

УДК 911.9

А. Г. Валеев¹, А. Д. Абитбаева², Ю. Ф. Лый³

¹Научный сотрудник лаборатории геоморфологии и геоинформационного картографирования
(АО «Институт географии и водной безопасности», Алматы, Казахстан)

²К.г.н., старший научный сотрудник, заведующий лабораторией геоморфологии и геоинформационного
картографирования (АО «Институт географии и водной безопасности», Алматы, Казахстан)

³К.г.н., старший научный сотрудник лаборатории геоморфологии и геоинформационного картографирования
(АО «Институт географии и водной безопасности», Алматы, Казахстан)

ПРИРОДООХРАННЫЕ И БЕРЕГОЗАЩИТНЫЕ МЕРОПРИЯТИЯ ПО СТАБИЛИЗАЦИИ ПРОЦЕССОВ РЕЛЬЕФОБРАЗОВАНИЯ ПОБЕРЕЖЬЯ ОЗЕРА АЛАКОЛЬ

Аннотация. Рассмотрен международный опыт рационального использования прибрежных территорий. Спрогнозировано возможное развитие эколого-геоморфологических условий побережья с учетом морфометрии прилегающего к берегу рельефа, а также количественных данных инструментального мониторинга. Разработаны природоохранные рекомендации для денудационных и аккумулятивных берегов, а также выделены наиболее перспективные, научно обоснованные методы защиты денудационных берегов оз. Алаколь.

Ключевые слова: озеро Алаколь, абразия, затопление, ЦМР, прогноз, мероприятия.

Введение. Происходит увеличение уровня (площади и объема) озера Алаколь. Это явление не совпадает с общим трендом воздействия последствий климатического изменения на уровни континентальных бессточных озер, где наблюдается их спад. Полученные результаты являются уникальными в области изучения бессточных озер региона. Актуальность исследований обусловлена необходимостью решения проблем снижения негативного воздействия экзогеодинамики берегов на рекреационные, инфраструктурные объекты, сельскохозяйственные угодья и селитебные земли прибрежной территории оз. Алаколь. Результаты исследования представляют собой научно обоснованные методы защиты береговой зоны озера Алаколь для устойчивого развития туристско-рекреационного потенциала.

Постановка проблемы. Обзор научных публикаций. Исследование различных задач устойчивого использования и развития прибрежных территорий проводили: Foyle et al. – побережье залива Преск Айл (Presque Isle Bay, USA) озера Эри [12], Brown et al. – побережье двух округов Манитовок и Озоки (Ozaukee and Manitowoc County, USA) на озере Мичиган [15], Казанцева Е. А. – северное и юго-западное побережье озера Алаколь [4]; Lawrence P. L. – интегрированное управление Великими озерами [17], Rangel-Buitrago et al. – управление эрозионным морским побережьем [20]; Castedo et al. – прогноз развития переработки берегов в округе порт Алма (Port Alma, Canada) на озере Эри [16], Brown et al. – побережье двух округов Манитовок и Озоки (Ozaukee and Manitowoc County, USA) на озере Мичиган [15]; Bruun P. – разработка методов защиты берегов от эрозии – морские побережья мира [14], Нусупов Д. К. и Турсунов Э. А. – побережье рекреационной зоны Акши и с. Коктума озера Алаколь [8, 9], Bunicontro et al. – морское побережье Аргентины [19], Серебряков Г. Б. и Гришин Н. А. – Черноморское побережье России [20]. Обзор международного опыта позволил выделить основные 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. [20] называют исследования и накопленные знания об 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 ее негативные последствия. Аспекты проблем управления эрозионных береговых территорий включают природные ресурсы, развитие здоровых и устойчивых экосистем и связанных с ними экосистемных услуг, индустрию туризма и береговую безопасность.

Lawrence P. L. [17] 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 были и будут 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 местных муниципалитетов и правительств и координация государственных и частных ресурсов [17].

Рекомендации, предлагаемые исследователями развитых стран (США, Канада и др.), мало воспроизводимы в условиях побережья Алаколя. В проведении научно-исследовательских работ за рубежом местные администрации округов инициируют различные проекты с привлечением ученых для определения оптимальных решений той или иной проблемы прибрежных территорий. Например, много работ посвящено управлению прибрежными территориями (Integrated Coastal Zone Management), эрозионными берегами, рекреационными пляжами [15,17,20]. При этом у нас не используется и не рассматривается термин «управление берегами» (Coastal Management), охватывающий научные, административные, экологические и прикладные рычаги и механизмы. В этом исследовании результаты интересны для науки в виде публикаций, однако непосредственная связь с административными органами и проектными организациями пока оставляет желать лучшего. В статье проведен анализ с учетом ранее полученных результатов, имеющихся данных и с упором на устойчивое управление развитием побережья оз. Алаколь.

Методы исследования. Исследования проводились на основе архивных фондовых материалов, многолетних исследований авторов в рамках фундаментальных и прикладных исследований, комплексного дешифрирования разновременных цифровых космических снимков. Использованы сравнительный и описательный методы, а также системный анализ. Прогноз развития эрозионных берегов основан на эмпирическом подходе, включающим сравнение динамики эрозии по данным полевых измерений, анализа разновременных ДДЗ.

Результаты исследования. В исследовании путей стабилизации побережья оз. Алаколь мы руководствовались общепринятым подходом постановки и решения задач прогнозного характера, обеспечивающих принятие управленческих решений в области природопользования [7].

Анализ природных условий и антропогенного землепользования позволил определить процентное соотношение различных типов берегов оз. Алаколь (таблица 1). Общая протяженность побережья, включая острова и косы, в 2018 г. составила 559,3 км [14]. Из них по территории Алакольского района проходит 323,7 км и Уржарского района – 235,6 км. Более 60 % 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 – 5%. Характеристика типов берегов в исследовании – необходимый показатель в проведении прогноза и предложении рекомендаций.

Таблица 1 – Соотношение типов берегов оз. Алаколь, % от общей длины

Район	Отвесный берег с пляжем	Галечниковые пляжи	Коренная порода	Затопленные низменные берега	Косы	Дель- товые	Искус- ственные
Алакольский	6,5	5,7	ООПТ	31,9	7,1	0,6	0,4
Уржарский	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

Анализ карты землепользования позволил определить процентное соотношение развитой хозяйственной деятельности на побережье (таблица 2). На территории исследования превалирует сельское хозяйство: 4,3 % – поливное 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 течение нескольких лет были полностью затоплены. Основная часть экономически активного местного населения задействована в сельском хозяйстве, также в рыболовстве. В промысловое рыболовство вовлечены жители сел Камыскала, Коктал, Кабанбай, Акши и Коктума. Кенжебеков Б. К. и др. [5] отмечают снижение объема рыбной продукции (550–650 т вместо 4500–5000 т в 80-х годах прошлого века), несмотря на увеличение водности и улучшение экологических условий водоема. Одной из главных причин авторы отмечают процветающее браконьерство, которое появилось после отмены планового хозяйства и установления рыночных отношений. Необходимо пересмотреть механизмы регулирования промыслового рыболовства на оз. Алаколь, что позволит сохранять баланс между кормовой базой птиц и антропогенным выловом.

Таблица 2 – Землепользование побережья оз. Алаколь

Район	Береговая линия, км	Население, тыс. чел.	Селитеб- ные земли, %	Рекреация, % / общее кол-во туристов	ВБУ, %	Пастбища, сенокосы, %	Поливные земли, %
Алакольский	323,7	5,9 (69,8)	0,2	1 / 1 млн чел.	33,5	53	6,6
Уржарский	235,6	6,5 (73,7)	0,4	0,3 / 500 тыс. чел.	46,9	46,8	–

Селитебные территории занимают 0,4 % территории, связаны между собой автодорогами. Из них земли населенных пунктов Коктума и Камыскала наиболее уязвимы для современных процессов переработки берегов. Ежегодно территория с. Коктума вдоль берегового клифа уменьшается на 3-5 м в результате переработки берегов [22]. Аналогичная проблема переработки берегов наблюдается в 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 м ежегодно [22]. Рекреационные земли занимают 0,8% исследуемой территории, Алакольский государственный заповедник – 3%. С учетом региональной значимости водно-болотных угодий заповедника территорию рекомендуется расширить в низменных берегах, дельтах и поймах рек. Водно-болотные угодья занимают 26,6% от площади побережья.

Прогноз. Меры по управлению побережьем должны учитывать текущие и прогнозируемые изменения климата. Мониторинг прибрежной эрозии должен использоваться в качестве инструмента для управления. Практика мониторинга стимулирует чувство экологической ответственности и поощряет участие общественности в деятельности, связанной с поддержанием качества прибрежной окружающей среды [20]. Castedo et al. [16] считали способность прогнозирования прибрежной рецессии (эрозии) и реакцию берегового уступа к изменяющимся условиям окружающей среды и антропогенному воздействию фундаментальным требованием для управления прибрежной зоной и ее планирования.

Для наиболее точного прогнозирования необходим длительный временной ряд наблюдений, но 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 по метеостанциям (30 лет), многолетние данные уровня озера (более 50 лет), а также цифровую модель рельефа SRTM (с разрешением 30 м).

При проведении аналогичной работы Castedo et al. [16] использовали исторические данные динамики переработки берегов и различные эмпирические и вероятностные методы. 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 реалистичность 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.

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. [15]. 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.

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 сохранении современных гидрометеорологических условий. Результаты прогноза эрозии юго-западного, восточного и северного побережья оз. Алаколь на 20, 50 и 80 лет приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Прогнозная динамика отступления денудационных берегов

Ключевые участки	Средняя скорость эрозии уступа в год по данным реперов и наблюдений, м	Общая прогнозная динамика эрозии берега, м		
		за 20 лет	за 50 лет	за 80 лет
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

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 вследствие регионального климатического изменения, которое приведет к увеличению показателей (см. рисунок). Расчеты выполнены до 2100 года. 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 175–250 м, в 2100 году береговой клиф будет находиться от 280 до 352 м в сторону суши от современного положения.

Если не предпринимать берегозащитных мер, то береговой утес с. Коктума может отступить до 70 м в течение 20 лет. Эрозионные участки побережья рекреационной зоны Акши могут продвинуться в глубь суши до 80-90 м от современного уреза воды. Значительно может поменяться морфометрия аккумулятивных кос и пляжей рекреационной зоны с. Акши. Изменение побережья рекреационной зоны с. Кабанбай в условиях происходящего техногенного укрепления берегов инженерными конструкциями оценить невозможно. Однако с учетом предыдущих полевых исследований динамики эрозии в будущем побережье продолжит подвергаться разрушительному воздействию ветро-волновой переработки 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 реагирует на изменения уровня воды в озере и ветро-волновые условия, чем более высокие утесы. Как правило, низкие береговые уступы наиболее уязвимы к переработке берегов и восприимчивы к изменению уровня озера [15].

Прогноз будущих условий и природного состояния аккумулятивных 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 их повышения. 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 м [6]. Аналогичные сгонно-нагонные явления также распространены на аккумулятивных берегах озера Мичиган [15].

В течение многих лет осадки влияют на уровень озера. За несколько 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 [15]. Некоторые эксперты предсказывают, что более теплые температуры приведут к большему количеству осадков, а значит и к более высокому уровню озер. Другие полагают, что повышение температуры приведет к большему испарению, интенсивному таянию ледников и сокращению речного стока в озера, что повлечет снижение их уровня [18]. Некоторые ученые считают, что колебания могут наступить быстрее и максимумы будут выше, а минимумы ниже [23]. Показатели изменения климата для озер различных типов определяются 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 [21]. 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. Этот сценарий потребует проведения новых исследований и принятия решений по сохранению экосистемы озера и прибрежных территорий [1].

Основной задачей прогноза развития аккумулятивных берегов озера является определение участков подтопления и их площади в результате возможного продолжения повышения уровня озера, на основе анализа цифровой модели рельефа SRTM. Обработка ЦМР позволила извлечь гипсометрическую сеть с абсолютными высотами от 348 до 355 м. Проведена корреляция полученных изолиний с измеренными данным уровня озера по годам (таблица 4). Методом геопространственной статистики установлены площади, подверженные затоплению в результате возможного повышения уровня озера (таблица 5).

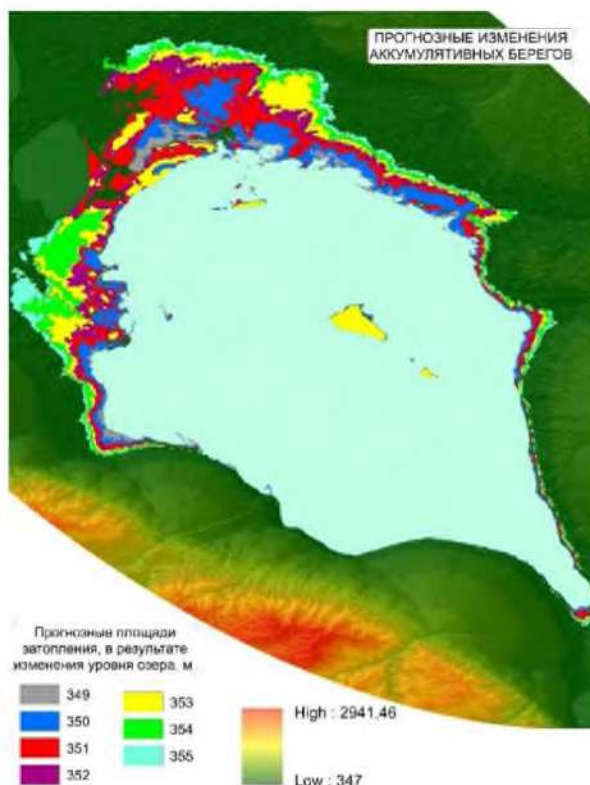
Таблица 4 – Исторические данные динамики площади затопления аккумулятивных берегов оз. Алаколь

Годы	Продолжительность, лет	Уровень озера, м	Площадь затопления, км ²	Общая площадь затопления, км ²	Общая площадь единого водоема котловины, км ²
1989-1995	6	348	–	–	2903,0
1995-2010	15	349	56,0	56,0	2981,0
2010-2018	8	350	179,0	235,0	3385,8

Таблица 5 – Прогнозные площади затопления аккумулятивных берегов при повышении уровня оз. Алаколь

Уровень озера, м	Площадь затопления, км ²	Общая площадь затопления, км ²	Общая площадь единого водоема котловины, км ²
351	210,1	445,1	4742,7
352	163,7	608,8	5100,2
353	207,0	815,8	5458,2
354	148,2	964,0	5722,1
355	93,7	1 057,7	5917,3

За всю историю наблюдения уровень озера поднялся на 7 м – с 343 до 350 м (1950-2018 гг.). Согласно историческим данным с 1989 г. уровень озера поднялся на 2 м. Отметка 348 м над ур. м. фиксировалась в течение 6 лет (1989-1994 гг.), с 1995 г. уровень озера превысил порог в 349 м, который плавно увеличивался в течение 15 лет (с 1996 по 2009 г.) до 350 м. Начиная с 2010 г. и по настоящее время уровень озера находится на отметке 350 м. Наличие исторических многолетних данных изменения уровня воды и цифровой модели рельефа (2000 г.) с разрешением 25-30 м позволило провести пространственно-временной анализ изменения положения низменных аккумулятивных берегов за последние 30 лет (см. таблицу 4, рисунок).



Прогнозные площади изменения территории при повышении отметки уровня воды по данным анализа ЦМР

Морфометрические условия рельефа влияют на площадь затопления при повышении уровня. Так, увеличение уровня с 348 до 349 м привело к затоплению 56 км², при следующем поднятии уровня с 349 до 350 м затоплению подверглись уже 179 км². Таким образом, повышение уровня на 2 м за последние 30 лет привело к затоплению 235 км² аккумулятивных озерных, аллювиальных и дельтовых равнин.

Следующий этап прогноза – анализ извлеченных изолиний рельефа из ЦМР с интервалом через каждый метр до абсолютной высоты 355 м. При росте 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 частях 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. Повышение уровня до 354 м поспособствует затоплению еще 148 км², в основном в северо-западной и северо-восточной частях. При росте до отметки 355 м дополнительно будут затоплены 93 км² прибрежных территорий. В целом изменение уровня на 5 м от современного положения приведет к затоплению и соответственно увеличению зеркала озера на более 1000 км².

Как видно на карте анализа ЦМР (см. рисунок), повышение уровня приведет к затоплению северо-восточной, северной и северо-восточной частей прибрежных аккумулятивных равнин.

Природоохранные и берегозащитные мероприятия. Эмпирический подход в прогнозировании развития денудационных берегов позволил получить количественные характеристики скорости отступления отвесного уступа (см. таблицу 3). В ближайшие 20 лет при сохранении природных характеристик эрозия составит на денудационных берегах от 70 до 100 м 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 затруднения от негативного воздействия переработки берегов. Необходимо проводить планирование территории освоения с отступом от кромки уступа не менее 100 м. Объекты жилого фонда и рекреации в зоне экологического риска рекомендуется перенести в глубь суши или за пределы 100 м от кромки уступов. Согласно прогнозам, большое количество землепользователей юго-западного и восточного побережья озера может понести значительный материальный ущерб. При этом спрогнозированная динамика не учитывает возможные региональные изменения климата, повышение уровня озера, усиление экстремальных метеорологических условий, которые в совокупности усилят процессы береговой эрозии. Для решения проблемы предпринимаются меры как на правительственном уровне (проведение берегоукрепительных работ в рамках реализации Дорожной карты развития туристской отрасли Республики Казахстан до 2020 года), так и землепользователями первой линии [3]. Государственные берегоукрепительные проекты пока не реализованы, начато строительство только волнореза на восточном берегу. Инженерная защита береговых уступов и пирса на восточном берегу отдельными зонами отдыха дает возможность оценить их эффективность. Есть возможность изучить слабые и сильные стороны использованных методов, учесть ошибки, а также 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 метод берегозащиты, обеспечивающий поддержание береговой зоны в динамически равновесном состоянии [10].

Наши исследования позволяют с уверенностью заявить о необходимости разработки единой цельной системы берегоукрепления с индивидуальным подходом для каждого отдельного побережья с. Коктумы, рекреационных зон Акши и Кабанбай. Естественно, каждое отдельное побережье имеет свои локальные природные условия и факторы берегообразования (направление ветра, литология, вдольбереговое течение, морфометрия и др.), которые необходимо в первую очередь учитывать при берегоукреплении. Результаты исследования позволяют заявить, что 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. Эта 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.

Для определения берегозащитных мероприятий, прежде всего, необходимо ответить на вопрос: защищать или не защищать? Для ответа следует 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 транс-

формация берега в морфосистему с еще худшими относительно начального состояния свойствами [10]. Меры по борьбе с прибрежной эрозией требуют знания поведения наносов и их взаимообмена 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 [20].

В мире развиты различные методы защиты, в особенности морских берегов [10,14,19]. В своих исследованиях Bruun P. [13] спрогнозировал увеличение давления 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 6). 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 – "беспрепятственность" и "рационализированность". Он 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.

Таблица 6 – Различные методы защиты прибрежных районов и их относительная способность обеспечить защиту, а также влиять на прилегающие берега (благоприятно или неблагоприятно)

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
<i>Примечание.</i> Х – менее привлекательное решение.				

Результаты обзора применяемых методов берегозащиты и их краткая характеристика:

1. Основное назначение бун – накопление или удержание пляжных наносов в межбунных отсеках. Бун – 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, 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, что буны нарушают естественные ландшафты морского побережья и с современных эстетических позиций

их применение нежелательно [10]. Буны возводятся из массивовой кладки от одного до трех курсов в зависимости от топографии подводной части берегового склона. В процессе проектирования таких сооружений берется в расчёт силовое воздействие волн и дрейфующих ледяных полей [11]. Метод широко распространен на Сочинском побережье Черного моря.

2. Продольные дамбы строятся из кварцитовых блоков и выполняют функцию продольной защиты основания берегового утеса. Структура дамбы рассеивает энергию волны за счет поглощения, что отличает ее от других стационарных волнорассекателей, выполняющих функцию отражения энергии волны. Распространены 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 [19].

3. В результате работы волноотбойных стен происходят размыв и сокращение ширины пляжа. Волна, накатывающая 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, деформации или опрокидыванию стен [10].

4. 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 пляжеобразующего материала – салиентов и томболо. Это позволяет с помощью одних только волноломов формировать бухтовые пляжи [10].

5. Эффективность прерывистых волноломов определяется их способностью снижать энергию волн в заволноломном пространстве. В результате этого между берегом и сооружением создается волновая тень и происходит аккумуляция наносов. В одном случае образуется выступ или салиент, а при соединении аккумулятивной формы с берегом – переи́ма или томболо. Использование прерывистых волноломов позволяет добиться положительного эффекта в стабилизации пляжей на протяженных участках [10].

6. Бухтовые аккумулятивные формы на озере Алаколь распространены у рекреационной зоны Акши. Закрытые бухты образованы косами Большой и Малый Балгын. 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 пляжеобразующего материала и вызывают трансформацию подходящей волны, изменяя угол ее подхода к пляжу и обеспечивая саморегулирование и динамическую устойчивость пляжа по всему периметру бухты [10].

Практические предложения защиты юго-западных берегов оз. Алаколь были рассмотрены Нусуповым Д. К. и Турсуновым Э. А. [8,9]. Наиболее перспективным методом берегоукрепления авторы считают 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.

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

7. Искусственное питание гравийно-галечниковым материалом вдольбереговой пляжной зоны, расположенной между уступом и урезом воды. Предложенный Нусуповым Д. К. и Турсуновым Э. А.

[9] метод искусственного питания пляжей соответствует научным выводам нашего исследования и экологическим критериям, не нарушает естественных условий побережья. При этом, по данным наших исследований, мы рекомендуем провести более детально изучение вдольберегового и поперечного переноса осадочного материала с применением специальных методов и оборудования, а также проведения опытов, что позволит, возможно, применить дополнительные методы снижения переноса пляжеобразующего материала и др. В противном случае понадобится ежегодная, а иногда и ежесезонная искусственная подпитка пляжной зоны в целях сохранения ее проектных характеристик. Отдельно стоит сказать о месте изъятия осадочного материала, которое требует детального анализа и проработки на предмет минимального неблагоприятного воздействия на окружающую среду.

8. 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 этом побережье не наблюдалось. По данным местных жителей, косы были искусственно созданы драгой для защиты рыбокомбината 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, создали прекрасные условия для жизнедеятельности человека. Часто в безледовый период на косы заезжает автотранспорт в целях рыболовства и пляжно-купального отдыха, что 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.

9. Прерывистые волноломы – перспективный метод для применения в защите восточных и юго-западных денудационных берегов оз. Алаколь. Для их использования в условиях оз. Алаколь необходимы дополнительные исследования, включающие проведение опытов, изучение воздействия 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.

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. 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.

Ученые Нусупов Д. К. и Турсунов Э. А. [9] 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.

В с. 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 и улучшить инфраструктуру железнодорожного перрона [2]. Значительные вложенные инвестиции в развитие рекреационной инфраструктуры на побережьях сел Акши и Кабанбай требуют разработки и реализации превентивных мер для снижения негативного воздействия современного рельефообразования на состояние 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 в перспективе через 20, 50 и 80 лет. 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.

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. 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. Очевидно, промышленная антропогенная деятельность может стать причиной необратимых неблагоприятных процессов. Необходимо разработать превентивные организационные меры местным исполнительным органам для управления фермерскими хозяйствами, расположенными 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 места.

В неблагоприятной зоне 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, связывающей село с районным центром г. Ушарал, оно 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 позволили выявить, определить и предложить наиболее привлекательные способы использования береговых территорий, отвечающих 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 в глубь суши, а также на этапе планирования учитывать экзогеодинамические процессы.

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 уменьшила отступление береговой линии, но вызвала экологические изменения в естественных динамических условиях. Эти изменения привели к серьезным последствиям в прибрежной конфигурации, местной и региональной гидродинамике, морфометрии пляжей, окружающей среде и экологии побережья и, следовательно, в деятельности человека (проживание, рекреация) [10, 19]. 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 [11].

Анализ отдельных объектов берегоукрепления на озере показал их неэффективность. Данные сооружения защищают только участок берега собственника, предпринявшего 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 усиления 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. После этого можно будет демонтировать кустарные сооружения береговой защиты.

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 [10].

Заключение. Разработаны приоритетные пути стабилизации эколого-геоморфологической ситуации береговой зоны озера Алаколь, основывающиеся на анализе типов берегов, современного землепользования и хозяйственной деятельности на побережье, а также предложен прогноз развития денудационных и аккумулятивных берегов. Прогноз развития эрозионных берегов основан на эмпирическом подходе, включающим сравнение динамики эрозии по данным полевых измерений, анализе разновременных ДДЗ при условии сохранения современных гидрометеорологических условий на 20, 50 и 80 лет. Спрогнозированы участки и площадь подтопления аккумулятивных берегов в результате возможного повышения уровня озера до отметки 355 м с применением цифровой модели рельефа SRTM.

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. Определены наиболее привлекательные мероприятия в землепользовании денудационных и аккумулятивных берегов, отвечающие требованиям 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. Предложены рекомендации для разработки научно обоснованных берегоукрепительных инженерных методов защиты абразионных берегов.

Статья выполнена в рамках проекта грантового финансирования Комитета науки МОН РК №AP05134437 «Мониторинговые исследования неблагоприятных экзогеодинамических процессов береговой зоны озера Алаколь – территории интенсивного рекреационного освоения».

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Бабкин А.В., Мадиев 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.
- [2] Валеев А.Г., Абитбаева А.Д., Митрофанова А.Н. и др. Туристско-рекреационный потенциал озера Алаколь // Вопросы географии и геоэкологии. – Алматы, 2019. – № 3. – С. 3–11.
- [3] Досье на проект постановления «Об утверждении Дорожной карты развития туристской отрасли Республики Казахстан до 2020 года». [Электронный ресурс]. Режим доступа <https://bestprofi.com/document/580178241?0>
- [4] Казанская Е.А. Морфология и динамика берегов озера Алаколь // Вопросы географии Казахстана. – Алма-Ата, 1965. – Вып. 12. – С. 88–121.
- [5] Кенжебеков Б.К., Данько Е.К., Сансызбаев Е.Т. К современному состоянию озер Алакольской системы // Гидрометеорология и экология. – Алматы, 2018. – № 3. – С. 145-151.
- [6] Коровин В.И., Курдин Р.Д. Уровенный режим Алакольских озер. Вопросы географии Казахстана / Под ред. Н. Н. Пальгова. – Алма-Ата, 1965. – Вып. 12. – С. 122-140.
- [7] Макаров В.З., Новаковский Б.А., Чумаченко А.Н. Эколого-географическое картографирование городов. – М.: Научный мир, 2002. – 176 с.
- [8] Нусупов Д.К., Турсунов Э.А. Проектные решения по защите берега оз. Алаколь в районе поселков Акши и Коктума // Гидрометеорология и экология. – 2018. – № 3. – С. 181-188.
- [9] 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.
- [10] Обзор методов берегозащиты на Черноморском побережье России. Серебряков Г.Б., Гришин Н.А. <http://arch-sochi.ru/2012/10/obzor-metodov-beregozashchityi-na-chernomorskom-poberezhe-rossii/>
- [11] Рогачко С.И., Шунько Н.В. Научное сопровождение проектирования берегозащитных сооружений. Гидравлика. Инженерная гидрология. Гидротехническое строительство // Вестник МГСУ. – 2016. – № 12. – С. 103-113.
- [12] 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. – [https://doi.org/10.3394/0380-1330\(2006\)32\[697:SLDTTC\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.3394/0380-1330(2006)32[697:SLDTTC]2.0.CO;2).

- [13] Bruun P. The History and Philosophy of Coastal Protection // Coastal Engineering. – 1972. – P. 33-74. – doi:10.1061/9780872620490.003
- [14] Valeev Adilet, Karatayev Marat, Abitbayeva Ainagul, Uxukbayeva Saule, Bektursynova Aruzhan, Sharapkhanova Zhanerke. Monitoring Coastline Dynamics of Alakol Lake in Kazakhstan Using Remote Sensing Data // Geosciences. MDPI, Switzerland. – 2019. – Vol. 9, Issue 9. – 404. – doi:10.3390/geosciences9090404
- [15] 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. – 31(3). – P. 306-321. – doi:10.1016/s0380-1330(05)70262-8
- [16] Castedo R., Fernández M., Trenhaile A.S., Paredes C. (2013). Modeling cyclic recession of cohesive clay coasts: Effects of wave erosion and bluff stability // Marine Geology. – 335. – P. 162-176. – doi:10.1016/j.margeo.2012.11.001
- [17] Lawrence P.L. Integrated coastal zone management and the Great Lakes // Land Use Policy. – 1997. – Vol. 14(2). – P. 119-136. – doi:10.1016/s0264-8377(96)00039-7
- [18] Shahgedanova Maria, Afzal Muhammad, Hagg Wilfried, Kapitsa Vassiliy, Kasatkin Nikolay, Mayr Elizabeth, Rybak Oleg, Saidaliyeva Zarina, Severskiy Igor, Usmanova Zamira, Wade Andrew, Yaitskaya Natalia, Zhumabayev Dauren. Emptying Water Towers? Impacts of Future Climate and Glacier Change on River Discharge in the Northern Tien Shan, Central Asia // Water. – 2020, 12, 627. – doi:10.3390/w12030627
- [19] Bunicontró M. Paula, Marcomini Silvia C., Lopez Ruben A. The effect of coastal defense structures (mounds) on southeast coast of Buenos Aires province, Argentina // Ocean & Coastal Management. – 2015. – Vol. 116. – P. 404-413. – <http://dx.doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2015.08.016>.
- [20] 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. – doi:10.1016/j.ocecoaman.2018.01.027
- [21] 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, Monika Winder. Lakes as sentinels of climate change // Limnol Oceanogr. – 2009 Nov. – Vol. 54(6). – P. 2283-2297. – DOI:10.4319/lo.2009.54.6_part_2.2283
- [22] Valeev A.G., Akiyanova F.Zh., Abitbayeva A.D., Khalykov Ye.Ye., Togys M.M. Development of abrasion shores of Alakol lake according to the field research materials // News of the National academy of sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of geology and technical sciences. – 2019. – Vol. 1, No. 433. – P. 195-205. – <https://doi.org/10.32014/2019.2518-170X.24>
- [23] Waldmeir P. Rising water raises climate change fears in the Great Lakes region [Электронный ресурс]. Режим доступа <https://www.ft.com/content/5f6f4ade-5193-11ea-8841-482eed0038b1>

REFERENCES

- [1] Babkin A.V., Madibekov A.S., Musakulkyzy A., Cherednichenko A.V. Verification and actual forecast of the water level of Lake Alakol for the near future // Hydrometeorology and ecology. Almaty, 2017. No. 3. P. 60-71 (in Russ.).
- [2] Valeev A.G., Abitbayeva A.D., Mitrofanova A.N. e.a. Tourist and recreational potential of Lake Alakol // Questions of geography and Geoecology. 2019. No. 3. P. 3-11 (in Russ.).
- [3] Dossier on the draft resolution "On approval of the Roadmap for the development of the tourism industry of the Republic of Kazakhstan until 2020". [Electronic resource]. Access mode <https://bestprofi.com/document/580178241?0>
- [4] Kazanskaya E.A. Morphology and dynamics of the shores of Lake Alakol // Questions of geography of Kazakhstan / Under the editorship of N. N. Palgov. Alma-Ata, 1965. Vol. 12. P. 122-140 (in Russ.).
- [5] Kenzhebekov B.K., Danko E.K., Sansyzbayev E.T. To the current state of the lakes of the Alakol system // Hydrometeorology and Ecology. 2018. No. 3. P. 145-151 (in Russ.).
- [6] Korovin V.I., Kurdin R.D. The level regime of the Alakol lakes // Questions of geography of Kazakhstan / Under the editorship of N. N. Palgov. Alma-Ata, 1965. Vol. 12. P. 122-140 (in Russ.).
- [7] Makarov V.Z., Nowakowski B.A., Chumachenko A.N. Ecological-geographical mapping cities. M.: Scientific world, 2002. 176 p. (in Russ.).
- [8] Nusupov D.K., Tursunov E.A. Design solutions for the protection of the lake shore. Alakol in the area of p. Akshi and p. Koktuma // Hydrometeorology and Ecology. 2018. No. 3. P. 181-188 (in Russ.).
- [9] Nusupov D.K., Tursunov E.A. Artificial pebble beaches as the most effective way to protect the shore of the lake. Alakol from destruction // Hydrometeorology and Ecology. 2018. No. 2. P. 174-180 (in Russ.).
- [10] Review of coastal protection methods on the Black Sea coast of Russia. Serebryakov G.B., Grishin N.A. <http://arch-sochi.ru/2012/10/obzor-metodov-beregozashchityi-na-chernomorskom-poberezhe-rossii/> (in Russ.).
- [11] Rogachko C.I., Shunko N.V. Scientific support for the design of coastal protection structures. Hydraulics. Engineering hydrology. Hydraulic engineering construction // Vestnik MGSU. 2016. No. 12. P. 103-113 (in Russ.).
- [12] 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. ISSN 0380-1330, [https://doi.org/10.3394/0380-1330\(2006\)32\[697:SLDTTC\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.3394/0380-1330(2006)32[697:SLDTTC]2.0.CO;2).
- [13] Bruun P. The History and Philosophy of Coastal Protection // Coastal Engineering. 1972. P. 33-74. doi:10.1061/9780872620490.003
- [14] Valeev Adilet, Karatayev Marat, Abitbayeva Ainagul, Uxukbayeva Saule, Bektursynova Aruzhan, Sharapkhanova Zhanerke. Monitoring Coastline Dynamics of Alakol Lake in Kazakhstan Using Remote Sensing Data // Geosciences. MDPI, Switzerland. 2019. Vol. 9, issue 9, 404. doi:10.3390/geosciences9090404
- [15] Brown E.A., Wu C.H., Mickelson D.M., Edil T.B. (2005). Factors Controlling Rates of Bluff Recession at Two Sites on Lake Michigan // Journal of Great Lakes Research. 31(3). P. 306-321. doi:10.1016/s0380-1330(05)70262-8
- [16] Castedo R., Fernández M., Trenhaile A.S., Paredes C. (2013). Modeling cyclic recession of cohesive clay coasts: Effects of wave erosion and bluff stability // Marine Geology. Vol. 335. P. 162-176. doi:10.1016/j.margeo.2012.11.001

- [17] Lawrence P.L. (1997). Integrated coastal zone management and the Great Lakes // *Land Use Policy*. Vol. 14(2). P. 119-136. doi:10.1016/s0264-8377(96)00039-7
- [18] Shahgedanova Maria, Afzal Muhammad, Hagg Wilfried, Kapitsa Vassiliy, Kasatkin Nikolay, Mayr Elizabeth, Rybak Oleg, Saidaliyeva Zarina, Severskiy Igor, Usmanova Zamira, Wade Andrew, Yaitskaya Natalia, Zhumabayev Dauren. Emptying Water Towers? Impacts of Future Climate and Glacier Change on River Discharge in the Northern Tien Shan, Central Asia // *Water*. 2020, 12, 627. doi:10.3390/w12030627
- [19] Buncontro M. Paula, Marcomini Silvia C., Lopez Ruben A. (2015). The effect of coastal defense structures (mounds) on southeast coast of Buenos Aires province, Argentina // *Ocean & Coastal Management*. Vol. 116. P. 404-413. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2015.08.016>.
- [20] Rangel-Buitrago N., de Jonge V.N., Neal W. (2018). How to make Integrated Coastal Erosion Management a reality // *Ocean & Coastal Management*. Vol. 156, 290-299. doi:10.1016/j.ocecoaman.2018.01.027
- [21] 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, Monika Winder. Lakes as sentinels of climate change // *Limnol Oceanogr*. 2009 Nov. Vol. 54(6). P. 2283-2297. DOI:10.4319/lo.2009.54.6_part_2.2283
- [22] Valeyev A.G., Akiyanova F.Zh., Abitbayeva A.D., Khalykov Ye.Ye., Togys M.M. Development of abrasion shores of Alakol lake according to the field research materials // *News of the National academy of sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of geology and technical sciences*. 2019. Vol. 1, No. 433. P. 195-205. <https://doi.org/10.32014/2019.2518-170X.24>
- [23] Waldmeir P. Rising water raises climate change fears in the Great Lakes region [Electronic resource]. Access mode <https://www.ft.com/content/5f6f4ade-5193-11ea-8841-482eed0038b1>

А. Ғ. Валеев¹, А. Д. Абитбаева², Ю. Ф. Лый³

¹Геоморфология және геоакпараттық картографиялау зертханасының ғылыми қызметкері
(«География және су қауіпсіздігі институты» АҚ, Алматы, Қазақстан)

²Ғ.ғ.к., аға ғылыми қызметкері, геоморфология және геоакпараттық картографиялау зертханасының жетекшісі («География және су қауіпсіздігі институты» АҚ, Алматы, Қазақстан)

³Ғ.ғ.к., геоморфология және геоакпараттық картографиялау зертханасының аға ғылыми қызметкері
(«География және су қауіпсіздігі институты» АҚ, Алматы, Қазақстан)

АЛАКӨЛ КӨЛІ ЖАҒАЛАУЫНЫҢ РЕЛЬЕФІН ҚАЛЫПТАСТЫРУ ҮДЕРІСТЕРІН ТҰРАҚТАНДЫРУ ЖӨНІНДЕ ТАБИҒАТТЫ ЖӘНЕ ЖАҒАЛАУДЫ ҚОРҒАУ ІС-ШАРАЛАРЫ

Аннотация. Мақалада жағалау аумақтарын ұтымды пайдаланудың халықаралық тәжірибесінің нәтижелері келтірілген. Жағалауға іргелес жатқан рельефтің морфометриясын, сондай-ақ аспаптық мониторингтің сандық деректерін ескере отырып, жағалаудың экологиялық-геоморфологиялық жағдайларының ықтимал дамуы болжанды. Денудациялық және аккумулятивті жағалауларға тән табиғатты қорғау ұсыныстар жасалды, сонымен қатар Алакөл көлінің денудациялық жағалауларын қорғаудың ең перспективалы, ғылыми негізделген әдістері анықталды.

Түйін сөздер: Алакөл көлі, абразия, тасқын су, ЖСМ (жердің сандық моделі), болжам, іс-шаралар.

A. G. Valeyev¹, A. D. Abitbayeva², Yu. F. Lyi³

¹Scientific employee of the Laboratory of Geomorphology and Geoinformation Mapping
(JSC "Institute of geography and water security", Almaty, Kazakhstan)

²PhD, Senior Researcher, Head of the Laboratory of Geomorphology and Geoinformation Mapping
(JSC "Institute of geography and water security", Almaty, Kazakhstan)

³PhD, Senior Researcher at the Laboratory of Geomorphology and Geoinformation Mapping
(JSC "Institute of geography and water security", Almaty, Kazakhstan)

ENVIRONMENTAL AND COASTAL PROTECTION ACTIVITY TO STABILIZE THE PROCESSES OF RELIEF FORMATION OF THE COASTAL OF ALAKOL LAKE

Abstract. The article presents the results of international experience in the rational use of coastal territories. The possible development of the ecological and geomorphological conditions of the coast is predicted, taking into account the morphometry of the terrain adjacent to the coast, as well as quantitative data of instrumental monitoring. Environmental recommendations for denudation and accumulative shores have been developed, and the most promising, scientifically based methods for protecting the denudation shores of the Alakol lake have been identified.

Keywords: Lake Alakol, abrasion, flooding, DEM, forecast, activity.