежной системы клиф - пляж, в настоящее время все еще очень трудно, даже почти невозможно, построить численную модель для прогнозирования темпов переработки берегового клифа в

будущем, отмечают Brown et al. (2005). Поэтому они предлагают использовать эмпирический подход, заключающийся в сравнении темпов эрозии берегового клифа в течение определенных временных интервалов в прошлом с несколькими ключевыми переменными. Авторами, темпы спада были определены на основе цифровых ортофотоснимков, построенных с использованием исторических аэрофотоснимков, сделанных один раз в десятилетие с 1940-х годов по настоящее время [48, p. 309-310].

Прогнозирование переработки эрозионных (денудационных) берегов было основано на эмпирическом подходе, где ключевым параметром является сравнение динамики эрозии по данным полевых измерений, анализа разновременных ДДЗ, при условии сохранения современных гидрометеорологических условий. Результаты прогноза эрозии юго-западного, восточного и северного побережья на 20, 50 и 80 лет приведены в таблице В.30.

Прогнозные данные отступления берега рассчитаны на основе полевых измерений динамики по профилям с 2013 г. При этом не учитывается возможное будущее продолжение повышения уровня озера в следствие регионального климатического изменения, которое приведет к увеличению показателей (рисунок А.33). Расчеты выполнены до 2100 года, где в среднем до 2040 года денудационный берег отступит от 70 до 100 м от современного положения в зависимости от части берега. До 2070 года переработка берега достигнет от 175 до 250 метров, в 2100 году береговой клиф будет находиться от 280 до 352 м в сторону суши от современного положения.

Если не предпринимать берегозащитных мер береговой утес с. Коктума может отступить до 70 метров в течении 20 лет. Эрозионные участки побережья рекреационной зоны Акши могут продвинуться вглубь суши до 80-90 метров от современного уреза воды. Значительно может поменяться морфометрия аккумулятивных кос и пляжей рекреационной зоны с. Акши. Побережье рекреационной зоны с. Кабанбай в условиях происходящего техногенного укрепления берегов инженерными конструкциями оценить развитие невозможно. Однако, учитывая предыдущие полевые исследования динамики эрозии, в будущем побережье продолжит подвергаться разрушительному воздействию ветро-волновой переработке и вдольберегового переноса, усиленные нарушением естественных морфометрических условий, бессистемными сооружениями берегозащитных конструкций, включая пирс. Прогноз может измениться при условии проведения научно обоснованных берегоукрепительных работ, а также изменения трендов основных климатических показателей.

Береговой клиф с относительными высотами 10 м и менее (округ Манитовок), быстрее реагируют на изменение уровня воды в озере, ветро-волновые условия, чем более высокие утесы. Как правило, низкие береговые уступы наиболее уязвимы к переработке берегов и восприимчивы к изменению уровня озера [48, p. 307].

Прогноз будущих условий и природного состояния аккумулятивных берегов северо-западного, северного и северо-восточных берегов будет тесно коррелировать с трендами уровня воды в озере. Ключевые компоненты метеоусловий – осадки и температура по многолетним данным показывают тренды в сторону повышения обоих показателей. Стоит отметить, что аккумулятивные берега подвержены сгонно-нагонным явлениям. Сильный однонаправленный ветер продолжительностью от нескольких часов до нескольких дней может вызвать значительное повышение уровня воды на несколько десятков часов, при этом высота нагона может достигать 1 метра [145, с. 137]. Аналогичные сгонно-нагонные явления также имеют распространение на аккумулятивных берегах озера Мичиган [48, р. 311-312].

В течение многих лет осадки влияют на уровень озера. В течение нескольких часов, дней и недель осадки могут повышать уровень грунтовых вод и изменять поверхностный сток. Вполне вероятно, что периоды интенсивных осадков влияют на скорость отступления денудационных берегов и подтопления [48, р. 312-313]. Некоторые эксперты предсказывают, что более теплые температуры приведут к большему количеству осадков, а значит, и к более высокому уровню озер. Другие предсказывают, что повышение температуры приведет к большему испарению, интенсивному таянию ледников и в следствие сокращению речного стока в озера и, следовательно, к снижению его уровня [190]. В связи с чем, некоторые ученые полагают, что колебания могут наступить быстрее и максимумы будут выше, а минимумы ниже [191].

Показатели изменения климата для озер различных типов определяются их характеристиками климатической и бассейновой морфометрии, а также особенностями расположения водосборных бассейнов. Уровень воды в естественных бессточных озерных бассейнах является хорошим индикатором изменения климата, поскольку он отражает динамический баланс между поступлением воды (осадки, сток) и потерей воды (испарение), а также временем свободного ото льда сезона в масштабах времени от нескольких часов до столетий. Измерения уровня воды особенно полезны в случае озер бессточного бассейна, где длительные колебания уровня воды могут быть связаны с аналогичными крупномасштабными изменениями климата [192].

Учитывая, что питание озера происходит от поверхностных и подземных вод, а также осадков, возможно в будущем с истощением ледниковых полей, повышением испарения произойдет изменение водного баланса в сторону уменьшения притока и увеличения расхода воды в озере. Данный возможный сценарий потребует проведения новых исследований и принятия решений по сохранению экосистемы озера и прибрежных территорий [170, с. 69].

Основной задачей прогноза развития аккумулятивных берегов озера в исследовании, определить участки подтопления и их площадь в результате возможного продолжения повышения уровня озера, на основе анализа

цифровой модели рельеф SRTM. Обработка ЦМР позволила извлечь гипсометрическую сеть с абсолютными высотами от 348 м до 355 м. Проведена корреляция полученных изолиний с измеренными данным уровня озера по годам, методом геопространственной статистики высчитаны величины площадей подверженные затоплению, в результате возможного повышения уровня озера (таблица В.5).

За всю историю наблюдения за уровнем озера по сравнению с современным, уровень поднялся на семь метров с 343 до 350 метров (1950-2018 гг). Согласно наблюдаемым историческим данным с 1989 года уровень озера поднялся на 2 метра. Отметка 348 м н.у.м. фиксировалась в течении 6 лет (1989-1994 гг.), с 1995 года уровень озера превысил порог в 349 м, который плавно увеличивался в течении 15 лет (с 1996 по 2009 гг.) до 350 м. Начиная с 2010 г и по настоящее время уровень озера находится на отметке 350 метров. Наличие исторических многолетних данных изменения уровня воды и цифровой модели рельефа (2000 г) с разрешением 25-30 метров, позволили провести пространственно-временной анализ изменения положения низменных аккумулятивных берегов за последние 30 лет (таблица В.5, рисунок В.13).

Морфометрические условия рельефа влияют на площадь затопления при повышении уровня. Так, например, увеличение уровня с 348 до 349 метров привело к затоплению 56 км², следующее поднятие уровня с 349 до 350 метров затоплению подверглись уже 179 км². Таким образом, повышение уровня на 2 метра за последние 30 лет привели к затоплению 235 км² аккумулятивных озерных, аллювиальных и дельтовых равнин. Следующий этап прогноза – анализ извлеченных изолиний рельефа из ЦМР интервалом через каждый метр до абсолютной высоты 355 метров. При увеличении современного уровня до 351 м, произойдет объединение озерных котловин Алаколя, Сасыкколя и Уялы. При этом затоплению могут подвергнуться 210 км² прибрежных равнин оз. Алаколь, преимущественно в северной и северо-восточной части озера. Повышение уровня до отметки 352 м, может привести к увеличению зеркала озера Алаколь на 163 км². В случае повышения уровня до отметки 353 м, окажутся затоплены 207 км² прибрежных территорий, в том числе селитебные земли с. Камыскала. Увеличение уровня до 354 м, поспособствует еще 148 км², в основном в северо-западной и северо-восточной части. При повышении до отметки 355 метров, дополнительно будут затоплены 93 км² прибрежных территорий.

В целом изменение уровня на 5 метров от современного положения приведет к затоплению и соответственно увеличению зеркала озера на более 1000 км². Как видно по карте анализа ЦМР (рисунок В.13) повышение уровня приведет к затоплению северо-восточной, северной и северо-восточной части прибрежных аккумулятивных равнин.

4.3 Природоохранные и берегозащитные мероприятия

4.3.1 Опыт локальных берегоукрепительных мероприятий

Высокая активность переработки денудационных берегов, достигающая 3-5 метров в год [5, р. 203], наносит существенный материальный ущерб рекреационной инфраструктуре побережья, уменьшается площадь отведенных земельных участков. Проблема актуальна на юго-западном и восточном побережье озера, важность ее решения поднимается на самом высоком уровне правительства. Так в 2009 году на восточном побережье в средней части рекреационной зоны с. Кабанбай был построен поперечный волнолом, длиной 168 метров для защиты берегового уступа от разрушительного действия волн [175]. Анализ полевых наблюдений и космоснимков выявил аккумуляцию, нарастание пляжной зоны, сложенной из гальки и песка на территории расположенной южнее волнореза. Увеличение ширины пляжной зоны зафиксировано на расстоянии более 150 м от пирса, вдоль берега (рисунок В.14).

Образованные морфометрические характеристики побережья на данном берегу способствовали строительству набережного променада и другой прибрежной рекреационной инфраструктуры. На берегу севернее от волнореза напротив динамика переработки берегов усилилась, происходит активное перемещение берегового уступа в сторону суши (рисунок В.15). Под негативное воздействие усиления переработки берегов, вызванное волнорезом попадет дом отдыха «Дорожник». По данным полевых исследований береговой уступ в 2018 г от 2-ух этажного корпуса находился в менее 3 метрах. По исследованиям Jeffrey H. List одной из причин эрозии берегов, является нарушение вдоль берегового переноса осадочных отложений в литоральной зоне. Происходит нарушение баланса прихода, расхода и объемов запаса отложений внутри литоральной зоны, в которых участвуют вдольбереговое и поперечное перемещение, речной сток, антропогенное вмешательство и др. [176, р. 848]. Нарушение вдольберегового переноса осадочных пород антропогенной инженерно-технической деятельностью в береговой зоне озера является причиной интенсивного видоизменения берега.

Также одним из примеров эффективного метода берегоукрепления можно выделить в рекреационной зоне с. Акши. По данным полевых исследований и данных космических снимков в течение одного года в продольном профиле береговой линии, укрепленная территория приняла форму полуострова (рисунок В.16). По краям фронтальной части железобетонной конструкции береговой уступ переработан на несколько метров в сторону суши, при этом линия уреза воды осталась практически без изменений. 4-ех метровый береговой уступ, сложенный валунно-галечником с включением песка и суглинков, является источником питания для формирования пляжей. Осадочный материал уступа легко подвержен процессам переработки берегов. Укрепление берегового уступа произведено железобетонными конструкциями. Конструкция целая, без повреждений,

пирс сохранен от разрушений. В метре от фронтальной части уступа установлены волнорассекатели представляющие собой сваи, вбитые или закопанные в землю. Сваи установлены на расстоянии друг от друга около 4 м и 1 м от бетонной конструкции, по основанию свай проходит продольно круглая железобетонная конструкция d 50-80 см, зарытая в землю. Каждый рассекатель закреплен проводом с зарытой конструкцией.

Стоит отметить, что не всем землепользователям первой линии удастся остановить или минимизировать процессы переработки берегов. Например, владельцем базы отдыха «Керемет» для защиты берегового уступа от эрозионных процессов применены два способа. На пляже у основания уступа были установлены четыре 40 футовых железных контейнера, внутренняя часть которых была засыпана грунтом. Рядом с контейнерами в северо-западном направлении на береговой уступ были установлены 6 метровые бетонные плиты перекрытия в вертикальном положении, закрывая береговой уступ от озера. Однако данное берегоукрепление в виде 6 м железобетонных плит и четырех 40 футовых контейнеров за один год были разрушены, соответственно переработка берегов продолжилась (рисунок В.17).

На правом берегу рекреационной зоны с. Акши при проведении полевых исследований в апреле 2019 года были зафиксированы разрушенные останки железобетонных конструкции. Визуально было определено, что железобетонном был забетонирован 6 метровый клиф берегового уступа на всю длину берега, в пределах границы участка базы отдыха. Используемый метод показал свою неприемлемость уже в межсезонный период. Полное разрушение берегоукрепления, захламление пляжа бетоном и металлом, а также материальный ущерб (рисунок В.18). В обоих приведенных примерах выполнение берегоукрепительных работ выполнялось без должного профессионального инженерного подхода к решению проблемы.

Анализ природных и антропогенных факторов позволил выделить и изучить основных агентов принимающие участие в активизации экзогенных процессов, неблагоприятно влияющих на эколого-геоморфологическую обстановку и безопасность жизнедеятельности. Каждый из приведенных факторов, достаточно серьезно вносит свой вклад в современный облик рельефа исследуемой территории и сложившейся эколого-геоморфологической обстановки. Что подтверждается камеральными, эмперическими и дистанционными исследованиями и полученными результатами. Однако следуя цитате Райта Ф.Л. «Думай глобально, действуй локально» одной из причин воздействия природных факторов, вызвано Глобальным изменением климата. Экологическая проблема глобального масштаба проявляется в климатических, гидрологических изменениях окружающей среды Приалаколья. Происходит активизация экзогенных процессов, ухудшается экологическая ситуация, особенно на стыке взаимодействия воды и суши озера Алаколь. Для раскрытия категории антропогенных факторов воздействия, выделяются нерациональное природопользование, когда деятельность человека является причиной

нарушения экологии окружающей среды, в контексте развития и воздействия экзогенных процессов на объекты, второе, когда хозяйственная деятельность не предусматривает даже в краткосрочной перспективе возможного изменение рельефа под воздействием экзогенных процессов. Таким образом, можно отобразить причинно-следственную схему образовавшейся проблемы и ее решение: изменение климата – рельеф – нарушение ПХС – последствия – пути решения.

4.3.2 Оценка количественных параметров природопользования береговой зоны озера для применения природоохранных и берегозащитных мероприятий

Анализ природных условий и антропогенного землепользования позволил определить процентное соотношение различных типов берегов оз. Алаколь (таблица В.7). Общая протяженность побережья включая острова и косы составило 559,3 км на 2018 г. [103, р. 8]. Из них по территории Алакольского района проходит 323,7 км и Уржарского района 235,6 км. Более 60 % процентов берега представляют низменные подтапливаемые равнины, отвесные береговые уступы занимают около 7 %, галечниковые пляжи с аккумулятивными косами около 22 %, берега сложенные коренными породами – 6%, и дельтовые занимают 5%. Характеристика типов берегов в исследовании необходимый показатель в проведении прогноза и предложении рекомендаций.

Анализ карты землепользования позволил определить процентное соотношение развитой хозяйственной деятельности на побережье (таблица В.8). В землепользовании области исследования превалирует сельское хозяйство, 4,3 % орошаемое земледелие и 61 % пастбища и сенокосные угодья. Площади сенокосных и пастбищных угодий северо-западного и северо-восточного побережья уменьшаются в результате повышения уровня озера, подвергаются обширным затоплениям. Так, по сообщению жителя с. Коктал, его сенокосные угодья – 500 га, в течении нескольких лет были полностью затоплены. Основная часть экономически активного местного населения задействована в сельском хозяйстве, а также в рыболовстве.

В промысловом рыболовстве вовлечены жители сел Камыскала, Коктал, Кабанбай, Акши и Коктума. Кенжебеков Б.К. (2018) и др. отмечают снижение объема рыбной продукции (550...650 т вместо 4500...5000 т в 80-х годах прошлого века), несмотря на увеличение водности и улучшения экологических условий водоема. Одной из главных причин авторы отмечают процветающее браконьерство, которое появилось после отмены планового хозяйства и установления рыночных отношений [193]. Необходимо пересмотреть существующие механизмы регулирования вопросов промыслового рыболовства на оз. Алаколь, которое позволит сохранить баланс между кормовой базой птиц и антропогенного вылова. Селитебные территории занимают 0,4 % территории, связанные между собой автодорогами. Из них земли населенных пунктов Коктума и Камыскала

наиболее уязвимы современным процессам переработки берегов. Ежегодно территория с. Коктума вдоль берегового клифа уменьшается на 3-5 метров в результате переработки берегов [5, р. 198-199].

Аналогичная проблема переработки берегов происходит на рекреационных зонах Акши и Кабанбай. Под давлением береговых эрозионных процессов находятся зоны отдыха первой линии. По данным инструментального мониторинга динамика эрозии составляет от 3 до 6 метров ежегодно [5, р. 199-203]. Рекреационные земли занимают 0,8% исследуемой территории. Алакольский государственный заповедник занимает 3 % территории, с учетом региональной значимости водно-болотных угодий заповедника, территорию рекомендуется расширить в низменных берегах, дельтах и пойм рек. Водно-болотные угодья занимают 26,6% от площади побережья исследуемой территории.

4.3.3 Рекомендации по стабилизации эколого-геоморфологических процессов и защите береговой зоны озера Алаколь

Эмпирический подход в прогнозировании развития денудационных берегов позволил получить количественные характеристики скорости отступления отвесного уступа (таблица В.9). В ближайшие 20 лет при условии сохранения природных характеристик эрозия составит на денудационных берегах от 70 до 100 метров в сторону суши. Полученные показатели позволяют внести в группу риска землепользователей первой линии рекреационных и селитебных прибрежных земель. Некоторые из них уже сегодня достаточно серьезно испытывают уязвимость от негативного воздействия переработки берегов.

Согласно прогнозам, материальный ущерб достигнет значительных масштабов, которому подвергнутся землепользователи юго-западного и восточного побережья озера. При этом спрогнозированная динамика не учитывает возможные региональные изменения климата, повышение уровня озера, усиление экстремальных метеорологических условий, которые в совокупности усилят процессы береговой абразии. Для решения сложившейся ситуации предпринимаются меры как на правительственном уровне (Проведение берегоукрепительных работ в рамках реализации Дорожной карты развития туристской отрасли Республики Казахстан до 2020 года), так и одиночными силами нескольких землепользователей первой линии [194]. Государственные берегоукрепительные проекты пока не получили реализацию на местности, кроме единственного недостроенного волнореза на восточном берегу.

Положительной стороной существующих инженерных методов защиты берегового уступа отдельными зонами отдыха и пирса на восточном берегу, это возможность оценить их эффективность. Есть возможность изучить слабые и сильные стороны метода, учесть ошибки, а так же принять во внимание положительные результаты, которые были достигнуты в решении проблемы эффективной берегозащиты. Вмешательство в береговые процессы

с целью защиты берегов от разрушения подразумевает обязательное согласование природных и технических элементов в виде единой оптимизированной системы. Поэтому рациональное решение берегоукрепления требует комплексного подхода к берегам как сложной природной системе. Следовательно, необходимо выбрать не нарушающий устойчивость естественных условий метод берегозащиты, обеспечивающий поддержание береговой зоны в динамически равновесном состоянии [62].

Наши исследования позволяют с уверенностью заявить о необходимости разработки единой цельной системы берегоукрепления с индивидуальным подходом для каждого отдельного побережья с. Коктумы, рекреационной зоны Акши и Кабанбай. Естественно, каждое отдельное побережье имеет свои локальные природные условия и факторы берегообразования (направление ветра, литология, вдоль береговое течение, морфометрию и др.), которые необходимо в первую очередь учитывать при работе над созданием берегоукрепления.

Результаты исследования позволяют с точностью заявить, для определения конкретных методов берегоукрепления необходимы более детальные комплексные исследования на местности, включающие эмпирический и инженерные подходы с возможностью проведения мониторинга на местности, опытных работ и моделирования с учетом локальных входных данных. Данная рекомендация обусловлена непростыми природными условиями взаимодействия воды и суши, экстремальными атмосферными явлениями, геологией берегов, а также усиливающейся техногенной деятельностью на побережье. Мы предприняли попытку выделить наиболее эффективные и устойчивые методы берегоукрепления денудационных берегов, результаты которого носят прикладной характер.

Для эффективности берегозащитных мероприятий, прежде всего, необходимо ответить на вопрос – защищать или не защищать? Для ответа необходимо узнать в каком состоянии находится берег, нарушено ли его динамическое равновесие, каковы причины нарушения этого равновесия. Любая неудачная попытка укрепить берег может вызвать нежелательные последствия, такие как, трансформацию берега в морфосистему с еще худшими относительно начального состояния свойствами [62]. Меры по борьбе с прибрежной эрозией требуют знания поведения наносов и их взаимодействия во всех соответствующих водных, прибрежных и внутренних средах. Подходы к управлению эрозией включают жесткие и мягкие меры защиты (удержание/продвижение линии), размещение, управляемое отступление, использование экосистем и жертвование территорией. Минимизация эрозии подразумевает конкретные местные действия, включающие восстановление естественных защитных местообитаний и даже удаление антропогенных структур, блокирующих производство наносов и их поступление в прибрежные системы [58, р.3-4].

В мире получили развитие различные методы защиты, в особенности морских берегов [44, р. 44; 61, р. 404-413; 62]. В своих исследованиях Bruun

Р. (1972) спрогнозировал увеличение давление на прибрежные территории под нужды рекреации и жилья. При этом одновременно будут развиваться защитные методы берегоукрепления. Автор проанализировал методы берегоукрепления, где выделил слабые и сильные стороны распространенных методов защиты берегов таблица В.10. При широкомасштабной защите берегов наиболее практичным методом является искусственное питание подходящим материалом, который обеспечивает лучшую защиту. При этом данный подход может нуждаться в поддержке дополнительных инженерных берегозащитных конструкций, например, береговых дамб, водобойных стен, волнорезов или волноломов. Основное техническое преимущество метода искусственного питания является "беспрепятственность" и "рационализированность", который не только не имеет неблагоприятных побочных эффектов, но и напротив, приносит пользу соседним берегам путем постепенного высвобождения осадочного материала. Другие меры, особенно волноломы и волнорезы оказывают значительное неблагоприятное воздействие на подветренные берега [44, р.43-50].

Результаты обзора применяемых методов берегозащиты и их краткая характеристика приведены ниже:

– Основное назначение бун – накопление или удержание пляжных наносов в межбунных отсеках. Буна – это активное берегозащитное сооружение, которое с одной стороны (наветренной) задерживает пляжеобразующие наносы, перемещаемые вдоль берега, а с другой (подветренной) вызывают низовой размыв. Тем самым нарушается природное равновесие. К тому же из-за размыва подветренных участков приходится продолжать строительство и растягивать участок берегозащиты, что приводит к увеличению антропогенной, инженерной нагрузки, к снижению устойчивости окружающих ландшафтов. Правильно сконструированные буны могут замедлить и даже полностью прекратить движение пляжных наносов вдоль берега. В результате этого в межбунных отсеках накапливается пляж, который защищает берег от волн. Однако такое их действие имеет и отрицательный эффект. Защитные свойства бун имеют локальный характер – они способствуют накоплению пляжа и защите берега лишь там, где построены.

Также стоит отметить буны нарушают естественные ландшафты морского побережья и с современных эстетических позиций их применение нежелательно [62]. Буны возводятся из массивовой кладки от одного до трех курсов в зависимости от топографии подводной части берегового склона. В процессе проектирования таких сооружений они рассчитываются на силовое воздействие волн и дрейфующих ледяных полей [195]. Метод получил широкое распространение на Сочинском побережье Черного моря.

– Продольные дамбы строятся из кварцитовых блоков и выполняет функцию продольной защиты основания берегового утеса. Структура дамбы выполняет функцию рассеивания энергии волны за счет поглощения, что

отличает от других стационарных волнорассекателей, выполняющие функцию отражения энергии волны. Распространение получили на Аргентинском побережье для защиты денудационного берега от разрушительного воздействия ветровых волн. Продольные дамбы имеют высоту 1,5–2,5 м и среднюю ширину 13–16 м, длиной от 135 до 760 м, в зависимости от стадии строительства. Они расположены у основания берегового уступа или на расстоянии около 25 м [61, р. 407].

– Волноотбойные стены. В результате работы волноотбойных стен, происходит размыв и сокращение ширины пляжа. Волна, накатывающаяся на пляж, постепенно теряет свою энергию, а при ударе о волноотбойную стену, со всей своей энергией, отражается от нее и с силой откатывается назад, размывая пляж. Исчезновение пляжей приводит к более интенсивному размыву подводного склона, который приводит к деформации или опрокидыванию стен [62].

– Волноломы. Подводные волноломы способствуют разрушению волны на подводной части побережья, на некотором расстоянии от берега. Конструктивно они представляют собой обычные затопленные стенки вертикального или наклонного профиля. Волноломы могут быть закрепленными и подвижными, проницаемыми и непроницаемыми. Важным качеством волноломов является возможность накопления под их защитой аккумулятивных формообразований в виде вытянутых в сторону волнолома отложений пляже образующего материала – салиентов и томболо. Это позволяет с помощью одних только волноломов формировать бухтовые пляжи [62].

– Прерывистые волноломы. Эффективность прерывистых волноломов определяется их способностью снижать энергию волн в заволноломном пространстве. В результате этого, между берегом и сооружением создаются волновая тень и происходит аккумуляция наносов. В одном случае образуется выступ или салиент, а в случае соединения аккумулятивной формы с берегом – перейма или томболо. Использование прерывистых волноломов позволяет добиться положительного эффекта в стабилизации пляжей на протяженных участках [62].

– Бухтовые аккумулятивные формы. На озере Алаколь получили распространение у рекреационной зоны Акши. Бухты образованы косами Большой и Малый Балгын, они образовали закрытые бухты. Внутренняя акватория соединена с озером узким проливом, что обеспечивает максимальную защиту берега внутренней акватории от волнового воздействия. У открытых бухт, акватория не отделена от моря, а ограничивающие бухту мысы выполняют двойную функцию – исключают возможность уноса пляже образующего материала и вызывают трансформацию подходящей волны, изменяя угол ее подхода к пляжу и обеспечивая саморегулирование и динамическую устойчивость пляжа по всему периметру бухты [62].

Практические предложения защиты юго-западных берегов оз. Алаколь были рассмотрены Нусуповым Д.К. и Турсуновым Э.А. (2018). Наиболее перспективным методом берегоукрепления авторы выделяют искусственное питание аккумулятивных пляжей осадочным гравийно-галечниковым материалом. Искусственное пляжеобразование обеспечивается отсыпкой в зоне действия штормовых волн, последующей переработкой волнами и течениями до достижения относительного динамического равновесия искусственного пляжа. В процессе переработки пляжеобразующий материал перераспределяется по площади прибойной зоны, окатывается и сортируется по крупности с более плотной укладкой. Более крупные фракции откладываются непосредственно возле берега, образуя небольшой галечниковый пляж. Мелкие глинистые фракции уносятся береговыми течениями, а песчаные фракции образуют пляжный откос. Авторы считают, что увеличение ширины галечникового пляжа с равновесным динамическим профилем, позволит исключить эрозию берегового уступа волнами, при условии сохранения современного уровня [59, с. 185-186; 60, с. 179].

На данном этапе нашего исследования с учетом полученных результатов, анализа научных международных трудов мы выделяем наиболее перспективные, научно обоснованные методы защиты денудационных берегов в условиях оз. Алаколь от абразионных процессов.

– Искусственное питание гравийно-галечниковым материалом вдольбереговой пляжной зоны, расположенной между уступом и урезом воды. Предложенные Нусуповым Д.К. и Турсуновым Э.А. (2018) метод искусственного питания пляжей, соответствует научным выводам нашего исследования и экологическим критериям не нарушения естественных условий побережья [60, с. 179]. При этом по данным наших исследований мы рекомендуем провести более детальные исследования вдоль берегового и поперечного переноса осадочного материала. С применением специальных методов и оборудования, а также проведения опытов. Который позволит, возможно применить дополнительные методы снижения переноса пляжеобразующего материала и др. В противном случае становится очевидным необходимость ежегодного, а иногда и ежесезонного искусственной подпитки пляжной зоны в целях сохранения проектных характеристик пляжной зоны. Отдельно стоит отметить о месте изъятия осадочного материала, которое требует детального анализа и проработки на предмет минимального неблагоприятного воздействия на окружающую среду.

– Бухтовые аккумулятивные формы. Один из наиболее эффективных и проверенных временем в условиях оз. Алаколь методов защиты берегов. Анализ ДДЗ показал изменчивость форм и размеров аккумулятивных кос рекреационной зоны Акши, однако полного исчезновения кос на данном побережье не наблюдалось. По данным местных жителей косы были искусственно созданы драгой для защиты рыбкомбината от разрушения. Как мы видим косы продолжают выполнять свои функции, более того они стали

отличным рекреационным местом в пляжно-купальный сезон. Косы улучшили прибрежное состояние окружающей среды и экологии, созданы прекрасные условия для жизнедеятельности человека. Часто в безледовый период на косы заезжает автотранспорт в целях рыболовства и пляжно-купального отдыха, это может привести к неблагоприятным процессам. Детальных исследований литологии, подводной и наземной морфометрии, а также динамики кос не проводилось, поэтому следует ограничить доступ транспортных средств на косы.

– Прерывистые волноломы. Перспективный метод для применения в защите восточных и юго-западных денудационных берегов оз. Алаколь. Для использования в условиях оз. Алаколь необходимы дополнительные исследования, включающие проведение опытов, воздействие ледовых полей и поведения вдольберегового течения. Метод импонирует своей эффективностью в защите берегового уступа, благоприятным воздействием на окружающую среду побережья. Способствует естественным образом увеличению ширины пляжа в области затенения, тем самым уменьшается эрозия, увеличивается рекреационная территория для пляжно-купального отдыха. Существенным недостатком метода является отсутствие на оз. Алаколь специального водного судна (драги) для строительства волноломов в прибрежной акватории.

Также исследования позволили определить менее практичные методы берегоукрепления в условиях оз. Алаколь. Поперечные (буны, волнорезы) и волноотбойные стены (железобетонные, свайные) малоэффективны, имеют короткий срок службы. Более того, как показал анализ существующие конструкции усиливают процесс отступления берегов в подветренной стороне, неблагоприятно воздействуя на побережье. Стоит отметить, закрепление уступа может повлиять на питание аккумулятивных кос и пляжей. Изменение текущих условий в Акши может спровоцировать развитие эрозии аккумулятивных форм рельефа (косы, пляжи), а далее усилить эрозию денудационных берегов.

Ученные Нусуповым Д.К. и Турсуновым Э.А. (2018) пришли к выводам, что все берегозащитные сооружения, рассчитанные на прямое отражение волны (волноотбойные стены, волноломы, буны и т.д.), не смогут защитить берег оз. Алаколь от разрушения, дав в лучшем случае временный эффект [60, с. 177-178].

Село Коктума с населением 4500 человек, в хозяйстве которого, выделяются отгонное животноводство, поливное земледелие, а также сезонная занятость в сфере рекреационных услуг, необходимо применить берегоукрепительные мероприятия на протяжении 2,5 км. Необходимо улучшить инфраструктуру железнодорожного перрона с. Коктума [134, с. 5]. Значительные вложенные инвестиции в развитие рекреационной инфраструктуры на побережьях с. Акши и с. Кабанбай, обосновывают разработку и реализацию превентивных мер для снижения негативного воздействия современного рельефообразования этих берегов. Мероприятия

должны включать разработку инженерных, научно обоснованных берегоукрепительных методов защиты абразионных берегов. С учетом сценариев прогноза уровня воды в озере и положения береговой линии, водоохранной зоны, основанного на научном подходе, в перспективе на 20, 50 и 80 лет. Необходимо проводить планирование территории освоения с отступом от кромки уступа не менее 100 метров. Существующие объекты жилого фонда и рекреации в зоне экологического риска, рекомендуется перенести вглубь суши или за пределы 100 метров от кромки уступов. Рекреационно-инфраструктурное освоение побережья необходимо проводить, строго соблюдая морфометрические условия рельефа, при этом минимизировать техногенное преобразование естественных условий побережья, которое позволит сохранить природные процессы прибрежных водных и земных экосистем таблица В.11.

Рекомендации для устойчивого развития аккумулятивных берегов оз. Алаколь. Аккумулятивные равнины в прибрежной части оз. Алаколь богаты разнообразной растительностью. Местные жители используют эти территории в сельском хозяйстве (пастбища, сенокосы), поэтому рекомендуется продолжать традиционную деятельность при условии доступа к ней. Перспективны территории для развития различных зоо- и ботанических направлений экотуризма, а также любительского рыболовства, в целом рекреационной деятельности, природоохранной направленности. Крайне не рекомендуется развивать транспортную, добывающую промышленность или иное схожее техногенное освоение. Очевидно, промышленная антропогенная деятельность может стать причиной необратимых неблагоприятных процессов.

Необходимо разработать превентивные организационные меры местным исполнительным органам для управления фермерскими хозяйствами, расположенных в прибрежной зоне. Учитывающие современное повышение уровня озера, изменение уровня при сгонно-нагонных явлениях, уменьшение пастбищной нагрузки на засоленных территориях и др. Подтопленные инфраструктурные объекты (ЛЭП, грунтовые дороги, зимовки) целесообразно перенести в более безопасные участки суши. Проведение защитных работ не несут экономической выгоды, в первую очередь для реализации мероприятия необходимы значительные материальные ресурсы, во-вторых это негативно повлияет на окружающую среду побережья, нарушит естественные условия.

В зоне неблагоприятного влияния процессов подтопления, а также эрозии и сгонно-нагонных явлений находятся селитебные земли с. Камыскала (Алакольский район). В качестве защитных мер со стороны озера земли села укрепили насыпной земляной дамбой, которая в настоящий момент разрушается и размывается ветровыми волнами. Стоит отметить насыпное основание дороги связывающая с районным центром г. Ушарал, до обочины затоплено в нескольких местах, параллельно дороге также подтоплены опоры ЛЭП. Рекомендуется провести укрепление дамбы с.

Камыскала по периметру со стороны озера, а также переселить жителей из подтапливаемых низменных территорий на более благоприятные селитебные земли. Укрепить дорожное полотно и основание автодороги Ушарал-Камыскала на подтапливаемых участках.

Комплексные исследования рельефа побережья оз. Алаколь, рельефообразующих процессов, а также факторов их образования, наряду с обзором международного опыта разработок рекомендаций и управлением прибрежных территорий позволили выявить, определить и предложить наиболее привлекательные мероприятия в землепользовании береговыми территориями, отвечающие требованиям устойчивого развития природных и антропогенных условий побережья водоема. Для проведения инженерных методов защиты берегов потребуются значительные материальные ресурсы, при этом можно рассмотреть альтернативные методы управления денудационными берегами, а именно с учетом прогноза динамики, перенести инфраструктуру побережья вглубь суши, а также на этапе планирования учитывать рельефообразующие процессы (таблица В.11).

Любые техногенные преобразования на берегу являются причиной активизации ряда различных процессов, стремящихся к балансу в конкретной местности. Например, защита берегового уступа морского побережья в Аргентине, искусственными продольными дамбами из кварцитовых блоков, уменьшили отступление береговой линии, но вызвали экологические изменения в естественных динамических условиях. Эти изменения вызвали серьезные последствия в прибрежной конфигурации, местной и региональной гидродинамике, морфометрии пляжей, окружающей среде и экологии побережья и, следовательно, в деятельности человека (проживание, рекреация) [61, р. 407-410; 62]. Поэтому до техногенного вмешательства, следует детально проработать природные условия и сценарии развития и оценки изменений. Очевидно, что разрушению также подвержены инженерные берегозащитные сооружения. Основными агентами выделяются штормовая деятельность ветровых волн, особенно в периоды действия экстремальных показателей, дрейфующие ледовые поля, которые также оказывают разрушительное силовое воздействие на берегозащитные сооружения. Для побережья оз. Алаколь третьим природным силовым фактором, возможно сейсмическое воздействие, которые также необходимо учитывать при проектировании берегоукрепления [195, с. 105].

Анализ существующих отдельных объектов берегоукрепления на озере, в процессе полевых исследований, показал неэффективность. Данные сооружения защищают только участок берега собственника, принявшего усилия по защите своего берега от эрозии, на период от 1 до 2 лет. При этом сооружения оказывают негативное воздействие на подветренное побережье, прибрежные ландшафты, в виде усиление динамики переработки или затопления берегов. Рекомендуется разработать системные меры береговой защиты сразу всего побережья рекреационной зоны, с единым подходом в управлении и использовании участков берегов. При разработке

берегоукрепительных мероприятий необходимо учитывать, чтобы проводимые работы не наносили ущерб окружающей среде, отдыхающим, либо он должен быть минимальным. После демонтажа кустарных сооружений береговой защиты, которое позволит снизить неблагоприятное воздействие.

Защита берегов от волновой эрозии должна осуществляться на основании закономерностей, определяющих естественную динамику литодинамических систем. Проблему защиты берегов недопустимо рассматривать как задачи защиты отдельных участков берега, она должна решаться для всего побережья, либо для нескольких крупных участков (литодинамических и береговых систем). Также в курортной зоне должны применяться только такие проектно-строительные решения, которые, наряду с обеспечением защиты берегов от разрушения, одновременно будут создавать пляжи, активно используемые в рекреационных целях [62].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изучены и адаптированы современные научные методы мониторинговых исследований экзогеодинамических процессов в контексте их влияния на эколого-геоморфологическую ситуацию природно-хозяйственных систем прилегающей территории к оз. Алаколь. Анализ геоинформационных теоретико-методических основ позволил выделить 3 применимых направления: камеральный метод (картографический, сравнительный, описательный и др.); метод дистанционного зондирования (дистанционные исследования); полевой метод (установка реперов по профилю, инструментальные измерения, наземное лазерное сканирование, батиметрические измерения и др.).

Выполнен анализ основных факторов рельефообразования береговой зоны оз. Алаколь. Из природного многообразия факторов рельефообразования Приалаколья, значительное влияние оказывают геологические (литология), ветро-волновые, геоморфологические (морфометрия), гидрометеорологические, ледово-термические и антропогенные факторы. В результате неблагоприятному влиянию экзогенных процессов и ухудшению эколого-геоморфологической ситуации подвергается береговая зона. На развитие аккумулятивных берегов влияют гидрометеорологические, ветро-волновые, гидрогеологические и геоморфологические (морфометрия) природные факторы.

Изучен современный рельеф надводной части береговой зоны оз. Алаколь. В результате были выделены и описаны следующие типы рельефа:

– Выработанный денудационный рельеф (пологоволнистая, расчлененная (до 20 м) равнина послесреднечетвертичного возраста (рQ2)).

– Выработанный эрозионный рельеф (мелкосопочный рельеф острова Киши Аралтобе, высокая и низкая абразионные террасы островов Улкен Аралтобе, Киши Аралтобе и Средний).

– Аккумулятивный рельеф включает различные типы равнин (плоская озерная нерасчлененная равнина, Q₃; озерная плоская равнина, расчлененная сорами и солончаками (5-7 м), Q₃; озерно-болотная плоская затопленная равнина, с прибрежной водной растительностью, Q₄; озерно-болотная плоская, слабонаклонная расчлененная равнина, Q₄; озерно-аллювиальная, пологоволнистая с солончаками, расчлененная равнина (10-20 м), Q₃₋₄); озерно-аллювиальная плоская, слабонаклонная, слаборасчлененная равнина, Q₃; аллювиально-дельтовая, плоская, пологонаклонная равнина, Q₄); аллювиально-пролювиальная, плоская, пологонаклонная, слаборасчлененная равнина, Q₃; аллювиально-пролювиальная, плоская полого наклонная равнина, Q₃); аллювиально-озерная, плоская, полого наклонная равнина, Q₃₋₄); делювиально-пролювиальная, полого наклонная равнина, Q₃₋₄); грядовая, бугристая и ячеистая равнина на закрепленных песках, Q₃; грядовая, бугристая и ячеистая, чуротная на закрепленных песках, Q₃₋₄).

– Антропогенно-трансформированные формы рельефа. (сельскохозяйственные угодья, рекреационные зоны).

По результатам работ была создана «Геоморфологическая карта побережья оз. Алаколь» масштабом 1:200 000.

Выявлена пространственная структура распределение рельефообразующих процессов береговой зоны озера Алаколь, отвечающие за современное эколого-геоморфологическое состояние. Современное рельефообразование побережья озера происходит под действием следующих экзогенных процессов: подтопление и заболачивание, сгонно-нагонные процессы, сорообразование и засоление, абразионные процессы в периферийной части конусов выноса (переработка берегов), дефляция, плоскостной смыв, эрозионная деятельность рек и временных водотоков, техногенная деятельность (инфраструктурное освоение, выполаживание берегового уступа, добыча полезных ископаемых). Создана карта «Современные рельефообразующие процессы побережья оз. Алаколь», масштабом 1:200 000.

С применением ГИС-технологий, ДДЗ и полевых исследований проанализированы воздействие эрозии и подтопления на окружающую среду природно-хозяйственных систем побережья. Определена динамика отступления береговой линии оз. Алаколь в сторону суши с 1990 по 2018 годы интервалом 5 лет. Общие показатели составили на эрозионных берегах от 66 до 218 м и на аккумулятивных берегах более 1 км. Площадь зеркала озера увеличилась на 120 км², превысив отметку 3000 км². Длина береговой линии за 28 лет увеличилась на 95,5 км и составила 517 км. В основном изменения в площади, длине и конфигурации береговой линии произошли в северо-восточной, северной и северо-западной части озера. На основе анализа цифровой модели рельефа, был определен комплекс детальных морфометрических показателей (уклон, экспозиция, гипсометрия, эрозионная сеть, горизонтальное расчленение) по бассейну Алаколь-Сасыккольской системы озер. При этом существенным вкладом явилось уточнение морфометрических показателей, полученных по китайской части бассейна, а также по труднодоступным горным территориям казахстанской части.

Полевые исследования подтвердили эколого-геоморфологическую уязвимость побережья в связи с высокой скоростью переформирования абразионного уступа юго-западного, восточного и северного берегов. Были организованы весенние и летние мониторинговые исследования прибрежной полосы оз. Алаколь на 4 ключевых участках (с. Акши, с. Коктума, с. Кабанбай, п. Камыскала). Проведены инструментально-измерительные работы на 7 мониторинговых площадках. Выявлены участки с средней динамикой более 3-4 метров в год, в отдельные годы на северном и восточном побережье выявлена динамика переработки берегов в пределах 14 м в год. По данным проведенной лазерной съемки прибором RIEGL VZ-4000, получены количественные параметры объемов переработки берегов за 1 год.

В среднем эрозии подвергается более 1500 м³ грунта берегового клифа на каждые 100 м берега в независимости от высоты уступа.

Батиметрическая съемка рельефа подводной части береговой зоны с использованием эхолота Lowgens позволила определить типы формирующихся подводных поперечных профилей.

Созданы трехмерная модель рельефа водосборного бассейна Алаколь-Сасыккольской системы озер с профилем абсолютных высот, уклон, экспозиция, гипсометрия, эрозионная сеть, густота речной сети, а также карты динамики берегов по ключевым участкам масштабом 1:100 000.

Выполнен анализ техногенного и природно-техногенного морфогенеза побережья, создана карта «Землепользования побережья оз. Алаколь», масштабом 1:200 000. Выполнен анализ эколого-геоморфологических условий побережья оз. Алаколь по каждому отдельному типу рельефа. Определена степень уязвимости территории к неблагоприятным современным процессам рельефообразования. Создана карта «Эколого-геоморфологические условия побережья оз. Алаколь» масштабом 1:200 000.

Разработаны приоритетные пути стабилизации эколого-геоморфологической ситуации береговой зоны озера Алаколь. Основывающийся на анализе типов берегов оз. Алаколь (60 % низменные подтапливаемые равнины, 7 % отвесные береговые уступы, 22 % галечниковые пляжи и косы, 6% выходы коренных пород, 5% дельты рек), современного землепользования и хозяйственной деятельности на побережье, а также попытки прогноза развития денудационных и аккумулятивных берегов. Прогноз развития эрозионных берегов основан на эмпирическом подходе, включающий сравнение динамики эрозии по данным полевых измерений, анализа разновременных ДДЗ, при условии сохранения современных гидрометеорологических условий на 20, 50 и 80 лет. Спрогнозированы участки и площадь подтапливания аккумулятивных берегов в результате возможного дальнейшего повышения уровня озера до отметки 355 м с применением цифровой модели рельеф SRTM.

Рекреационно-инфраструктурное освоение побережья необходимо проводить, строго соблюдая морфометрические условия рельефа, при этом минимизировать техногенное преобразование естественных условий побережья, которое позволит рационально использовать прибрежные водные и земные экосистемы. Определены наиболее привлекательные мероприятия в землепользовании денудационных и аккумулятивных берегов, отвечающие требованиям экологически устойчивого развития природных и антропогенных условий побережья водоема. Рекомендуется разработать системные меры береговой защиты сразу всего побережья рекреационной зоны, с единым подходом в управлении и использовании участков берегов. При разработке берегоукрепительных мероприятий необходимо учитывать, чтобы проводимые работы не наносили ущерб окружающей среде, отдыхающим, либо он должен быть минимальным. Предложены рекомендации для разработки научно обоснованных берегоукрепительных

инженерных методов защиты абразионных берегов, а также планирования и землепользования.

Результаты исследования имеют практическую значимость в управлении земельными и водными ресурсами, в планировании сельского хозяйства и в проектировании рекреационных зон, а также в проведении экологических исследованиях. Дальнейшие исследования должны сосредоточиться на мониторинге условий: гидрологических (смыв из сельскохозяйственных площадей химических соединений, перенос загрязнителей трансграничной рекой (Эмиль), метеорологических (развитие возобновляемых источников энергии, мониторинг переноса загрязнителей из зоны осушки оз. Эбинур), окружающей среды и морфометрии водосборного бассейна, рекомендуемые для более эффективной политики землепользования и управления озером, а также устойчивого развития прибрежных экосистем. Картографические результаты исследований будут служить основой для создания комплексной схем развития территорий района исследований, в том числе для градостроительных проектных и планировочных работ, по развитию рекреационной и транспортной инфраструктуры побережья оз. Алаколь. Экономический эффект состоит в получении разноаспектных и научно-обоснованных рекомендательных материалов для повышения эффективности управления интенсивно развивающейся рекреационной зоны оз. Алаколь.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Экологический кодекс РК от 02.01. 2021 г. № 400-VI ЗРК. <https://adilet.zan.kz/rus/docs/K2100000400> 10.03 2019
- 2 Концепция развития туристкой отрасли Республики Казахстан до 2023 года. Утверждена Постановлением Правительства Республики Казахстан от 30 июня 2017 года. <https://adilet.zan.kz/rus/docs/P1700000406> 10.03 2019
- 3 Послание Главы государства Касым-Жомарта Токаева народу Казахстана. 1 сентября 2020 г. https://www.akorda.kz/ru/addresses/addresses_of_president/poslanie-glavy-gosudarstva-kasym-zhomarta-tokaeva-narodu-kazahstana-1-sentyabrya-2020-g 18.03 2019
- 4 Постановление Правительства Республики Казахстан от 27 декабря 2019 года № 990. Об утверждении Государственной программы развития регионов на 2020 - 2025 годы Ссылка доступа: <http://adilet.zan.kz/rus/docs/P1900000990/history> 18.03 2019
- 5 Valeyev A.G., Akiyanova F.Zh., Abitbayeva A.D., Khalykov Ye.Ye., Togys M.M., 2019, Development of abrasion shores of Alakol lake according to the field research materials. News of the Academy of sciences of the Republic of Kazakhstan // Kazakh national research technical university named after K. Satpayev. Series of geology and technical sciences. – 2019. – Vol.1, № 433. – P. 195-205. <https://doi.org/10.32014/2019.2518-170X.24>
- 6 М. Ж. Бурлибаев (под ред. и др.) Глобально-значимые водно-болотные угодья Казахстана / – Т.3. – Астана, 2007. – 254 с.
- 7 Кружалин В.И. Экологическая геоморфология суши. МГУ им. М.В. Ломоносова. Геогр. Фак. – М.: Научн. мир, 2001. – 175 с.
- 8 Coates, D.R. Environmental geomorphology // State University of New York. – 1971. – P. 262
- 9 Cooke, R.U. Geomorphology and Environmental Management // Horizons in Physical Geography. – 1987. – P. 270–287. doi:10.1007/978-1-349-18944-1_17
- 10 Mario Panizza. Environmental geomorphology // Developments in Earth Surface Processes. – 1996. – Vol. 4. – P. 1-8. doi:10.1016/s0928-2025(96)80018-6
- 11 Евсева Н.С., Осинцева Н.В. Экологическая геоморфология: учебное пособие. – Томск: Томский государственный университет, 2013. – 184 с.
- 12 Э.А. Лихачева, Д.А. Тимофеев (отв. ред.). Рельеф среды жизни человека (экологическая геоморфология) / М.: Медиа-Пресс, 2002. – 640 с.
- 13 Лихачева Э.А., Тимофеев Д.А.. Экологическая геоморфология: Словарь-справочник.– М.: Медиа-ПРЕСС, 2004. – 240 с.

- 14 Кубаткин В.А. Эколого-геоморфологические аспекты устойчивости рельефа Калужской области: автореф. ... канд.геогр.наук: 25.00.36 – Геоэкология. – Калуга 2006. – 28 с.
- 15 Белоусова Л.И. эколого-геоморфологический анализ экзоморфогенеза староосвоенного региона (на примере Белгородской области): автореф. ... канд.геогр.наук: 25.00.36 – Геоэкология. – Астрахань 2011. – 24 с.
- 16 Кочеткова Ю.О. Теоретико-методологические и методические аспекты эколого-геоморфологической оценки территории // Вестник Рязанского государственного университета им. С.А. Есенина. 2010. №28. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/teoretiko-metodologicheskie-i-metodicheskie-aspekty-ekologo-geomorfologicheskoy-otsenki-territorii> (дата обращения: 18.02.2020).
- 17 Медеу А.Р., Акиянова Ф.Ж., Нурмамбетов Э.И. К проблеме эколого-геоморфологических исследований территорий рационального природопользования. Тезисы докладов 25-плenums Геоморфологической Комиссии РАН. Белгород, 2000 г. С. 47-49
- 18 Акиянова Ф.Ж. Экологические аспекты современного рельефообразования в бассейне Каспийского моря (Казахстанская часть) // Труды геогр. общ-ва Азербайджана, Баку, – 2001, Т. VII. – С.170-176.
- 19 Бексеитова Р.Т. Угрозы эколого-геоморфологической безопасности и их картографирование (на примере территории Центрального Казахстана) // Вестник КазНУ. Сер. геогр. – 2013. № 1(36). – С. 3–8.
- 20 Тимофеев Д.А. Экологическая геоморфология: объект, цели, задачи // Геоморфология. 1991. – № 1.– С. 43–48.
- 21 Новаковский Б.А., Симонов Ю.Г., Тульская Н.И. Эколого-геоморфологическое картографирование Московской области. М.: Научный мир, 2005. – 72 с.
- 22 Симонов Ю.Г. Методологические подходы к эколого-геоморфологическим исследованиям // Экологическая геоморфология. Ключевые направления. М.: Географ. фак. МГУ, – 2013. – С. 8–71.
- 23 Трофимов В.Т., Зилинг Д.Г. Экологическая геология: Учебник – М., ЗАО «Геоинформмарк», 2002, – С. 15-16.
- 24 Лебедева Е.В., Шварев С.В., Готванский В.И. Природно-обусловленная напряженность геоморфологических процессов территории Дальнего Востока России // Геоморфология. – 2014. № 4. – С. 48–59.
- 25 Козлова А.Е., Локшин Г.П., Чеснокова И.В., Кошкарев А.В., Лихачёва Э.А., Тимофеев Д.А. Карта районирования территории России по степени экстремальности развития экологогеоморфологических ситуаций // Изменения природно-территориальных комплексов в зонах антропогенного воздействия. Объединенный научный совет по фундаментальным географическим проблемам // Отв. ред. акад. В.М. Котляков. М.: Медиа-Пресс, 2006. – С. 20–30.

26 Болысов С.И., Бредихин А.В., Еременко Е.А. КОМПЛЕКСНАЯ МЕЛКОМАСШТАБНАЯ ОЦЕНКА ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ РОССИИ // Вестник Московского университета. – 2016. – Серия 5 (География), (2). – С. 3-12.

27 Кривцов В.А. (под ред.) Природа Рязанской области: моногр. Рязань: Изд-во Ряз. гос. ун-та им. С.А. Есенина, 2008. – 407 с.

28 Питулько В.М., Иванова В.В., Кулибаба В.В. Экологическая безопасность морских природно-хозяйственных систем Российской Прибалтики. М.: Научно-издательский центр ИНФРА-М. 2016. – 317 с.

29 Сваричевская З.А. Очерки по геоморфологии Казахстана. – Л., 1941. – 64 с.

30 В.А. Семенов и Р.Д. Курдин (под ред.). Ресурсы поверхностных вод СССР, том 13 Центральный и Южный Казахстан, выпуск 2 бассейн оз. Балхаш / – Ленинград: Гидрометеорологическое издательство, 1970. – 637 с.

31 Н.Н. Пальгов (под ред.). «Алакольская впадина и ее озера» Вопросы географии Казахстана, вып. 12 /– Алма-Ата: Наука, 1965. – 310 с.

32 Джуркашев Т.Н. Антропогенная история Балхаш-Алакольской впадины / под ред. Г.Ц. Медоева. – Алма-Ата: Наука, 1972. – 127 с.

33 А.В. Вислогузова, Н.М. Владимиров, А.И. Гуськова, А.Р. Медеу, Э.И. Нурмамбетов, Г.М. Потапова, А.С. Сарсеков. Геоморфологическая карта Казахской ССР. Масштаб 1:1 500 000. Академия Наук Казахской ССР, Институт геологических наук им. К.И. Сатпаева, Институт Географии. – 1990 г.

34 Ердаuletов С.Р., Артемьев А.М., Актымбаева А.С., Жакупова А.А., Абдреева Ш.Т., Искакова К.А., Жумадилов А.Р., Аблеева А.Г., Асылбекова А.А., Таукебаев О.Ж.. Научно-познавательный атлас: Путешествие по Приалаколю (карты-схемы, легенды, туристская инфраструктура). – Алматы, 2014. – 76 с. ISBN 978-601-04-0945-3

35 Комплексные исследования туристско-рекреационного потенциала Алакольского бассейна в целях развития рекреации и туризма: отчет о НИР (заключительный) / КазНУ: рук. Ердаuletов С.Р.; исполн. Артемьев А.М., Искакова К.А. - Алматы, 2014. – 128 с. – № ГР0112РК00583.

36 Ердаuletов С.Р., Алиева Ж.Н., Актымбаева А.С. Перспективы развития и пространственной организации агротуризма в Алматинской области Республики Казахстан // Научный результат. Технологии бизнеса и сервиса. – Т. 3, № 3, 2017. – С.12-19

37 Асубаев Б.К. Жетісу Балқаш-Алаколь алабында туризмді дамытудың рекреациялық географиялық негіздері: геогр. ғыл.канд. ... автореф. – Алматы, 2010. – 16 б.

38 А.С. Актымбаева, М.Т. Таукебаева. Геоэкологическая характеристика и оценка туристско-рекреационного потенциала Алакольского региона. Қазақстан ғылымының жанадықтары. №2 (124), 2015, – 83-104.

- 39 Мукаев Ж.Т. Геоэкологическая оценка территориально-рекреационных систем бассейна озера Алаколь: дис. на соискание уч. степени доктора философии (PhD): 6D060900 / ЕНУ им. Л.Н. Гумилева. – Астана, 2015. – 171 с. Инв. № 0615PK00086
- 40 Мукаев Ж.Т., Озгелдинова Ж.О. Оценка антропогенного воздействия на ландшафты бассейна озера Алаколь. Гидрометеорология и экология №4, 2018. – С. 94-102
- 41 Зенкович В.П. Морской берег. Научно-популярная библиотека Гостехиздат. Выпуск 41. – М.: 1952. – 72 с.
- 42 Зенкович В.П. Основы учения о развитии морских берегов., М.: Изд-во АН СССР, 1962. – 710 с.
- 43 Зенкович В.П. Морфология и динамика Советских берегов Черного моря. Т. 1. М.: Из-во АН СССР, 1958. – 188 с.
- 44 Bruun P. The History and Philosophy of Coastal Protection. Coastal Engineering. 1972. – P. 33-74.
- 45 Jentsje van der Meer. Rock Slopes and Gravel Beaches under Wave Attack. – Delft Hydraulics Laboratory., 1988, – P. 214.
- 46 Forel F.A. Le léman, monographic limnologique. Tome I, Editions Rouge Lausanne, Lausanne, 1892. – P. 543 (Инструкция для исследования озёр, 2 изд., СПб, 1904; Руководство по озероведению. (Общая лимнология), СПб, 1912.)
- 47 Castedo, R., Fernández, M., Trenhaile, A. S., & Paredes, C. Modeling cyclic recession of cohesive clay coasts: Effects of wave erosion and bluff stability // Marine Geology. – 2013. – Vol. 335, – P. 162–176.
- 48 Anthony M. Foyle, Kevin P. Norton. Sediment Loading During the 20th Century in Presque Isle Bay, Lake Erie, Pennsylvania // Journal of Great Lakes Research. – 2006. – Vol. 32, Issue 4. P. 697-711,
- 49 Brown, E. A., Wu, C. H., Mickelson, D. M., & Edil, T. B. Factors Controlling Rates of Bluff Recession at Two Sites on Lake Michigan // Journal of Great Lakes Research. – 2005. – Vol. 31, № 3. – P. 306–321.
- 50 Carolina Peña-Alonso, Luis Hernández-Calvento. Ecological Indicators. The relationship between heritage, recreational quality and geomorphological vulnerability in the coastal zone: A case study of beach systems in the Canary Islands // Ecological Indicators. – 2017. – Vol. 82. – P. 420–432.
- 51 ShaunW. Kline, Peter N. Adams, Patrick W. Limber. The unsteady nature of sea cliff retreat due to mechanical abrasion, failure and comminution feed-backs // Geomorphology. – 2014. – Vol. 219, – P. 53-67.
- 52 Петров К.М. Экология человека и культура: Учебник для вузов. СПб.: Химиздат, 2000. – 384 с.
- 53 Братков В.В., Овдиенко Н.И. Геоэкология : учебное пособие. – М.: Высш. шк. – 2006. – 271 с.
- 54 Судо М.М. Геоэкология: учебное пособие/М.М. Судо. – М., 1999. – 115 с.

- 55 Валеев А.Г., Абиева Д.К., Митрофанова А.Н., Уксукпаева С.А., Шарапханова Ж.М. Обзор материалов исследований, проведенных по территории Алаколь-Сасыккольской группы озер // Матер. междунар. науч.практич. конф. «Модернизация естественнонаучного образования в условиях обновленного содержания». – Алматы: – 2017. – С. 626-630.
- 56 Казанская Е.А. Морфология и динамика берегов озера Алаколь. «Алакольская впадина и ее озера» // Вопросы географии Казахстана. – Алма-Ата, Вып.12., 1965. – С. 88-121.
- 57 Lawrence, P. L. Integrated coastal zone management and the Great Lakes // Land Use Policy. – 1997.– Vol. 14 (2). – P. 119–136.
- 58 Rangel-Buitrago, N., de Jonge, V. N., & Neal, W. How to make Integrated Coastal Erosion Management a reality // Ocean & Coastal Management. – 2018. – Vol. 156. –P. 290–299.
- 59 Нусупов Д.К., Турсунов Э.А. Проектные решения по защите берега оз. Алаколь в районе п.Акши и п.Коктума // Гидрометеорология и экология. – 2018, № 3. – С.181-188.
- 60 Нусупов Д.К., Турсунов Э.А. Искусственные галечниковые пляжи, как наиболее эффективный способ защиты берега оз. Алаколь от разрушения // Гидрометеорология и экология. – 2018, № 2. – С .174-180.
- 61 M. Paula Bunicontro, Silvia C. Marcomini, Ruben A. Lopez. The effect of coastal defense structures (mounds) on southeast coast of Buenos Aires province, Argentine // Ocean & Coastal Management. – 2015, –Vol. 116. P. 404-413.
- 62 Серебряков Г.Б., Гришин Н.А. Обзор методов берегозащиты на Черноморском побережье России. <http://arch-sochi.ru/2012/10/obzor-metodov-beregozashhityi-na-chernomorskom-poberezhe-rossii/> 18.03 2020
- 63 Andrew Morang, Laurel T. Gorman. Monitoring coastal geomorphology // Encuclopedia of coastal science. – 2005. – P. 663-674. Springer, Netherlands. ISBN-13 978-1-4020-1903-6 (НВ)
- 64 Sunamura, T. Cliffs, erosion rates // Encuclopedia of coastal science. – 2005. – P. 240-241. Springer, Netherlands. ISBN-13 978-1-4020-1903-6 (НВ).
- 65 Хабидов А.Ш., Марусин К.В., Федорова Е.А. Мониторинг береговой зоны морей, озер и водохранилищ // Морские берега – эволюция, экология, экономика: Материалы XXIV Международной береговой конференции, посвященной 60-летию со дня основания Рабочей группы «Морские берега». – Краснодар: V. 2: 2012. – С. 287-297.
- 66 Акиянова Ф.Ж. Геоморфологические основы современного развития и освоения Прикаспийских равнин Казахстана: автореф. ... док.геогр.наук: –Алматы, 2004. – 54 с.
- 67 S.M. Brooks, T. Spencer. Temporal and spatial variations in recession rates and sediment release from soft rock cliffs, Suffolk coast, UK // Geomorphology. – 2010. – Vol. 124. – P. 26–41.

68 Bai J., Chen X., Li J., Yang L., Fang H., Changes in the area of inland lakes in arid regions of central Asia during the past 30 years // *Environ. Monit. Assess.* – 2011. Vol. 178, – P. 247–256.

69 Klein I., Dietz A., Gessner U., Galayeva A., Myrzakhmetov A., Kuenzer C. Evaluation of seasonal water body extents in Central Asia over the past 27 years derived from medium-resolution remote sensing data // *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation.* – 2014. – Vol. 26, № 1. – P. 335-349.

70 Yapiyev, V., Samarkhanov, K., Tulegenova, N., Jumassultanova, S., Verhoef, A., Saidaliyeva, Z., Namazbayeva, A. Estimation of water storage changes in small endorheic lakes in Northern Kazakhstan // *Journal of Arid Environments.* – 2018. – P. 0140-1963.

71 Qiao, B., Zhu, L., & Yang, R. Temporal-spatial differences in lake water storage changes and their links to climate change throughout the Tibetan Plateau // *Remote Sensing of Environment.* – 2019. – Vol. 222. – P. 232–243.

72 J.L. Awangea, A. Saleema, R.M. Sukhadiyaa, Y.O. Oumab, H. Kexianga. Physical dynamics of Lake Victoria over the past 34 years (1984–2018): Is the lake dying? // *Science of The Total Environment.* – 2019. – Vol. 658. – P. 199-218.

73 AghaKouchak, A., Norouzi, H., Madani, K., Mirchi, A., Azarderakhsh, M., Nazemi, A., Hasanzadeh, E. Aral Sea syndrome desiccates Lake Urmia: Call for action // *Journal of Great Lakes Research.* – 2015. – Vol. 41, № 1. – P. 307–311.

74 Qiao, G., Mi, H., Wang, W., Tong, X., Li, Z., Li, T., Hong, Y. 55-year (1960–2015) spatiotemporal shoreline change analysis using historical DISP and Landsat time series data in Shanghai // *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation.* – 2018. Vol. 68. – P. 238–251.

75 Misra, A and Balaji, Ra. A study on the shoreline changes and Land-use/ land-cover along the South Gujarat coastline // 8th International Conference on Asian and Pacific Coasts (APAC 2015). *Procedia Engineering.* – 2015. Vol. 116. – P. 381 – 389.

76 Behling, R., Milewski, R., & Chabrilat, S. Spatiotemporal shoreline dynamics of Namibian coastal lagoons derived by a dense remote sensing time series approach // *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation.* – 2018. Vol. 68. – P. 262–271.

77 Tamassoki, E., Amiri, H., & Soleymani, Z. Monitoring of shoreline changes using remote sensing (case study: coastal city of Bandar Abbas) // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science.* – 2014. – Vol. 20, – P. 1-9.

78 Михайлов В.А. Комплексный морфометрический анализ Тарханкутского полуострова с помощью ГИС // *Современные научные исследования и инновации.* – 2015. – №2 [Электронный ресурс]. URL: <http://web.snauka.ru/issues/2015/02/46640>, 17.04.2015.

79 Погорелов А.В., Думит Ж.А. Рельеф бассейна р. Кубани (морфологический анализ) // *Монография.* – ГЕОС, 2009. – 220 с.

80 Deus, D., & Gloaguen, R. Remote Sensing Analysis of Lake Dynamics in Semi-Arid Regions: Implication for Water Resource Management. Lake Manyara, East African Rift, Northern Tanzania // Water. – 2013. Vol. 5, № 2, – P. 698–727.

81 Абитбаева А.Д., Валеев А.Г., Егембердиева К.Б. Мониторинг абразионных процессов (на примере озера Алаколь Республики Казахстан) // Материалы Международной научно-практической конференции молодых ученых, посвященной 95-летию Национальной академии наук Украины «Потенциал современной географии в решении проблем развития регионов». – Киев, – 2013. – С. 324-330.

82 Pidwirny, M. "Stream Morphometry" // Fundamentals of Physical Geography, 2nd Edition. – 2006. – <http://www.physicalgeography.net/fundamentals/10ab.html>, 15.05.2015

83 В.П. Философов. Краткое руководство по морфометрическому методу поисков тектонических структур. Изд-во Сарат. Ун-та, 1960. – 95с.

84 Философов В.П. Основы морфометрического метода поисков тектонических структур. Изд-во Сарат. ун-та, 1975. – 232 с.

85 Валеев А.Г., Акиянова Ф.Ж., Абитбаева А.Д. Морфометрические особенности формирования речного стока бассейна Алакольской впадины и его влияние на развитие рельефообразования береговой зоны озера Алаколь // ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ ЦЕНТРАЛЬНОЙ АЗИИ И ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ. МАТЕРИАЛЫ Международной научно-практической конференции, посвященной подведению итогов объявленного ООН десятилетия «Вода для жизни». – Алматы, – 2016. – С.64-73.

86 Frederico M. Scarelli, Flavia Sistilli, Stefano Fabbri, Luigi Cantelli, Eduardo G. Barboza, Giovanni Gabbianelli. Seasonal dune and beach monitoring using photogrammetry from UAV surveys to apply in the ICZM on the Ravenna coast (Emilia-Romagna, Italy) // Remote Sensing Applications: Society and Environment. – 2017. Vol. 7, – P. 27-39

87 Тюняткин Д.Г. Сравнение методов определения скоростей абразионного разрушения берегов равнинных водохранилищ // Динамика овражно-балочных форм и русловые процессы. 2002. – С. 99-102.

88 Фролова И.В., Смолкин А.С. ГЕОДИНАМИЧЕСКАЯ ОБСТАНОВКА В НИЖНЕМ БЬЕФЕ КАМСКОЙ ГЭС (ПРАВОБЕРЕЖНАЯ ЧАСТЬ г. ПЕРМИ) // ГЕОГРАФИЧЕСКИЙ ВЕСТНИК. 2009. № 2. – С. 1-4. (<http://press.psu.ru/index.php/geogr/issue/view/36>).

89 Global Positioning System. https://en.wikipedia.org/wiki/Global_Positioning_System, 17.06.2018.

90 Гафуров А.М., Веденева Е.А., Ермолаев О.П., Усманов Б.М. Использование метода наземного лазерного сканирования для оценки интенсивности современных экзогенных процессов // Трешниковские чтения, материалы VII всероссийской научно-практической конференции. – Ульяновск, – 2017. – С. 14-17

- 91 Pauline Letortu, Stéphane Costa, Olivier Maquaire, Christophe Delacourt, Emmanuel Augereau, Robert Davidson, Serge Suanez, Jean Nabucet. Retreat rates, modalities and agents responsible for erosion along the coastal chalk cliffs of Upper Normandy: The contribution of terrestrial laser scanning // *Geomorphology*. – 2015. – Vol. 245. – P. 3-14.
- 92 Лазерный сканер. art-geo.ru/catalog/terrestrial/nazemnye-lazernye-skanery-riegl-vz-serii/riegl-vz4000. 15.04.2018.
- 93 Kim, A.M., Olsen, R.C., & Béland, M. Simulated full-waveform lidar compared to Riegl VZ-400 terrestrial laser scans // *Laser Radar Technology and Applications XXI*. – 2016. Vol. 9832. – P. 1-14.
- 94 Диденко-Кислицина Л.К. Кайнозой Юго-Восточного Казахстана. Геоморфология. Новейшая тектоника. – Алматы, 2001. – 91 с.
- 95 Сваричевская З.А. Геоморфология Казахстана и Средней Азии. – Л., 1965. – 262 с.
- 96 Митрофанова А.Н., Калита Р.Ш. Экзогенные процессы и экологическое состояние Алакольской и Зайсанской впадин // *Сергеевские чтения*. – М.: Наука, 2002. – С. 24-29
- 97 Бектурсынова А.А., Митрофанова А.Н., Калита Р.Ш., Валеев А.Г., Абитбаева А.Д. Оценка природно-антропогенных факторов рекреационного развития береговой зоны озера Алаколь // *Материалы V Международной научно-практической конференции «Антропогенная трансформация геопространства: природа, хозяйство, общество.*, г. Волгоград, 1-4 октября 2019 г. – С. 390-395.
- 98 Митрофанова А.Н., Калита Р.Ш. Карта риск переработки берегов. Алакольская группа озер, Масштаб 1:500000 // «Атлас природных и техногенных опасностей и рисков чрезвычайных ситуаций в Республике Казахстан». Алматы, – 2010. – С. 264.
- 99 Еспаев С.А. Гидрогеологическая карта СССР Масштаб 1:200000. L-44-XVI. - М., НПО «Аэрогеология», 1981.
- 100 Исабаев Т.Т. Подземные воды Алакольской впадины. Гидрогеология СССР. Том XXXIII. Труды института Гидрогеологии и гидрофизики АН КазССР. 1968. – С. 202-209.
- 101 Абдулин А.А., Медоев Г.Ц. (отв. ред.) Рельеф Казахстана. (Пояснительная записка к геоморфологической карте Казахстана м-ба 1:1 500 000). – 2-е изд. – Алматы, 2017. – 236 с.
- 102 Google Планета Земля. <https://earth.google.com/web/>. 01.10.2015
- 103 Adilet Valeyev, Marat Karatayev, Ainagul Abitbayeva, Saule Uxukbayeva, Aruzhan Bektursynova and Zhanerke Sharapkhanova. Monitoring Coastline Dynamics of Alakol Lake in Kazakhstan Using Remote Sensing Data // *Geosciences*. – 2019. Vol. 9, Issue 9, 404.
- 104 Лонгинов В.В. Энергетический метод оценки вдольбереговых перемещений наносов в береговой зоне моря // *Труды СоюзморНИИпроекта*. – 1966. № 12 (18). С. 13–28.

- 105 Руководство по методам исследований и расчетов перемещения наносов и динамики берегов при инженерных изысканиях // Произв. и науч.-исслед. ин-т по инж. изысканиям в стр-ве [и др.]. – М.: Гидрометеоздат. Моск. отд-ние, 1975. – 239 с.
- 106 Исследование современного состояния и качества вод Онежского озера: Отчет о НИР (заключительный) по ГК № 31/14 от 16.09.2014 / ФГБУ «ГОИН». Руководитель И. В. Землянов. – М., 2015. – 622 с.
- 107 Экологическая оценка воздействия гидротехнических сооружений на водные объекты/Под. ред. В.Д. Романенко.– Киев: Наукова Думка, 1990. – 256 с.
- 108 Леонтьев О.К., Рычагов Г.И. Общая геоморфология: Учеб. для студ. геогр. спец. вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 1988. – 319 с.
- 109 Твердислов Ю.А., Войтович В.С., Давыдов Н.М. Геологическая карта СССР масштаба 1: 200 000. Серия Джунгарская. Лист L-44-XVI. Объяснительная записка. Государственное научно-техническое издательство литературы по геологии и охране недр. – М., 1962. – 55 с.
- 110 Алакольский заповедник // Казахстан. Национальная энциклопедия. – Алматы: Қазақ энциклопедиясы, 2004. – Т. I. – 560 с.
- 111 Валеев А.Г., Акиянова Ф.Ж., Сагинтаев Ж. СОВРЕМЕННЫЕ РЕЛЬЕФООБРАЗУЮЩИЕ ПРОЦЕССЫ БЕРЕГОВОЙ ЗОНЫ ОЗЕРА АЛАКОЛЬ // Гидрометеорология и экология. – 2020. №2 (97). – С. 125-145.
- 112 Давыдов Н.М., Войтович В.С., Твердислов Ю.А. Геологическая карта СССР масштаба 1: 200 000. Серия Джунгарская. Лист L-44-XXIII, XXIX. Объяснительная записка. Всесоюзное аэрогеологическое научно-производственное объединение «Аэрогеология». – М., (1962) 1981. – 69 с.
- 113 Буш В.А., Глиндзич В.А., Макаров Л.Н.. Геологическая карта СССР, масштаба 1: 200 000, Серия Джунгарская, Лист L-44-XXII, XXVIII. Объяснительная записка. Государственное научно-техническое издательство литературы по геологии и охране недр. – М., 1968. (Утверждено 1962г), – 56 с.
- 114 Курдюков К.В. и Смеловская М.М. Четвертичные и третичные отложения Алакульской котловины. Фонды ВАГТ, 1950.
- 115 Атлас функционального зонирования Балхашского района Алматинской области. – Астана, 2016. – 64 с.
- 116 Lioubimtseva, E., & Henebry, G. M. Climate and environmental change in arid Central Asia: Impacts, vulnerability, and adaptations // Journal of Arid Environments. – 2009. Vol. 73(11). – P. 963–977.
- 117 Mannig, B.; Müller, M.; Starke, E.; Merckenschlager, C.; Mao, W.; Zhi, X.; Podzun, R.; Jacob, D.; Paeth, H. Dynamical downscaling of climate change in Central Asia // Glob. Planet. Chang. – 2013. Vol. 110. – P. 26–39.
- 118 Цифровой атлас озер РК [Электронный ресурс]. Режим доступа <http://elake.geoset.kz/Lakes/Map> 18.06 2020
- 119 Kapitsa, V., Shahgedanova, M., Machguth, H., Severskiy, I. and

Medeu, A. Assessment of evolution and risks of glacier lake outbursts in the Djungarskiy Alatau, Central Asia, using Landsat imagery and glacier bed topography modelling // *Natural Hazards and Earth System Sciences*. – 2017. Vol. 17 (10). – P. 1837-1856.

120 Shahgedanova, M., Afzal, M., Severskiy, I., Usmanova, Z., Saidaliyeva, Z., Kapitsa, V., Kasatkin, N. and Dolgikh, S. Changes in the mountain river discharge in the northern Tien Shan since the mid-20th Century: Results from the analysis of a homogeneous daily streamflow data set from seven catchments // *J. Hydrol.* – 2018. – Vol. 564. – P. 1133–1152.

121 Severskiy, I., Vilesov, E., Armstrong, R., Kokarev, A., Kogutenko, L., Usmanova, Z., Morozova, V. and Raup, B.: Changes in glaciation of the Balkhash – Alakol basin, central Asia, over recent decades // *Annals of Glaciology*. – 2016. – Vol. 57(71). – P. 382-394.

122 Диденко-Кислицина Л. Геология длиною в жизни // *КАЗАХСТАН* №3, 2012: <http://www.investkz.com/journals/84/982.html> 04.03 2018

123 Справочник по климату Казахстана // Многолетние данные. Раздел 1 Температура воздуха. Выпуск 14 (Алматинская область). – Алматы: Казгидромет, 2004. – 562 с.

124 Ветры Казахстана. [Электронный ресурс]. Режим доступа <https://moxnnp.ru/kazakhstan/52-vetry-kazakhstan.html> 14.04 2018

125 Описание волн и их влияние на побережье - Особенности развития берегов и береговых волн. https://studwood.ru/1256440/geografiya/opisanie_voln_vliyanie_poberezhe 20.04 2018

126 Ломтадзе В.Д. Инженерная геология. Инженерная геодинамика. - Л.: «Недра», 1977. – 479 с.

127 Андреев В.Г. Ветровая волна озеровидных водоемов. – «Изв, НИИГ», 1939. – №24. – С.44-81.

128 Справочник по климату Казахстана. Многолетние данные. Раздел 5 Ветер. Выпуск I-XIV, 1966-2000гг. – Алматы: Казгидромет, 2005. – 336 с.

129 Государственный водный кадастр Республики Казахстан. Ежегодные данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши.: Ч.1. – Реки и каналы., Ч.2. – Озера и водохранилища. – Вып. 7. Бассейны рек оз. Балхаш и оз. Алаколь. – Алматы: Казгидромет, 2003-2017. – 381с.

130 Бухарицин П.И., Огородов С.А., Архипов В.В. Оценка и прогноз интенсивности воздействия ледяного покрова на дно и берега северной части Каспийского моря в условиях колебаний уровня и ледовитости // *Материалы международной научно-практической конференции «Обеспечение гидрометеорологической и экологической безопасности морской деятельности»*. – Астрахань, 2015. – С. 143-144.

131 Ердаuletov С.Р., Артемьев А.М., Актымбаева А.С., Жакупова А.А., Абдреева Ш.Т., Исакова К.А., Жумадилов А.Р., Аблеева А.Г., Асылбекова А.А., Таукебаев О.Ж. Научно-познавательный атлас:

«Путешествие по Приалаколью» (карты-схемы, легенды, туристская инфраструктура). – Алматы, 2014. – 76 с.

132 Акимат Алакольского района Алматинской области. Отдел земельных отношений Алакольского района.
<http://alakol.zhetisu.gov.kz/pages/172/> 15.01 2020

133 Акимат Урджарского района. Земельный вопрос.
<https://www.gov.kz/memleket/entities/vko-urzhar/activities/1053?lang=ru> 15.01 2020

134 А.Г. Валеев, А.Д. Абитбаева, А.Н.Митрофанова, Е.Е. Халыков, М.М. Тогыс, С.А. Уксукбаева, Ж. М. Шарапханова. Туристско-рекреационный потенциал озера Алаколь // Вопросы географии и геоэкологии. – Алматы, – 2019, № 3. – С. 3-11.

135 Мониторинговые исследования неблагоприятных экзогеодинамических процессов береговой зоны озера Алаколь – территории интенсивного рекреационного освоения: отчет о НИР (промежуточный) / ТОО «Институт географии»: рук. Абитбаева А.Д.; исполн.: Валеев А.Г. – Алматы, 2018. – 151 с. – № ГР 0118РК00496

136 Рельеф Казахстана в 2-х частях, Часть 2. – Алма-Ата: Гылым, 1991.–176 с.

137 Национальный Атлас Республики Казахстан. – Алматы, 2006. Т.1. – С. 52,53.

138 ESRI ArcGIS, ArcDesktop
<http://desktop.arcgis.com/ru/arcmap/10.3/manage-data/raster-and-images/slope-function.htm> 26.01 2015

139 GISLAB, Географические информационные системы и дистанционное зондирование. Основные геоморфометрические параметры, теория: <http://gis-lab.info/qa/geomorphometric-parameters-theory.html> 27.01 2015

140 А.В. Погорелов, Ж.А. Думит. Морфометрия рельефа бассейна реки Кубани: некоторые результаты цифрового моделирования.
<https://www.academia.edu>. 24.02 2015

141 Евсеева Н.С., Окишев П.А. Экзогенные процессы рельефообразования и четвертичные отложения суши: учеб. Пособие. – Томск: Изд-во НТЛ. 2010. – Ч.1. – 300 с.

142 Митрофанова А.Н., Калита Р.Ш., Беккулиева А.А., Халыков Е.Е., Досболов У.К. Мониторинг площадного развития геоморфологических процессов на ключевых участках Алматинской области при полевых исследованиях 2012-2014 гг. // Международная научно-практическая конференция «Антропогенная трансформация геопространства: история и современность» - Волгоград, – 2016. – С. 99-109

143 Митрофанова А.Н., Калита Р.Ш. Развитие антропогенных процессов на территории Алматинской области // Известия НАН РК серия геологическая. – Алматы, 2014. – № 4. – С. 74-79.

- 144 Митрофанова А.Н., Калита Р.Ш., Валеев А.Г., Абитбаева А.Д., Беккулиева А.А., Шарапханова Ж.М., Уксукбаева С.А. Геоморфологические и инженерно-геологические условия четвертичных отложений Алакольской впадины // Вопросы географии и геоэкологии. – Алматы, 2018. – №3, – С. 94-103.
- 145 Коровин В.И., Курдин Р.Д. Уровенный режим Алакольских озер. Алакольская впадина и ее озера // Вопросы географии Казахстана. – Алма-Ата, Вып. 12., 1965. – С. 122-140.
- 146 Филонец П.П. Морфометрия Алакольских озер. Алакольская впадина и ее озера // Вопросы географии Казахстана. – Алма-Ата, Вып. 12., 1965. – С. 79-87.
- 147 Инженерная геология СССР. / под ред. Дмитровского В.И. М.: – Изд. Моск. ун-та, 1977. – Т. 6. – 296 с.
- 148 Инженерная геология СССР. Урал, Таймыр и Казахская складчатая страна / под ред. Бочкарева В.П. и др. – М.: Недра, 1990. – 408 с.
- 149 Природные опасности, раздел «Природные опасности на крупных водоемах» / Отчет о НИР, отв. исп. Благовещенский В.П.- Алматы. 2011. – 47 с.
- 150 Токпанов Е.А., Сарбасов Е.К. ЗНАЧЕНИЕ РАПЫ И ЛЕЧЕБНЫХ ГРЯЗЕЙ МЕСТОРОЖДЕНИЙ «КОССОР» ДЛЯ РАЗВИТИЯ ЛЕЧЕБНО-ОЗДОРОВИТЕЛЬНОГО ТУРИЗМА. http://www.rusnauka.com/5_SVMN_2013/Geographia/2_128921.doc.htm 18.02 2019
- 151 Храбовченко В.В. Экологический туризм // Учебно-методическое пособие. М.: Финансы и статистика, 2003. – 208 с.
- 152 Yariyev, V., Sagintayev, Z., Inglezakis, V., Samarkhanov, K., & Verhoef, A. Essentials of Endorheic Basins and Lakes: A Review in the Context of Current and Future Water Resource Management and Mitigation Activities in Central Asia // Water. – 2017. Vol. 9 (10), 798.
- 153 Friedrich, J. and Oberhänsli, H. Hydrochemical properties of the Aral Sea water in summer 2002 // Journal of Marine Systems. – 2004. – Vol. 47. – P. 77-88.
- 154 Zeng, H., Wu, B., Zhu, W., & Zhang, N. A trade-off method between environment restoration and human water consumption: a case study in Ebinur Lake // Journal of Cleaner Production. – 2019. Vol. 217. – P. 732-741.
- 155 Plisnier, P.D., Nshombo, M., Mgana, H., & Ntakimazi, G. Monitoring climate change and anthropogenic pressure at Lake Tanganyika // Journal of Great Lakes Research. – 2018. Vol. 44. – P. 1194–1208.
- 156 Micklin, P. The Aral Sea Disaster // Annual Review of Earth and Planetary Sciences. – 2007. Vol. 35 (1). – P.47–72.
- 157 Chen, J. L., Pekker, T., Wilson, C. R., Tapley, B. D., Kostianoy, A. G., Cretaux, J.-F., & Safarov, E. S. Long-term Caspian Sea level change // Geophysical Research Letters. – 2017. Vol. 44(13). – P. 6993–7001.

- 158 Deng, H., & Chen, Y. Influences of recent climate change and human activities on water storage variations in Central Asia // *Journal of Hydrology*. – 2017. Vol. 544. – P. 46–57.
- 159 Bai J., Chen X., Yang L., Fang H., Monitoring variations of inland lakes in the arid region of Central Asia // *Front. Earth Sci.* – 2012. Vol. 6. – P. 147–156.
- 160 Abitbayeva A., Valeyev A., Yegemberdiyeva K., Assylbekova A., Ryskeldieva A. Monitoring of the Abrasion Processes (by the Example of Alakol Lake, Republic of Kazakhstan) // *International journal of environmental & science education*. – 2016, Vol. 11, № 11. – P. 4164-4174.
- 161 Plag H.-P., Jules-Plag S. Sea-Level Rise and Coastal Ecosystems // *Earth Systems and Environmental Sciences*. – 2013. Vol. 4. – P. 163-184.
- 162 Ramsar, Kazakhstan. <https://www.ramsar.org/wetland/kazakhstan>, 2 May 2007 (Accessed on site of Ramsar all sites in Kazakhstan). 21.04 2019
- 163 UNESCO, Man and Biosphere. <http://www.kazmab.kz/index.php/biosfernye-rezervaty1/natsionalnaya-set/alakol/opisanie> (Accessed on site of UNESCO, Kazakhstan National Committee “Man and Biosphere”, Alakol Biosphere Reserve). 27.06.2019
- 164 Xing Li, Yunxuan Zhou, Lianpeng Zhang, Runyuan Kuang. Shoreline change of Chongming Dongtan and response to river sediment load: A remote sensing assessment // *Journal of Hydrology*. – 2014. Vol. 511. – P.432–442.
- 165 <https://earthexplorer.usgs.gov/> 22.05 2015
- 166 Филоненц П.П., Омаров Т.Р. Озера Центрального и южного Казахстана (Справочник). – Алма-Ата: Из-во Наука Казахской ССР, 1973. – 198 с.
- 167 HydroLAKES Version 1.0 2016. <http://www.hydrosheds.org/page/hydrolakes>
- 168 F. Sun, W. Sun, J. Chen, P. Gong. Comparison and improvement of methods for identifying waterbodies in remotely sensed imagery // *International Journal of Remote Sensing*. – 2012. Vol. 33 (21). – P. 6854–6875.
- 169 Karim, M., Maanan, M., Maanan, M., Rhinane, H., Rueff, H., & Baidder, L., Assessment of water body change and sedimentation rate in Moulay Bouselham wetland Morocco, using geospatial technologies // *International Journal of Sediment Research*. – 2018. Vol. 34. – P. 65–72.
- 170 Бабкин А.В., Мадиебеков А.С., Мусакулкызы А., Чередниченко А.В. Поверочный и фактический прогноз уровня воды озера Алаколь на ближайшую перспективу // *Гидрометеорология и экология*. – Алматы, 2017. – №3, – С. 60-71.
- 171 Tao Yang, Chao Wang, Yaning Chen, Xi Chen, Zhongbo Yu. Climate change and water storage variability over an arid endorheic region // *Journal of Hydrology*. Vol. 529. – P. 330–339
- 172 Диденко-Кислицына Л. К. Южно-Балхашская, Лепсинская и Алакольская впадины. Геология СССР. 1971. – V. 40. Book 2.

173 Михайлова Н.И., Логиновская А.Н. Проблема разрушения берегов озера Алаколь. Интерэкспо Гео-Сибирь, – 2012. 3 V. 2:1-6.

(<https://cyberleninka.ru/article/n/problema-razrusheniya-beregov-ozera-alakol>). 12.03.2018

174 Атлас природных и техногенных опасностей и рисков чрезвычайных ситуаций в Республики Казахстан. 2010. – С. 134-135.

175 Проект укрепления берегов озера Алаколь проходит госэкспертизу. KAZINFORM, inform.kz https://www.inform.kz/ru/proekt-ukrepleniya-beregov-ozera-alakol-prohodit-gosekspertizu-foto_a2688815.

23.01.2018

176 Jeffrey H. List. Sediment analysis and classification – see beach sediment characteristics // Encyclopedia of coastal science. – Netherlands: Springer. – 2005. – P. 846-850.

177 Halina Kaczmarek, Sebastian Tyszkowski, Arkadiusz Bartczak, Mateusz Kramkowski, Katarzyna Wasak. The role of freeze-thaw action in dam reservoir cliff degradation assessed by terrestrial laser scanning: A case study of Jeziorsko Reservoir (central Poland) // Science of the Total Environment. – 2019. – Vol. 690. – P. 1140–1150.

178 Atticus E.L. Stovalla, Jacob S. Diamondc, Robert A. Slesakd, Daniel L. McLaughlinc, Hank Shugart. Quantifying wetland microtopography with terrestrial laser scanning // Remote Sensing of Environment. – 2019. Vol. 232, – P. 1-19.

179 Lin Z., Kaneda H., Mukoyama S., Asada N., Chiba T., Detection of subtle tectonicegeomorphic features in densely forested mountains by very high resolution airborne LiDAR survey // Geomorphology. – 2013. Vol. 182 (0), – P. 104-115.

180 Ting Cao, Ancheng Xiao, Lei Wua, Liguang Maoc, Automatic fracture detection based on Terrestrial Laser Scanning data: A new method and case study // Computers & Geosciences. – 2017. Vol. 106. – P. 209-216.

181 Скрипко В.В. Оценка эколого-геоморфологического состояния Приобского плато на основе бассейнового анализа: автореф. ... канд. геогр. Наук: 25.00.36 – Геоэкология. – Барнаул, 2013. – 22 с.

182 В.И. Кружалин, Н.С. Мироненко, Н.В. Зигер-корн, Н.В. Шабалина. География туризма: учебник. –М.: Федеральное агентство по туризму, 2014. – 336 с.

183 Березовиков Н.Н. Птицы Алаколского заповедника // Труды Алакольского государственного природного заповедника. 2004. Т 1., – С. 198-257.

184 Филимонов А.Н. Оценка состояния и мониторинг колониальных видов птиц Алакольского заповедника // Труды Алакольского государственного природного заповедника. 2018. Т. 4. – С. 109-129

185 Кузекбай А. Рекордное количество туристов зафиксировано на озере Алаколь (2018).

- https://baigenews.kz/news/rekordnoe_kolichestvo_turistov_zafiksirovano_na_ozero_alakol/http://alakol.zhetisu.gov.kz/pages/172/ 10.02 2020
- 186 Балова Е. В 2015 году на озере Алаколь появятся новые берегоукрепительные сооружения. <https://www.zakon.kz/4668473-v-2015-godu-na-ozere-alakol-pojavjatsja.html> 19.03 2019
- 187 Фокина Н.А. Рекреационная деятельность и абразионные процессы // Строительство и техногенная безопасность. – 2008. – Выпуск 23. – С.88-92
- 188 Акимат Алакольского района Алматинской области. Ырғайтінскій СО Алакольского района. <http://alakol.zhetisu.gov.kz/pages/217/http://alakol.zhetisu.gov.kz/pages/172/> 23.03 2020
- 189 Макаров В.З., Новаковский Б.А., Чумаченко А.Н. Эколого-географическое картографирование городов. М.: Научный мир, 2002. – 176 с.
- 190 Maria Shahgedanova, Muhammad Afzal, Wilfried Hagg, Vassiliy Kapitsa, Nikolay Kasatkin, Elizabeth Mayr, Oleg Rybak, Zarina Saidaliyeva, Igor Severskiy, Zamira Usmanova, Andrew Wade, Natalia Yaitskaya and Dauren Zhumabayev. Emptying Water Towers? Impacts of Future Climate and Glacier Change on River Discharge in the Northern Tien Shan, Central Asia // Water. – 2020. – Vol. 12. – P. 627
- 191 Waldmeir P. Rising water raises climate change fears in the Great Lakes region. <https://www.ft.com/content/5f6f4ade-5193-11ea-8841-482eed0038b1> 11.02 2020
- 192 Rita Adrian, Catherine M. O'Reilly, Horacio Zagarese, Stephen B. Baines, Dag O. Hessen, Wendel Keller, David M. Livingstone, Ruben Sommaruga, Dietmar Straile, Ellen Van Donk, Gesa A. Weyhenmeyer, and Monika Winder. Lakes as sentinels of climate change // Limnol Oceanogr. – 2009. – Vol. 54(6). – P. 2283–2297.
- 193 Кенжебеков Б.К., Е.К. Данько, Е.Т. Сансызбаев. К современному состоянию озер Алакольской системы // Гидрометеорология и экология. – 2018, № 3, С. 145-151.
- 194 Досье на проект постановления «Об утверждении Дорожной карты развития туристской отрасли Республики Казахстан до 2020 года». <https://bestprofi.com/document/580178241?0> 04.06 2020
- 195 С.И. Рогачко, Н.В. Шунько. Научное сопровождение проектирования берегозащитных сооружений. Гидравлика. Инженерная гидрология. Гидротехническое строительство // Вестник МГСУ. – 2016. № 12. – С. 103-113

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Исходные данные к главе 2

Таблица А.1 – Гранулометрический состав грунтов

Геологический Индекс	Литология пород	Глубина отбора пробы, м	Содержание фракций в %									
			менее 0,001 мм	0,001-0,005	0,005-0,01	0,01-0,05	0,05-0,1	0,1-0,25	0,25-0,5	0,5-1,0	1,0-2,0	2,0-3,0
2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
арQ _{III-IV}	Песок	1,0	12,90	18,80	0,58	30,15	25,68	2,81	9,08	-	-	-
арQ _{III-IV}	Супесь	1,0	3,33	7,26	4,90	13,77	42,71	23,37	4,40	0,26	-	-
арQ _{III-IV}	Супесь	1,0	-	-	8,73	8,85	57,47	21,49	1,81	0,82	0,83	0,40
IQ _{II}	Супесь	1,0	3,57	10,88	10,03	24,30	47,85	3,23	0,14	-	-	-
IQ _{II}	Песок	1,0	-	-	3,30	3,09	20,42	56,27	16,66	0,26	-	-
IbQ _{IV}	Суглинок	1,0	8,80	23,08	13,41	34,81	17,68	1,12	0,58	0,30	0,22	-
IaQ _{III-IV}	Суглинок	1,0	17,56	19,44	13,89	25,80	21,65	1,38	0,28	-	-	-
vQ _{III-IV}	Песок	1,0	-	-	1,88	0,22	3,58	66,52	27,80	-	-	-



а)



б)

а) самоизливающаяся скважина подземных вод на юго-западном побережье озера; б) выклинивание подземных вод на восточном побережье залива Киши Алаколь

Рисунок А.1– Разгрузка подземных вод в прибрежной зоне озера Алаколь

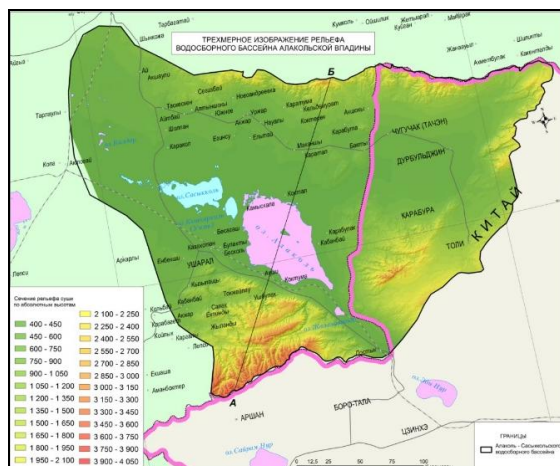




Рисунок А.4 – Батиметрическая съемка эхолотом LOWRANCE, береговая зона озера Алаколь у с. Коктума

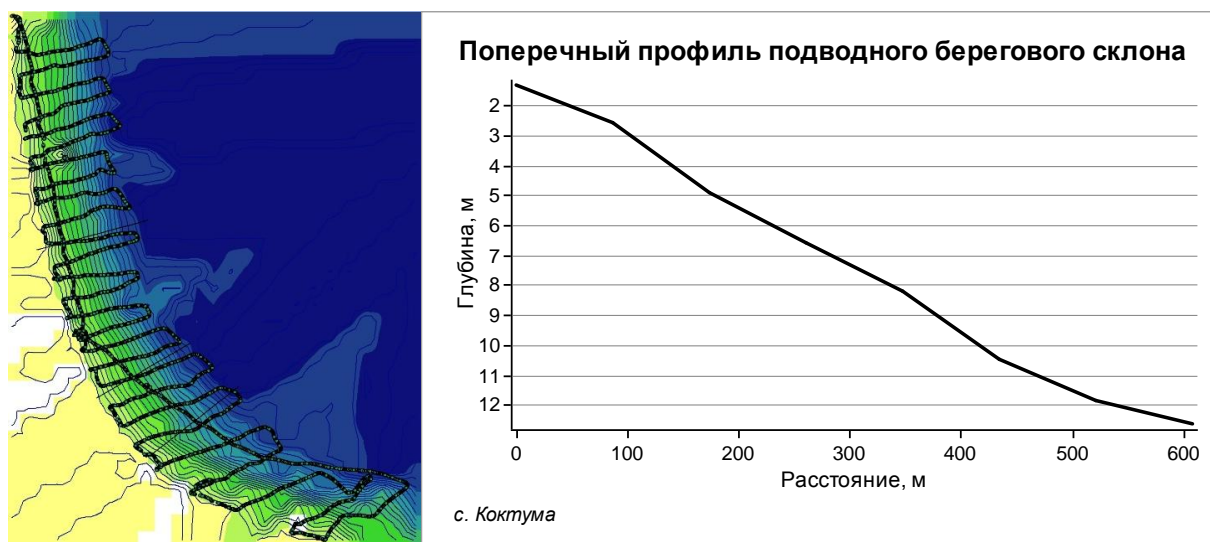


Рисунок А.5 – Карта-схема батиметрии подводного берегового склона озера Алаколь у с. Коктума

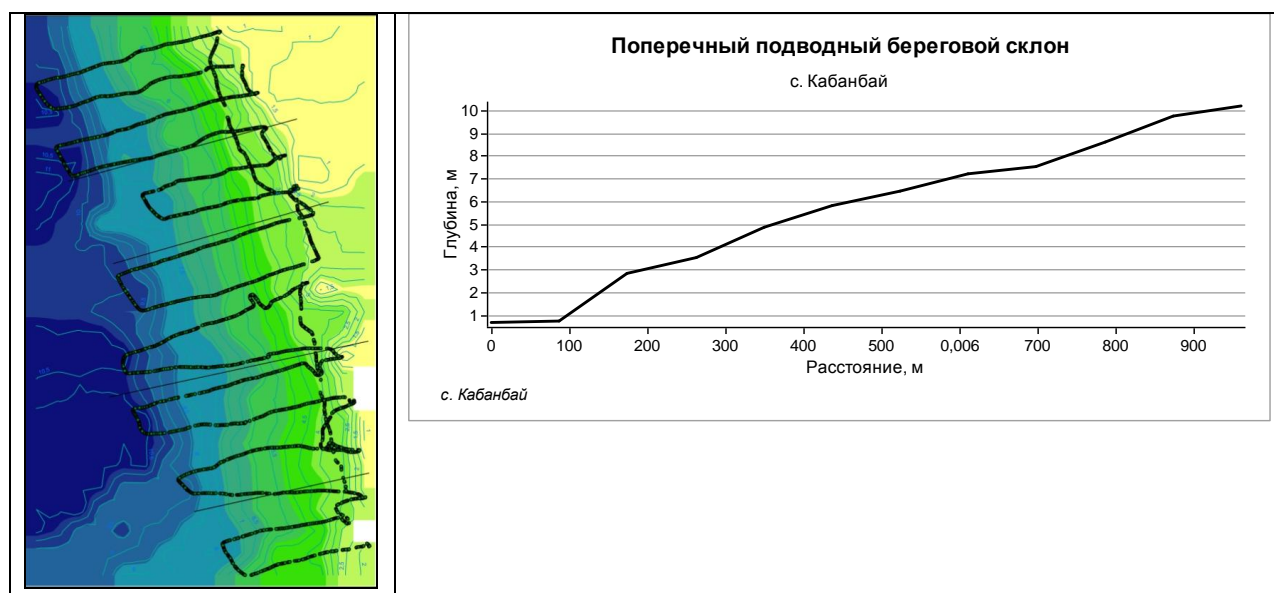


Рисунок А.6 – Карта-схема батиметрии подводного берегового склона озера Алаколь у с. Кабанбай

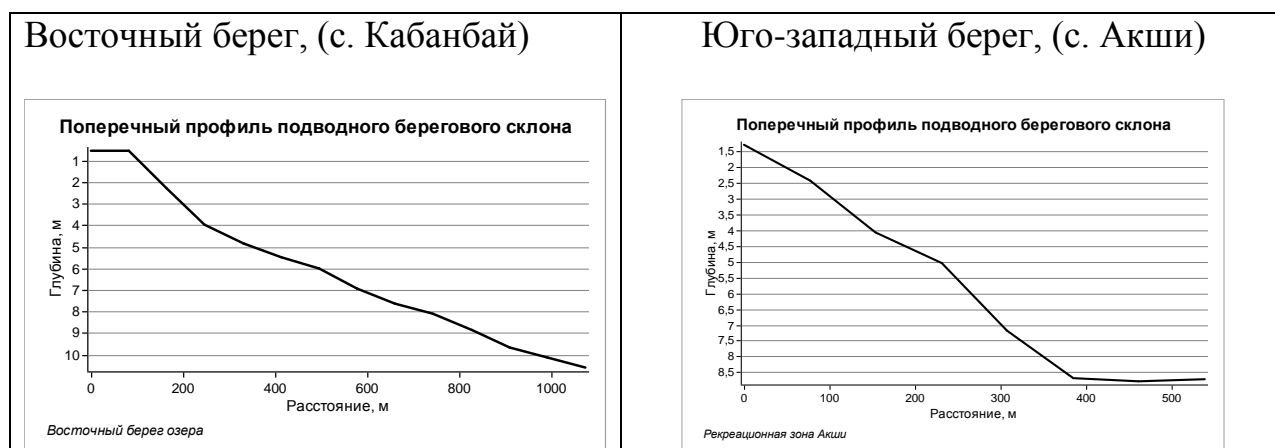


Рисунок А.7 – Профили подводного берегового склона оз. Алаколь

Июнь 2018



а)

Апрель 2019



б)



в)



г)

Сезонная аккумуляция (а, г) и абразия (б, в) пляжа в результате вдольберегового переноса обломочного материала

Рисунок А.8 – Побережье рядом с д/о «Акварин», а-б севернее, в-г южнее (рекреационная зона с. Кабанбай ВКО)



Рисунок А.9 – Пологоволнистая равнина с затопленными понижениями, северо-восточнее с. Алаколь. На заднем плане второго рисунка – полуостров Аралтобе



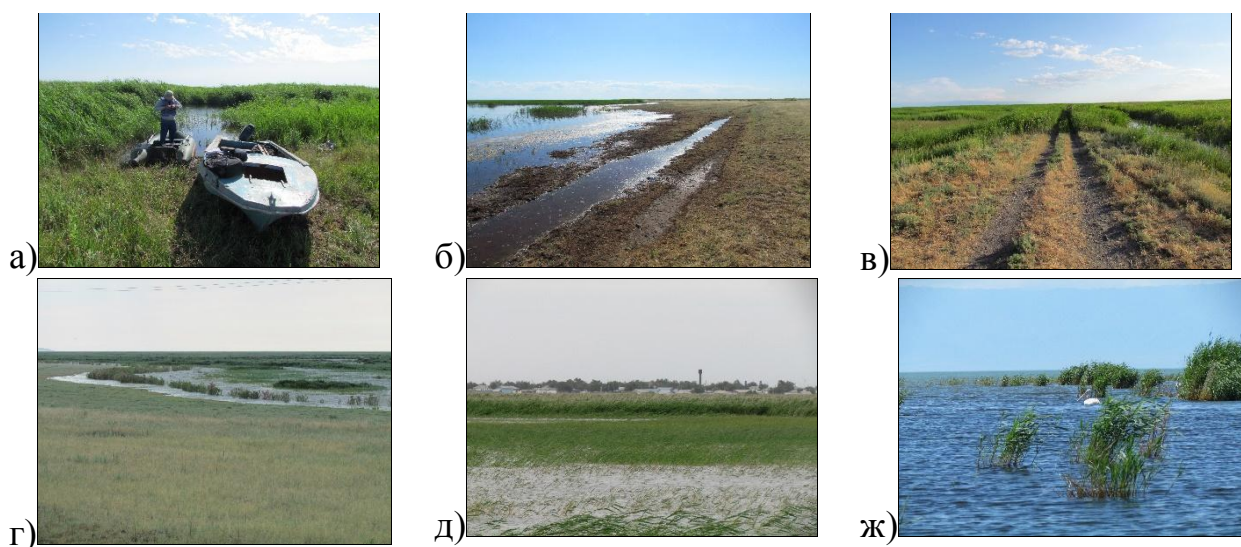
Рисунок А.10 – Северное побережье, абразионные уступы озерной плоской нерасчлененной равнины



Рисунок А.11 – Побережье острова Пески Западная, центральная и восточная участки острова (слева – направо)

Таблица А.2 – Динамика изменения морфометрических характеристик острова Пески

Показатели	Данные за 1960-1963г. Автор: Казанцева Е.А.[56, с. 109]	Данные за 2018 г Автор: Валеев А.Г.
Средняя длина острова	12 км	4 км
Средняя ширина острова	2,5 км	500 м
Максимальная высота уступа	8 м	5 м



а), б) – северо-восточное побережье; в) – граница равнин (затопленная дорога Маканшы-Камыскала); г), д) – северное побережье (д – на заднем плане с. Камыскала); ж) – граница озерно-болотной равнины с открытой акваторией озера

Рисунок А.12 – Современная плоская озерно-болотная затопленная равнина



Рисунок А.13 – Озерно-болотная плоская равнина (восточное побережье залива Киши Алаколь)



а)



б)

а – самоизливающаяся скважина подземных вод; б – равнина в прибрежной зоне

Рисунок А.14 – Озерно-аллювиальная, пологоволнистая с солончаками, расчлененная равнина



Рисунок А.15 – Береговой уступ – образованный процессами переработки берегов (рекреационная зона с.Кабанбай)



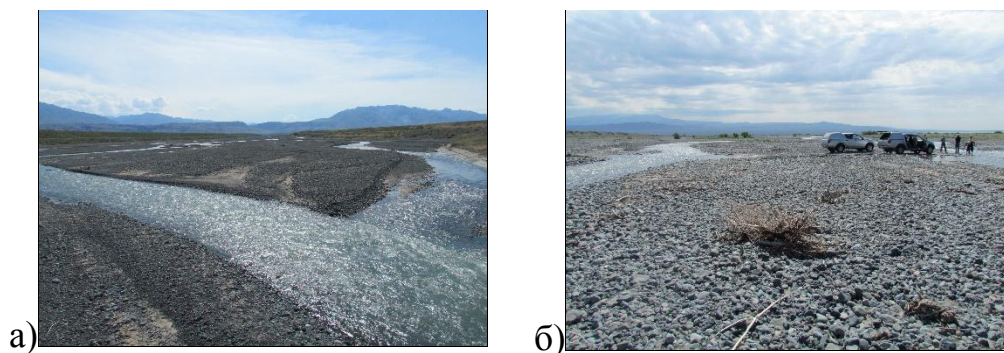
а)



б)

а) средняя часть равнины, вид на озеро; б) насыпь демонтированной железной дороги в пределах равнины

Рисунок А.16 – Озерно-аллювиальная плоская, слабонаклонная, нерасчлененная равнина на периферических частях пролювиального конуса выноса р. Жаманты



а) русло и пойма р. Жаманты; б) русло и пойма р. Ыргайты

Рисунок А.17 – Аллювиально-дельтовая плоская пологонаклонная равнина



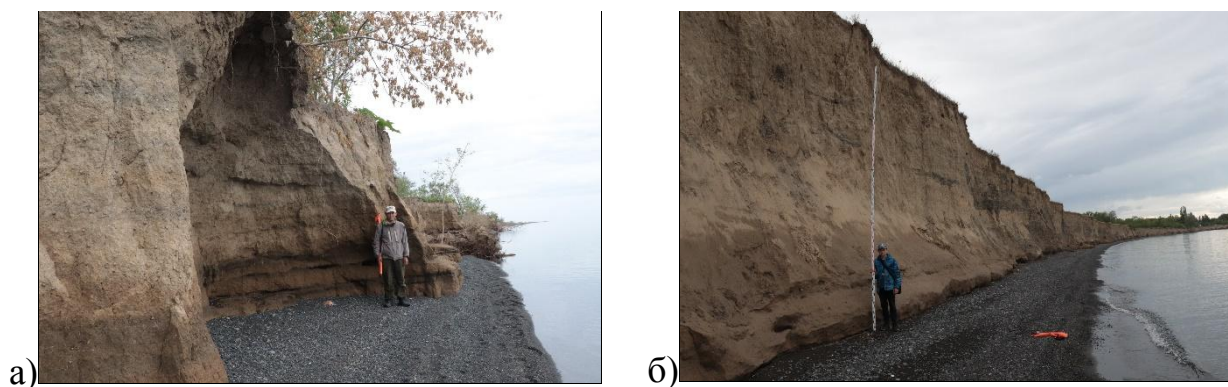
а) долина р. Шагантогай; б) русло р. Эмель; в) русло и низкая пойма р. Катынсу

Рисунок А.18 – Аллювиально-дельтовая плоская пологонаклонная равнина низких речных террас, пойм и дельты



а) начало формирования денудационного берега в северо-западной часть рекреационной зоны (основание косы Белкудык); б) гравийно-галечниковая аккумулятивная коса Большой Балгын; в) абразионный береговой уступ (относительная высота - 5,5 м) южнее косы Малый Балгын

Рисунок А.19 – Аллювиально-пролювиальная равнина на конусе выноса, левый борт р. Жаманты (рекреационная зона Акши)



а) ниша вымывания в береговом суглинисто-супесчаном уступе (h - 4 м);
 береговой уступ южнее с. Коктума (h - 5,5 м)

Рисунок А.20 – Абразионный уступ, обнажающий аллювиально-пролювиальные отложения конуса выноса, правый борт р. Жаманты у с. Коктума



Рисунок А.21 – Слабо наклонная аллювиально-пролювиальная равнина конуса выноса р. Ыргайты (гравийно-галечниковая поверхность со скудной растительностью)



Рисунок А.22 – Аллювиально-пролювиальная полого наклонная равнина шлейфов конусов выноса



Рисунок А.23 – Аллювиально-озерная, плоская и полого наклонная равнина на северо-восточном побережье озера



Рисунок А.24 – Делювиально-пролювиальная, полого наклонная, юго-западное побережье



Рисунок А.25 – Грядовая, бугристая и ячеистая равнины закрепленных песков Коссайшагыл



Рисунок А.26 – Грядовая, бугристо-ячеистая и чуротная равнины закрепленных песков Коссайшагыл



Рисунок А.27 – Поливное земледелие на конусе выноса р. Тентек

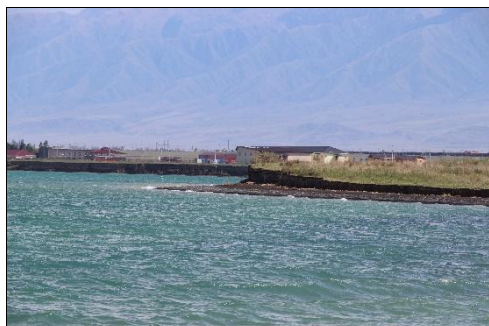
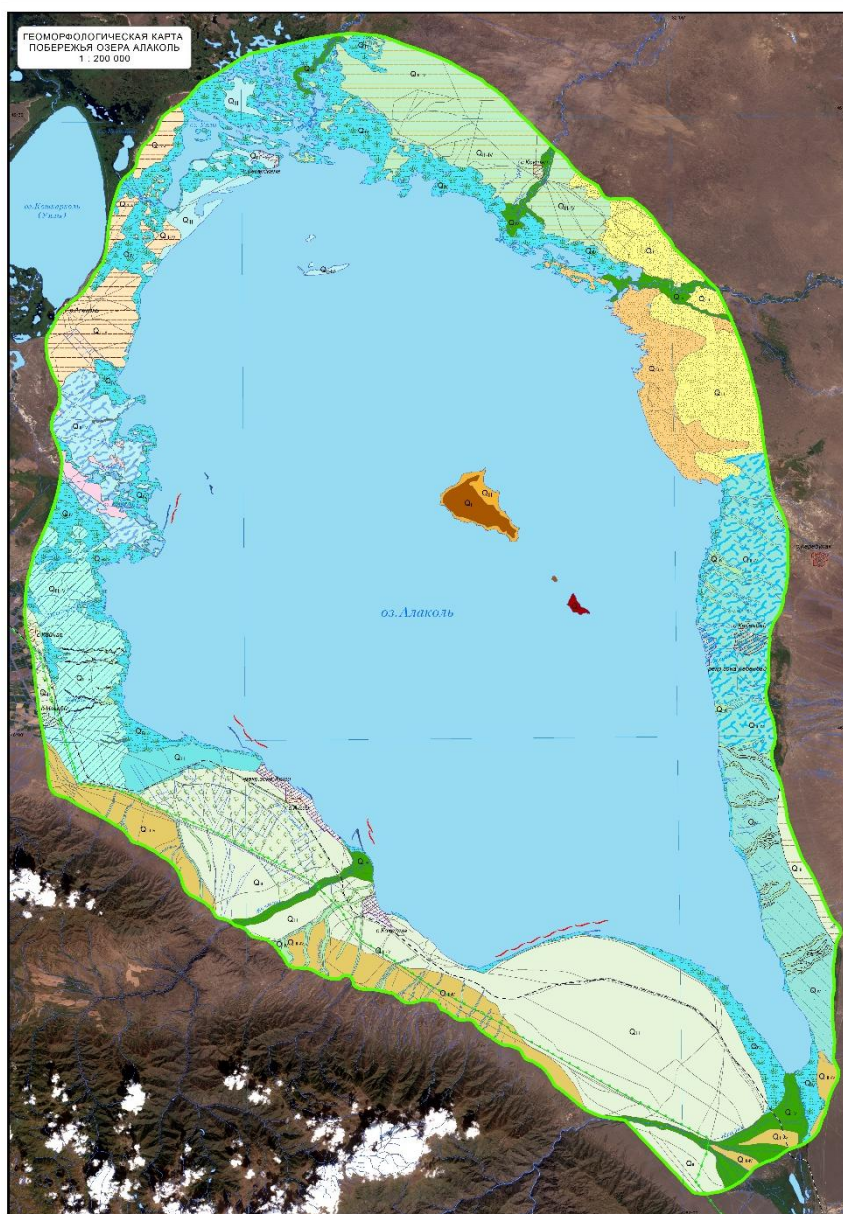


Рисунок А.28 – Рекреационные зоны побережья озера Алаколь



Планиция	Гидрография	Полные рельефы	Условья	Возраст
Равнина, возвышенность между озерами Алаколь и Кизилсай, с южной стороны озера Алаколь	Алювиальные денудационные аккумулятивные, коллоидальные	Равнинная (от 20 м)	4	Q _{al}
Мезоморфная равнина озера Алаколь	Стержневидная (от 20 м)	Равнинная (от 20 м)	Q _{al}	
Плоская эрозионная терраса	Пологоэрозионная поверхность	Средняя (от 20 м)	Q _{al}	
Нижняя эрозионная терраса	Денудационная поверхность	Средняя (от 20 м)	3	Q _{al}
АККУМУЛЯТИВНЫЕ РЕЛЕФЫ				
Равнина с оврагами и бороздами (эрозионная)	Овражно-борозденная	Средняя (от 20 м)	8	Q _{al}
Равнина (субэрозивная) южнее оз. Алаколь	Овражно-борозденная с эрозионными денудационными	Низинная (от 20 м)	8	Q _{al}
Равнина (с южной стороны озера Алаколь)	Овражно-борозденная с эрозионными денудационными	Равнинная (от 20 м)	7	Q _{al}
Равнина (с южной стороны озера Алаколь)	Овражно-борозденная с эрозионными денудационными	Низинная (от 20 м)	5	Q _{al}
Равнина (с южной стороны озера Алаколь)	Овражно-борозденная с эрозионными денудационными	Средняя (от 20 м)	6	Q _{al}
Равнина (с южной стороны озера Алаколь)	Овражно-борозденная с эрозионными денудационными	Равнинная (от 20 м)	7	Q _{al}
ШОШАКИ				
Тысячелетние	Тысячелетние	Полные (от 20 м)		
Равнина (с южной стороны озера Алаколь)	Алювиальные денудационные аккумулятивные	Средняя (от 20 м)	16	Q _{al}
Равнина (с южной стороны озера Алаколь)	Алювиальные денудационные аккумулятивные	Средняя (от 20 м)	11	Q _{al}
Равнина (с южной стороны озера Алаколь)	Алювиальные денудационные аккумулятивные	Средняя (от 20 м)	111	Q _{al}
Равнина (с южной стороны озера Алаколь)	Алювиальные денудационные аккумулятивные	Средняя (от 20 м)	13	Q _{al}
Равнина (с южной стороны озера Алаколь)	Алювиальные денудационные аккумулятивные	Средняя (от 20 м)	10	Q _{al}
Равнина (с южной стороны озера Алаколь)	Алювиальные денудационные аккумулятивные	Средняя (от 20 м)	14	Q _{al}
Равнина (с южной стороны озера Алаколь)	Алювиальные денудационные аккумулятивные	Средняя (от 20 м)	14	Q _{al}
ДИТКАРИТНО-ТРАНСФОРМИРОВАННЫЕ ФОРМЫ РЕЛЕФА				
Равнина	Полные (от 20 м)	Полные (от 20 м)		
Равнина (с южной стороны озера Алаколь)	Алювиальные денудационные аккумулятивные	Средняя (от 20 м)	Q _{al}	
Равнина (с южной стороны озера Алаколь)	Алювиальные денудационные аккумулятивные	Средняя (от 20 м)	Q _{al}	

Рисунок А.29 – Геоморфологическая карта побережья озера Алаколь

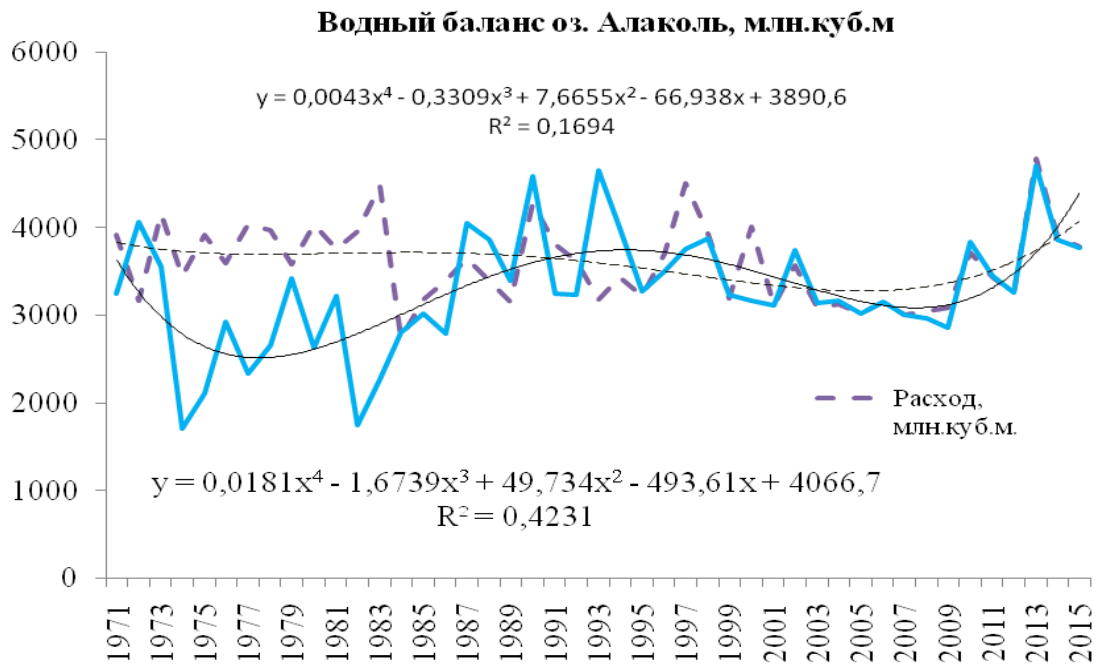


Рисунок А.30 – Водный баланс оз. Алаколь за период с 1971 по 2015 гг.

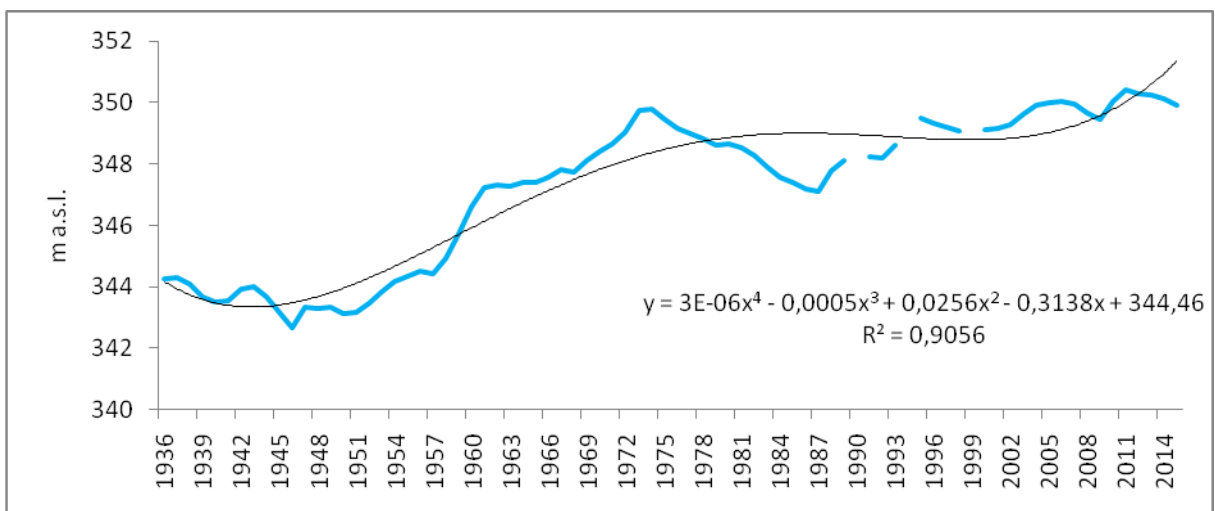


Рисунок А.31 – Многолетняя динамика среднегодового уровня озера Алаколь

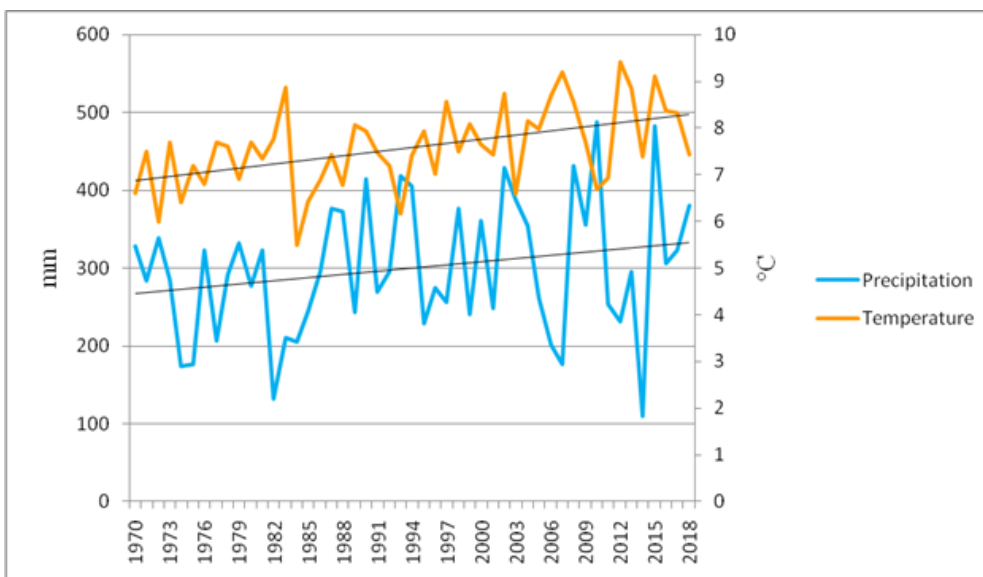


Рисунок А.32 – Многолетняя динамика среднегодовой температуры и осадков по данным метеост. Ушарал (386 м. абс.высоты) за 1970–2018 гг.

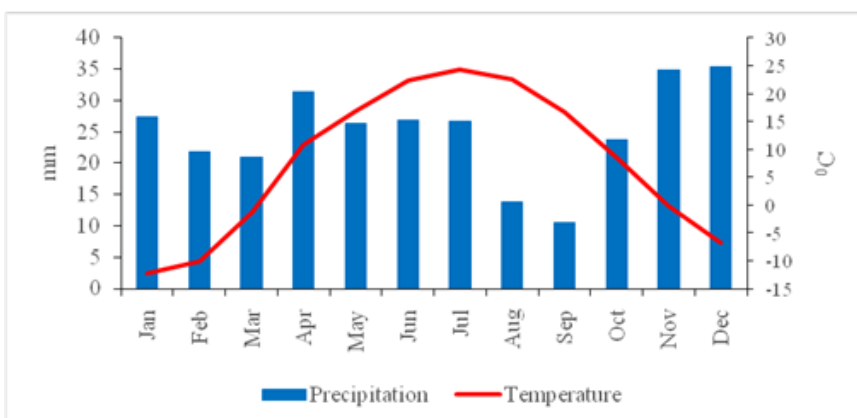


Рисунок А.33 – Среднегодовые показатели температуры и осадков по данным метеостанции Ушарал за 1970-2018 гг.

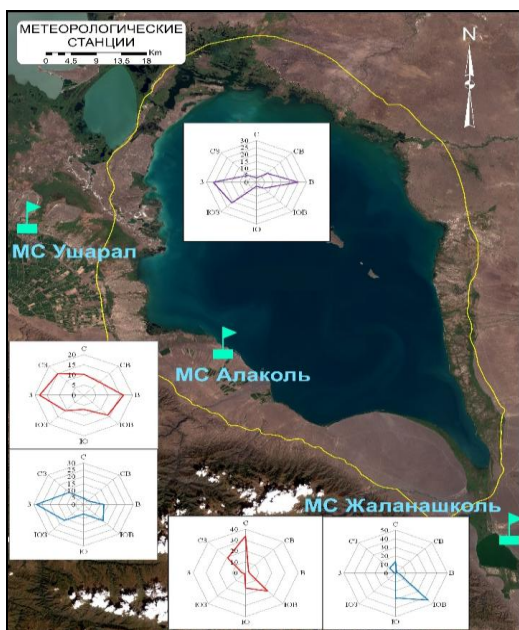


Рисунок А.34 – Метеорологические станции с диаграммами розы ветров

Таблица А.2 – Повторяемость направления ветра и штилей (%) по метеостанции Жаланашкөл

Месяц	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ	Штиль
I	7	1	2	50	36	0	0	4	8
II	13	1	2	43	33	0	1	7	9
III	22	1	2	35	26	0	1	13	15
IV	29	3	3	29	17	1	2	16	19
V	38	3	2	22	12	1	3	19	23
VI	42	4	2	16	8	1	4	23	27
VII	38	4	4	17	8	2	4	23	27
VIII	33	4	4	23	11	1	3	21	25
IX	26	3	4	34	16	0	2	15	21
X	18	2	3	40	24	0	2	11	14
XI	12	1	3	45	30	0	1	8	11
XII	6	1	2	53	34	0	0	4	8
Год	24	2	3	33	21	1	2	14	17

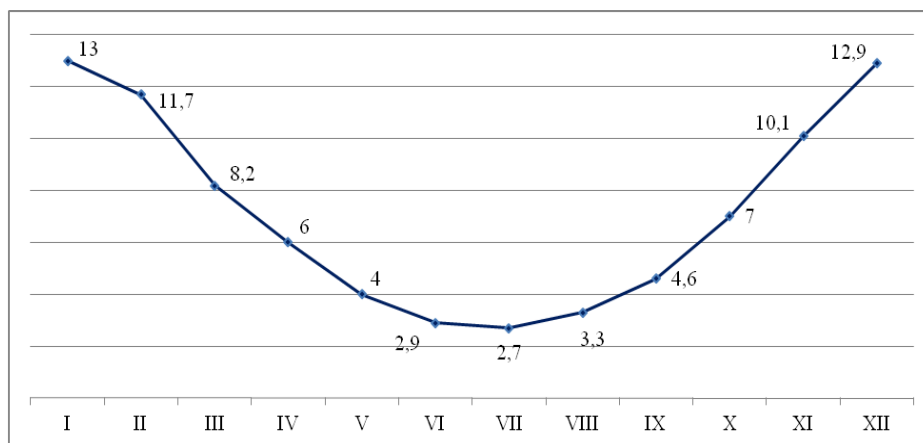


Рисунок А.35 – Средняя месячная скорость ветра по метеостанции Жаланашколь, м/с

Таблица А.3 – Повторяемость различных градаций скорости ветра, %

Скорость ветра, м/с	месяц												год
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VII I	IX	X	XI	XII	
0-1	12,4	17,0	25,7	30,0	38,5	43,5	43,9	40,1	34,3	26,2	17,9	12,3	28,5
2-3	8,3	10,8	16,9	18,4	21,8	24,2	26,0	24,5	21,2	17,6	13,8	9,1	17,7
4-5	6,6	8,2	10,0	12,6	12,2	13,2	13,5	13,3	13,0	11,2	9,3	7,0	10,8
6-7	5,4	5,7	6,7	8,8	9,5	8,7	9,0	9,4	8,8	8,3	6,7	4,5	7,6
8-9	5,5	6,1	5,5	6,1	5,9	4,7	4,3	5,4	5,7	6,5	5,9	5,1	5,6
10-11	6,0	6,7	5,2	4,9	3,8	2,5	1,8	3,3	5,1	5,6	6,0	5,8	4,7
12-13	6,0	5,5	4,3	3,2	2,1	1,3	1,0	1,4	3,1	3,4	4,4	5,0	3,4
14-15	6,3	5,1	3,8	3,0	1,4	0,6	0,3	0,8	2,2	4,0	4,2	6,5	3,2
16-17	9,9	8,5	6,0	4,1	1,9	0,7	0,2	1,2	3,1	6,6	8,0	9,6	5,0
18-20	17,1	13,7	7,8	5,6	1,8	0,5		0,5	2,4	6,7	12,2	18,3	7,2
21-24	7,2	5,9	3,5	1,4	0,7	0,1		0,1	0,8	2,0	5,0	7,5	2,9
25-28	4,1	2,7	2,0	0,9	0,2				0,2	0,9	2,7	4,3	1,5
29-34	3,5	3,2	1,6	0,8	0,2				0,1	0,9	2,6	3,8	1,4
35-40	1,4	1,2	0,8	0,2						0,1	1,3	1,2	0,5
>40	0,3		0,2										0,0

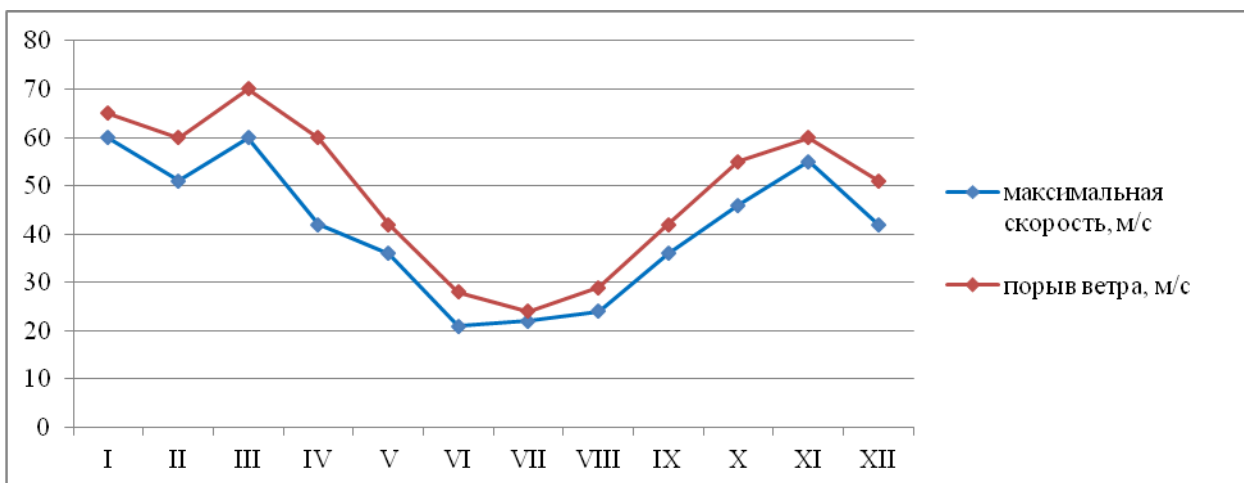


Рисунок А.36 – Максимальная скорость и порывы ветра по метеостанции Жаланашколь, м/с

Таблица А.4 – Повторяемость направлений ветра и штилей (%) по метеостанции Ушарал

Месяц	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ	Штиль
I	3	9	31	7	3	18	22	7	40
II	3	9	31	7	3	18	22	7	36
III	3	10	30	6	2	18	23	8	29
IV	3	9	27	6	2	20	25	8	20
V	3	9	22	6	4	26	23	7	23
VI	4	9	19	7	5	25	24	7	25
VII	5	9	18	6	5	23	26	8	28
VIII	3	9	17	5	4	23	30	9	27
IX	3	9	22	4	3	23	28	8	32
X	2	8	26	5	3	24	26	6	35
XI	2	9	29	5	2	21	26	6	34
XII	2	10	30	5	3	20	23	7	39
Год	3	9	25	6	3	21	26	7	31

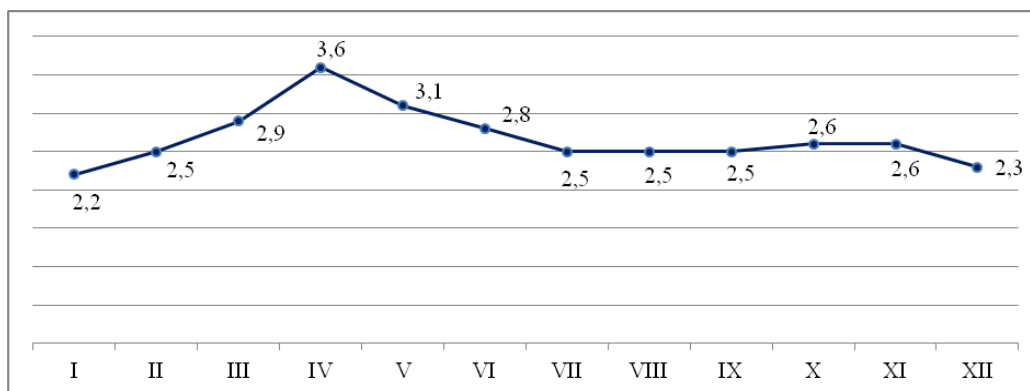


Рисунок А.37 – Средняя месячная скорость ветра по метеостанции Ушарал, м/с

Таблица А.5 – Повторяемость различных градаций скорости ветра, %

Скорость ветра, м/с	месяц												год
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VII I	IX	X	XI	XII	
0-1	52,5	47,7	39,1	28,1	31,9	35,2	38,6	39,3	43,7	46,9	44,9	52,0	41,5
2-3	24,3	24,8	28,8	28,3	31,1	33,2	33,3	33,4	29,5	24,9	24,1	24,7	28,4
4-5	12,1	13,9	16,4	22,0	20,1	19,0	18,1	16,5	14,3	14,2	15,4	12,1	16,2
6-7	4,7	5,5	6,6	9,4	7,7	6,9	5,4	6,5	5,6	6,2	6,5	4,5	6,3
8-9	3,1	4,0	4,4	5,8	4,9	3,4	2,9	2,9	3,8	3,9	4,1	3,0	3,9
10-11	1,8	2,4	2,3	3,4	2,7	1,4	1,0	1,0	1,9	2,0	2,7	2,0	2,1
12-13	0,7	0,7	0,9	1,5	0,8	0,5	0,3	0,3	0,6	1,0	1,2	0,6	0,8
14-15	0,4	0,4	0,5	0,4	0,2	0,1	0,1	0,0	0,2	0,3	0,6	0,3	0,3
16-17	0,3	0,6	0,7	0,7	0,4	0,3	0,3	0,1	0,3	0,5	0,4	0,6	0,4
18-20	0,1		0,2	0,3	0,2				0,1	0,1	0,1	0,2	0,1
21-24			0,1										0,0
25-28				0,1									0,0

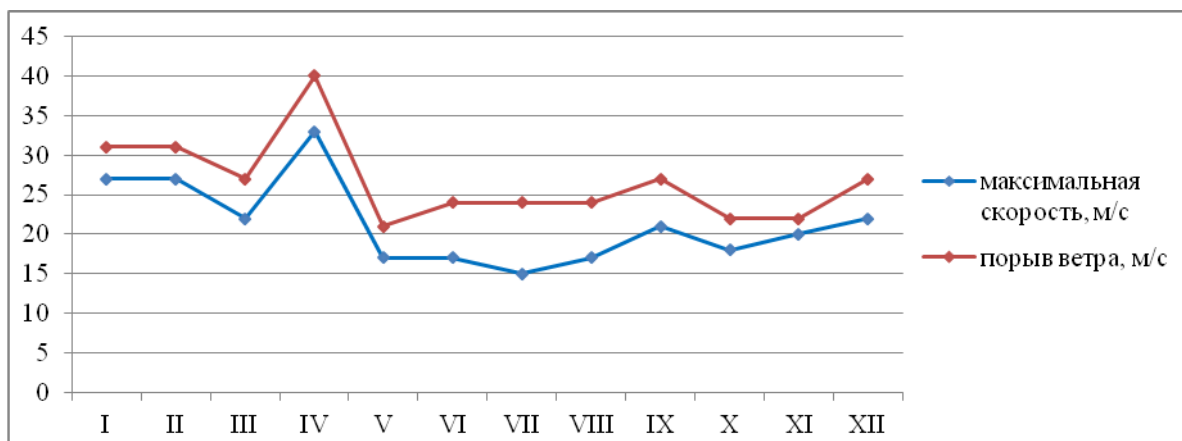


Рисунок А.38 – Максимальная месячная скорость и порывы ветра по метеостанции Ушарал, м/с

Таблица А.6 – Повторяемость направления ветра и штилей в МС Алаколь (%)

Месяц	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ	Штиль
I	2	3	9	13	5	19	39	10	20
II	3	3	12	15	6	15	34	12	22
III	6	6	16	19	4	9	25	15	25
IV	9	8	21	20	5	7	16	14	16
V	10	10	19	15	7	9	15	15	14
VI	12	11	15	11	8	12	16	15	15
VII	12	10	14	10	9	13	17	15	14
VIII	13	9	12	8	9	14	19	16	14
IX	11	6	13	12	9	13	21	15	13
X	6	5	15	20	7	13	19	15	14
XI	3	2	14	22	6	16	25	12	14
XII	2	2	10	17	7	21	32	9	17
Год	7	6	14	15	7	13	24	14	17

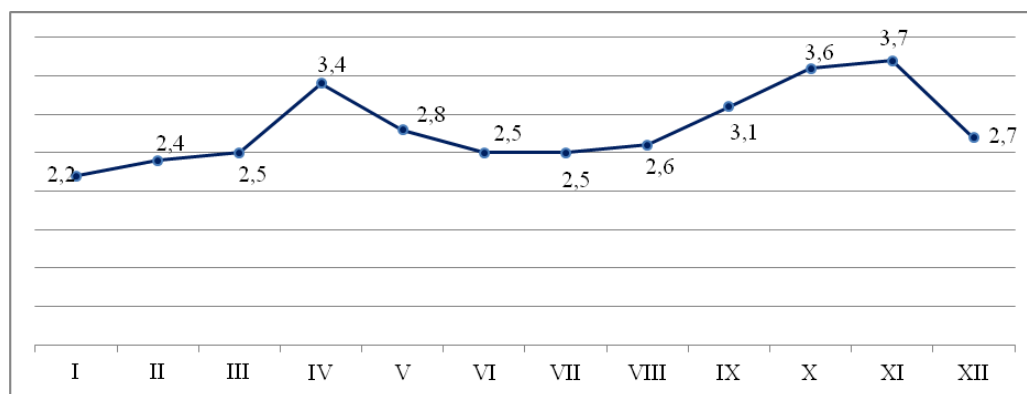


Рисунок А.39 – Средняя месячная скорость ветра по метеостанции Алаколь, м/с

Таблица А.7 – Повторяемость различных градаций скорости ветра, %

Скорость ветра, м/с	месяц												год
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
0-1	55,2	56,5	57,9	45,4	45,4	44,1	44,0	41,8	39,7	41,2	43,5	50,2	47,1
2-3	30,5	30,1	25,4	26,6	30,7	34,5	35,5	36,2	33,5	28,3	27,3	31,2	30,8
4-5	8,3	6,9	6,5	9,9	10,3	12,2	11,6	11,6	11,0	9,8	9,7	9,0	9,7
6-7	1,7	1,9	2,8	5,1	5,6	4,8	4,5	4,9	5,8	6,0	5,0	2,9	4,3
8-9	1,0	0,9	2,0	4,0	3,3	2,4	2,5	2,8	4,3	4,9	3,3	1,5	2,7
10-11	0,4	0,4	0,8	2,0	1,3	0,9	0,8	0,8	1,6	2,4	1,7	0,9	1,2
12-13	0,6	0,5	0,7	2,0	1,20	0,5	0,4	0,7	1,3	2,1	2,4	0,8	1,1
14-15	0,7	0,7	1,1	2,0	1,2	0,4	0,4	0,8	1,5	2,6	2,3	0,8	1,2
16-17	0,7	0,6	1,3	1,5	0,6	0,2	0,3	0,3	0,9	1,4	2,0	0,9	0,9
18-20	0,4	0,8	0,8	1,2	0,2			0,1	0,4	0,9	1,9	0,9	0,6
21-24	0,3	0,4	0,2	0,1	0,1					0,2	0,4	0,2	0,2
25-28	0,1	0,1	0,3	0,1	0,1					0,2	0,3	0,2	0,1
29-34	0,1	0,2	0,2	0,1							0,2	0,4	0,1
35-40												0,1	0,0

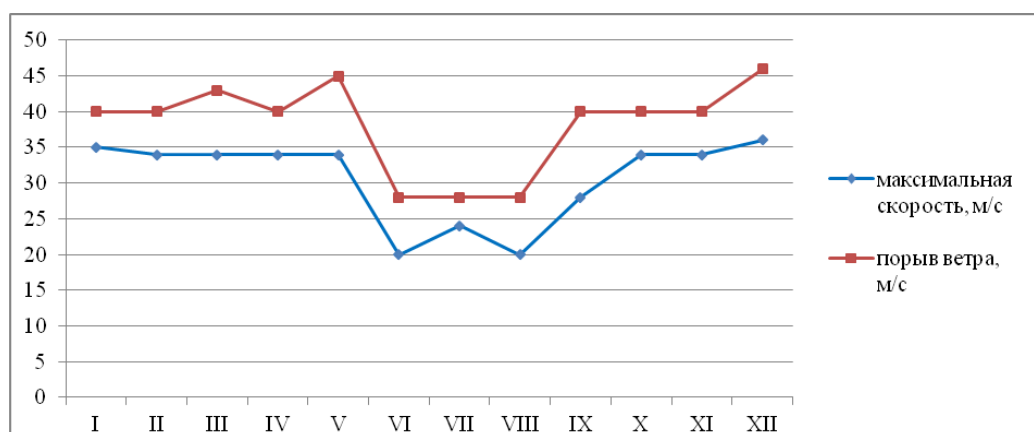


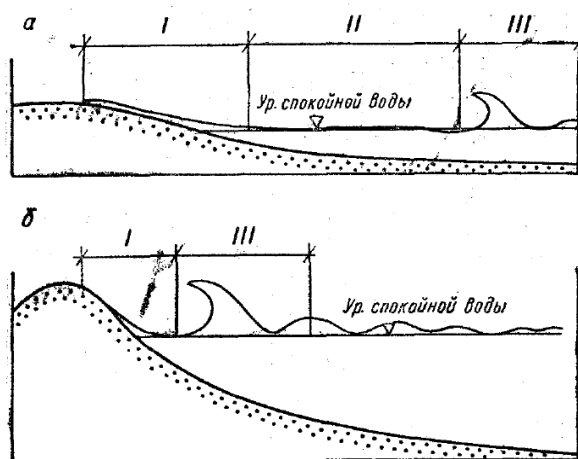
Рисунок А.40 – Максимальная скорость и порыв ветра по месяцам по метеостанции Алаколь

Таблица А.8 – Повторяемость высот волн, в (%) по месяцам

Месяц	Высота волны, см						
	0-25	25-50	55-75	80-100	105-150	155-200	205-250
VI	94,9	4,0	1,1	0	0	0	0
VII	95,5	3,6	0,9	0	0	0	0
VIII	88,9	7,7	1,0	0,5	1,9	0	0
IX	89,2	8,2	2,1	0,5	0	0	0
X	70,9	16,6	4,6	3,3	3,3	1,3	0
XI	35,8	18,9	10,8	12,5	10,8	9,5	1,7
XII	16,5	10,6	15,2	21,8	19,8	13,2	2,8

Таблица А.9 – Повторяемость волн по направлениям, в (%)

Год	Направление распространения волнения							
	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ
1961			72,8	13,6				13,6
1962		16,2	71				6,4	6,4
1963	15,4	23,1	38,4	23,1				
1964	5,6		50	27,8				16,6



а) у отмелого берега; б) у приглубого берега (по Дж. Инглу). I-III – зоны: I – заплеска, II – прибоя, III – разрушения.

Рисунок А.41 – Ширина и положение зоны прибоя в береговой зоне

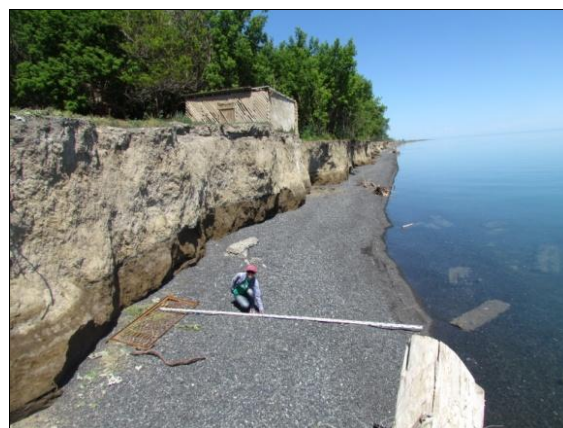
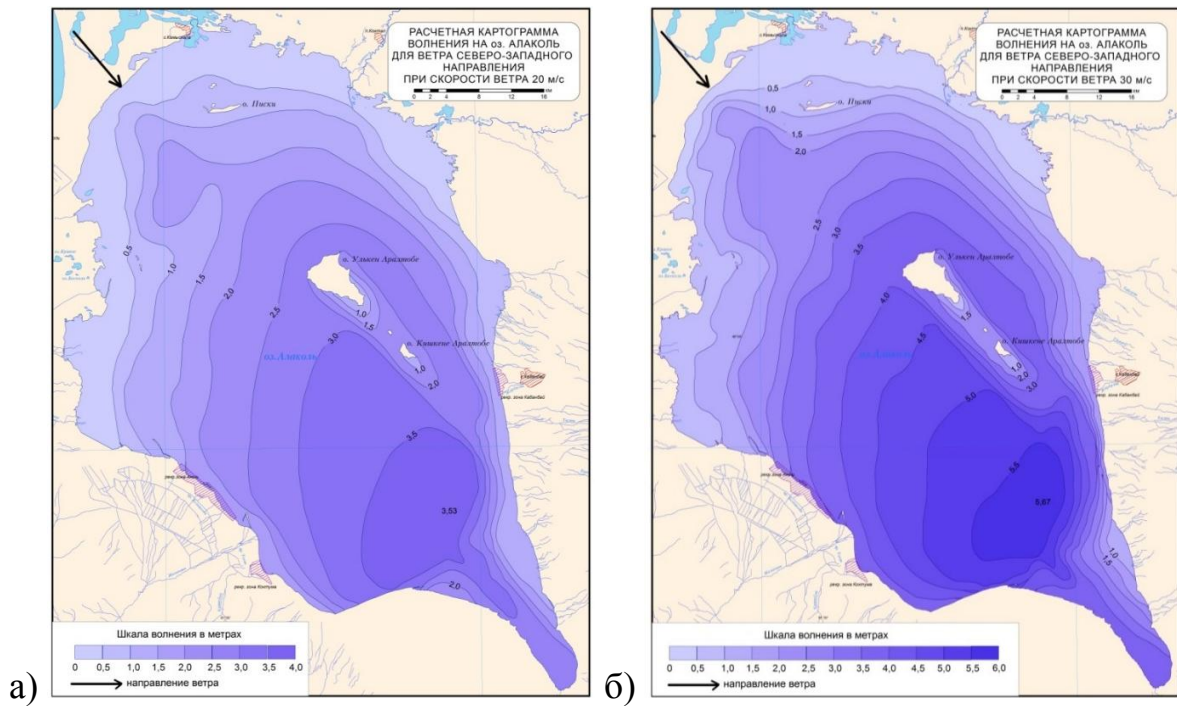


Рисунок А.42 – Узкий пляж у абразионного уступа с. Коктума

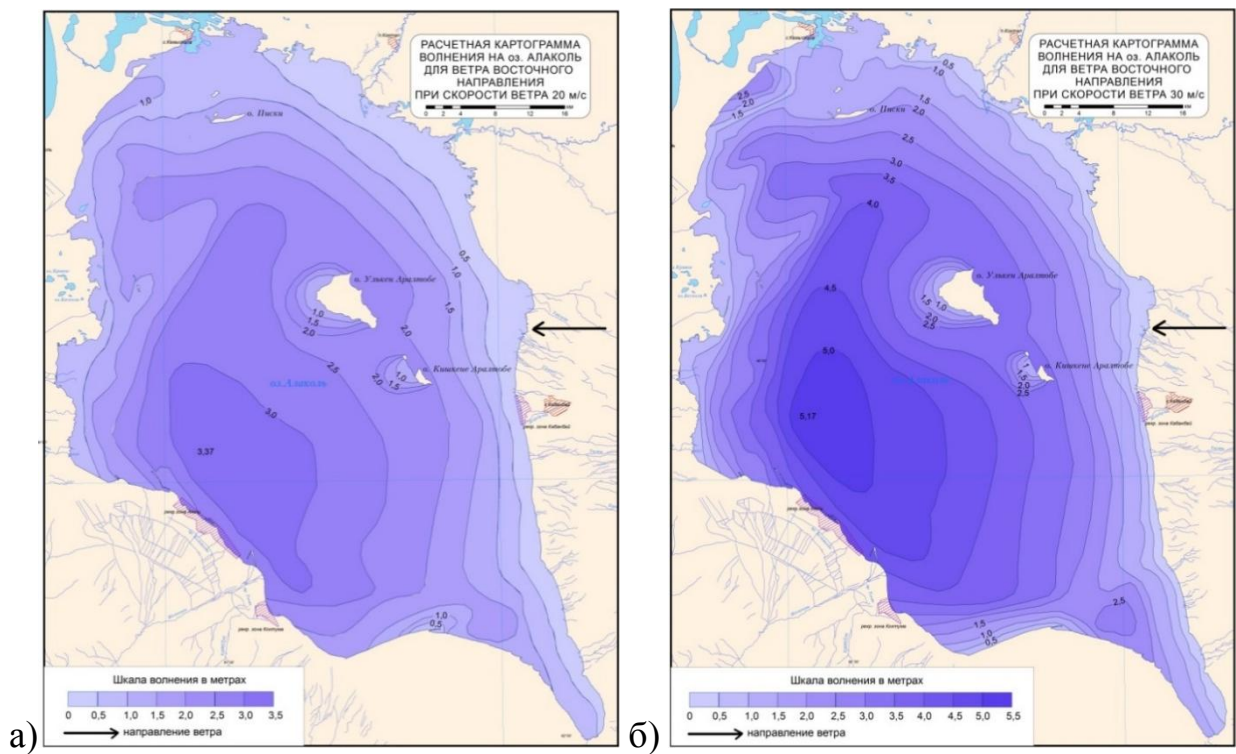


Рисунок А.43 – Лопастные берега ключевого участка севернее с. Камыскала



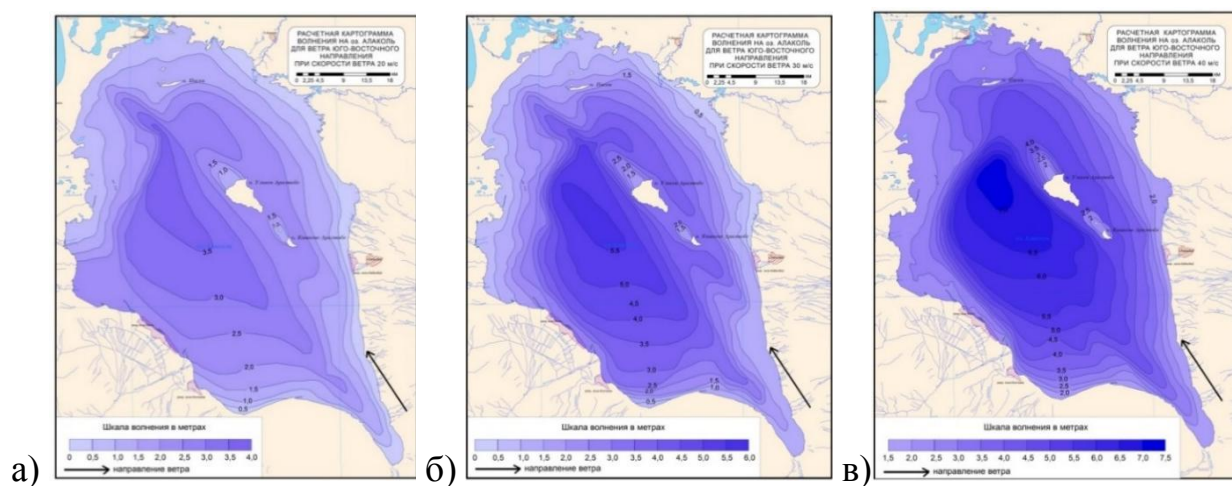
а – при скорости ветра 20 м/с; б - при скорости ветра 30 м/с

Рисунок А.44 – Расчетная картограмма волнения на оз. Алаколь для ветра северо-западного направления



а – при скорости ветра 20 м/с; б - при скорости ветра 30 м/с

Рисунок А.45 – Расчетная картограмма волнения на оз. Алаколь для ветра восточного направления



а – при скорости ветра 20 м/с; б - при скорости ветра 30 м/с; в - при скорости ветра 40 м/с

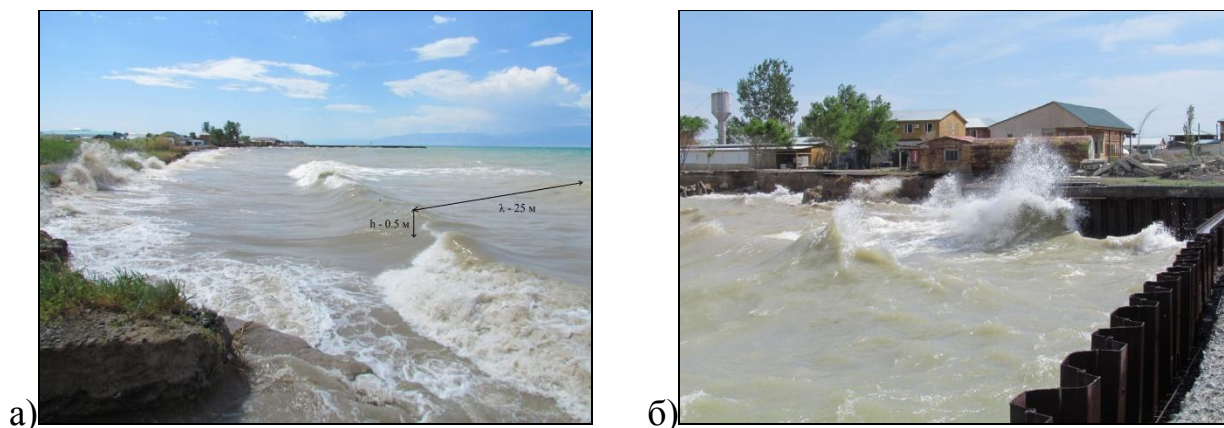
Рисунок А.46 – Расчетная картограмма волнения на оз. Алаколь для ветра юго-восточного направления



Рисунок А.47 – Метеостанция Davis Vantage Vue

Таблица А.10 – Методанные Davis Vantage Vue на ключевых участках

Ключевой участок	Дата	Преобладающее направление ветра	Средняя скорость ветра, м/с
№3	12.06.2018	западное, юго-западное	0,7
	13.06.2018	южное, юго-западное, юго-восточное	0,7
	14.06.2018	южное, юго-западное	1,0
№4	16.06.2018	северное, северо-западное	1,13
№6	21.06.2018	южное, юго-западное	1,8
	22.06.2018	южное, юго-восточное	2,2



а) визуальное определение длины и высоты волны; б) переработка берегов рекреационно-освоенных территорий

Рисунок А.48 – Ветроволновое воздействие на береговой клиф северо-восточного побережья оз. Алаколь (рекреационная зона с. Кабанбай)



Рисунок А.49 – Южный берег, ур. Косайшагыл

Таблица А.11 – Параметры элементов волны по визуальным наблюдениям

Ключевой участок	Скорость ветра по Davis Vantage Vue	тип волнения	высота волны (h)	длина волны (λ)	период волны
№ 3	2,2 м/с	ветровой	~ 0,5 м	~ 25 м	5 сек.
№ 4	1,5 м/с	ветровой	~ 0,5 м	~ 15 м	до 5 сек.

Таблица А.12 – Сравнение данных визуального наблюдения и расчетных данных по формуле В. Г. Андреенова за волнением

Ключевой участок	Высота волны, визуальное наблюдение	Длина волны, визуальное наблюдение	Расчетная высота волны (h)	Расчетная длина волны (λ)
№ 3	~ 0,5 м	около ~ 25 м	~ 0,6 м	~ 15,1 м
№ 4	до ~ 0,5 м	до ~ 15 м	~ 0,6 м	~ 10 м

Таблица А.13 – Ледовые явления на участке поста оз. Алаколь – а. Акши

<i>Весенние ледовые явления</i>			<i>Продолжительность, дни</i>		
<i>Дата</i>			<i>Продолжит.ве сених ледовых явлений дни</i>	<i>периода с ледовыми явлениями</i>	<i>периода свободно го ото льда</i>
<i>начала разрушения льда</i>	<i>окончания ледостава</i>	<i>очищение ото льда</i>			
26,02	29,03	10,04	43	107	252
25,03	31,03	16,04	22	119	249
06,03	29,03	19,04	24	120	255
10,03	22,03	14,04	35	105	252
01,03	11,03	16,04	46	115	257
21,03	28,03	20,04	30	112	250
11,03	14,03	29,03	18	94	272
16,03	19,03	24,03	9	85	273
01,04	11,04	13,04	12	111	248
01,04	03,04	28,04	27	132	248
27,03	07,04	11,04	15	101	244
06,03	22,03	09,04	34	119	267
19,03	18,03	20,04	32	109	236
24,03	23,03	26,04	33	135	250



Рисунок А.50 – Толщина льда и высота снега на льду у берега, см оз. Алаколь – а. Акши (2002-2015гг)



Рисунок А.51 – Аккумулятивный берег с песчано-галечниковыми и глинистыми отложениями, подвергшийся воздействию ледяных глыб (у рекреационной зоны с. Кабанбай)



Рисунок А.52 – Образование ледовых торосов на аккумулятивных берегах (у с. Кабанбай)



Рисунок А.53 – Аккумулятивные формы рельефа (галечниковые косы) у с. Акши

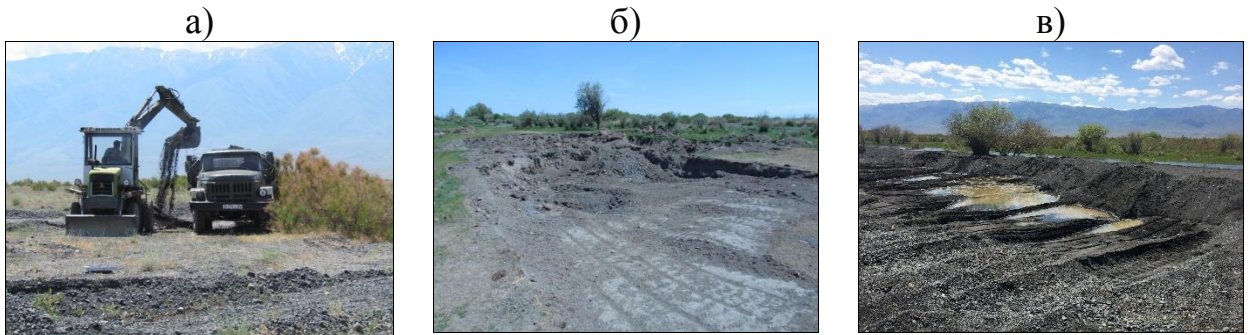


Рисунок А.54 – Грунтовая дамба для защиты от подтопления и размыва восточной части с. Камыскала



а) Карьер по добыче строительных материалов у р. Арасанка близ ущелья Барлык Арасан, б) использование песчано-гравийно-галечникового материала у с. Жарбулак для строительства дороги

Рисунок А.55 – Техногенное воздействие



а) и б) добыча галечника из отложений дельты р. Жаманты; в) использование песчано-гравийной смеси из основания косы Кызылагаш

Рисунок А.56 – Стихийная добыча обломочных горных пород



а) орошаемые пашни (масленичные культуры); б) аккумулятивная озерная равнина

Рисунок А.57 – Сельскохозяйственные угодья западного и юго-западного побережья озера



Рисунок А.58– Развитие овражной эрозии в береговой зоне у с. Коктума, в результате прорыва арыка

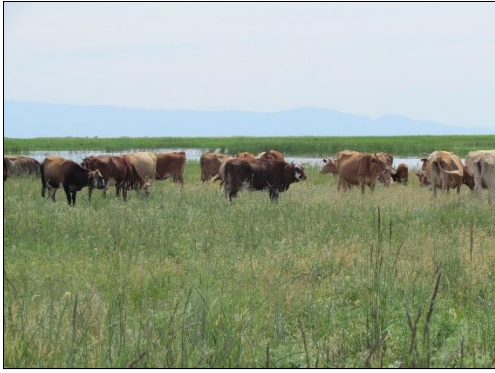


Рисунок А.59 – Прибрежные пастбищные и сенокосные угодья



а)



б)

а) незакрепленные пески, образованные в результате перевыпаса скота; б) развитие абразионных берегов на песчаных грядах эоловой равнины

Рисунок А.60 – Эоловая равнина Косайшагыл

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Исходные данные к главе 3

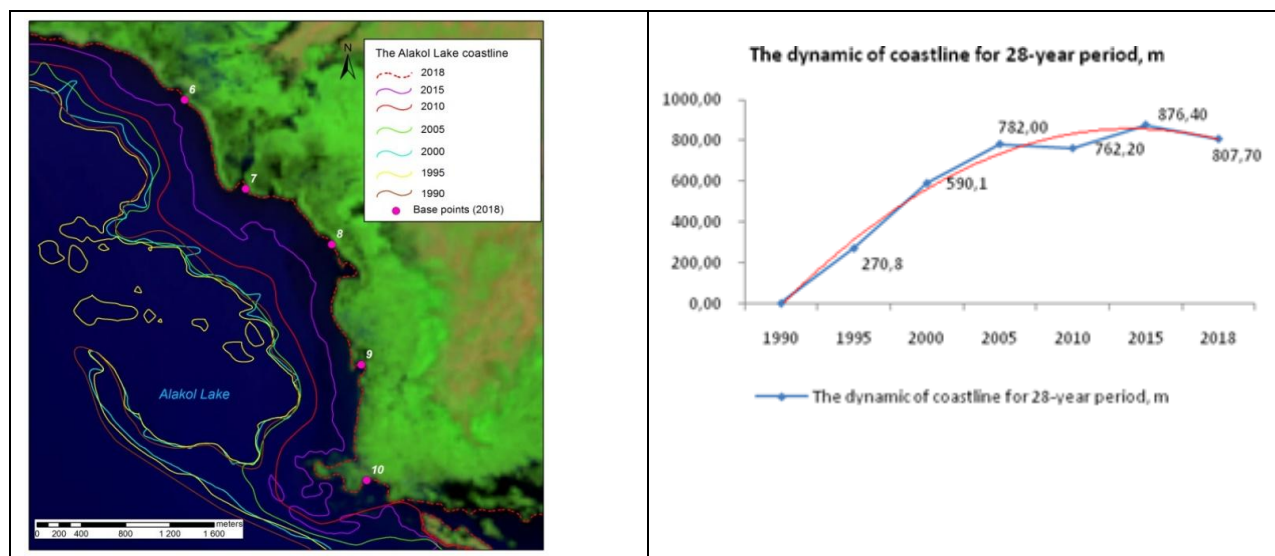


Рисунок Б.1 – Изменение береговой линии оз. Алаколь на северо-восточном аккумулятивном берегу (дельта р. Катынсу)



а) разрушенный рыбоприемный пункт с. Камыскала, затопление и подтопление селитебных территорий; б) затопление и подтопление автодороги Ушарал – Уялы; в) затопленная территория с обеих сторон дорожной насыпи автодороги Ушарал – Камыскала; г) затопленная ЛЭП

Рисунок Б.2 – Объекты инфраструктуры под воздействием процессов затопления, подтопления и заболачивания



Рисунок Б.3 – Вынос частей плавней и сухого тростника на 20 – 50 м от уреза воды в результате нагонных явлений. Аккумулятивный берег залива Киши Алаколь, юго-западный берег

Таблица Б.1 – Критерии опасных направлений ветра для различных участков побережья оз. Алаколь

Район	Эффективные направления ветра со скоростью >15 м/с	
	Нагоны	Сгоны
Северо-западная часть озера	СЗ, ССЗ	ЮВ, ЮЮВ
Южная оконечность водоема (залив Киши-Алаколь)	СЗ, ССЗ	ЮВ, ЮЮВ
Северо-восточное и восточное побережье	З, СЗ	В, ЮВ
Район с. Камыскала	Ю, ЮВ	С, СЗ



Рисунок Б.4 – Процессы сорообразования и засоления грунтов в урочище Карабулак, восточное побережье



а)

б)

в)

на юго-западном побережье; а) рекреационная зона с. Акши, б) с. Коктума; на восточном побережье в) рекреационная зона с. Кабанбай

Рисунок Б.5 – Переработка абразионно-аккумулятивных берегов с образованием пляжа и клифа



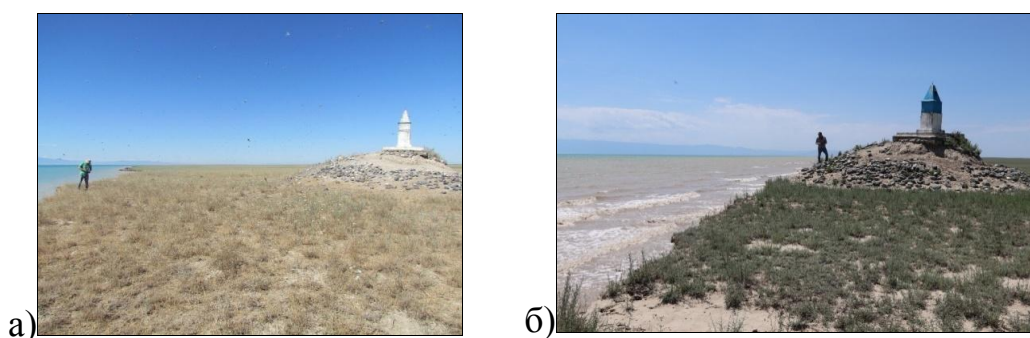
а)

б)

в)

а) 9 июня 2018 г; б) 16 апреля 2019 г; в) 12 июня 2019 г.

Рисунок Б.6 – Динамика абразионных процессов на юго-западном побережье озера у с. Коктума



а)

б)

а) 18 июня 2018 г; б) 22 июня 2019 г

Рисунок Б.7 – Переработка берегов на северо-западном побережье озера с выработкой 7 м абразионного уступа



Рисунок Б.8 – Дефляционные процессы у зимовки, ур. Косайшагыл

а)



б)

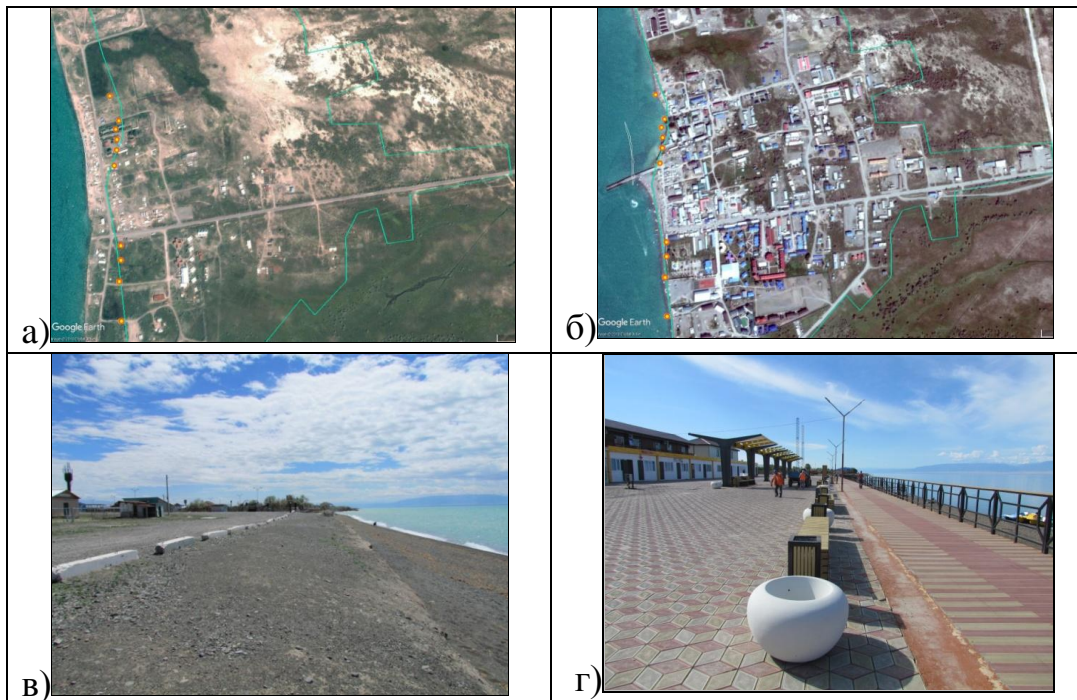


в)



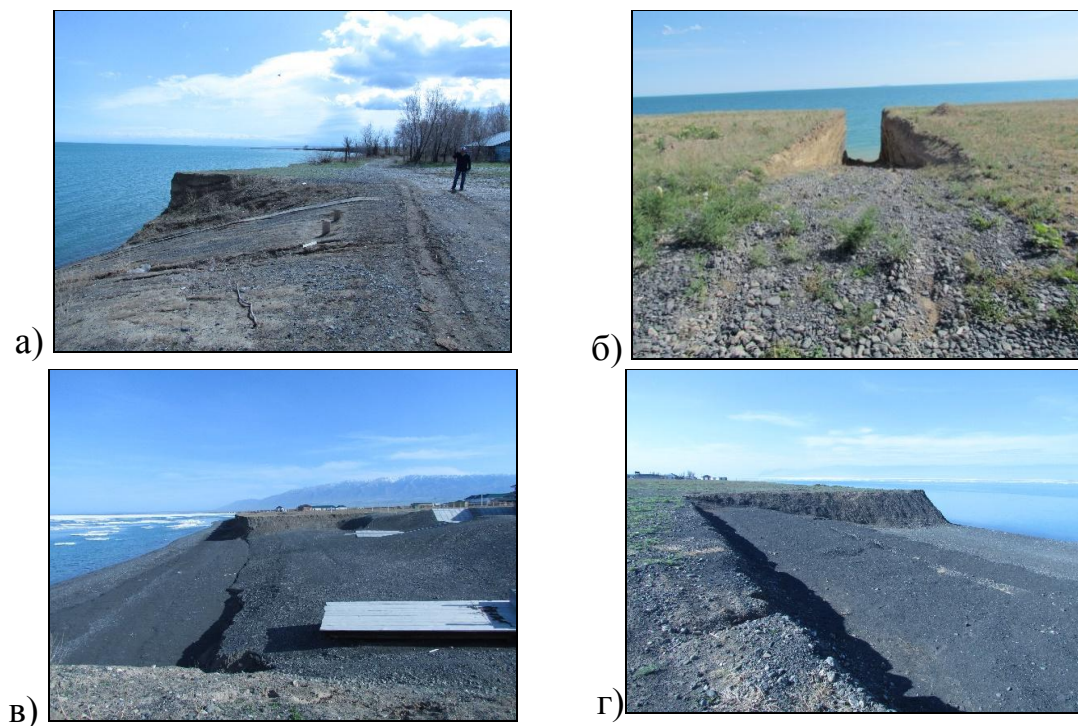
а) левый эрозионный борт р. Жаманты в среднем течении, б) правый эрозионный борт р. Ыргайты в среднем течении, в) левый эрозионный борт р. Катынсу

Рисунок Б.9 – Процесс боковой речной эрозии



а) 2003 г; б) 2017 г; трансформация прибрежной полосы суши: в) искусственно выровненная поверхность берегового клифа (2013 г.), г) обустроенный набережный променад (2018 г.)

Рисунок Б.10 – Курортная зона с. Кабанбай (восточный берег), изменение площади рекреационной зоны



а, б – с. Коктума; в, г – рекреационная зона у с. Акши

Рисунок Б.11 – Антропогенное выполаживание берегового уступа

Таблица Б.2 – Изменения природной среды в процессе рекреационного природопользования

Компоненты	Последствия влияния туризма	Причина
Почва	Потеря плодородных слоев. Изменение плотности. Изменение влажности, температуры, состава микрофлоры	Вытаптывание, уплотнение почвенного покрова, загрязнение
Растительность	Изменение видового состава, распределения по ярусам пространственной структуры, индивидуальных характеристик растений	Вытаптывание, сбор растений и их частей (корни, плоды, цветки и т.д.) для различных целей, пожары и т.д.
Водная система	Изменение характеристик береговой линии, характеристик дна. Увеличение мутности. Изменение органического и химического составов воды.	Обустройство рекреационных зон с изменением характеристик береговой зоны, загрязнение бытовыми стоками, регулирование стока малых рек



Рисунок Б.12 – Нарушенный ландшафт дельты р. Жаманты в результате добычи гравийно-галечникового материала

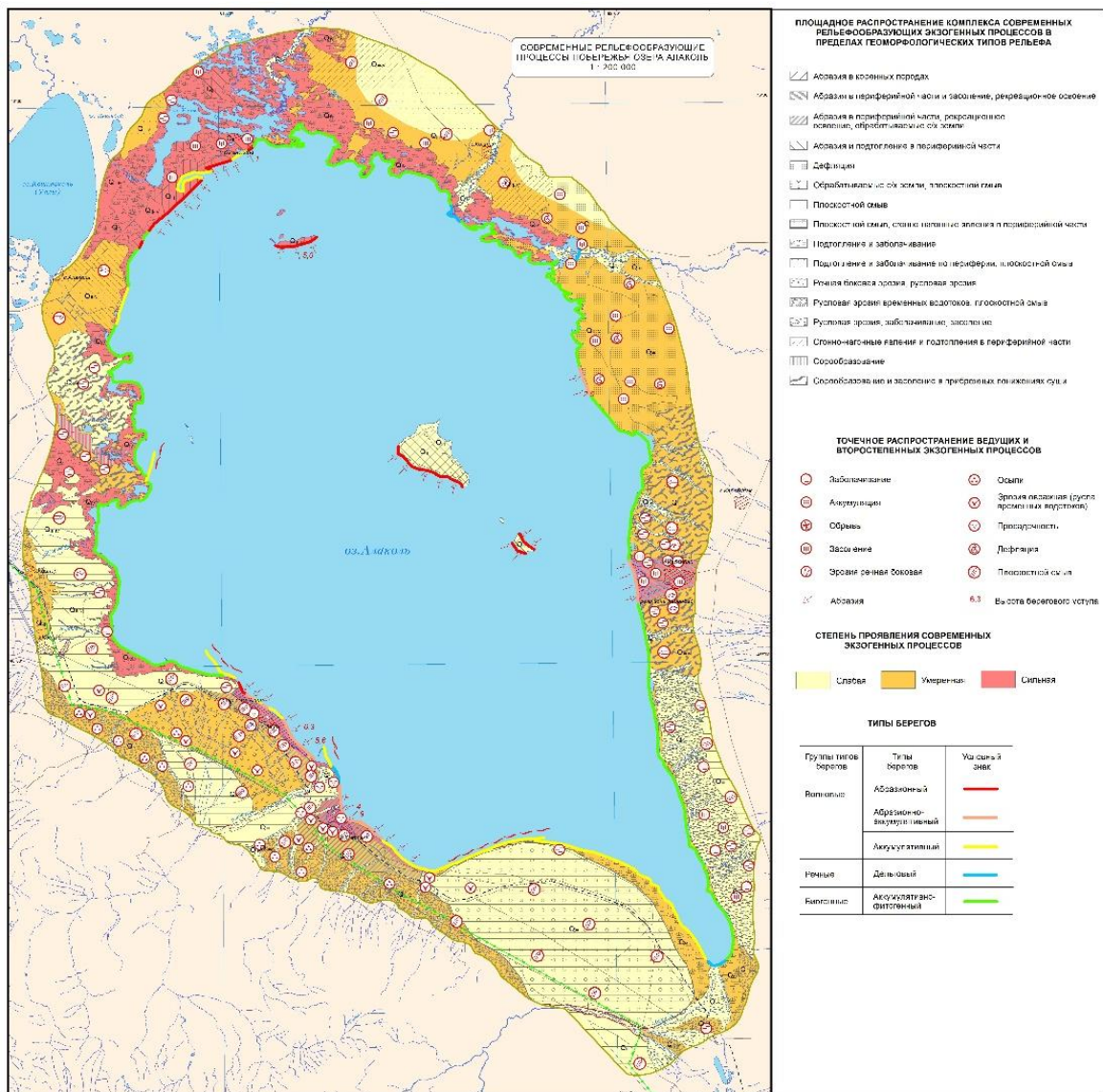


Рисунок Б.13 – Карта современных рельефообразующих процессов побережья озера Алаколь

Таблица Б.3 – Изменения морфометрических характеристик озера

Морфометрические характеристики	1973 г.	2018 г.
Площадь озера, км ²	2650	3033,2
Длина, км	104	104
Ширина, км	52	53,5
Максимальная глубина, м	54,0	нет данных
Объем водной массы, млн. м ³	58560	64517 (2016)
Длина береговой линии, км	384,0	517,5
Уровень воды (м. абс.)	347,3 (1963)	351,1
Площадь водосбора, км ²	47859 (1960)	63248,1 (2016)

Таблица Б.48 – Использованные наборы данных: спутниковые изображения с метаданными

No	Satellite	Satellite images	Acquisition date	Sensor	Acquisition time
1	Landsat-5	LT05_L1TP_147028_19900606_20170130_01_T1	06/06/1990	TM	04:40:26
2	Landsat-5	LT05_L1TP_147028_19950417_20170109_01_T1	17/04/1995	TM	04:29:06
3	Landsat-7	LE07_L1TP_147028_20000727_20170210_01_T1	07/27/2000	ETM	05:11:26
4	Landsat-7	LE07_L1TP_147028_20050623_20170115_01_T1	23/06/2005	ETM	05:09:40
5	Landsat-7	LE07_L1TP_147028_20100808_20161213_01_T1	08/08/2010	ETM	05:12:27
6	Landsat-8	LC08_L1TP_147028_20150830_20170405_01_T1	08/30/2015	OLI	05:20:03
7	Landsat-8	LC08_L1TP_147028_20180705_20180717_01_T1	07/05/2018	OLI	05:19:20
8	Sentinel 1 2B	S2B_MSIL1C_20180729T052639_N0206_R105_T44TLN_20180729T082025	29/07/2018	S2B	05:36:55
9	Sentinel 1 2B	S2B_MSIL1C_20180726T072159_N0206_R063_T38LNR_20180726T104944	29/07/2018	S2B	05:36:55

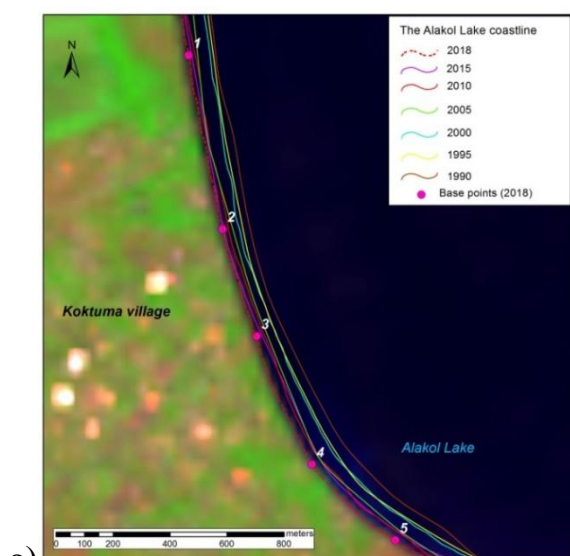
(Note: TM=Thematic Mapper; ETM = Enhanced Thematic Mapper, OLI TIRS = Operational Land Imager - Thermal InfraRed Sensor ; S2A: Sentinel 2A instrument)

Таблица Б.5 – Динамика изменения расстояния от наблюдательных точек до уреза воды в разрезе лет (мониторинг процессов)

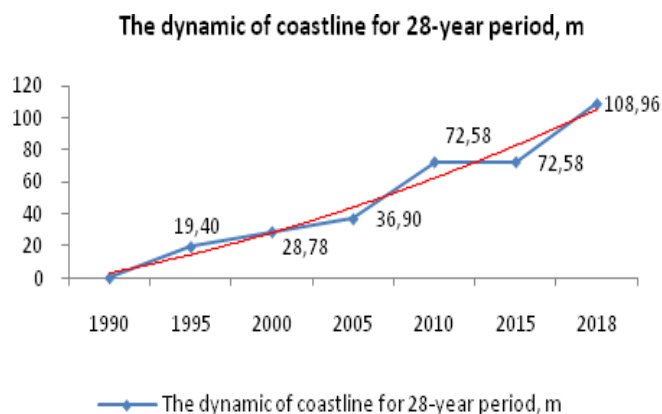
№	Номер точек	Динамика отступления уреза воды оз. Алаколь за период с 1990 по 2018 гг., в м.						
		1990	1995	2000	2005	2010	2015	2018
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Ключевой участок юго-западного, денудационного берега (селитебная территория с. Коктума)								
1	1	95,4	85,7	74,9	33,4	24,2	8,3	0
2	2	94,6	72,0	56,4	36,7	21,0	4,6	0
3	3	97,4	68,9	67,2	39,2	28,7	20,1	0

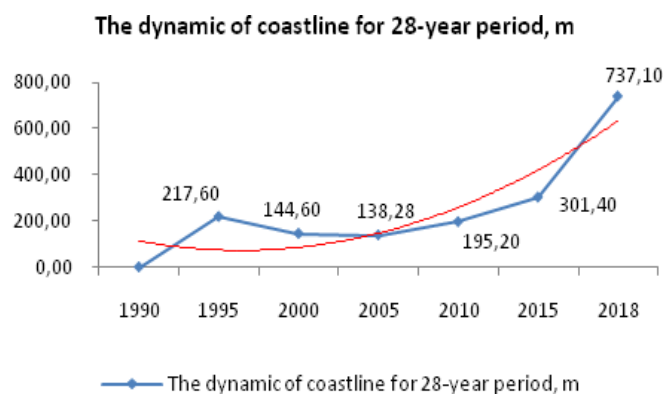
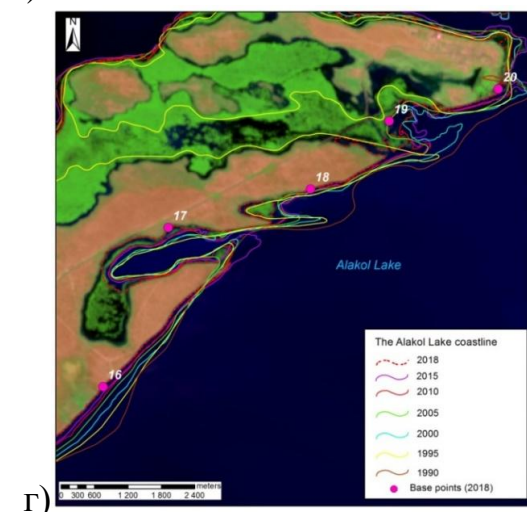
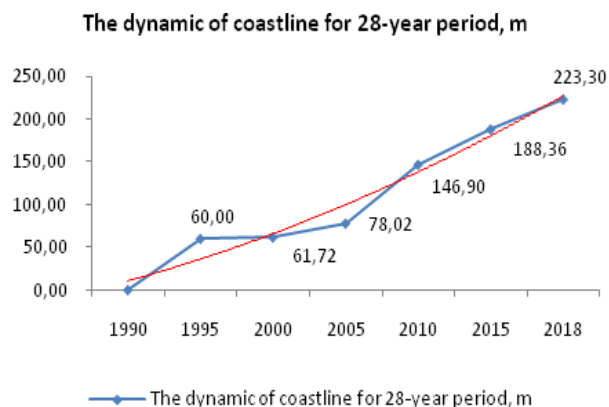
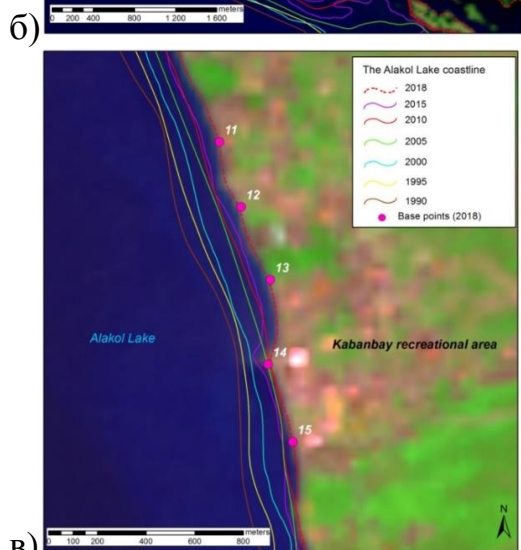
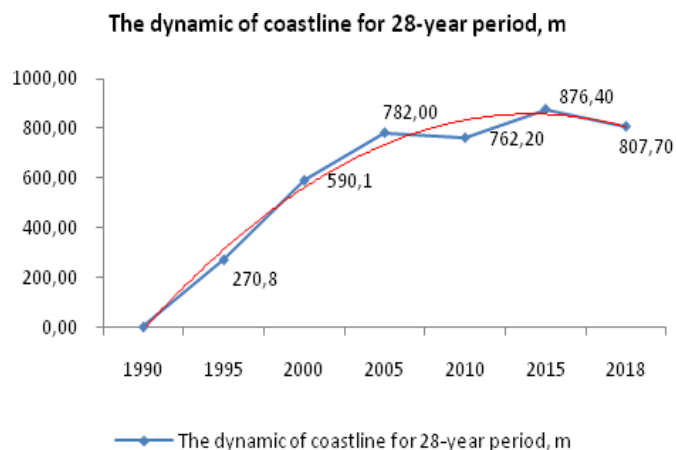
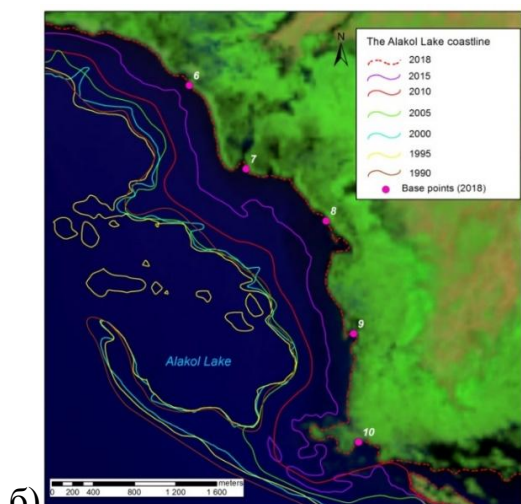
Продолжение таблицы Б.5

1	2	3	4	5	6	7	8	9
4	4	130,6	90,3	81,2	33,7	33,1	33,0	0
5	5	126,8	91,5	83,2	41,5	36,9	33,7	0
Ключевой участок северо-восточного, аккумулятивного берега (дельта р. Катынсу)								
6	6	654	722	641	529	386	134	0
7	7	823	1059	810	851	718	421	0
8	8	954	984	797	923	638,5	280	0
9	9	743,5	714	672	728	492	224	0
10	10	864	903	891	879	716	295	0
Ключевой участок восточного, денудационного берега (рекреационная зона с. Кабанбай)								
11	11	226	206,8	159	114,7	78	68	0
12	12	272	217	177	89	86	64	0
13	13	259	218	182	121,7	88	63	0
14	14	145	118	89	20	15,6	67	0
15	15	217	182	127,5	44,7	41	38	0
Ключевой участок северного, денудационно-аккумулятивного берега (пастбища юго-западнее с. Камыскала)								
16	16	556	404	299	192,4	128	81	0
17	17	1200	292	270	267	156	151	0
18	18	760	120	106	64	57	57	0
19	19	830	435	61	15	251	550	0
20	20	339,5	256	240	153	131	249	0



a)





а) юго-западный, денудационный берег (селитебная территория с. Коктума),
 б) восточный, денудационно-аккумулятивный берег (рекреационная зона с. Кабанбай),
 в) северо-восточный, аккумулятивный берег (дельта р. Катынсу),
 г) северный, денудационно-аккумулятивный берег (юго-западнее с. Камыскала)

Рисунок Б.14 – Изменение береговой линии оз. Алаколь

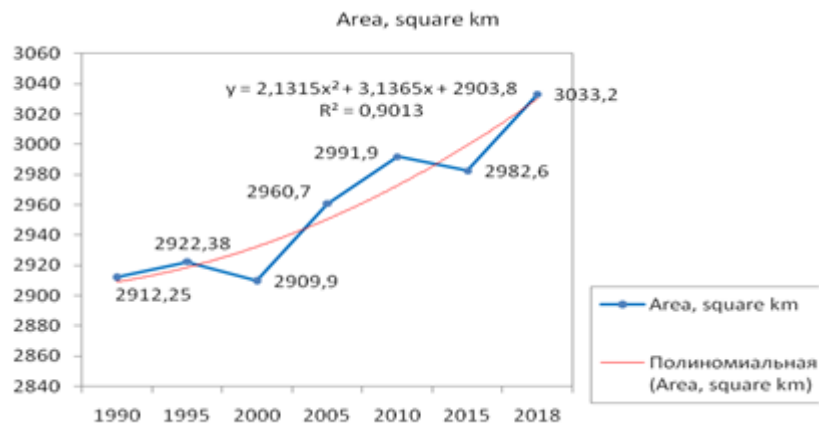


Рисунок Б.15 – Изменение площади оз. Алаколь в разрезе лет по данным космоснимков, км²

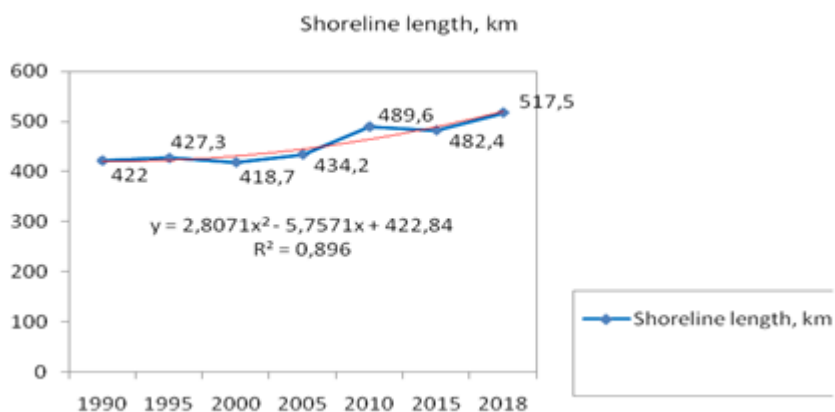
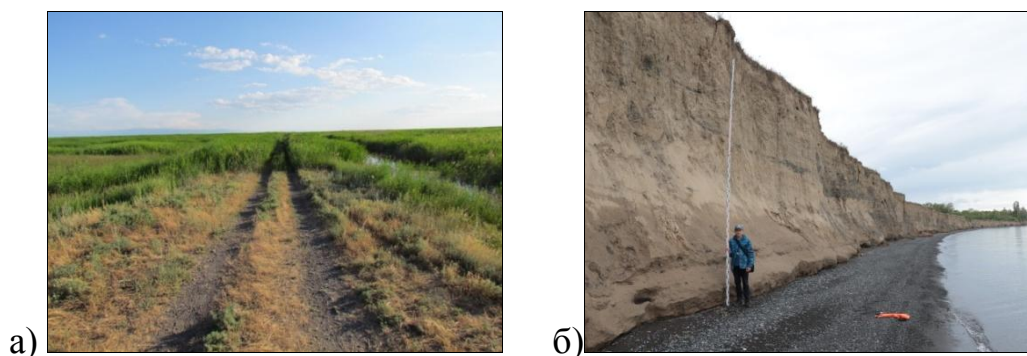


Рисунок Б.16 – Динамика длины береговой линии озера Алаколь в разрезе лет по данным спутниковых снимков



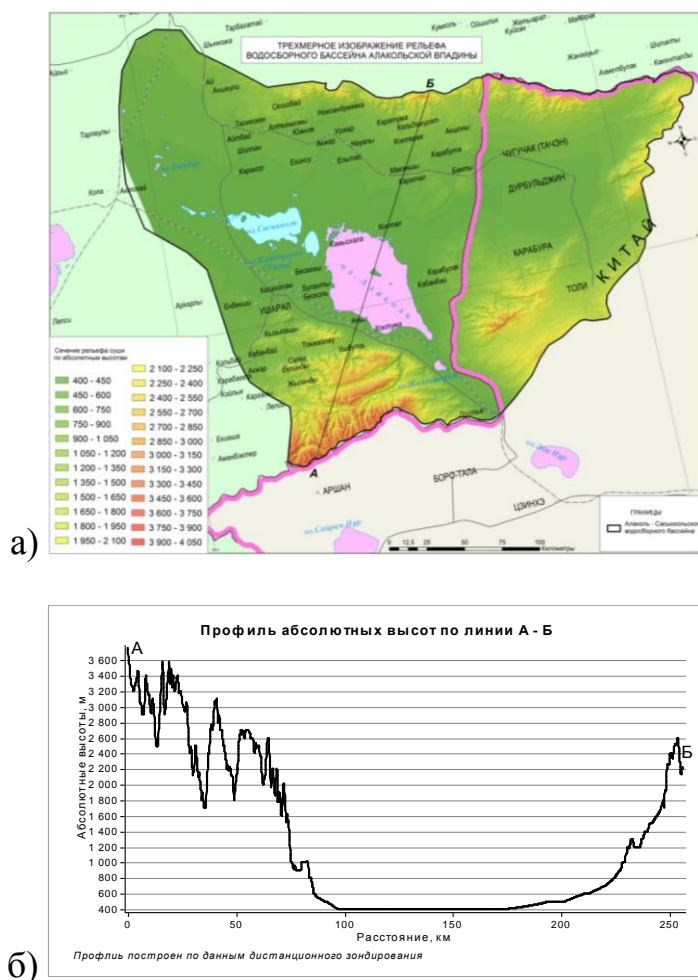
а) аккумулятивный северо-восточный берег, б) абразионный юго-западный берег

Рисунок Б.17 – Типы берегов оз. Алаколь



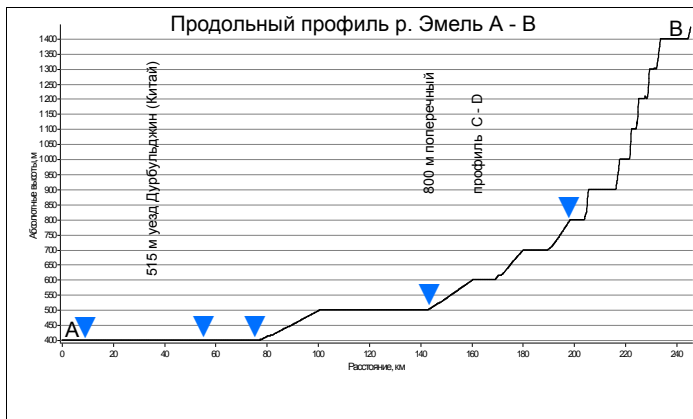
(1) включающий Алаколь-Сасыккольскую низменную аккумулятивную равнину (2)

Рисунок Б.18 – Водосборный бассейн Алаколь-Сасыккольской системы озер



(а) и гипсометрический профиль бассейна по линии А – В (б)

Рисунок Б.19 – Трехмерная модель рельефа водосборного бассейна Алаколь-Сасыккольской системы озер



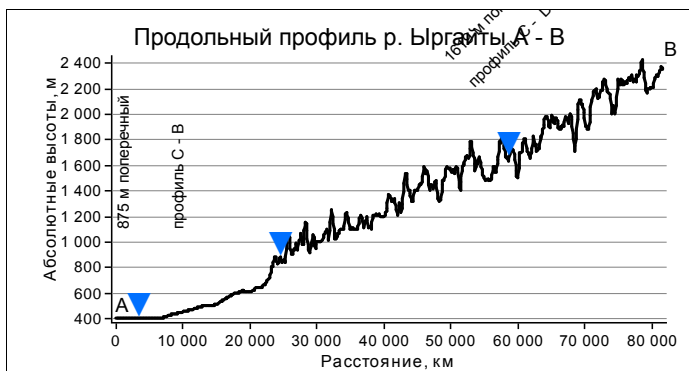


Таблица Б.6 – Статистические параметры экспозиций и уклонов склонов бассейна Алаколь-Сасыккольской системы озер

Уклон, Градусы	Площадь, км ²	Доля площади, %	Экспозиция склона	Площадь, км ²	Доля площади, %
Зеркало озер	4 326,8	6,0	нет (угол менее 1°)	4 326,8	6,0
0-1,8	34 039,5	48,3	С	4 386,2	6,2
1,8-5,5	12 973,3	18,4	СВ	6 915,2	9,8
5,5-10,0	6 176,3	8,7	В	6 336	9
10,0-15,1	3 912,3	5,5	ЮВ	7 972,9	11,3
15,1-20,1	2 863,1	4	Ю	9 929,4	14,1
20,1-25,2	2 356,9	3,3	ЮЗ	10 196,2	14,4
25,2-30,2	1 935,2	2,7	З	8 828,5	12,5
30,2-36,0	1 459,6	2,1	СЗ	8 242,1	11,7
36,0-67,7	602,2	1	С	3 511,9	5
Всего	7 0645,2	100		7 0645,2	100

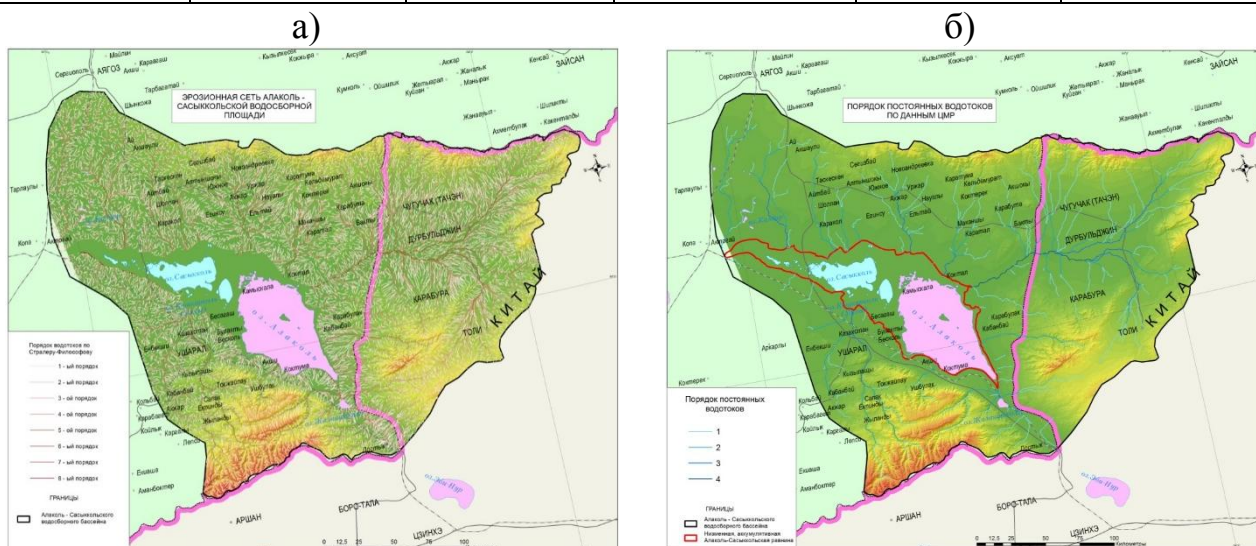


Рисунок Б.24 – Результаты трехмерного моделирования бассейна по SRTM. Водотоки эрозивной сети из 8 порядков (а), сеть постоянных водотоков (б)

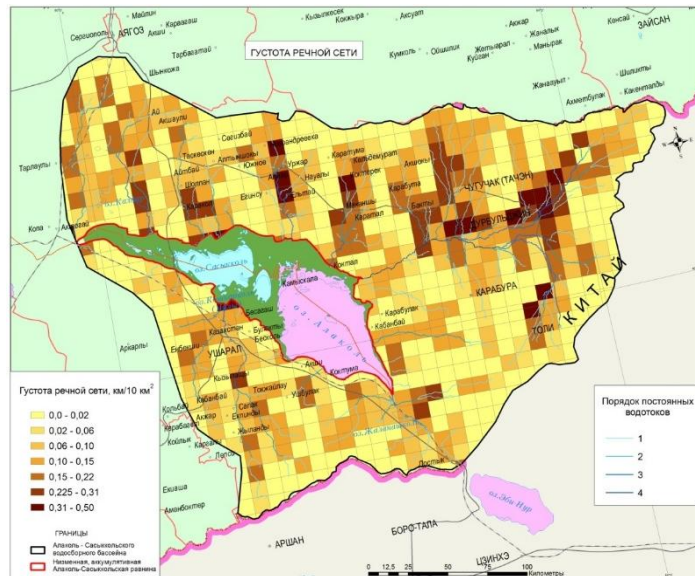


Рисунок Б.25 – Карта густоты речной сети бассейна на основе ЦМР с наложением векторного слоя водотоков и границы Алакольской низменной аккумулятивной равнины

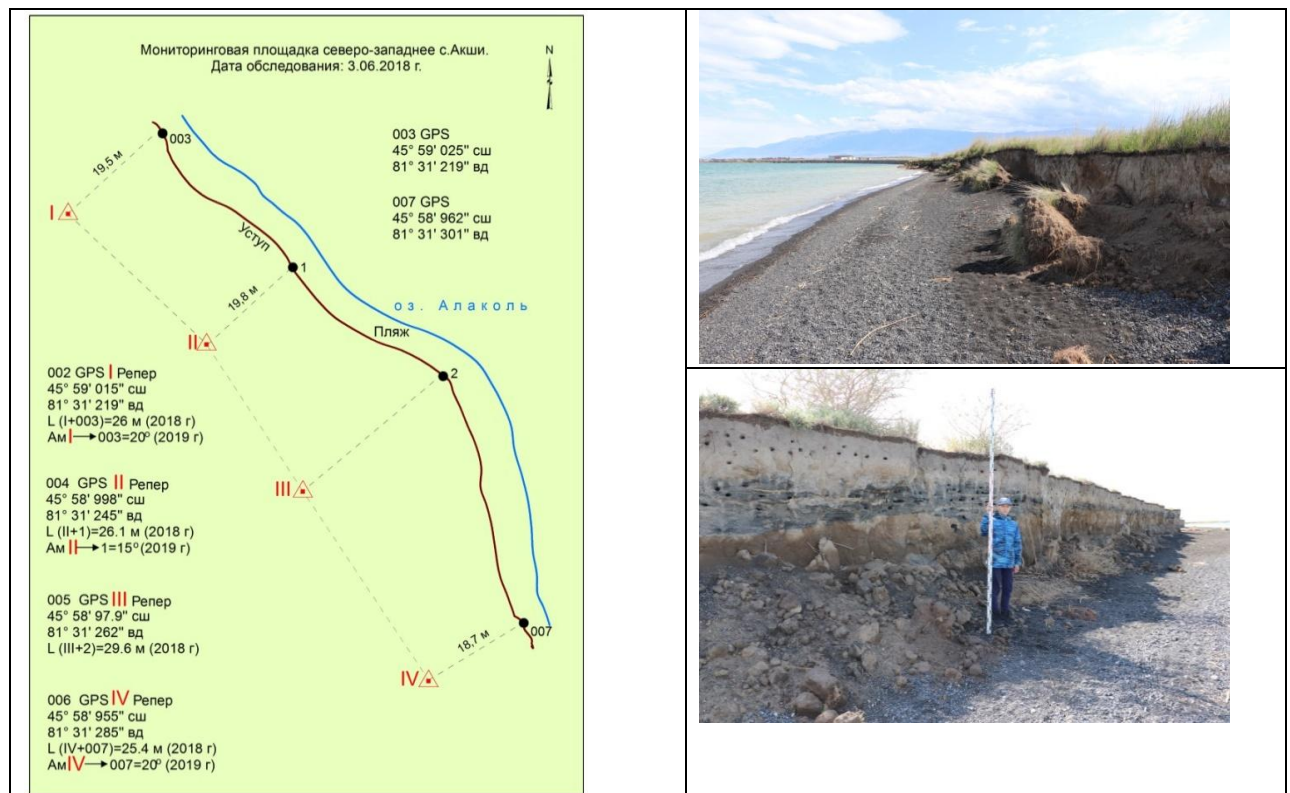


Рисунок Б.26 – Схема динамики переработки берегов, выполненный инструментальным методом (мониторинговая площадка №1, с. Акши)

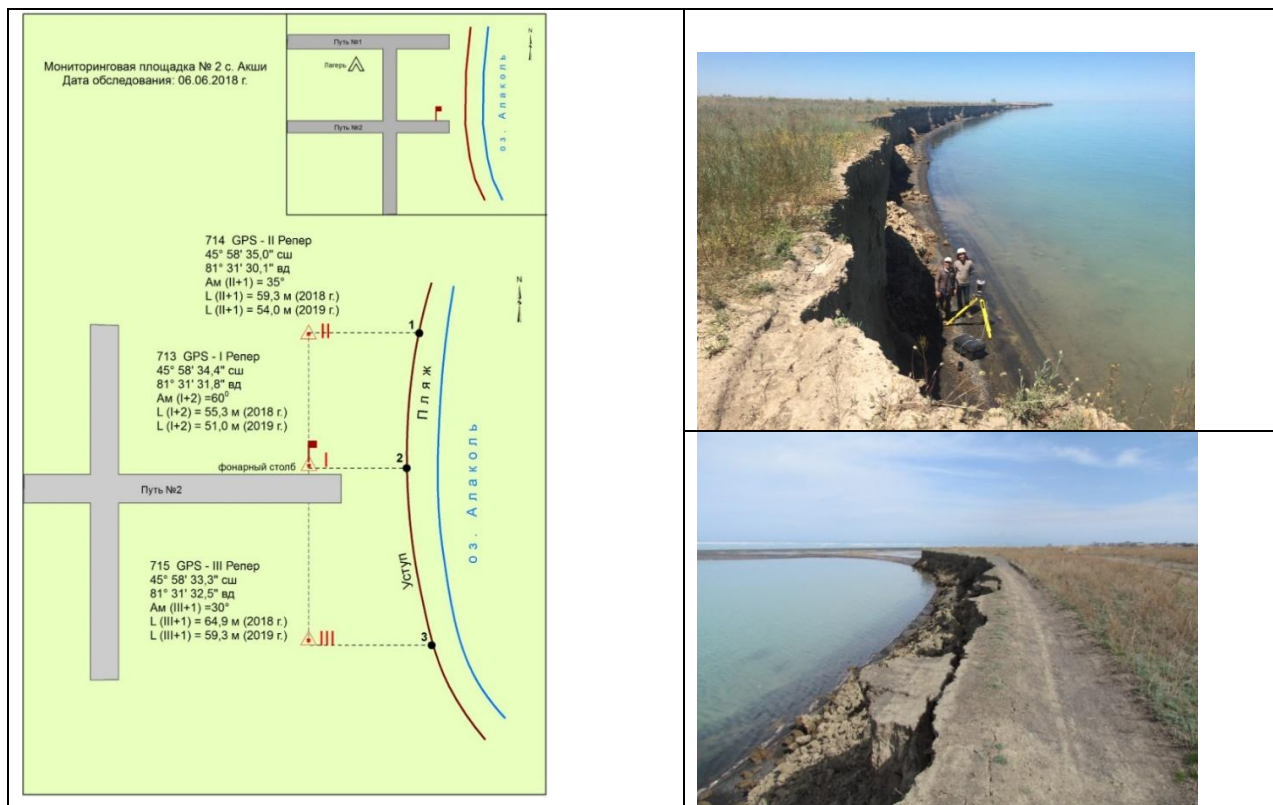


Рисунок Б.27 – Схема динамики переработки берегов, выполненный инструментальным методом (мониторинговая площадка №2 с. Акши)

Таблица Б.7 – Данные полевых инструментальных измерений за 5 лет

№ Мониторин- говая площадка	№ реп- пера и GPS	Географи- ческие координаты (с.ш.,в.д.)	Расстояние от репера до уступа за период в метрах;					средняя динамика в год
			201 3	201 4	201 6	201 8	201 9	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1, Северо- западнее с. Акши	I, 002	45°59'015"				26	19,5	6,5
		81°31'219"						
	II, 004	45°58'998"				26,1	19,8	6,3
		81°31'245"						
	III, 005	45°58'97,9"				29,6	-	
		81°31'262"						
IV, 006	45°58'955"				25,4	18,7	6,7	
	81°31'285"							
3, коса Малый Балгын, с. Акши	I, 717	45°58'08,1"				6,7	6,3	0,4
		81°32'32,5"						
	II, 716	45°58'07,6"				18,2	18	0,2
		81°32'33,8"						
III, 718	45°58'07,2"				31	29,6	1,4	
	81°32'35,4"							

Продолжение таблицы Б.7

1	2	3	4	5	6	7	8	9	
2, северо- западнее с. Акши	I,713	45°58'34,3"							
		81°31'31,8"				55,3	51	4,3	
	II,714	45°58'35,0"							
		81°31'30,1"				59,3	54	5,3	
	III,715	45°58'33,3"							
		81°31'32,5"				64,9	59,3	5,6	
3, с. Коктума	I,565	45°52'06,9"							
		81°39'05,4"	31,5	24,9	24,8	12,4	9	3,75	
	II,566	45°52'09,2"							
		81°39'04,6"	33,2	27,6	26,2	17,5	14,1	3,18	
	III,567	45°52'08,0"							
		81°39'05,1"	34,6	30,5	30,5	16,2	14	3,43	
	IV,568	45°52'10,5"							
		81°39'04,2"	35,9	32,3	31	20,3	16,5	3,23	
4, с. Коктума	II,558	45°51'55,9"							
		81°39'12,3"	36,3	34	26,9	16,7	13,5	3,80	
	8,564	45°51'54,9"							
		81°39'11,7"	66,4			40,9	36,2	5,03	
	I,559	45°51'54,5"							
		81°39'14,0"	23,4	20,5	14	4,3	2,3	3,52	
	7,563	45°51'53,5"							
		81°39'14,1"	34,4	29,7	24,5	13,1	11	3,9	
6, с. Коктума	I,573	45°51'38,6"							
		81°39'36,1"	74,1	71,5	65,3	56,4	56,4	2,95	
	II,572	45°51'37,7"							
		81°39'38,8"	72	69,5	66,1	57	54,6	2,9	
	III,571	45°51'36,9"							
		81°39'41,0"	72,3	70,8	65,7	61,6	53,9	3,07	
юго- западнее с. Камыскала	I, 158	46°26'020"							
		81°28'356"				50	50	0	
	II,160	46°26'026"							
		81°28'296"				57,7	57,7	0	
	III, 162	46°26'011"							
		81°28'264"				65,5	61,8	3,7	
юго- западнее с. Камыскала (памятник)	I, 181	46°25'152"							
		81°27'174"				19,5	5,65	13,85	

Продолжение таблицы Б.7

1	2	3	4	5	6	7	8	9	
2, с. Кабанбай (ВКО)	I,550	46°04'12,8"	3,68	2,5				1,18	
		82°01'59,8"							
	II, 551	46°04'14,6"	7	3,8	2,76			3,55	
		82°01'59,7"							
	III, 552	46°04'15,8"	7,4	3,6	3,6			3,8	
		82°01'59,5"							
	IV,017	46°04'13,1"				29	23,6		2,7
		82°02'1,3"							
	V, 018	46°04'14,2"				38	33,1		2,45
		82°02'0,13"							
	VI, 019	46°04'15,7"				18,4	14,6		1,9
		82°02'00,0"							
1, с. Кабанбай (ВКО)	I, 544	46°04'24,6"	17,8			5		4,27	
		82°01'57,6"							
	II, 546	46°04'25,6"	10,2					10,20	
		82°01'57,5"							
	III, 548	46°04'26,7"	5,24					5,24	
		82°01'57,2"							
	IV, 545	46°04'27,5"	14,4					14,40	
		82°01'57,4"							
	V, 015	46°04'25,1"				19,6	1		9,3
		82°01'58,3"							
	VI,104	46°04'24,6"				32,5	21,47		5,515
		82°01'57,6"							
	VII, 103	46°04'24,6"				22,8	21,67		0,565
		82°01'57,6"							

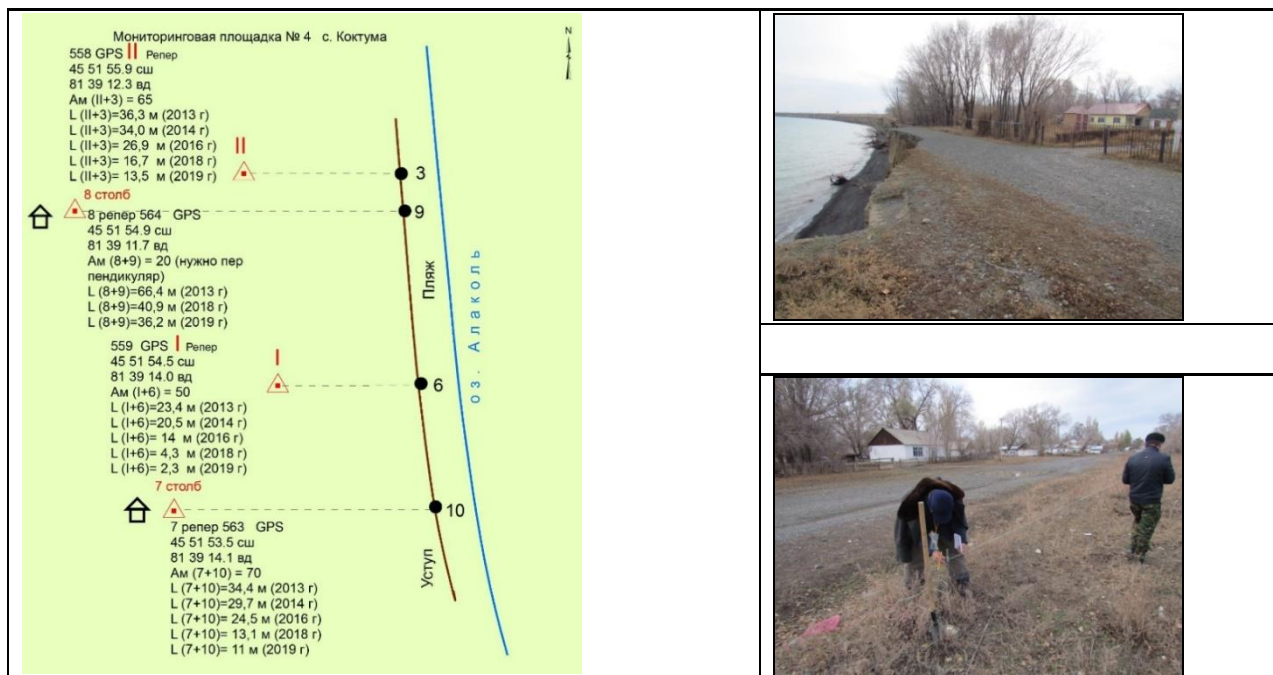


Рисунок Б.28 – Данные мониторинговой площадки № 4, с. Коктума, Алматинская область



Рисунок Б.29 – Данные мониторинговой площадки № 5, с. Коктума, Алматинская область

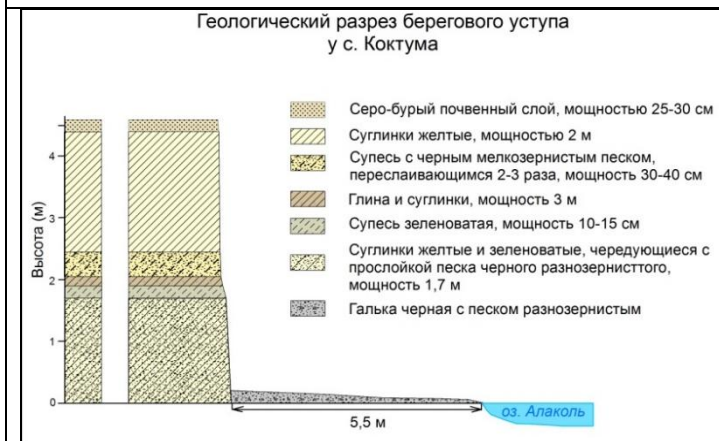
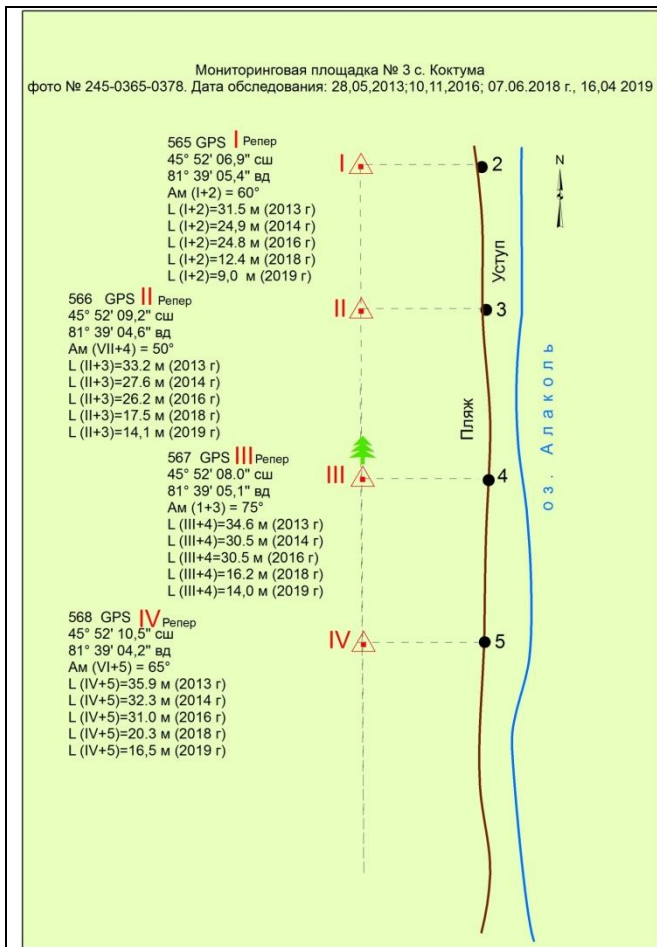


Рисунок Б.30 – Схема мониторинговой площадки № 3, с. Коктума, Алматинская область

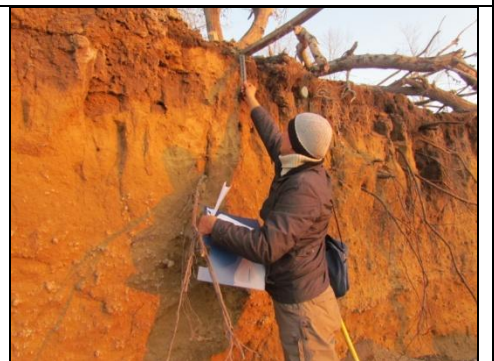
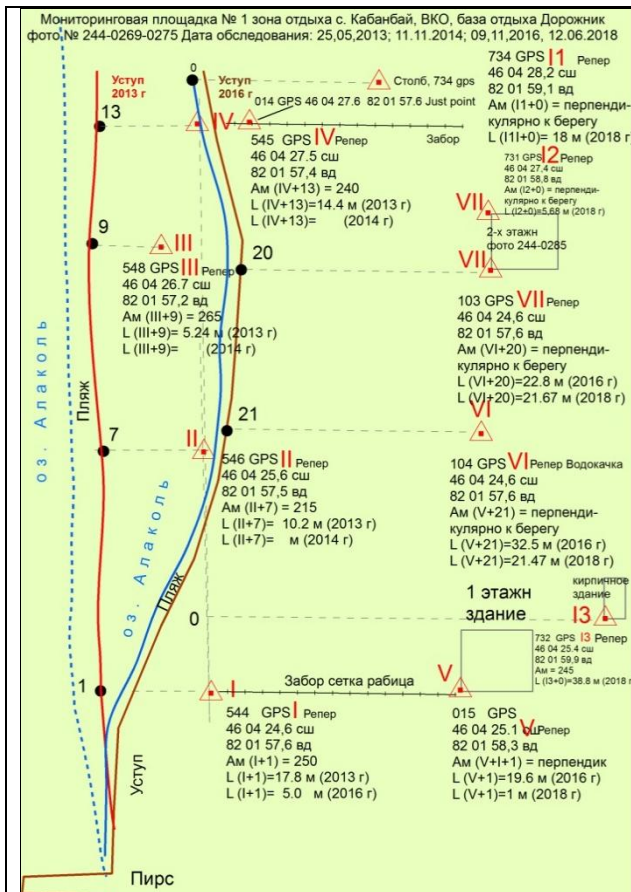


Рисунок Б.31 – Схема мониторинговой площадки № 1, зона отдыха с. Кабанбай, ВКО

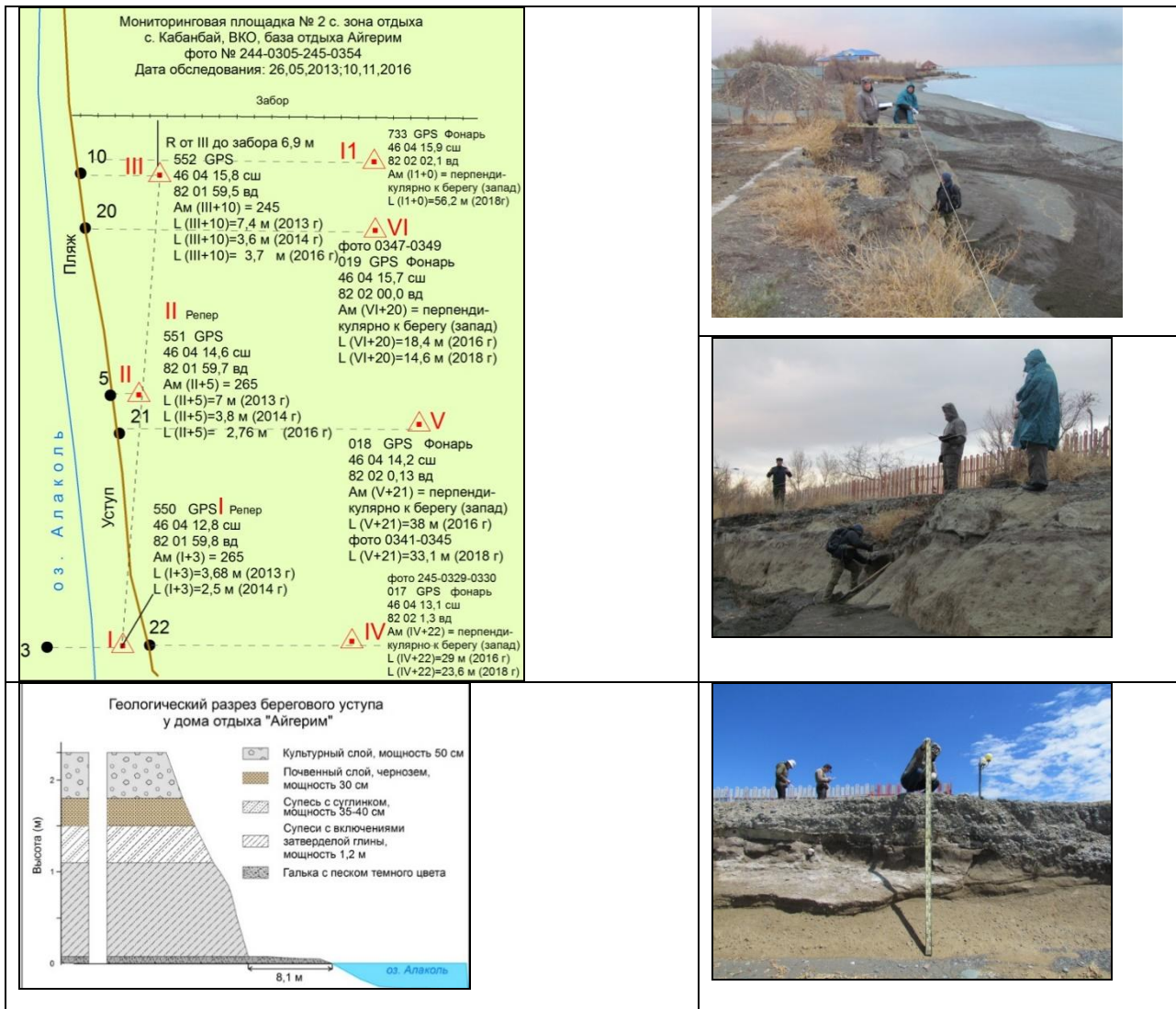
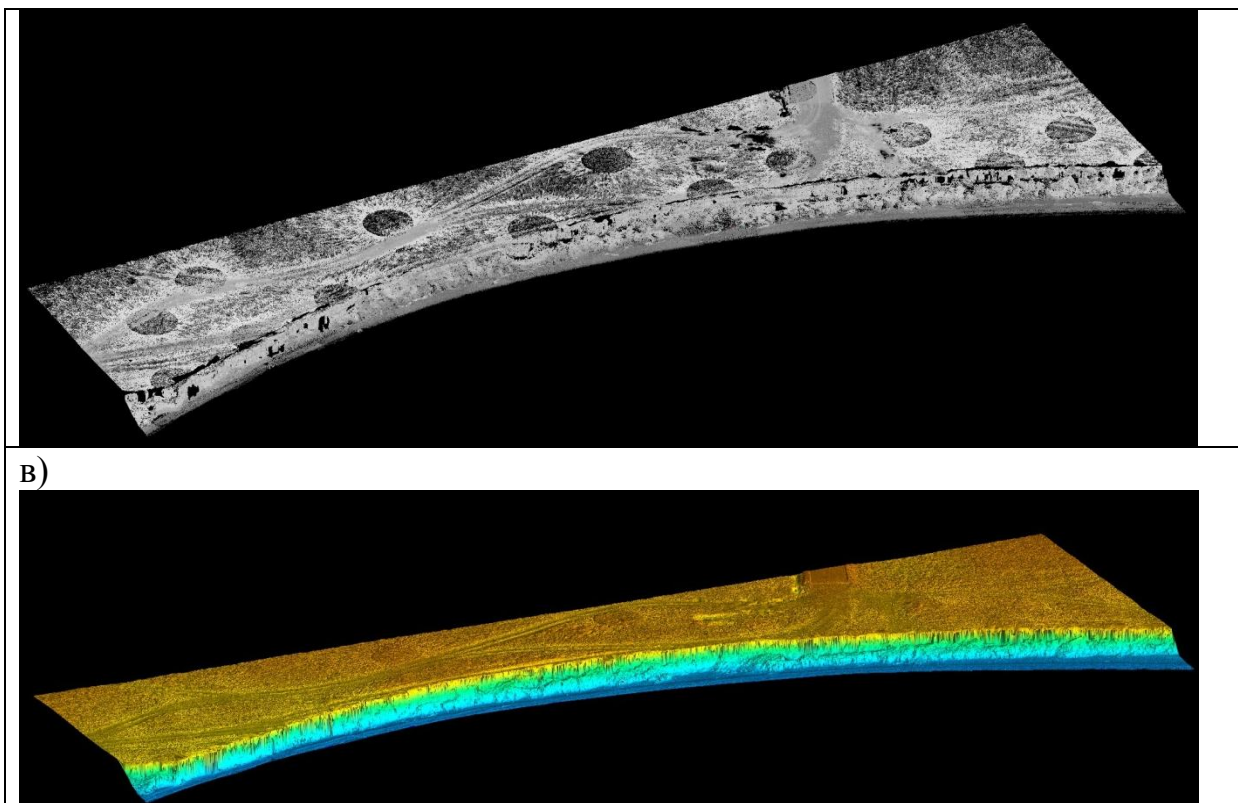


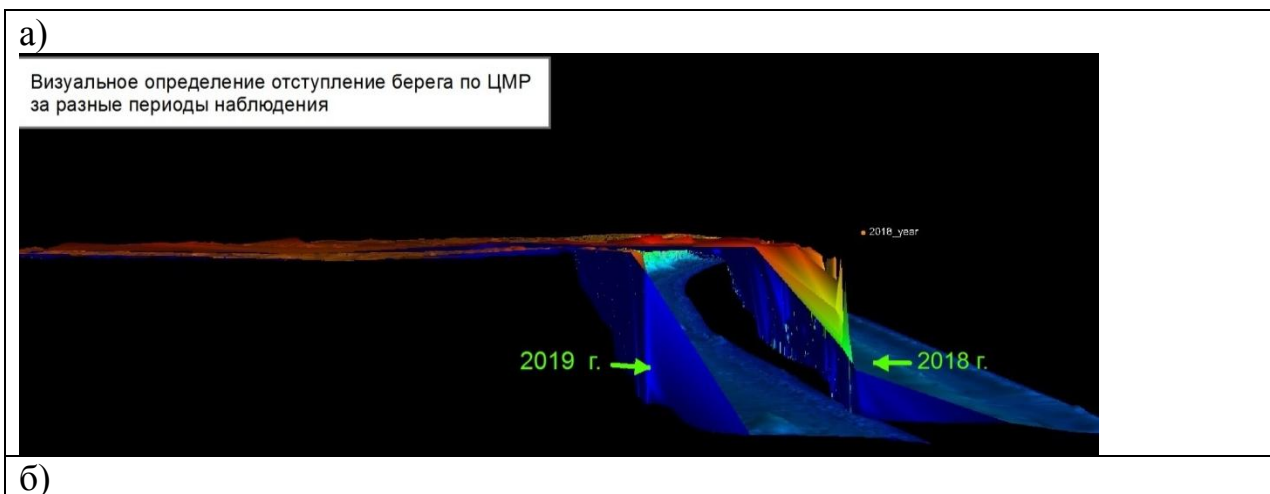
Рисунок Б.32 – Схема мониторинговой площадки № 2, зона отдыха с. Кабанбай, ВКО

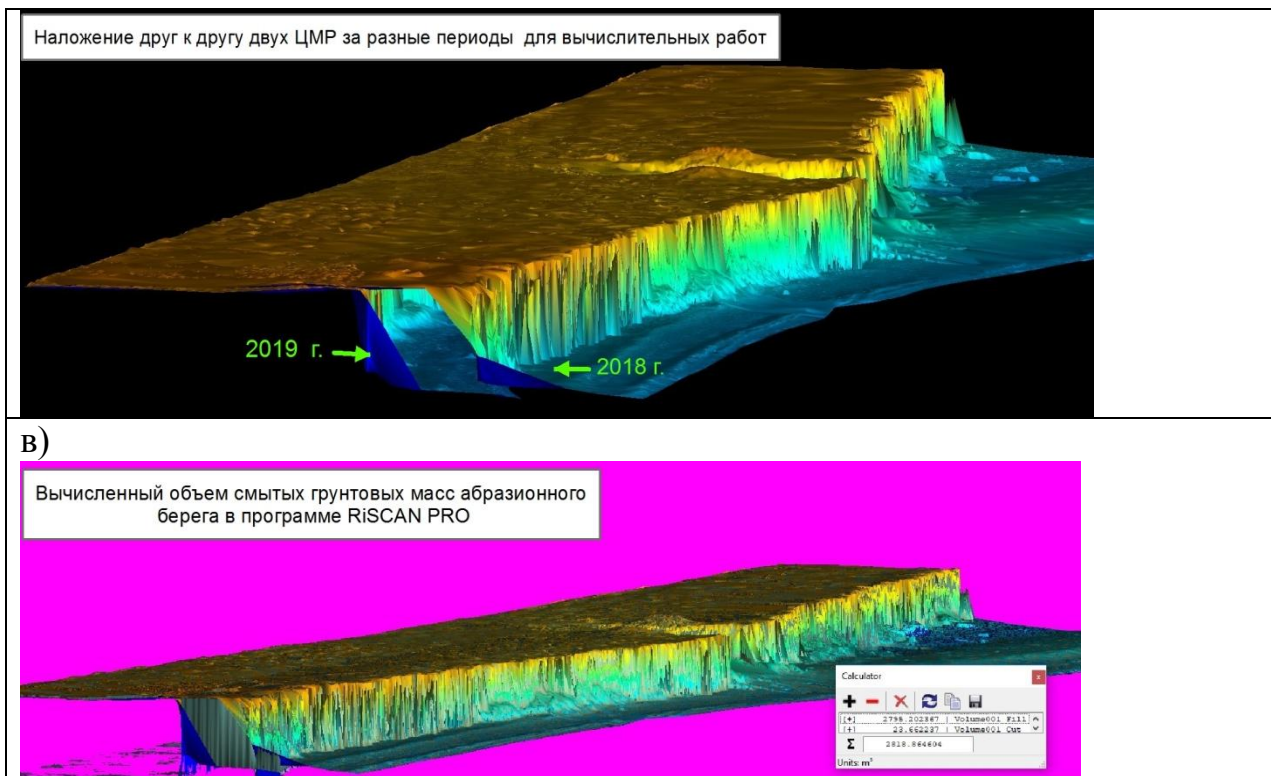




а) облако точек, б) сшитые продольные ходы лазерной съемки (этап обработки), в) цифровая модель местности

Рисунок Б.33 – Основные этапы создания высокоточного ЦМР побережья рекреационной зоны у с. Акши





а) сшивка разновременных ЦМР, б) определение динамики абразионного процесса, в) вычисление объема переработанного грунта

Рисунок Б.34 – Основные этапы анализа разновременных ЦМР

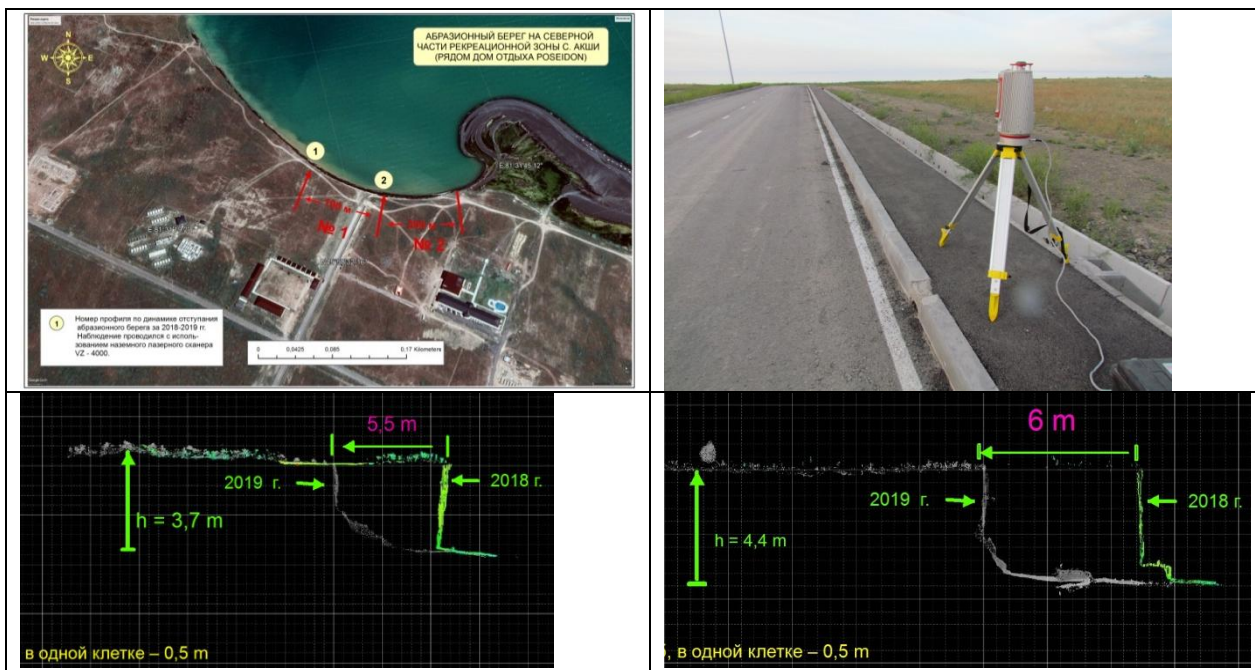


Рисунок Б.35 – Мониторинговый участок «Малая Коса» (левый берег рекреационной зоны Акши). Динамика отступления берега за один год (2018-2019) составила от 5,5 до 6 м, при высоте берегового уступа 3,5-4,5 м

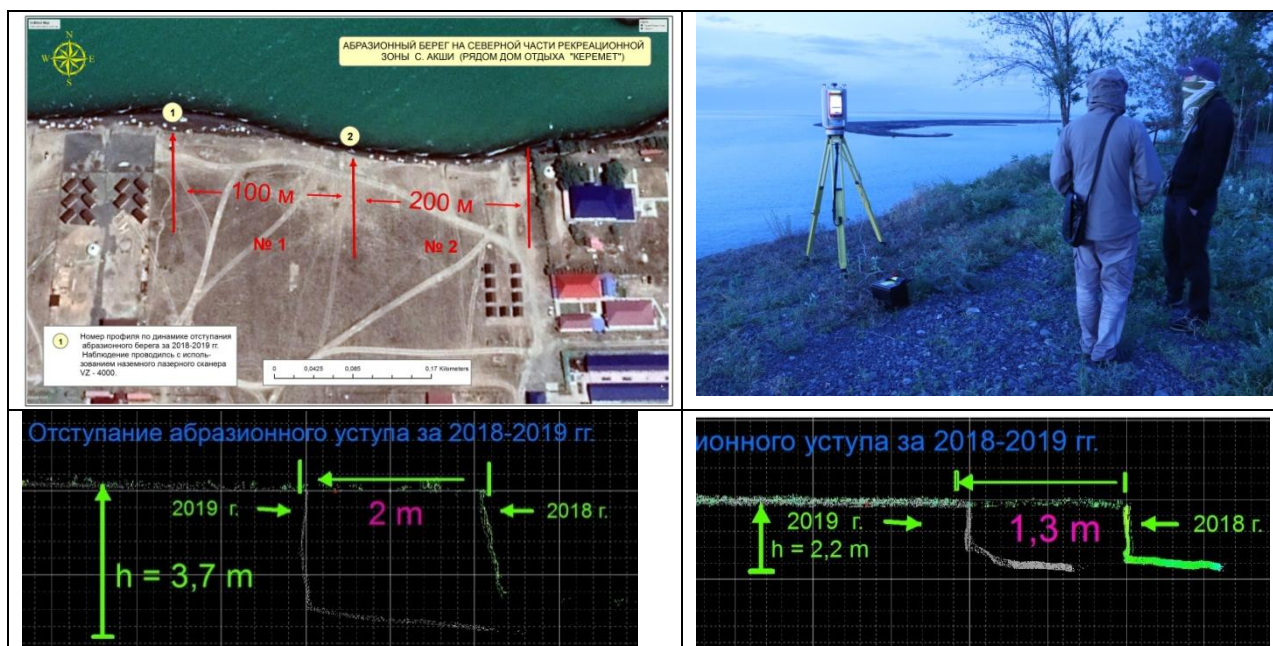


Рисунок Б.36 – Мониторинговый участок «Коса Малый Балгын» (левый берег рекреационной зоны Акши). Динамика отступления берега за один год (2018-2019) составила от 1,3 до 2 м, при высоте берегового уступа 2,2-3,7 м

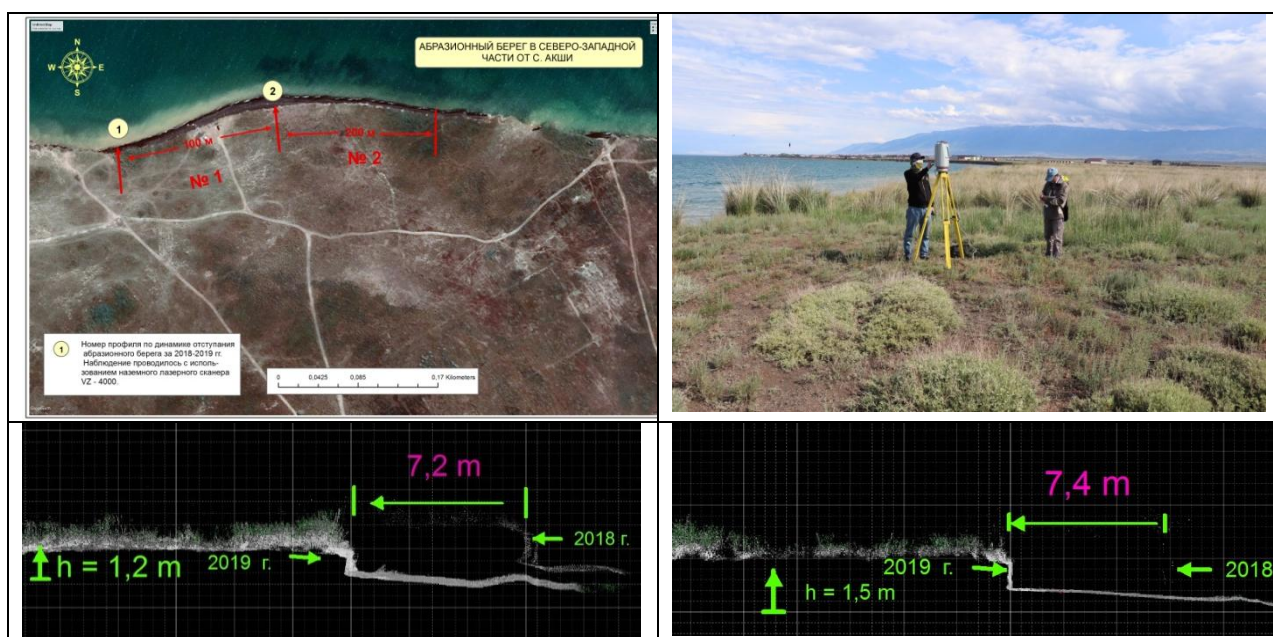


Рисунок Б.37 – Мониторинговый участок южнее основания косы «Белкудык» (левый берег рекреационной зоны Акши). Динамика отступления берега за один год (2018-2019) составила от 7,2 до 7,4 м, при высоте берегового уступа 1,2-1,5 м

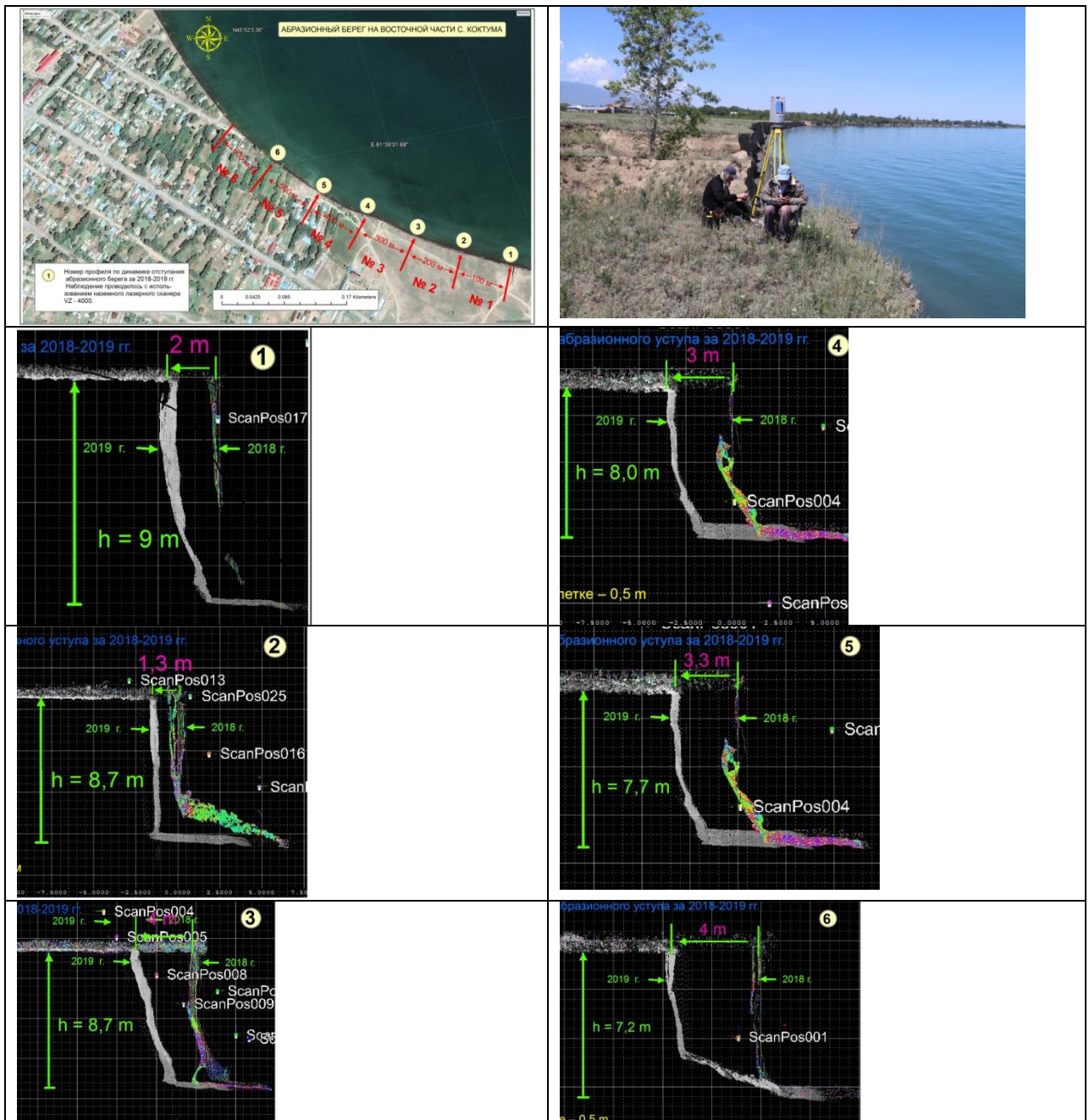


Рисунок Б.38 – Мониторинговый участок «с. Коктума». Динамика отступления берега за один год (2018-2019) составила от 1,3 до 4 м, при высоте берегового уступа 7,2-9 м

Таблица Б.8 – Мониторинг динамики переработки берегов озера Алаколь на ключевых участках за 1 год (2018-2019 гг.)

Ключевой участок мониторинга	Координаты	Название проекта в RiSCAN	№ профиля	Область покрытия в м	Высота уступа в м	Динамика абразии в м
Коса «Малый Балгын», с. Акши	45°58'10,83" 81°32'23,68"	Akshi 3 south	1	0 -100	3,7	2,0
			2	101-200	2,2	1,3
«Малая Коса», с. Акши	45°58'35,61" 81°31'33,14"	Akshi 2_center	1	0 - 100	3,7	5,5
			2	101 - 200	4,4	6,0
Основание косы «Белкудык»	45°59'00,25" 81°31'15,87"	Akshi 1 north	1	0 - 100	1,2	7,2
			2	101 - 200	1,5	7,4
«с. Коктума»	45°51'39,25" 81°39'38,83"	Koktuma East	1	0 -100	9,0	2,0
			2	101-200	8,7	1,3
			3	201-300	8,7	4,0
			4	301-400	8,0	3,0
			5	401-500	7,7	3,3
			6	501-600	7,2	4,0

Таблица Б.9 – Количественные характеристики объема переработанного грунта берегового уступа по результатам двух летнего мониторинга (2018-2019 гг.)

Ключевой участок мониторинга	Координаты	Название проекта в RiSCAN PRO	Область наблюдения в м	Объем денудации уступа, м ³ .
Коса «Малый Балгын», с. Акши	45°58'10,83" 81°32'23,68"	Akshi 3 south	150	2794
«Малая Коса», с. Акши	45°58'35,61" 81°31'33,14"	Akshi 2 center	200	3394
Основание косы «Белкудык»	45°59'00,25" 81°31'15,87"	Akshi 1 north	100	2199
«с. Коктума»	45°51'39,25" 81°39'38,83"	Koktuma East	200	5536

ПРИЛОЖЕНИЕ В

Исходные данные к главе 4

Таблица В.1 – Классификация берегов оз. Алаколь

Типы берегов	Районы распространения
Аккумулятивные	<ul style="list-style-type: none"> ✓ дельты рек Уржар, Катынсу, Емель, Жаманты ✓ Киши-Алакольский залив ✓ урочища: Каратума, Жайпак, Бельбулак ✓ заливы северного берега ✓ южный берег ✓ западный берег
Абразионные	<ul style="list-style-type: none"> ✓ восточный берег ✓ северо-западный берег ✓ берега островов Улькен и Кишкене Аралтобе
Абразионно-аккумулятивные	<ul style="list-style-type: none"> ✓ юго-западный берег ✓ северо-восточный берег

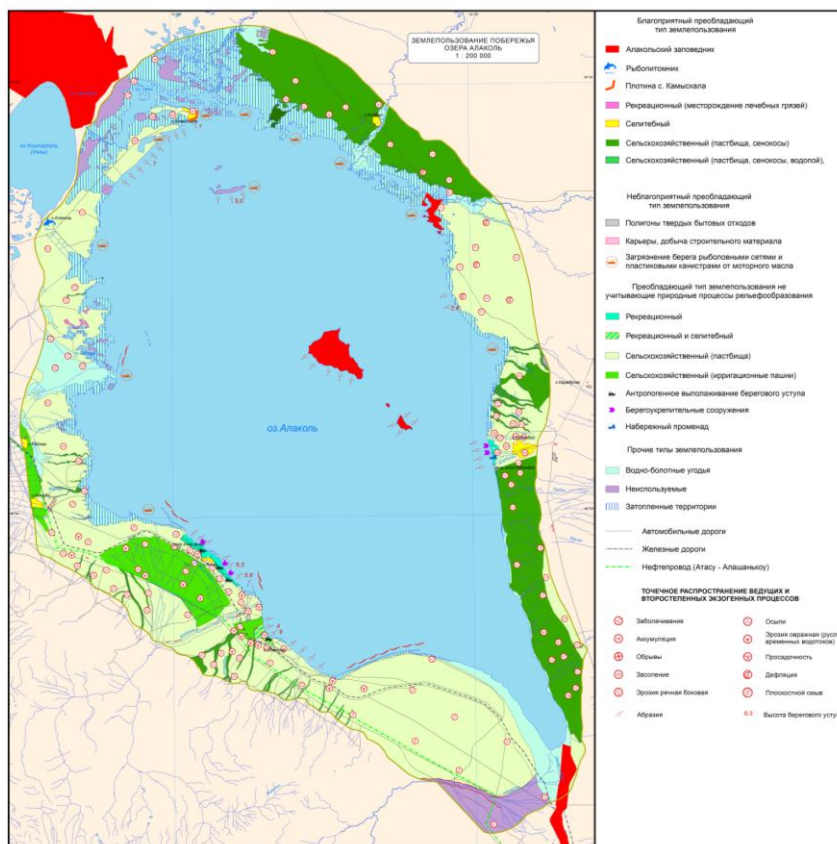


Рисунок В.1 – Карта землепользования побережья оз. Алаколь

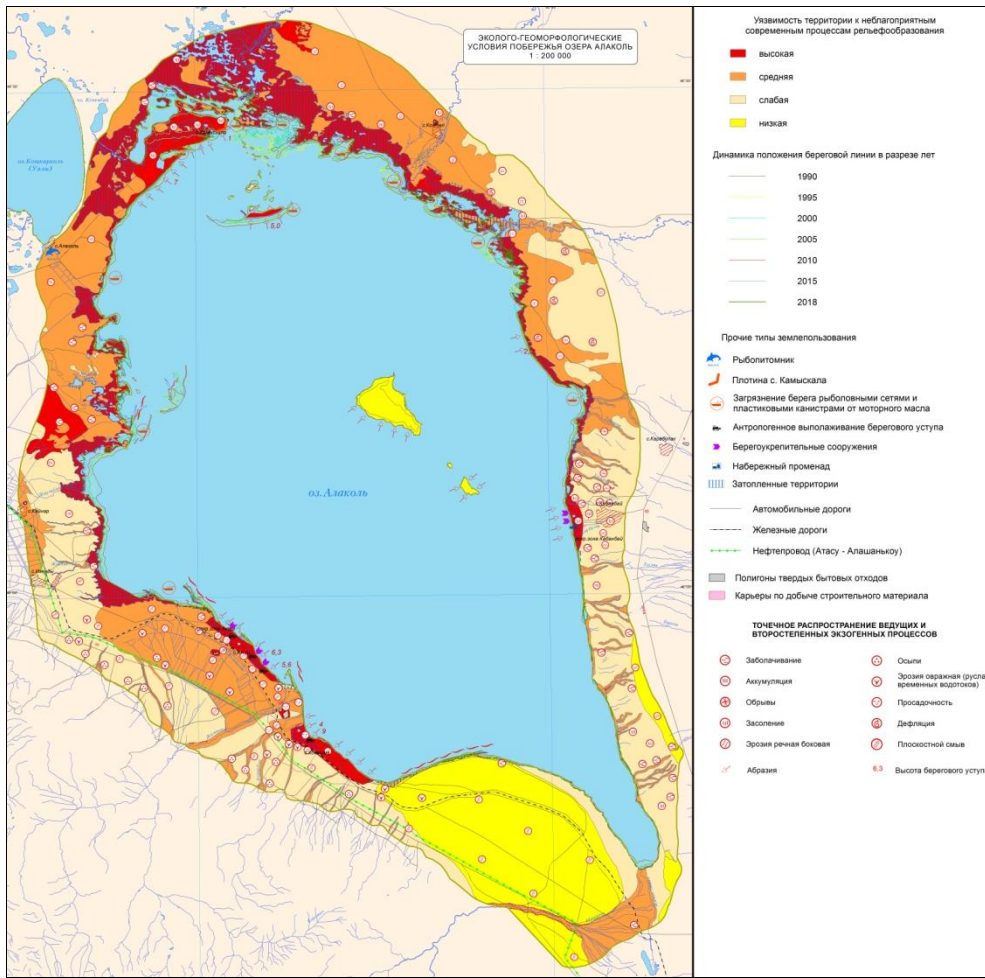
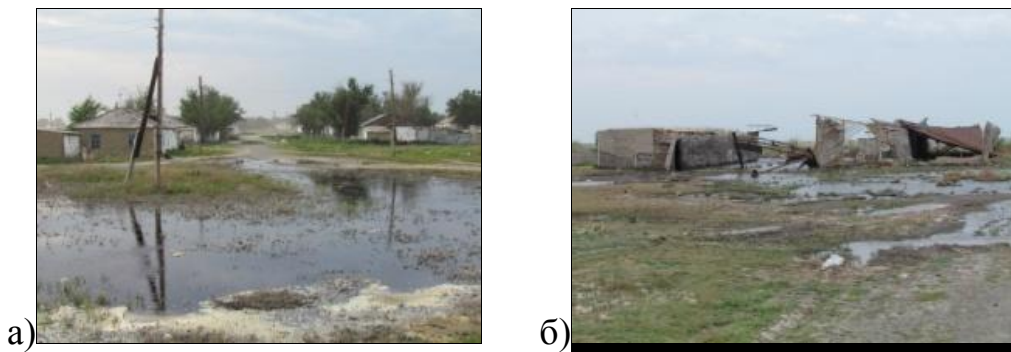


Рисунок В.2 – Эколого-геоморфологические условия побережья оз. Алаколь



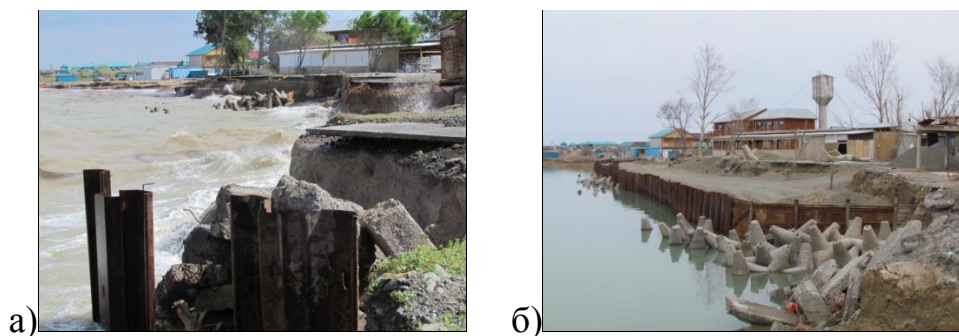
а) затопление селитебных территорий в результате фильтрации через дамбу,
б) разрушенный корпус рыбоприемного пункта

Рисунок В.3 – Неблагоприятное воздействие на селитебные территории у с. Камыскала процессов подтопления в результате повышения уровня воды



а) в 2018 г.; б) в апреле 2019 г.; в июне 2019 г

Рисунок В.4 – Набережная (рекреационная зона с. Кабанбай):

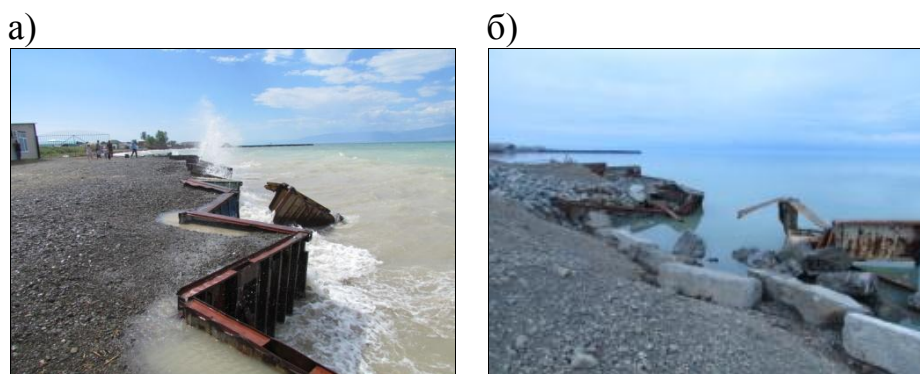


а) в 2018 г.; б) в апреле 2019 г.; в июне 2019 г

Рисунок В.5 – Набережная (рекреационная зона с. Кабанбай):



Рисунок В.6 – Проводимые берегоукрепительные работы с использованием габионов и железобетонных конструкций на побережье оз. Алаколь (с. Кабанбай) собственниками зон отдыха



а) июнь 2018 г., б) июнь 2019 г

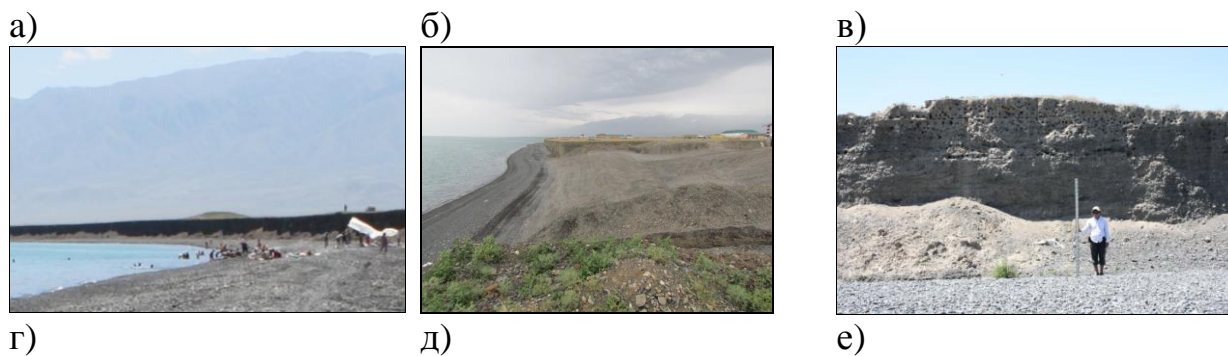
Рисунок В.7 – Берегоукрепительные сооружения находятся под постоянным воздействием ветровых волн и коррозии, усиливающиеся в осенне-весенний период,



Рисунок В.8 – Последствия переработки берегов, повлекшие разрушительное воздействие рекреационной инфраструктуры на побережье рекреационной зоны Акши



Рисунок В.9 – Выполяживание берегового уступа собственниками зон отдыха для удобства отдыхающих, рекреационная зона Акши





а) курган диаметром 25 м, снимок сделан 10.07.2011, б) искусственно сглаженный прибрежный уступ, на котором был курган, фото от 6.06 2018, в) срезанный абразией курган, от 10.07.2011 г.; техногенное изменение прибрежной зоны, на которой находилась группа курганов г) 2011 г. д) 2015 г. е) 2017 г.

Рисунок В.10 – Природно-антропогенное воздействие на археологические памятники (I тыс. до н.э.) - курганы, расположенные на территории рекреационной зоны у села Акши



Рисунок В.11 – Переработка берегов с. Коктума

Таблица В.2 – Соотношение количества местных жителей и отдыхающих

Побережье озера	Населенные пункты	Количество населения	Количество отдыхающих (июль-август) за 2019 г
Юго-западное	с. Акши и с. Коктума	2529	Свыше 1 млн.
	с. Кайнар	906	
	с. Жайпак	1678	
Восточное	с. Кабанбай	4396	700 тыс.
	с. Коктал	769	
	с. Карабулак		
Северное	с. Камыскала и с. Алаколь	860	



Рисунок В.12 – Неблагоприятное воздействие эрозии берегов на жилые строения с. Коктума

Таблица В.3 – Анализ эколого-геоморфологических условий и процессов природного характера, неблагоприятно воздействующие на природно-хозяйственную систему побережья оз. Алаколь

Природные явления и процессы	Проявление современных экзогенных, рельефообразующих процессов	Неблагоприятное воздействие на природно-хозяйственные системы побережья
1	2	3
Современное повышение уровня воды	- подтопление и заболачивание аккумулятивных, низменных равнин;	- затопление сельскохозяйственных угодий (пастбища и сенокосы) на северо-восточном побережье; - подтопление селитебных территорий (с. Камыскала); - подтопление и размыв дорожного полотна; - размыв железнодорожного полотна (Актогай - Дружба); - деградация водно-болотных экосистем; - деградация прибрежной равнинной экосистемы суши; - усиление переработки берегов на восточном, юго-западном и северном побережье; - изменение положение береговой линии.
	- сорообразование и засоление почв	- деградация растительности - пучение грунтовых дорог - вывод земель из хозяйственной деятельности

Продолжение таблицы В.3

1	2	3
	- подпор уровня грунтовых и подземных вод	- заболачивание прибрежных территорий восточного и западного побережья
Ветровой режим	- дефляционные процессы	- развивание песков в урочище Косайшагыл
Ветро-волновой режим (ветры «Ебы» и «Сайкан»)	- сгонно-нагонные процессы	- при нагоне повышение уровня воды до 1 м - подтопление аккумулятивных берегов северного, северо-восточного и южного побережья - вынос на суши тростниковых оплывин
	- абразионные процессы	- переработка селитебных и рекреационных прибрежных территорий; - разрушение рекреационной инфраструктуры (дома отдыхов, берегоукрепительных сооружений и др.); - сокращение площади земельных участков у собственников; - ежегодные материальные затраты для восстановления берегоукрепительных сооружений; - интенсивное уменьшение площади острова Пески; - существенные риски при инвестировании в первую линию.
Ледовые явления	- ледовый торос	- скопление льда у берега, который под давлением срезает рельеф побережья на расстояние до 100 метров от уреза воды (распространено на восточном побережье); - способствует переработке денудационных берегов.

Таблица В.4 – Анализ антропогенного воздействия на природно-хозяйственные системы побережья оз. Алаколь, формирующие эколого-геоморфологические условия

Тип природопользования	Вид техногенной деятельности	Неблагоприятное воздействие на природную среду
1	2	3
Рекреационный	- Капитальная застройка побережья (дома отдыха, инфраструктура, набережный променад)	Нарушение естественных морфометрических условий рельефа (отсыпка заболоченной местности, выравнивание русел временных водотоков)
	- антропогенное выполяживание берегового уступа;	- изменение естественных форм берега; - усиление интенсивности переработки берегов; - плоскостной смыв и линейная эрозия по всей площади искусственного склона; - абразия периферийной части искусственного склона.
	- берегоукрепительные мероприятия;	- нарушение вдольберегового и поперечного переноса осадочных материалов; - активизация абразионных процессов; - нарушение естественной формы берега
Селитебный	- защитная плотина от затопления (с. Камыскала);	- фильтрация вод; - заболачивание селитебных территорий
	- полигоны ТБО	- загрязнение твердыми бытовыми отходами (пластиком, целлофаном) природной среды в результате развивания ветром, задымление едким дымом, загрязнения почв.

Продолжение таблицы В.4

1	2	3
Транспортный	- дорожные насыпи и выемки, полоса трубопроводной траншеи.	- нарушение естественной площади водосбора; - нарушение естественных морфометрических условий - заболачивание и подтопление - дефляция
Промышленные	- карьеры по добыче строительного и инертного материала.	- изменение естественных форм рельефа; - деградация растительности; - активизация обвально-осыпных, эрозионных и дефляционных процессов, а также процессов заболачивания и подтопления.
Сельскохозяйственный (пастбищное животноводство)	- перевыпас скота и механическое вытаптывание подножной растительности в местах загонов и стойлового содержания.	- активизация дефляционных процессов в песчаном массиве Коссайшагыл
Сельскохозяйственный (ирригационные пашни)	- выращивание поливных культур	- усиление линейной эрозии, плоскостного смыва и заболачивания
Рыболовство	- промысловая добыча рыбы	- загрязнение берега рыболовными сетями и пластиковыми канистрами от моторного масла

Таблица В.5 – Исторические и прогнозные данные динамики площади затопления аккумулятивных берегов оз. Алаколь

Годы	Продолжительность, лет	Уровень озера, м	Площадь затопления	Общая площадь затопления	Общая площадь единого водоема котловины, км ²
1	2	3	4	5	6
1989-1995	6	348			2903,0
1995-2010	15	349	56,0	56,0	2981,0

Продолжение таблицы В.5

1	2	3	4	5	6
2010-2018	8	350	179,0	235,0	3385,8
Прогноз		351	210,1	445,1	4742,7
Прогноз		352	163,7	608,8	5100,2
Прогноз		353	207,0	815,8	5458,2
Прогноз		354	148,2	964,0	5722,1
Прогноз		355	93,7	1 057,7	5917,3

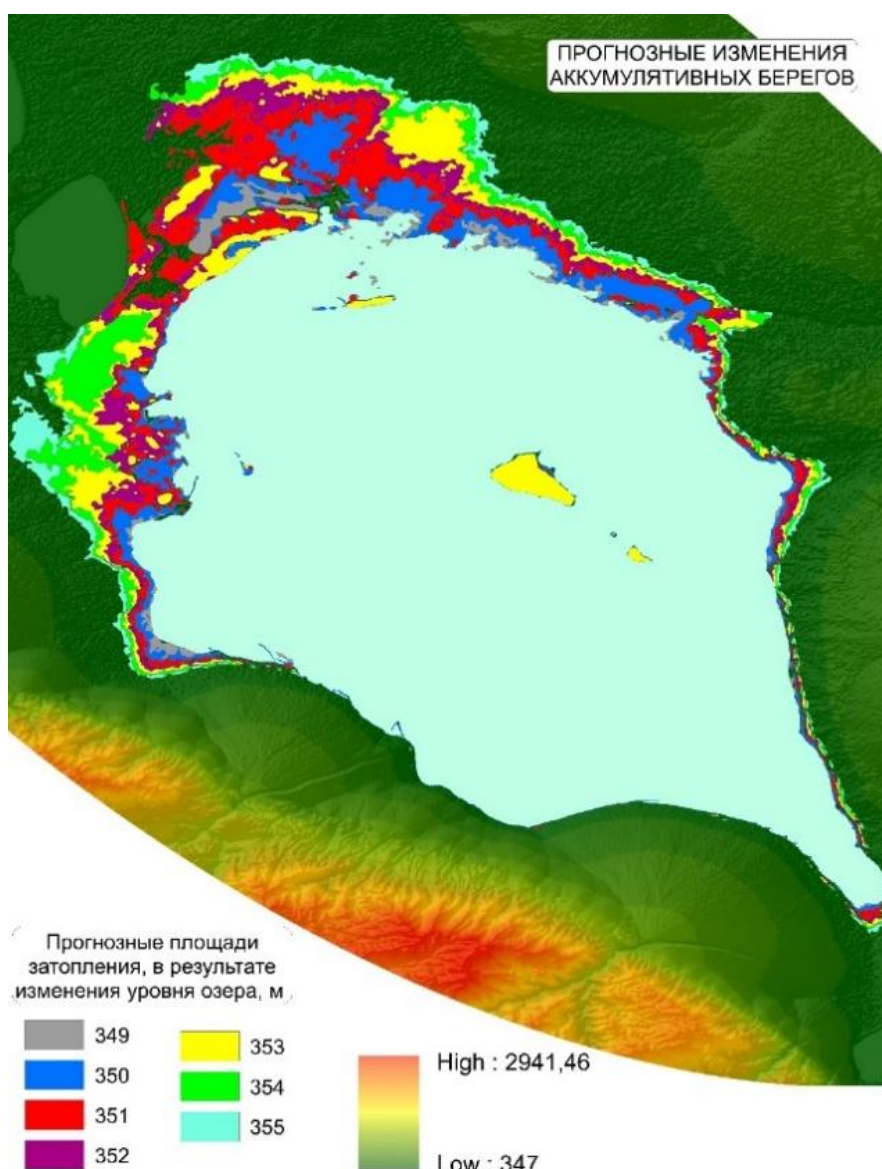
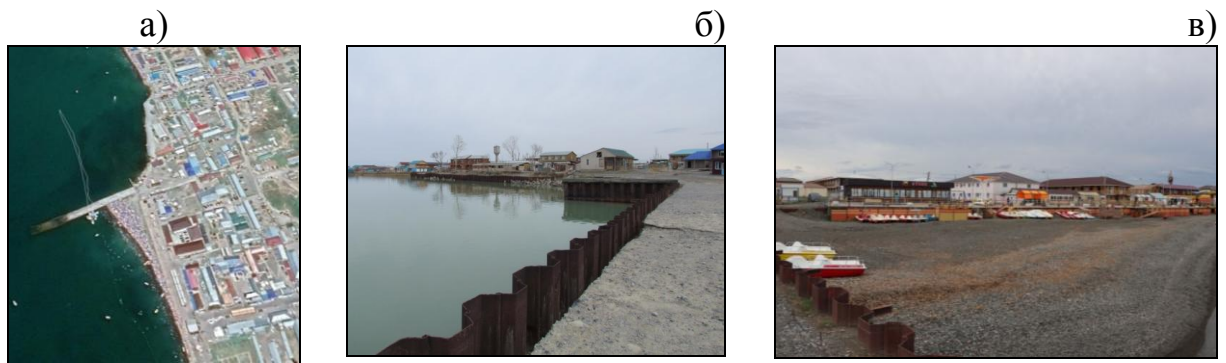
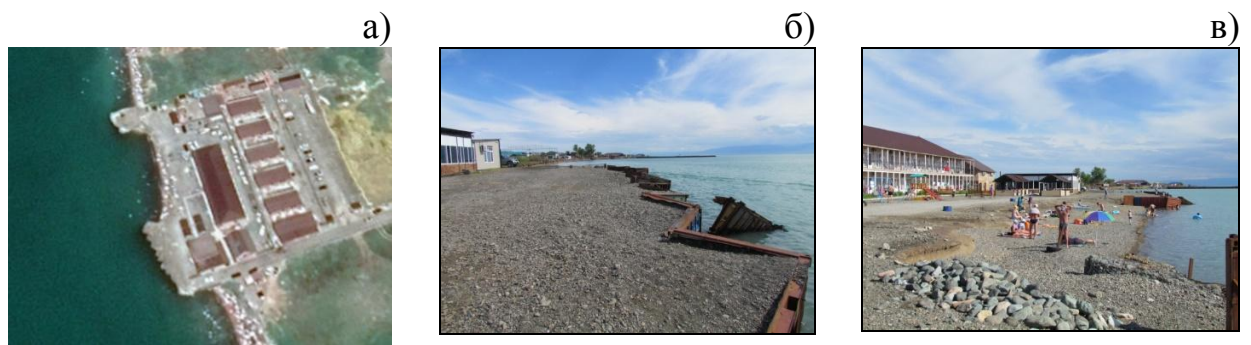


Рисунок В.13 – Прогнозные площади изменения территории при повышении отметки уровня воды, по данным анализа ЦМР



а – инженерное сооружение - волнорез, б – вид на берег севернее волнореза, усиление денудации берега, в – вид на берег южнее волнореза, усиление аккумуляции осадочного материала

Рисунок В.14 – Рекреационная зона с. Кабанбай



а) трансформированный берег базы, б) железобетонная берегоукрепительная конструкция (искусственный берег), в) пляж, образованный между выступами берегоукрепительных конструкций

Рисунок В.15 – Рекреационная зона с. Кабанбай, д/о «Аквамарин»



Рисунок В.16 – Берегоукрепительная железобетонная конструкция, установленная в рекреационной зоне с. Акши (юго-западный берег)



Рисунок В.17 – Разрушенное под ветро-волновым воздействием берегоукрепительные сооружения у базы отдыха «Керемет», берег рекреационной зоны Акши



Рисунок В.17 – Разрушенное под ветро-волновым воздействием железобетонное берегоукрепление базы отдыха «Гранд Виле», берег рекреационной зоны Акши.

Таблица В.7 – Процентное соотношение типов берегов оз. Алаколь (в % от общей длины)

	Отвесный берег, с пляжем	Галечные пляжи	Коренная порода	Затопленные низменные берега	Косы	Дельтовые	Искусственные
Алакольский район	6,5	5,7	ООПТ	31,9	7,1	0,6	0,4
Уржарский район	0,5	7,8	ООПТ	28,2	1,1	4,5	0,1
Всего	6,9	13,4	5,8	60,0	8,2	5,0	0,5

Таблица В.8 – Землепользование побережья оз. Алаколь

	Береговая линия (км)	Население (тыс. чел.)	Сельскохозяйственные земли (%)	Рекреация (%) / общее кол-во туристов	ВВУ (%)	Пастбища, сенокосы (%)	Поливные земли (%)
Алакольский район	323,7	5,9 (69,8)	0,2	1/ 1 млн. чел.	33,5	53	6,6
Уржарский район	235,6	6,5 (73,7)	0,4	0,3/ 500 тыс. чел.	46,9	46,8	-

Таблица В.9 – Прогнозная динамика отступления денудационных берегов

Ключевые Участки	Средняя скорость эрозии уступа в год, по данным реперов наблюдений, в метрах	Общая прогнозная динамика эрозии берега за 20 лет, м	Общая прогнозная динамика эрозии берега за 50 лет, м	Общая прогнозная динамика эрозии берега за 80 лет, м
Рекреационная зона Акши (левый берег)	4,3 (10 профилей)	86	215	344
с. Коктума	3,5 (11 профилей)	70	175	280
Рекреационная зона с. Кабанбай	5,0 (13 профилей)	100	250	400
Западнее с. Камыскала	4,4 (4 профиля)	88	220	352

Таблица В.10 – Перечислены различные методы защиты прибрежных районов и их относительная способность в обеспечение защиты, а также влияния на прилегающие берега (благоприятное или неблагоприятное)

Виды берегозащиты	Большой масштаб	Малый масштаб	Эффект	Влияние на соседние берега
Волноломы	(х)	Х	Может остановить или уменьшить отступление береговой линии, однако может не остановить, если эрозия продолжится в оффшорной зоне	Неблагоприятное, часто очень Сильное
Противоволновая дамба	Х	Х	Может остановить эрозию, там где расположена дамба, но не может остановить эрозию в оффшорной зоне	Может в некотором экстенде стать неблагоприятным
Отдельно стоящие волнорезы (параллельно береговой линии)	(х)	Х	Возможно остановит эрозию и нарастит пляж, на котором они возводятся	Неблагоприятно, часто очень сильно
Искусственное питание	Х		Расширяет пляжи, обеспечивает полную защиту, если в хорошем состоянии	Благоприятный

(х) менее привлекательное решение

Таблица В.11 – Приоритетные природоохранные и берегозащитные мероприятия по стабилизации процессов рельефообразования побережья оз. Алаколь

Тип природопользования	Опасный ведущий процесс	Неблагоприятное воздействие	Рекомендуемые мероприятия
1	2	3	4
Рекреационный	Эрозия берегов (обвалы и осыпи уступа)	Разрушение инфраструктуры, сокращение землевладений, дополнительные расходы на берегоукрепление	<ul style="list-style-type: none"> - разработку научно обоснованных берегоукрепительных методов защиты абразионных берегов на побережье рекреационных зон: Акши – 6,5 км, Кабанбай – 3,0 км, с. Коктума – 2,5 км, - на этапе планирования учитывать абразионные процессы в пределах береговой зоны - разработать единый стандарт и механизмы инженерной организации и строительства мест пешеходного доступа на пляжную зону через береговой уступ, местными исполнительными органами. - организовать информационную поддержку всем отдыхающим соблюдения мер безопасности и предосторожности нахождения на абразионных берегах с указанием безопасных участков пляжа с береговым уступом, прибрежных глубин, опасных участков берега на карте-схеме, оборудованных мест спуска к пляжу и др.)

Продолжение таблицы В.11

1	2	3	4
Селитебный	Подтопление и абразия	- фильтрация вод; - заболачивание селитебных территорий	- усилить защитную платину в с. Камыскала, организовать мониторинг за ее состоянием после межсезонного периода, переселить жителей на благоприятные участки поустрова. - разработку научно обоснованных берегоукрепительных методов защиты абразионных берегов с. Коктума
	Загрязнение ТБО	- загрязнение твердыми бытовыми отходами (пластиком, целлофаном) природной среды в результате развивания ветром, задымление едким дымом, загрязнения почв.	- по периметру огородить забором, складировать ТБО с учетом воздействия сильных ветров. В пляжно-купальный сезон местными административными органами организовать пункты приема или вывоза из домов отдыха: стеклотары, пластиковых бутылок и других бытовых отходов, подлежащих вторичной переработке.
Транспортный	Заболачивание и размыв	- нарушение естественной площади водосбора; - нарушение естественных морфометрических условий - заболачивание и подтопление - дефляция	- укрепление дорожного основания и полотна подтопленных участков автодороги Ушарал – Камыскала на 28 км, 42-44 км, 51 км, 56 км. - проведение мониторинга и укрепления от размыва автодороги Достык – Уржар на 51-55 км автодороги - проведение лесомелиорации вдоль дорог

Продолжение таблицы В.11

1	2	3	4
Промышленный	Осыпание, обвалы стенок карьеров	- изменение естественных форм рельефа; - деградация растительности; - активизация обвально-осыпных, эрозионных и дефляционных процессов, а также процессов заболачивания и подтопления.	- после выработки проведение рекультивационных работ
Сельскохозяйственный (пастбищное животноводство)	Эоловый	- активизация дефляционных процессов на песчаном массиве Коссайшагыл	-механическое закрепление подвижных песков, фитомелиорация
Сельскохозяйственный (ирригационные пашни)	линейная эрозия, заболачивание	- усиление линейной эрозии, плоскостного смыва и заболачивания	- соблюдение норм орошения, создание дренажных систем
Рыболовство	загрязнение сетями и пластиковой тарой от моторного масла побережья	- загрязнение берега рыболовными сетями и пластиковыми канистрами от моторного масла	- регулирование деятельности рыболовства, организация пункта приема пластиковой тары и ее утилизации, проведение очистки берегов от ТБО