

2020-7

**НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКИ  
ИНСТИТУТ БИОЛОГИИ  
ИССЫК-КУЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ИМ. К. ТЫНЫСТАНОВА**

Диссертационный совет Д 03.24.693

На правах рукописи  
УДК 551.482:631.117(575.2) (043)

**ТОТУБАЕВА НУРЗАТ ЭРМЕКОВНА**

**ВОДНЫЕ И ПОЧВЕННЫЕ ФАКТОРЫ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ  
СЕВЕРА КЫРГЫЗСТАНА**

03.02.08 - экология

Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
доктора биологических наук

Бишкек – 2025

Работа выполнена в лаборатории Инженерной и экологической геологии Института геологии им. М. М. Адышева Национальной академии наук Кыргызской Республики

**Научный консультант:**

**Шалыков Кайыркул Тупкатарович**

доктор биологических наук, профессор, член-корреспондент Национальной академии наук Кыргызской Республики

**Официальные оппоненты:** **Канаев Ашимхан Токтасынович**

доктор биологических наук, профессор, профессор кафедры биоразнообразия и биоресурсов Казахского национального университета им. Аль-Фараби, г. Алматы

**Мамбетуллаева Светлана Мирзамуратовна**

доктор биологических наук, профессор, директор Каракалпакского научно-исследовательского института естественных наук, г. Нукус

**Раимбеков Кяныбек Тургунович**

доктор биологических наук, доцент, проректор по учебной работе Ошского государственного педагогического университета им. А. Ж. Мырсабекова.

**Ведущая организация:** Ошский технологический университет им. М. М. Адышева, кафедра экологии и охраны окружающей среды (723500, г. Ош, ул. Исанова, 81).

Защита диссертации состоится «30» мая 2025 года в 15.00 часов на заседании диссертационного совета Д 03.24.693 по защите диссертаций на соискание ученой степени доктора (кандидата) биологических наук при Институте биологии Национальной академии наук Кыргызской Республики, соучредитель Иссык-Кульский государственный университет им. К. Тыныстанова по адресу: 720071, г. Бишкек, проспект Чуй, 265а. Ссылка доступа к видеоконференции защиты диссертации: <https://vc.vak.kg/b/032-lvf-co3-zie>

С диссертацией можно ознакомиться в Центральной библиотеке Национальной академии наук Кыргызской Республики (720071, г. Бишкек, пр. Чуй, 265а), в библиотеке Иссык-Кульского государственного университета им. К. Тыныстанова (722200, г. Каракол, ул. К. Тыныстанова, 26) и на сайте: <https://vak.kg>

Автореферат разослан «30» апреля 2025 года.

Ученый секретарь диссертационного совета, кандидат биологических наук



К. Д. Бавланкулова

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы исследования.** Сохранение естественных экосистем и поддержание качества окружающей среды составляют важную часть национальной безопасности и закреплены в ряде ключевых стратегических документов страны. Государственная политика в области охраны окружающей среды и рационального использования природных ресурсов основывается на принципах устойчивого развития, включая равное внимание к экономическим, социальным и экологическим аспектам.

Благодаря своим уникальным природным системам Кыргызская Республика входит в число 200 приоритетных экологических регионов мира, что способствует развитию экологического туризма наряду с индустриальным прогрессом. Однако высокая антропогенная нагрузка на окружающую среду и уязвимость уникальных экосистем создают серьезные угрозы экологической безопасности страны. По данным Национальной программы развития Кыргызской Республики до 2026 года (2021), естественные ландшафты подвергаются интенсивным преобразованиям, высокогорные пастбища деградируют, почвы эродированы, ухудшается качество водных ресурсов.

Несмотря на наличие множества научных исследований, посвященных загрязнению различных природных компонентов и их возможным последствиям, имеется необходимость в разработке интегрированной оценки экологических критериев состояния водных и почвенных экосистем [Тарасова Н. П., Кручина Е. Б., 2004]. Важно дополнить существующие методы оценки, основанные на парадигме предельно допустимых концентраций (ПДК), а также найти информативные индикаторы, отражающие экологическое состояние этих экосистем и разработать концептуальные методы устойчивого управления природными ресурсами. По определению М. Рожкова: «Человечество переживает переломный момент в процессе перехода к устойчивому развитию. Одним из важных задач является определение и оценка достигнутого прогресса или регресса, степени их развития на пути к устойчивому развитию для осуществления надлежащего контроля за достижениями и управления этим процессом» [М. Рожков, 2015]. Важно подчеркнуть необходимость целостного восприятия экосистем как функционально взаимосвязанных структур, где почвенные и водные компоненты образуют единую биогеоэкологическую систему. Их раздельная оценка и управление ведут к искажению картины экологического состояния, тогда как устойчивое развитие возможно лишь при комплексном и взаимосогласованном анализе этих элементов.

Следовательно, реализация устойчивого развития экосистем невозможно без разработки целостной модели интегрированной системы ММР:

непрерывного экологического Мониторинга, адаптивного Менеджмента и высокотехнологичных Решений по рециркуляции отходов, обеспечивающих замкнутые биогеохимические циклы, в рамках устойчивого развития. Только через создание такой системной технологической рамки возможна стабилизация антропогенных экосистем без подрыва их регуляторных и восстановительных функций, что несомненно является актуальной задачей требующей приоритетного рассмотрения в рамках современной экологической повестки. Учитывая вышесказанное, возникает объективная необходимость в разработке научно обоснованной, интегральной модели, объединяющей мониторинг, управление и технологические решения в целях устойчивого функционирования экосистем.

Связь темы диссертации с приоритетными научными направлениями, крупными научными программами (проектами), основными научно-исследовательскими работами, проводимыми образовательными и научными учреждениями. Тема диссертации соответствует перечню критических технологий по приоритетным направлениям развития науки в Кыргызской Республике (Постановление Правительства Кыргызской Республики № 511 от 13.08.2003 г.). Работа выполнена в рамках выполнения задач национальной стратегии по устойчивому развитию, для осуществления Повестки дня ООН в области устойчивого развития на период до 2030 года; Национальной стратегии развития Кыргызской Республики на 2018-2040 годы (Указ Президента Кыргызской Республики № 221 от 31.10.2018 г.); Национальной программы развития Кыргызской Республики до 2026 года (Постановление Правительства Кыргызской Республики № 435 от 12.10.2021г.), Дирекции Биосферной территории «Ысык-Кель», а также в рамках выполнения мини проектов ЗАО «Кумтор» Голд Компани.

**Цель исследования.** Разработка критериев и интегрированной методологии мониторинга и оценки состояния почвенных и водных экосистем в промышленных и урбанизированных районах севера Кыргызстана, а также технологических решений по рециркуляции отходов.

**Задачи исследования:**

1. Разработать научно-практические основы применения многокритериальных экологических индексов для комплексной оценки почвенных экосистем, подверженных загрязнению и аккумуляции тяжелыми металлами.
2. Определить и обосновать индикаторные виды и параметры чувствительные к рекреационной нагрузке, для использования в экологическом мониторинге прибрежных экосистем.

3. Оценить экологическое состояние озера Иссык-Куль, на основе комплекса экологических индексов и диагностических критериев.

4. Разработать комплекс интегральных экологических показателей оценки антропогенной трансформации природных экосистем и степени их экологической нагрузки.

5. Разработать современные модели экологического мониторинга природных экосистем, направленные на прогнозирование и управление рисками загрязнения водных и почвенных ресурсов.

6. Разработать экологически устойчивые технологии ремедиации почв, загрязненных нефтепродуктами, в зоне влияния промышленных объектов.

**Научная новизна полученных результатов.** Впервые проведена оценка экологического состояния урбанизированных и техногенных зон (на примере почв ПрниССыкулья, Ак-Тюзского рудника), с использованием индексов коэффициента насыщения, геоаккумуляции, коэффициента загрязнения, степени загрязнения, загрязняющей нагрузки, потенциального экологического риска и комплексного риска с использованием подхода ТРИАД и составлены карты пространственного распределения тяжелых металлов в почвах ПрниССыкулья.

Изучены фитоиндикационные параметры облепихи крушиновидной (*Hippophae rhamnoides* L.), включающие морфологические признаки, половую структуру популяций в качестве информативного индикатора изменений прибрежных экосистем озера Иссык-Куль под воздействием рекреационной нагрузки.

Проведена оценка трофического состояния воды озера Иссык-Куль, определена степень трансформации ее прибрежных буферных зон и обусловленные с ними экологические риски.

Впервые определена степень экологической напряженности и оценена уязвимость прибрежных экосистем озера Иссык-Куль, с использованием интегрированного индекса уязвимости прибрежных зон и созданы их оценочно-прогнозные картографические модели.

Разработана современная цифровая модель системы экологического мониторинга экосистемы озера Иссык-Куль позволяющая оценивать степень загрязнения, своевременно выявлять угрозы и разрабатывать стратегии по предотвращению и минимизации негативного воздействия на окружающую среду.

Впервые в условиях высокогорных территорий рудника Кумтор, разработаны экологически устойчивые технологии ремедиации нефтезагрязненных почв, позволяющие не только эффективно очищать почвы,

но и сокращать объём отходов, сбрасываемых на полигоны, решая вопросы устойчивого использования и сохранения почвенных ресурсов.

Достоверность и новизна научных результатов подтверждается теоретическими и экспериментальными исследованиями.

**Практическая значимость полученных результатов.** Разработана система интегрированных показателей качества водных и почвенных экосистем, позволяющая государственным и муниципальным служащим, принимающим решения, анализировать результаты деятельности в области охраны окружающей среды. Эти результаты достигаются путем определения ключевых индикаторов устойчивого развития.

Предложены рационализаторские предложения по оптимизации системы экологического мониторинга озера Иссык-Куль, путем дополнения его параметром «хлорофилла-а» и индекса трофического уровня (TLI) (свидетельство на рационализаторское предложение № 991). С учетом требуемых изменений в государственную экологическую программу мониторинга была разработана и внедрена научная разработка «Информационная система экологического мониторинга озера Иссык-Куль» (авторское свидетельство на программу для ЭВМ № 969); акты внедрения от 13.08.2024 г.; 20.08.2024 г.) и способ определения ширины прибрежной буферной зоны озера Иссык-Куль (свидетельство на рационализаторское предложение № 990).

Предложены методы рекультивации нефтезагрязненного грунта полигона опасных отходов ЗАО «Кумтор» Голд Компани. Рекомендовано использовать очищенный грунт при послышной засыпке в качестве изолирующего и рекультивационного слоя полигона рудника (акт выполненных работ от 24.12.2019 г., С-6123 от 13.11.2018 г.). Полученные данные аналитических и экспериментальных исследований, а также разработанные научные материалы и руководства включены в лекционные курсы и методические указания к лабораторным и практическим работам для студентов вузов, обучающихся по специальности «Экологическая инженерия».

**Основные положения диссертации, выносимые на защиту:**

1. Интегральные показатели качества почв в промышленных и техногенных зонах, разработанные с использованием комплексных индексов, коэффициентов и подхода ТРИАД, позволяет дифференцировать уровни деградации и формулировать научно обоснованные рекомендации по реабилитации деградированных территорий;

2. Фитоиндикационные параметры облепихи крушиновидной (*Hippophae rhamnoides* L.) для оценки рекреационной нагрузки на прибрежные экосистемы озера Иссык-Куль. Соотношение мужских и женских особей могут служить

информативными показателями степени нагружаемости прибрежных экосистем;

3. Оценка экологического состояния озера Иссык-Куль по уровню его трофического состояния, ключевым индикатором которого является концентрация хлорофилла-а, позволяет объективно диагностировать степень трофии водоема, обеспечивая достоверную оценку качества водной среды. Степень влияния преобразования прибрежных буферных зон в урбанизированные территории на увеличение трофического состояния озера Иссык-Куль. При 14.46% преобразования прибрежных территорий на расстоянии 100 м и на 35.61% на расстоянии 500 м значение TLI составил 2.14;

4. Интегрированные индексы качества и уязвимости экосистемы озера Иссык-Куль, и разработанные оценочно-прогнозные картографические модели. *Интегральный индекс уязвимости (ICVI)* позволяет учесть пространственную взаимосвязь между параметрами социально-экономического развития территории (SVI) и экологическим потенциалом (CVI).

5. Современная цифровая модель системы экологического мониторинга экосистемы озера Иссык-Куль, интегрирующая биофизические и гидрохимические параметры, позволяющая осуществлять комплексную оценку экологического состояния водоема обеспечивая высокую информативность, автоматизацию процессов анализа и прогнозирования, а также поддержку принятия решений в сфере экологического управления и охраны водных экосистем;

6. Технологические решения для снижения уровня загрязнения и рециклинга нефтезагрязненных грунтов. Метода биостимулирования в условиях холодных климатических зон и высокогорья обеспечивает биоремедиацию нефтепродуктов на 62,78%.

**Личный вклад соискателя.** Диссертация представляет собой оригинальную научную работу, которая обобщает результаты теоретических и экспериментальных исследований, в которых автор принимал непосредственное участие, в качестве исполнителя. Автор играл ключевую роль в выборе направления исследования, формулировании задачи, моделировании изучаемых процессов и осуществлял научное обоснование и интерпретацию полученных результатов. Вклад автора является решающим и включает активное участие на всех этапах исследования, обсуждения результатов, подготовке научных статей и докладов.

**Апробация результатов диссертации.** Материалы диссертационной работы доложены и обсуждены на: Международной научно-практической конференции «Сохранение экосистем Центральной Азии и устойчивое развитие: принципы, вызовы, перспективы», г. Бишкек, 19-20 сентября 2024

года (Бишкек, 2024); 6th International Black Sea Modern Scientific Research Congress, Trabzon, Turkiye, 23-25 August, 2004. (Трабзон, 2024); II международной научно-практической конференции «Современные проблемы биоразнообразия, экологии и биобезопасности Биосферной территории «Ысык-Кёль», г. Бишкек, 16-17 сентября 2021 года (Бишкек, 2021); X международной научно-практической конференции «Экология речных бассейнов», г. Владимир, 21-22 сентября, 2021 года (Владимир, 2021); международной конференции «Экологический мониторинг: методы и подходы» и XX международном симпозиуме «Сложные системы в экстремальных условиях», г. Красноярск, 20-24 сентября, 2021 года (Красноярск, 2021).

**Полнота отражения результатов диссертации в публикациях.** По теме диссертации опубликованы 30 научных работ, из них 12 научных статей в журналах индексируемых в базе данных Web of Science и SCOPUS, 10 в периодических научных изданиях, утвержденных Национальной аттестационной комиссией при Президенте Кыргызской Республики, 7 статей – в изданиях индексируемых в системе РИНЦ, 1 авторское свидетельство, 2 рационализаторских предложения.

**Структура и объем диссертации.** Диссертационная работа изложена на 217 страницах компьютерного текста, состоит из введения, обзора литературы, главы методологии и методов исследования, 3 глав собственных исследований, их обозначений, заключения, практических рекомендаций, 7 приложений. Количество использованных библиографических источников составляет 467 наименований, в том числе 104 на русском и 363 на английском языках. Работа иллюстрирована 38 таблицами, 79 рисунками.

## **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ**

Во введении обоснована актуальность выбранного направления исследования, определены цель и задачи диссертационной работы, а также продемонстрированы научная новизна и практическая значимость полученных результатов. Формулируются основные положения, выносимые на защиту, и приводятся сведения об апробации и публикациях результатов исследований.

**ГЛАВА 1. «ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ»** посвящен анализу литературных данных современного экологического состояния водных и почвенных факторов устойчивого развития Кыргызстана и в целом в мире. В настоящее время ведущие умы мира и международные организации активно ищут стратегии для преодоления экологического кризиса, который приводит к изменению климата, деградации водных и земельных ресурсов, опустыниванию, сокращению биоразнообразия и другим серьезным проблемам. Множество предложенных

критериев, стратегий и подходов, рассмотренные в данном литературном обзоре, должны быть адаптированы к конкретным условиям, что требует поиска решений, соответствующих локальным экологическим, социальным, экономическим особенностям и различиям.

## ГЛАВА 2. «МЕТОДОЛОГИЯ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ»

Работа состоит из теоретической и практической частей.

**Объект исследования.** Почвы загрязненные тяжелыми металлами, нефтепродуктами, экосистема озера Иссык-Куль, рудник Кумтор.

**Предмет исследования.** Водные и почвенные ресурсы, исследуемых природных и техногенных объектов, основанные на экологических индексах и индикаторах.

**Методы исследования.** Интегральные методы оценки состояния водных и почвенных ресурсов, методики биоремедиации загрязненных почв, методы рециркуляции очищенных грунтов и методы рационального использования природных ресурсов.

С целью оценки состояния урбанизированных экосистем на загрязнение тяжелыми металлами, были апробированы методы соотношения различных экологических индексов, на примере Иссык-Кульской области, которое оценивали с помощью *коэффициента обогащения (EF)*, *индекса геоаккумуляции (Igeo)*, *коэффициента загрязнения (CF)*, *степени загрязнения (Cd)*, *индекса потенциального экологического риска (PER)* и *индекса экологического риска (RI)* и *комплексного риска с использованием подхода ТРИАД*. Были проанализированы почвы урбанизированных экосистем Иссык-Кульской области. Образцы почвы были исследованы на содержание тяжелых металлов (свинец, Pb; цинк, Zn; железо, Fe; медь, Cu; кадмий, Cd) с использованием метода атомной эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной плазмой (ICP-OES), в международной аккредитованной лаборатории «Alex Stewart Assay and Environmental Laboratories».

Оценка экологического состояния почв методом ТРИАД, с использованием индексов риска (RI): химический (ChemRI), экотоксикологический (EtoxRI), экологический (EcoRI). Биотестирование проводили в условиях краткосрочных экспериментов с использованием тест-объектов, с использованием фитопланшетов модифицированных лабораторией экотоксикологии почв МГУ им. М. Ломоносова. Биондикационный анализ урбаноземов заключался в исследовании экологических параметров трех основных групп почвообитающих микроорганизмов: – микромицетного, бактериального и актиномицетного комплекса почв: стандартным методом посева почвенной суспензии на среду Чапека, МПА и КАА; синэкологический

анализ проводили по общей численности колониеобразующих единиц (КОЕ), числу видов, доле устойчивых к неблагоприятным факторам темнопигментированных видов грибов.

Определение химического состояния водоёма и гидроэкологической оценки проводилось с использованием четырёх ключевых параметров: общее количество азота (TN), хлорофилл-а (Chl-a), общее количество фосфора (TP) и прозрачность воды (SD). Прозрачность воды оценивалась с использованием диска Секки. Содержание хлорофилла-а (Chl-a) определяли спектрофотометрическим методом после экстракции ацетоном. Статистическая обработка данных проводилась общепринятыми методами вариационной статистики на основе анализа абсолютных и относительных величин.

Рассчитанный в данном исследовании подход к индексу уязвимости побережья, называемый интегрированным индексом уязвимости побережья (ICVI), был выражен следующим уравнением (3):

$$ICVI = \frac{\alpha \times SVI + \beta \times CVI}{\alpha + \beta}; \alpha = \beta = \frac{1}{2} \quad (3)$$

В рамках исследования были проанализированы различные стратегии биоремедиации, включая биостимуляцию, биоаугментацию и комбинированный подход (биостимуляция совместно с биоаугментацией).

В главах 3 - 5 представлены результаты собственных исследований и их обсуждения

**ГЛАВА 3. «Критерии оценки состояния почвенных ресурсов основанные на использовании интегрированных экологических индексов и индикаторов»** посвящена рассмотрению актуальных экологических проблем почвенных экосистем Кыргызской Республики, а также приведены научно обоснованные аргументы в пользу перехода от традиционных методов оценки предельно допустимых концентраций (ПДК) к более комплексным, интегрированным и междисциплинарным подходам, позволяющим более точно определить экологическое состояние почвенных экосистем и установить соответствующие экологические критерии. Глава дополнена экспериментальными данными, подтверждающими необходимость и целесообразность использования экологических индексов и индикаторов для интегрированной оценки состояния как природных, так и техногенных экосистем. Это необходимо для разработки эффективных мер по их защите и восстановлению, включая почвенные экосистемы, как техногенного, так и естественного происхождения.

**3.1 Экологическое состояние почвенных ресурсов Кыргызстана и системы оценивания их экологического состояния.** Одним из приоритетов

страны является обеспечение устойчивого развития страны, в которой экологическая безопасность, как составная часть национальной безопасности страны, выступает основой сохранения природных систем и поддержания соответствующего качества окружающей среды. Однако страна имеет ряд существенных экологических проблем, согласно данным Национального центра по борьбе с опустыниванием из 10,6 млн. га сельскохозяйственных земель более 88% оказались деградированными и подверженными опустыниванию, площади повторного засоления почв увеличились и составляют 75% всех пахотных земель, более 50% пастбищ классифицируются как средние и сильно деградированные. Источниками загрязнения и ухудшения экологического состояния почвенных экосистем страны являются: промышленность, сельское хозяйство и полигоны отходов производств и человеческой деятельности.

**3.2 Экспериментальные исследования применения многокритериальных экологических индексов для комплексной оценки почвенных экосистем севера Кыргызстана.** Были апробированы различные экологические индексы для оценки экологического состояния урбанизированных экосистем Иссык-Кульской области на загрязнение тяжелыми металлами, которое оценивали с помощью индексов коэффициент обогачения (EF), индекс геоаккумуляции (Igeo), коэффициент загрязнения (CF), степень загрязнения (Cd), индекс потенциального экологического риска (PER) и индекс экологического риска (RI) с использованием подхода ТРИАД. Образцы почвы были проанализированы на содержание Pb, Zn, Fe, Cu и Cd. Содержание тяжелых металлов в почвах Иссык-Кульской области, представленное в таблице 3.2.1, показывает, что Zn и Pb были выше во всех исследуемых зонах, в то время как значения Cu и Cd были ниже в западной зоне.

Таблица 3.2.1 - Средние значения содержания тяжелых металлов в почве(мг/кг).

Зоны Иссык-Куль	Содержание тяжелых металлов				
	Pb	Cd	Cu	Zn	Fe
Западная зона	32,0±0,27	0,3 ± 0,08	18,0 ±0,63	60,0 ± 0,89	233,0 ± 7,89
Северная зона	28,5±0,28	0,55±0,03	22,0 ±0,21	61,3±0,46	316,7 ± 5,87
Южная зона	29,4±0,82	0,56±0,01	20,5± 0,68	65,1 ± 0,21	342,5 ± 4,19
Восточная зона	24,6±0,44	0,55±0,01	21,4± 0,82	69,9 ±0,62	308,6 ± 7,87
Фон	21,7±0,06	0,50±0,01	22,7± 0,43	41,3±0,26	380,0 ± 9,87

Примечание:  $\bar{X} \pm SE$

На рисунке 3.2.1 показаны карты пространственного распределения Cd, Cu, Pb и Zn в почве. Красные цвета показывают более высокие концентрации

тяжелых металлов на геохимических картах, в то время как зеленые цвета указывают на низкие концентрации.

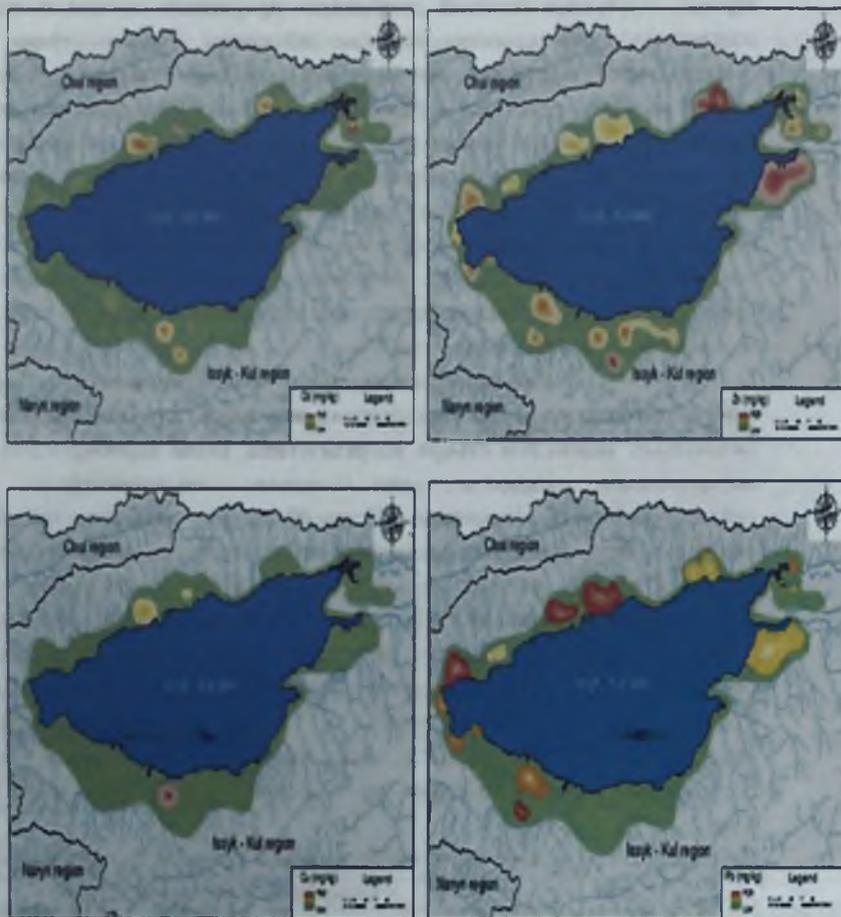


Рисунок 3.2.1 Пространственное распределение тяжелых металлов в почвах Прииссыскуля.

Характер распределения Cd и Cu указывает на низкую пространственную неоднородность. Судя по картам, самые высокие концентрации выбранных тяжелых металлов в образцах почвы были обнаружены вблизи промышленных предприятий деятельности, такой как транспорт и сельское хозяйство.

Значения коэффициента обогащения для исследуемых районов представлены в таблице 3.2.2.

Таблица 3.2.2 - Коэффициент обогащения почвы на исследуемой территории

Зоны Иссык-Куля	Pb	Cd	Cu	Zn
Западная зона	2,41	0,98	1,29	1,14
Северная зона	1,58	1,32	1,17	0,85
Южная зона	1,50	1,24	1,01	0,84
Восточная зона	1,40	1,35	1,17	1,00

Коэффициенты обогащения в западной зоне располагались в следующем порядке: Pb (2.41) > Cu (1.29) > Zn (1.14) > Cd (0.98). Во всех остальных зонах значения коэффициентов обогащения следовали в следующей последовательности: Pb > Cd > Cu > Zn. В западной зоне Pb имел самый высокий коэффициент обогащения, что позволило классифицировать почву как умеренно обогащенную Pb. Исходя из классификации, значения коэффициентов обогащения Cu, Zn и Cd в западной зоне были ниже 2 ( $EF < 2$ ), что свидетельствует о минимальном обогащении. Исходя из коэффициента обогащения, остальные исследованные почвы были минимально обогащены Pb, Cd, Cu и Zn, за исключением северных и южных почв, которые были незагрязнены Zn.

Расчитанные значения  $I_{geo}$  для токсичных металлов в почвах, собранных из четырех зон Иссык-Куля, представлены в таблице 3.2.3. Во всех зонах значения  $I_{geo}$  следовали в следующем порядке: Zn > Pb > Cu > Cd. В целом, Zn, Pb и Cu имели самые высокие значения индекса  $I_{geo}$  во всех зонах исследования. Самое высокое значение индекса геоаккумуляции Pb наблюдается в западной зоне (8.85) и южной зоне (8.73), а Zn - в восточной зоне (10.91) и южной зоне (10.81).

Таблица 3.2.3 - Индексы геоаккумуляции ( $I_{geo}$ ) тяжелых металлов в почве на исследуемой территории

Зоны Иссык-Куля	Pb	Cd	Cu	Zn
Западная зона	8,85	-3,32	8,09	10,69
Северная зона	8,69	-2,45	8,38	10,72
Южная зона	8,73	-2,42	8,28	10,81
Восточная зона	8,48	-2,45	8,34	10,91

На основании индекса геоаккумуляции во всех зонах почва классифицируется как очень загрязненная Zn, Pb и Cu. Отрицательные значения, наблюдаемые для Cd, свидетельствуют о низком уровне загрязнения. Как видно из таблицы 3.2.4 Zn имел высокие значения загрязнения 1.69 в восточной зоне, в то время как в других зонах значения колебались в пределах 1.45-1.58, что также относится к умеренному загрязнению (таблица 3.2.4). Pb,

Zn, Cd во всех зонах классифицируются как умеренно загрязненные, за исключением западной зоны, где почва слабо загрязнена Cd. Cu имел наименьшие значения коэффициента загрязнения во всех зонах 0.79-0.94 и классифицировалась как слабо загрязненные.

Коэффициенты загрязнения в западной зоне в порядке возрастания следовали аналогичной тенденции: Pb > Zn > Cu > Cd, а в других исследованных зонах: Zn > Pb > Cd > Cu. По степени загрязнения почв Иссык-Куль относится к слабозагрязненным тяжелым металлам. Значения степени загрязнения составляют 4.32; 4.87; 4.95 и 4.87 соответственно в западной, северной, южной и восточной зонах.

Таблица 3.2.4 - Коэффициенты загрязнения (Кз) и степень загрязнения (Сз) тяжелыми металлами на исследуемой территории.

Зоны Иссык-Куля	Pb	Cd	Cu	Zn	Cdegree
Западная зона	1,47	0,60	0,79	1,45	4,32
Северная зона	1,31	1,10	0,97	1,48	4,87
Южная зона	1,35	1,12	0,90	1,58	4,95
Восточная зона	1,13	1,10	0,94	1,69	4,87

Данные таблицы 3.2.5, показывают, что в исследуемых зонах значения PLI варьировали в диапазоне 0.25-0.54, что ниже 1 и свидетельствует об отсутствии загрязняющей нагрузки.

Таблица 3.2.5 - Индекс нагрузки загрязнения (PLI) тяжелыми металлами на исследуемой территории.

	Западная зона	Северная зона	Южная зона	Восточная зона
PLI	0,25	0,52	0,54	0,50

Потенциальный экологический риск (PERI) отдельных тяжелых металлов в образцах почвы был оценен и представлен в табл. 3.2.6. Во всех зонах значения потенциального экологического риска варьируют от 30,79 до 46,47 и свидетельствуют о низком уровне риска.

Таблица 3.2.6 - Потенциальный экологический риск (PRI) тяжелых металлов на исследуемой территории.

Зоны Иссык-Куля	Ei				PERI
	Pb	Cd	Cu	Zn	
Западная зона	7,37	18,00	3,96	1,45	30,79
Северная зона	6,57	33,00	4,85	1,48	45,90
Южная зона	6,77	33,60	4,52	1,58	46,47
Восточная зона	5,67	33,00	4,71	1,69	45,07

Экологическая оценка почвы по методу ТРИАД была апробирована в западной зоне Иссык-Кульской области. Этот регион является важным транспортным узлом области и обуславливает высокий риск загрязнения почвы тяжелыми металлами.

При изучении влияния транспортного загрязнения на почвенные микроорганизмы наблюдалось снижение численности и видового разнообразия всех изученных групп микроорганизмов, за исключением грибов, что свидетельствует об их толерантности к данному виду загрязнения.

Численность актиномицетов была незначительной. Наблюдались секции *Cinereus*, *Helvolo Flavus* и *Roseus*. Штаммы микромицетов были идентифицированы как *Aspergillus*, *Fusarium* и *Penicillium*.

Тест-культуры показали высокую чувствительность к тяжелым металлам, и в нашем исследовании они были установлены в следующем порядке: редька посевная (*Raphanus sativus* L.) < клоповник посевной (*Lepidium sativum* L.) < овес обыкновенный (*Avena sativa* L.). Наиболее чувствительными оказались семена *Raphanus sativus* L., проращание которых составило 7%.

Продемонстрирована высокая токсичность, вызывающая проращание семян *Raphanus sativus* L. более чем на 50%, что подтверждает наибольшую информативность биотического контроля токсичности природных сред.

На рисунке 3.2.2 представлены результаты химических, токсикологических и биоиндикационных данных.

Результаты данного исследования показали значительные колебания концентраций тяжелых металлов в пределах исследуемой территории. Концентрации тяжелых металлов в почвах Иссык-Куля располагались в следующем порядке возрастания:  $Zn > Pb > Cu > Cd$ .

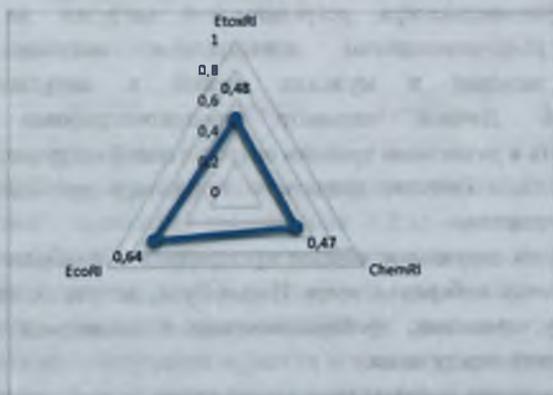


Рисунок 3.2.2 Рассчитанные индексы риска (RI): химический (ChemRI), эко-токсикологический (EtoxRI), экологический (EcoRI)

Такие показатели, как коэффициент обогащения и коэффициент загрязнения, показали, что почвы Иссык-Куля умеренно загрязнены Pb, Zn и Cd; геоаккумуляция выявила экстремальное загрязнение Pb, Zn и Cu. Потенциальный экологический риск оценивается как низкий, в то время как подход ТРИАД характеризует почву как сильно загрязненную и показывает, что использование биотических компонентов при оценке степени загрязнения является информативным.

Результаты данного исследования показывают, что необходимо принять адекватные меры по ограничению и регулированию деятельности человека в районе озера Иссык-Куль, чтобы защитить почву от дальнейшего ухудшения и загрязнения. Важен правильный выбор информативных методов, позволяющих оценить реальное состояние экосистемы. Различные экологические индексы, оценивающие состояние урбанизированных экосистем, показали разную степень влияния. Такие индексы, как коэффициент обогащения, коэффициент загрязнения, геоаккумуляция и потенциальный экологический риск, указывают в основном на загрязнение почв определенными тяжелыми металлами, а метод ТРИАД, оценивающий состояние среды по трем основным показателям (химическим, экотоксикологическим и биоиндикационным), позволяет наиболее достоверно оценить экологическое состояние сложной почвенной экосистемы. Подтверждая, что для комплексной оценки состояния почвенной экосистемы важно учитывать состояние биоты как неотъемлемой части оцениваемой экосистемы.

*Изучение фитоиндикационного подхода к оценке рекреационной нагрузки на прибрежные экосистемы озера Иссык-Куль* показали возможность применения облепихи крушиновидной (*Hippophae rhamnoides* L.) в качестве фитоиндикатора рекреационной нагрузки на прибрежные экосистемы. Информативными показателями оказались изменения соотношения женских и мужских особей в популяции облепихи крушиновидной. Данный параметр продемонстрировал выраженную чувствительность к различным уровням антропогенной нагрузки, что позволяет рассматривать его в качестве надежного индикатора при оценке состояния прибрежных экосистем.

Несмотря на визуальное обилие кустарников в наиболее антропогенно нагруженных зонах побережья озера Иссык-Куль, детальное исследование и сравнение с кустарниками, произрастающими в заповедной зоне, выявили значимые различия между ними.

Между средними показателями длины плода и длин плодоножек связей не выявлено. По средним показателям длины плода площади изучения расположились в следующем порядке: самыми длинными плодами обладали

кустарники в пунктах Бостери и Чолпон-Ата, имеющие 7,8 мм, самый меньший показатель отмечен в пункте Чоң-Сары-Ой - 7,2 мм, а в контрольном варианте – 7,3 мм. Диапазон изменчивости составил – 0,6 мм.

Диаметр плода является одним из важных критериев с экономической точки зрения. Наши исследования показали, что образцы пункта Чолпон-Ата обладали наибольшими диаметрами плода, среднее значение которого составило 6,7 мм. Показатели из всех остальных пунктов оказались в диапазоне 5,1-5,9 мм, при этом диапазон изменчивости составил 1,6 мм (таблица 3.2.14).

В условиях повышенного антропогенного давления на экосистемы заросли облепихи подвергаются механическим повреждениям, что приводит к их угнетению, в особенности женских особей облепихи. Процентное содержание женских особей было низким и варьировала в пределах 20 до 30% в сильно подверженных антропогенному воздействию. А в заповедной зоне (Оттук), процент содержания женских особей составил 52%, что на 4% больше чем мужских особей, а в пункте Булан-Соготту, процентное содержание женских особей был близок к контрольному варианту и составил 45%, этот пункт оценен как менее нагруженный.

Таблица 3.2.14 - Биометрические показатели плодов облепихи крушиновидной (*Hippophae rhamnoides* L.)

№ п/п	Места сбора	Средние значения параметров			
		Длина плодоножки M±m, мм	Длина плода M±m, мм	Диаметр плода M±m, мм	Масса плода M±m, гр
1	Оттук	3,8±0,02	7,3±0,6	5,1±0,4	0,2±0,01
2	Тамчы	3,0±0,03	7,6±0,5	5,4±0,5	0,6±0,04
3	Чоң-Сары-Ой	2,8±0,02	7,2±0,7	5,9±0,4	0,4±0,03
4	Чолпон-Ата	3,2±0,03	7,8±0,7	6,7±0,6	0,2±0,03
5	Бостери	2,5±0,03	7,8±0,6	5,9±0,5	0,2±0,02

Примечание: X ± SE

Соотношение мужских и женских особей (МиЖО) в изучаемых пробных площадях приведены на рисунок 3.2.11 и определяли по шкале В. П. Бессчетнова [9], согласно которому при соотношении МиЖО = 1,0 – степень негативного воздействия отсутствует; при 0,9–0,8 – слабое; при 0,7–0,6 – среднее; при соотношении МиЖО 0,5 и ниже – сильное. Следовательно, процентное содержание мужских и женских особей в прибрежной зоне может служить информативным фитоиндикатором степени антропогенного воздействия на экосистему озера.

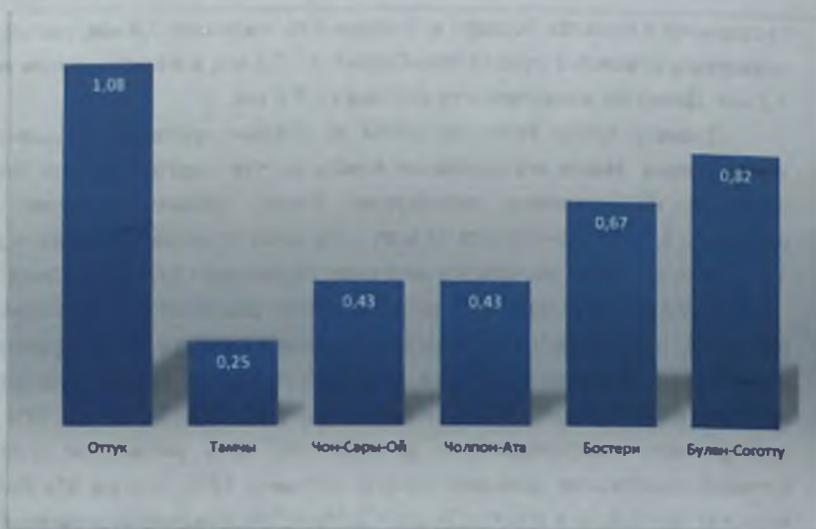


Рисунок 3.2.11 - Изменение соотношения полов *Hippophae rhamnoides* L. под влиянием рекреационной нагрузки (%).

Таким образом, умеренная, дозированная нагрузка, с учетом экологической емкости среды, на экосистему озера ключ к устойчивому и долговременному использованию экосистемных услуг и получения долгосрочной прибыли для местного сообщества, а фитоиндикационные показатели облепихи крушиновидной (*Hippophae rhamnoides* L.) могут служить оперативными показателями степени нагружаемости прибрежных экосистем и успешно использованы при оценке экологического состояния прибрежных зон, а также могут быть использованы при разработке интегрального плана управления. Использование облепихи как биоиндикатора особенно эффективно при комплексной оценке пойменных и прибрежных экосистем, подвергающихся длительной, кумулятивной рекреационной нагрузке. Определение указанных фитоиндикационных показателей информативны, сравнительно малозатратны, могут быть оценены в полевых условиях инспекторами экологических служб.

**ГЛАВА 4. «Критерии оценки состояния водных ресурсов, основанные на использовании экологических индексов и индикаторов»** посвящена рассмотрению актуальных экологических проблем водных экосистем Кыргызской Республики. В главе анализируются данные характеризующие качество вод рек Нарын, Кара-Кече и озера Иссык-Куль и приводятся аргументы о необходимости применения экологических индексов для оценки их качества.

4.1 Экологическое состояние водных экосистем Кыргызстана и системы оценивания их экологического состояния. Исследования оценки качества воды озера Иссык-Куль показали, что измеряемые физико-химические параметры не достаточны для анализа его трофического статуса, и нуждаются в поиске более комплексных подходов его оценки. По официальным данным, основанным на показателях гидрохимического анализа, гидрохимический состав воды озера Иссык-Куль неизменен, за последние 20 лет и соответствует требуемым нормам.

4.2 Анализ экологического состояния озера Иссык-Куль и рек Кыргызстана с помощью экологических индексов. Оценка экологического состояния озера Иссык-Куль по индексу состояния трофического уровня (TLI). Однако, детальные рекогносцировочные обследования проведенные нами показали, что качество воды озера имеет тенденцию к загрязнению. На рисунках 4.2.1, 4.2.2 и 4.2.3 представлены фотоснимки, сделанные летом 2020, 2022 и 2024 годов. Они наглядно демонстрируют негативную динамику состояния побережья, отражающую ухудшение экологической ситуации, что свидетельствует о прогрессирующем антропогенном влиянии и актуализирует задачу совершенствования мониторинга и усиления охранных мероприятий. Были проведены детальные исследования оценки качества воды озера, с использованием параметра "хлорофилла-а". Было установлено, что трофический статус озера в исследованных зонах имеет тенденцию сдвига с олиготрофности в сторону мезотрофности, что подтверждает обоснованность использования индекса TLI как надёжного инструмента для диагностики состояния водных экосистем.

Знание трофического статуса озера имеет принципиальное значение для оценки состояния и функционирования водных экосистем. Его можно рассматривать как ключевой интегральный показатель, отражающий такие критически важные характеристики, как вероятность вредоносного цветения цианобактерий и сине-зеленых водорослей, степень кислородного истощения в придонных слоях и общая продуктивность водоёма.

Детальный анализ увеличение показателей индекса TLI, свидетельствует об изменении ультраолиготрофного статуса и перехода его в мезотрофный статус, причиной которой могут являться повышенное поступление биогенных элементов в озеро. Источниками которых могут быть как рекреационные нагрузки, так и сельскохозяйственная деятельность. Анализ результатов по азоту TLI(TN) показал повышенное его содержание в заливе Балыкчи, фосфору TLI(TP) показал, что наибольший его показатель содержался в образцах проб в с.Чок-Тал. Расчет индекса TLI (Chl-a) показал высокое содержание его в пункте Чолпон-Ата.



Рисунок 4.2.1 - Качество воды озера Иссyk-Куль, 2020г



Рисунок 4.2.2 - Качество воды озера Иссyk-Куль, 2022г.



Рисунок 4.2.3 - Качество воды озера Иссyk-Куль, 2024 г.



Средние значения TLI по параметрам показывают, что самый высокий вклад в общее трофическое состояние дают значения Chl-a, а прозрачность воды (SD) снижает итоговую оценку (рисунок 4.2.4).

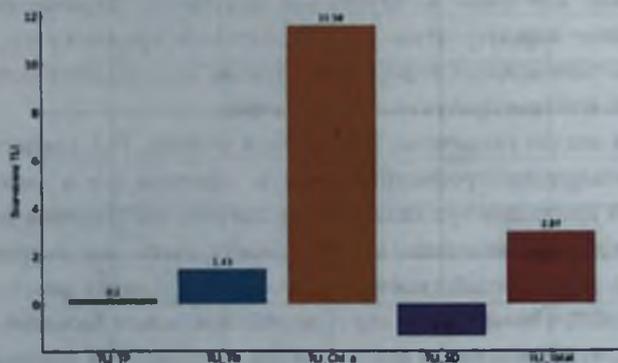


Рисунок 4.2.4 - Трофический индекс (TLI): средние значения по основным параметрам

Для оценки влияния исследуемых параметров друг на друга и на изменение одного из ключевых показателей была построена 3D-визуализация, учитывающая три фактора (TN, TP и Chl-a), приведена на рисунке 4.2.5а и учитывающая 4 фактора (TN, TP, Chl-a и SD), приведена на рисунке 4.2.5б. Обе модели показали зависимость, хлорофилла-а от TN и TP, а также влияния SD.

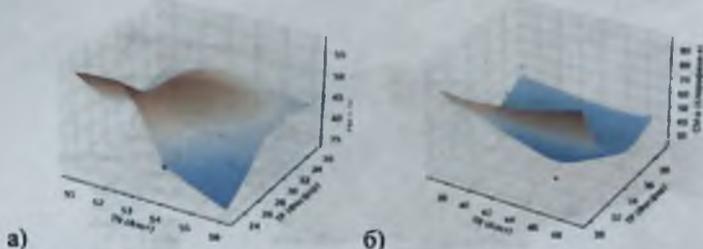


Рисунок 4.2.5 3D модель MLP влияния TN, TP, SD на Chl-a

Примечание: а) модель учитывает три фактора (TN, TP, Chl-a); б) 4 фактора (TN, TP, SD, Chl-a).

Построенная модель показала, что концентрации общего азота (TN) и общего фосфора (TP) оказывают значительное влияние на содержание хлорофилла-а (Chl-a). Установлена прямая зависимость: при повышении уровней TN и TP наблюдается увеличение концентрации Chl-a.

С целью интерполирования пространственного распределения некоторых свойств качества воды озера Иссык-Куль были разработаны три различные модели: Стабильная, Гауссовская и Рационально-квадратичная. Низкие значения коэффициента надежности указывают на то, что выбранная схема отбора проб и расстояния между ними подходят для моделирования пространственной изменчивости свойств воды. В то время как величина показателя надежности объясняет ошибку при отборе и анализе переменных, нулевое значение параметра надежности объясняет отсутствие ошибки измерения и изменчивости на коротких расстояниях. Результаты показали, что все модели являются надежными (таблица 4.2.3).

Таблица 4.2.3- Свойства некоторых Kriging-моделей индекса качества воды

Параметры	Модель	Регресс функция	Nugget Co	Range A	Sill, Co+C	Nugget/Sill,%	ME1	RMSSE2
TN	Stable	$-2.15 * x + 0.96$	0	1	0.06	0.00	0.1	1.01
TP	Gaussian	$-164.59 * x + 0.73$	0	1.07	0	0	0.0002	0.9
Chl-a	Rational Quadratic	$-0.42 * x + 3.02$	0,1	0.48	107.87	0.1	7.82	0.7

Согласно построенным картам пространственных изменений, концентрация нитратов в озере Иссык-Куль варьирует в пределах 0-0,9 мг/л, при этом установлено, что она сосредоточена в восточной части озера, что может быть обусловлено влиянием природно-климатических факторов, а также поступлением промышленных и коммунальных сточных вод (рисунок 4.2.9).

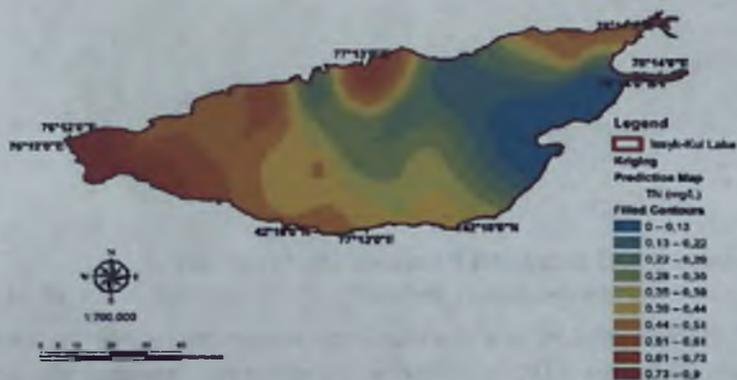


Рисунок 4.2.9 Пространственное распределение концентраций нитратов.

Концентрация фосфора в озере варьировала в пределах 0-0,006 мг/л, фосфор был сконцентрирован в северо-восточной части озера, что коррелирует с основными источниками поступления отходов животноводства (рисунок 4.2.10).



Рисунок 4.2.10 Пространственное распределение концентраций PO<sub>4</sub>

Концентрация хлорофилла-а в озере колебалась в пределах 0-8,7 мг/м<sup>3</sup> и сосредоточена в северо-западной части озера, вероятно, указывает на

повышенную чувствительность данной зоны к антропогенным воздействиям, что связано с её экологической хрупкостью и неспособностью к быстрой восстановительной реакции на внешние нагрузки (рисунок 4.2.11).

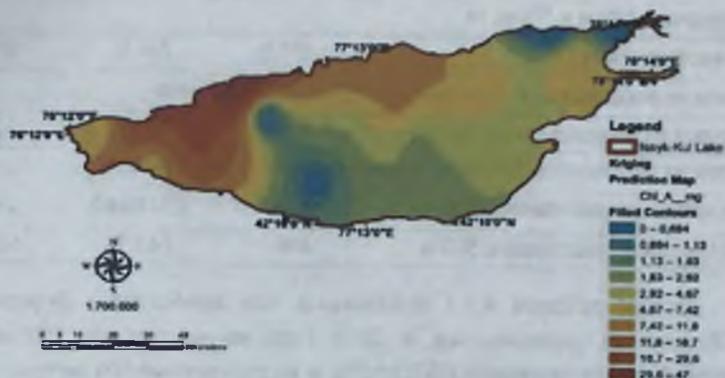


Рисунок 4.2.11 Пространственное распределение концентраций Chl-a.

Таким образом, согласно проведенным исследованиям, трофический уровень озера от ультраолиготрофного постепенно, в наиболее урбанизированных местах, переходит в мезотрофное состояние (таблица 4.2.4).

Таблица 4.2.4 - Трофический уровень озера по индексу TLI: значения показателей за 2022 год

Пункты	Точка отбора	TN мг/ л	TP мг/л	SD м	Chl-a мг/м³	TLI	
Кажы-Сай	9с	0,43	0,001	15	2,3	1,01	олиготроф
Балыкчы	1а	0,94	0,005	8,5	6,4	2,21	мезотроф
Чок-Тал	4а	0,66	0,006	12	8,7	2,14	мезотроф
Чолпон-Ата	5а	0,68	0,002	14	8,9	2,00	мезотроф
Григорьевка	6а	0,69	0,006	13	7,1	1,97	олиготроф
Бостери	7а	0,71	0,003	9,7	6,4	2,06	мезотроф

**4.3 Экологическое состояние прибрежных буферных экосистем озера Иссык-Куль и их роль в устойчивом развитии.** Было проанализировано экологическое состояние прибрежных буферных экосистем озера Иссык-Куль и их роль в устойчивом развитии.

Проведенные исследования, показали, что с 2000 года идет тенденция снижения площади прибрежных буферных земель (таблица 4.3.1).

Таблица 4.3.1 Площадь преобразованных прибрежных буферных зон на расстоянии 100 м и 500м, га

Трансформация ПБЗ	2012г.	2017г.	2021г.
всего на расстоянии 100 метров имеется 2306 га земель			
застройки на расстоянии 100 м	104.52	220.71	329.6
всего на расстоянии 500 метров имеется 8551 га земель			
с/х земли на расстоянии-500 м	2429	2189.65	2116.4
застройки на расстоянии 500 м	446	663.78	910.09

Данные таблицы 4.3.1 показывают, что прибрежные буферные зоны (ПБЗ) заметно уменьшаются, с 2010 года на расстоянии 100 метров от береговой линии застроено ПБЗ 14.5%, а на расстоянии 500 метров застроено всего 35.6% ПБЗ или 64.4% составляют естественные экосистемы. Если учесть, что для сохранения самовосстанавливающей способности рекомендуется сохранить 70% экосистем, то превышение преобразования уже составляет 5.6%.

Согласно анализу, прибрежные буферные зоны были трансформированы для следующих целей: 104.52 в 2012 году, 220.71 в 2017 году и 333.4 га на 100 м площади застройки в 2021 году. Для пашни на 500 метров в 2012 году - 2 429 га, в 2017 году - 2 189.65 га, в 2021 году - 2 135.18 га. В 2012 году - 446, в 2017 году - 663.78, в 2021 году - 910.09 га земли под застройку (жилые дома, гостевые дома, санатории, кафе). Следовательно, прибрежная растительность была вырублена в основном под застройку.

**4.4 Экологические риски преобразования прибрежных экосистем в агроландшафты и последствия для устойчивого развития озера Иссык-Куль.** Из преобразовываемых ландшафтов образцы с абрикосовыми полями имели более близкий к естественным облепиховым зарослям свойства почв, по сравнению с сельскохозяйственными культурами, однако необходимо учитывать, что при выращивании плодовых культур, многократно используются различные гербициды, инсектициды и пестициды, которые могут наносить существенный ущерб экосистеме озера.

**4.5 Определение ширины прибрежной буферной зоны озера Иссык-Куль с использованием метода «соотношения выгоды и затрат».** Нерациональное преобразование прибрежных экосистем озер приводит к целому ряду экологических проблем, в том числе риску потери качества воды, потери биологического разнообразия и рекреационного потенциала. Критически важным инструментом для сохранения прибрежных экосистем

являются прибрежные буферные зоны, так как они не только защищают от антропогенных воздействий, но и играют ключевую роль в поддержании самовосстанавливающей способности экосистемы озера, обеспечивая стабилизацию биологического разнообразия и снижение деградации водных ресурсов. Какова должна быть оптимальная ширина прибрежной буферной зоны? Был использован метод «соотношения выгоды и затрат», в котором оптимальная ширина буферной зоны рассчитывалась на основе экономико-экологических выгод и экономической стоимости инвестиций на восстановление преобразованного ландшафта. Были смоделированы воздействия изменения структуры буферной зоны на качество воды озера с использованием экологически обоснованных сценариев, позволяющих оценить возможные изменения в гидрохимическом составе и экосистемных процессах водоёма.

Согласно статистическим данным на 2012-2022 годы, необходимо вернуть 333.4 га застроенных земель под кустарники или пастбища, чтобы предотвратить усиление процесса эвтрофикации и сохранить устойчивый рекреационный потенциал озера. В наших условиях, на примере озера Иссык-Куль, ширина буферной зоны для экосистем варьировала от 200 м в наименее урбанизированных зонах до 600 м в наиболее урбанизированных. Полученные результаты позволяют сделать вывод, что с увеличением степени трансформации прибрежные территории теряют свою экологическую ценность, и затраты на их восстановление возрастают, стало быть для сохранения экологического баланса потребуется большая ширина прибрежной буферной зоны. Также исследования показали, что трансформация прибрежных буферных зон имеет прямую корреляцию с увеличением в воде хлорофилла-а (таблица 4.5.1).

Таблица 4.5.1 - Зависимость трансформации экосистемы от значения индекса TLI

Годы	Средний TLI	% преобразованных площадей на расстоянии 100м	% преобразованных площадей на расстоянии 500м
2017	1,42	9,57	33,37
2022	2,14	14,46	35,61

Как видно из таблицы 4.5.1 с увеличением процента трансформированных земель растет и индекс трофического уровня воды озера Иссык-Куль, что показывает значимость лимитирования трансформирования прибрежных буферных земель для устойчивого развития и использования экосистемы озера.

Для сохранения природной экосистемы и обеспечения устойчивого развития и получения выгод от экосистемных услуг не нанося ему ущерба необходимо владеть полной информацией о состояниях, возможных последствиях принимаемых действий, для достижения чего ключевым фактором является правильно организованный экологический мониторинг. На основании полученных данных была разработана научная разработка информационной системы экологического мониторинга озера Иссык-Куль (ИСЭМ), позволяющая получать информацию и автоматизированно рассчитывать индекс TLI, ширину прибрежной буферной зоны озера, в зависимости от преобразования прибрежных буферных зон, на базе Инженерного факультета КТУ Манас. Полученные результаты подчёркивают необходимость внесения изменений в национальную программу экологического мониторинга озера Иссык-Куль, включая определение показателя «хлорофилл-а», а также пересмотра стратегии управления прибрежными экосистемами. Это позволит установить неприкасаемые буферные зоны, способствующие сохранению качества воды и обеспечению устойчивости экосистемы озера, поддерживая его природный баланс и саморегуляцию. Предложено внести изменения в национальную программу экологического мониторинга, дополнив его показателем «хлорофилл-а», индексом TLI, организацией наблюдения за трансформирование прибрежной буферной зоны озера, разработаны и внедрены в производство (Департамент биоразнообразия и особо охраняемых природных территорий при Министерстве природных ресурсов экологии и технического надзора КР, Дирекция Биосферной территории «Иссык-Кель») практические рекомендации «Оптимизация системы экологического мониторинга Иссык-Куль» и методика отбора проб и определения хлорофилла-а. Разработанные научные разработки позволят не только собирать аналитические данные, но и позволят анализировать и принимать соответствующие меры предотвращающие ухудшение экологического состояния экосистемы озера.

**4.6 Интегрированный индекс уязвимости как основа устойчивого развития прибрежной зоны: анализ на примере озера Иссык-Куль.** С целью определения и оценки уязвимости прибрежных экосистем, на примере прибрежной экосистемы озера Иссык-Куль был определен интегрированный индекс прибрежной уязвимости (ICVI), в расчете которого был использован индекс прибрежной уязвимости (CVI) и социально-экономический индекс уязвимости (SVI). Влияние человеческой деятельности на прибрежную территорию озера Иссык-Куль был оценен количественно путем расчета социально-экономического индекса (SVI) изучаемого района. SVI иллюстрирует степень угрозы социально-экономических факторов для

прибрежных территорий. Данный анализ проводился путем сбора материала, статистических данных и подсчета индекса SVI для каждого административно-территориального района Иссык-Кульской области. Согласно проведенным расчётам, степень уязвимости экосистемы озера Иссык-Куль, обусловленная количеством рекреационных объектов, оценивается как высокая для всех районов. Аналогично, степень уязвимости, связанная с землепользованием, также имеет высокие значения по всей территории. Интенсивное земледелие в прибрежной зоне приводит к существенной трансформации природного ландшафта, что способствует деградации экосистемы и нарушению баланса между природными и антропогенными факторами.

Антропогенное воздействие - урбанизация территории, развитие промышленности, транспорта, выпас скота, орошение земель являются негативными факторами, угрожающими экологической безопасности Иссык-Кульской области. Загрязненные участки, связанные с результатами деятельности горнодобывающей промышленности, представляют высокий риск с точки зрения экологических последствий.

По социально-экономической уязвимости значения SVI варьировались следующим образом: Иссык-Куль (237,2) > Тон (158,1) > Ак-Суу (125,0) > Тюп (42,43) > Джеты-Огуз (24,49). Тюпский и Джеты-Огузский районы имеют более слабую степень уязвимости из-за низкой плотности населения, отсутствия современной инфраструктуры и промышленности (рисунок 4.6.1).



Рисунок 4.6.1 Пространственная изменчивость индекса социально-экономической уязвимости (SVI) побережья озера Иссык-Куль.

При попарном сравнении социально-экономических переменных приоритетными параметрами являются плотность населения, прибрежное

землепользование, а также число рекреационных и промышленных объектов. Однако, несмотря на статус особо охраняемых природных территорий вдоль побережья озера Иссык-Куль, существуют значительные проблемы в их управлении, что не позволяет полностью обеспечить эффективную охрану ООПТ и сохранить экологическую устойчивость региона.

Степень защищённости подземных вод представляет собой одну из критических уязвимостей экосистемы озера, поскольку нарушение естественной изоляции этих водоносных горизонтов может привести к долговременным изменениям гидрологического баланса и качества водных ресурсов. Определение степени защищённости подземных вод Прииссыккулья, было выполнено в соответствии с методикой В. М. Гольдберга, внесённой модификациями, предложенными К. А. Кожобаевым. Для оценки использовались баллы, которые определялись на основе таких параметров, как толщина слабопроницаемых отложений, глубина уровня подземных вод, литология и фильтрационные характеристики пород, применяя уравнение, предложенное К.А. Кожобаевым, по которым Г. Т. Молдогазиевой была составлена карта «Степень защищённости подземных вод основных эксплуатируемых водоносных горизонтов», с использованием программы MapInfo (рисунок 4.6.2).



Рисунок 4.6.2 – Карта-схема степени защищённости подземных вод основных эксплуатируемых водоносных горизонтов Прииссыккулья.

Влияние береговых факторов на побережье озера Иссык-Куль (CVI), был оценен с учетом трех переменных (тип береговой линии, реки и степень защиты грунтовых вод), влияющих на уязвимость прибрежных районов. При оценке уязвимости побережья озера значения CVI варьируются следующим образом:

Иссык-Куль (15,49) > Тон (15,49) > Джеты-Огуз (8,66) > Тюп (7,75) > Ак-Суу (5,0) (рисунок 4.6.3).



Рисунок 4.6.3 Пространственная изменчивость индекса уязвимости побережья (CVI) озера Иссык-Куль

Прибрежные зоны Иссык-Кульского и Тонского районов характеризуются высоким уровнем уязвимости, что связано с большим числом туристических объектов, размещённых в непосредственной близости к береговой линии, за пределами установленных охранных границ.

Определив значения двух предыдущих индексов SVI и CVI был рассчитан интегрированный индекс уязвимости побережья озера Иссык-Куль.

Как видно из рисунка 4.6.4, соотношение данных, полученных в результате расчета индекса уязвимости побережья, социально-экономического индекса уязвимости и интегрального индекса уязвимости побережья, может быть использовано в качестве интегральных показателей устойчивого развития прибрежных территорий и как система индикаторов антропогенной трансформации территорий для определения приоритетности мероприятий по устойчивому развитию прибрежных территорий. Джеты-Огузский район (16,12) в категории низкого риска. Ак-Суу (65,0) и Тюп (25,55) характеризуются умеренной степенью уязвимости. Тонский район (86,80) относится к категории высокого риска. Наконец, Иссык-Кульский район (126,33) представляет собой наиболее уязвимый прибрежный участок. Интегрированный индекс уязвимости прибрежной зоны (ICVI), рассчитанный для каждой зоны, показывает, что уязвимость различных участков зависит как от физических, так и от социально-экономических факторов.



Рисунок 4.6.4 Пространственная изменчивость интегрированного индекса уязвимости побережья (ICVI) Иссык-Кульской береговой линии

Следовательно, оценка уязвимости прибрежной зоны озера Иссык-Куль с использованием интегрированного индекса уязвимости, который учитывает как физические, так и социально-экономические факторы, позволяет детально охарактеризовать экологическое состояние региона. Интегральный индекс уязвимости (ICVI) позволяет получить наиболее полную и объективную оценку уязвимости прибрежных зон. В этой связи одной из приоритетных задач становится обеспечение сбалансированного взаимодействия природных и социально-экономических систем, что является ключевым условием для достижения устойчивого развития экосистемы озера.

Таким образом, полученные результаты подчёркивают необходимость пересмотра национальной программы экологического мониторинга озера Иссык-Куль с включением показателя «хлорофилл-а» как ключевого индикатора трофического состояния. Также обосновано изменение подходов к управлению прибрежными экосистемами, включая установление неприкосаемых буферных зон, что позволит сохранить качество воды, обеспечить экологическое равновесие и способствовать устойчивому развитию всей экосистемы озера. Предложено внести изменения в национальную программу экологического мониторинга, дополнив его показателем «хлорофилл-а», индексом TLI, организацией наблюдения за трансформирование прибрежной буферной зоны озера; разработаны и внедрены в производство (Департамент биоразнообразия и особо охраняемых природных территорий при Министерстве природных ресурсов экологии и

технического надзора КР, Дирекция Биосферной территории «Ысык-Кель») практические рекомендации «Оптимизация системы экологического мониторинга озера Иссык-Куль» и методика отбора проб и определения «хлорофилла-а».

В ГЛАВЕ 5. «Экологически устойчивые подходы к использованию природных ресурсов и рециклингу отходов в регионах, подверженных техногенному воздействию» приведены методы, подходы и примеры положительных практик рационального использования природных ресурсов в регионах подверженных техногенному воздействию. Главной задачей при организации деятельности промышленных объектов является обеспечение максимальной циркулярности использования как природных ресурсов, так и отходов, возникающих в процессе их работы.

5.1 Экологически безопасные методы восстановления загрязненных нефтепродуктами грунтов. Проведенные исследования и полученные результаты показали, что грунт загрязненных нефтепродуктами после биоремедиационных работ можно использовать в качестве покровного материала для полигона, что позволит не только сократить объем отходов на полигоне, но и сэкономить чистый грунт, используемый для этих целей.

Представлены методы биоремедиации для восстановления почв загрязненных нефтепродуктами, применимых в условиях вечной мерзлоты рудника Кумтор. Результаты физико-химических характеристик почвенного образца до и после обработки представлены в таблице 5.1.1.

Таблица 5.1.1 - Физико-химические характеристики исследуемой пробы почвы

	pH	Общий азот (%)	Подвиж. форма фосфора	Обмен. калий	Орг.углерод почвы (%)
			(мг/кг)		
Контроль	8,05	0,130	6,0	88,0	2,86
BS	7,5	–	25,6	376,0	6,55
BA	6,5	–	90,0	300,0	6,81
BS + BA	6,0	–	47,2	352,0	7,17

Исходное содержание подвижного фосфора составляло 6 мг/кг. После рекультивации его содержание увеличилось во всех трех вариантах обработки, причем значительное увеличение ( $P < 0,05$ ) наблюдалось при биоаугментации до 90 мг/кг. Причина такого увеличения объясняется активностью растворяющих фосфаты бактерий, которые должны были выделять

органические кислоты и ферменты фосфатазы, усиливающие растворение нерастворимых соединений фосфора. Содержание обменного калия до начала эксперимента составляло 88 мг/кг, а после биологической обработки оно увеличилось во всех вариантах в среднем на 300 мг/кг. Методы биоремедиации также способствовали увеличению содержания органического углерода в почве, что отражено в таблице 5.1.1. После 90 дней полевых экспериментов исходное содержание их снизилось до 980 мг/кг при обработке с вариантом биостимулирования. Эффект добавления предварительно отобранного консорциума бактерий способствовал деградации нефтепродуктов до 1 300 мг/кг от исходных 2 633 мг/кг. Снижение содержания нефтепродуктов после 90 дней экспериментов составило до 1 340 мг/кг от исходных 2 633 мг/кг при обработке биостимуляция + биоаугментация.

При использовании только BS (биостимуляция) и BA (биоаугментация) через 90 дней процент деградации загрязняющих веществ достиг 62,78% и 50,63%, соответственно (рисунок 5.1.1). При использовании биостимуляции + биоаугментации эффективность разложения составила 49,11 %. Это связано с высокогорными климатическими условиями, т.е. инокулянты, внесенные в новую среду, не смогли быстро адаптироваться и размножиться в сложных климатических условиях.

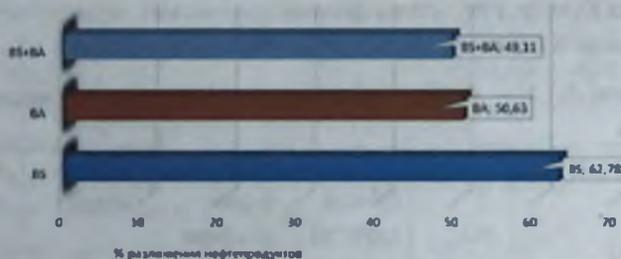


Рисунок 5.1.1 – Степень разложения нефтепродуктов спустя 90 суток опыта, %. BS - биостимуляция, BA – биоаугментация.

На начальном этапе эксперимента была исследована динамика изменения общего количества культивируемых бактерий в почве при различных вариантах биоремедиации в течение 30 суток. В контрольной почве исходная численность бактерий составляла  $6,4 \times 10^6$  КОЕ/г. При биостимуляции наблюдалось значительное увеличение микробной численности: до  $19 \times 10^6$  КОЕ/г на 14-й день и до  $54 \times 10^6$  КОЕ/г на 30-й день. В варианте биоаугментации, несмотря на внесение микробного консорциума, рост общей численности был менее

выражен и составил  $26 \times 10^6$  КОЕ/г к 30-му дню. Однако в варианте комбинированной обработки (биостимуляция + биоаугментация) наблюдалось снижение количества культивируемых бактерий по сравнению с исходным уровнем, до  $2,9 \times 10^6$  КОЕ/г на 30-й день. Это может свидетельствовать о возможном ингибирующем эффекте, вызванном конкуренцией между внесёнными и аборигенными микроорганизмами, либо о неблагоприятных физико-химических условиях, возникших при комбинированном воздействии (рисунок 5.1.2).

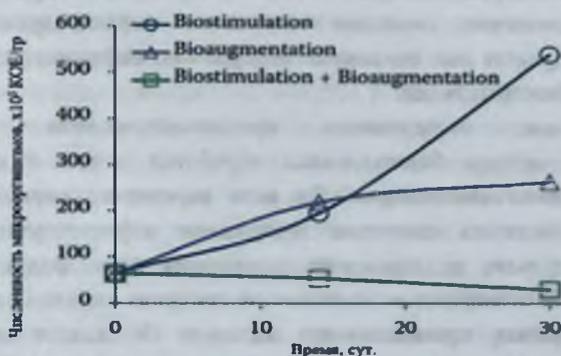


Рисунок 5.1.2 - Динамика численности бактерий в нефтезагрязнённой почве в процессе биоремедиации.

Метод биостимуляции или внесение минеральных компонентов в загрязненный грунт, для стимулирования автохтонной микрофлоры ускорила процесс разложения углеводов: содержание ТРН в почве снизилось на 62,78 % за 90 дней, а общее количество бактерий увеличилось в 8,5 раза. Биоаугментация (добавление предварительно отобранного консорциума бактерий) снизила содержание нефтепродуктов в почве на 50,63 % за 90 дней и вызвала увеличение общего количества бактерий в 4,1 раза. Результаты метода BS + BA оказались менее эффективными по сравнению с биостимуляцией. При обработке BS + BA процент деградации нефтепродуктов составил 49,11% за 90 дней полевых экспериментов. Результаты показали, что биодеградация была ниже при обработке BS + BA по сравнению с биостимуляцией или биоаугментацией в отдельности. Общее количество бактерий при биостимуляции и биоаугментации увеличилось, а при комбинированном методе, напротив, уменьшилось. При использовании комбинированных методов акклиматизация инокулята могла не произойти.

Таким образом, поскольку известно, что и биостимуляция, и биоаугментация повышают эффективность процессов очистки почвы от

нефтепродуктов, выбор подходящего метода зависит от условий окружающей среды. Принимая во внимание дорогостоящие методы обогащения нефтезагрязнённых грунтов питательными веществами и их инокуляции специализированными микроорганизмами, мы считаем, что использование биостимуляции в таких сложных климатических условиях является наиболее целесообразным.

Проведенные исследования продемонстрировали возможность использования методов биологической обработки почвы в климатически холодных условиях высокогорья. Во всех вариантах биоремедиационных обработок наблюдалось снижение содержания нефтепродуктов в почве. Наилучший результат по снижению содержания нефтепродуктов в почве показал метод биостимуляции.

Проведенные исследования продемонстрировали возможность использования методов биологической обработки почвы в климатически холодных условиях высокогорья. Во всех вариантах биоремедиационных обработок наблюдалось снижение содержания нефтепродуктов в почве. Наилучший результат по снижению содержания нефтепродуктов в почве показал метод биостимуляции. Очищенный материал может быть отнесён к категории инертных промышленных отходов IV класса опасности, в соответствии с Классификацией отходов по степени опасности для окружающей среды, утверждённой Постановлением Правительства Кыргызской Республики № 609 от 13 ноября 2015 года. С площадки рекультивации данный материал может быть использован при послойной засыпке в качестве изолирующего и рекультивационного слоя на полигоне рудника, что способствует минимизации негативного воздействия загрязняющих веществ и улучшению экологического состояния рекультивируемой территории.

**5.2 Метод фитотестирования для оценки снижения фитотоксичности грунтов, загрязнённых нефтепродуктами.** Использование метода фитотестирования на завершающем этапе очистки грунтов загрязнённых нефтепродуктами в условиях высокогорья на высоте более 3500 м.н.у.м. актуально как с экологической, так и с экономической точек зрения. Установлено в целом фитотоксическое действие загрязнения почв нефтепродуктами на рост и произрастание растений. Однако, на 20-е сутки произрастания отмечался стимулирующий эффект загрязнения почв нефтепродуктами на рост корня и стебля растений, но на 40-е сутки оно все же оказывало угнетающее действие, в то время как фоновые образцы продолжали расти.

Несмотря на выраженное фитотоксическое действие токсиканта, высокогорное растение овсяница Крылова (*Festuca kryloviana*) и культура используемая для подсева при рекультивации почв плевел многолетний (*Lolium perenne*) проявляли способность произрастать на загрязненном нефтепродуктами грунте, что важно для улучшения газовой воздушного режима нефтезагрязненного грунта и улучшения его самоочищающей способности. Таким образом, метод фитотестирования с использованием плевела многолетнего (*Lolium perenne*) и типичного представителя высокогорья овсяницы Крылова (*Festuca kryloviana*), проявивших устойчивость к произрастанию при определенном уровне загрязнения нефтепродуктами могут быть использованы для реабилитации грунтов загрязненных нефтепродуктами на завершающем этапе их очистки и требует продолжения исследований по изучению изменения физиологических свойств этих растений.

**5.3 Метод фитотестирования для оценки снижения фитотоксичности слабозасоленных почв при добавлении компоста.** Организация компостирования твердых бытовых отходов также способствует уменьшению объема полигона и позволяет получить качественный мелиорант для засоленных почв. Выявлено оптимальное воздействие при добавлении 20% водного экстракта компоста, которое было выражено в увеличении длины корня и стебля растений. Использование же сухого компоста в качестве мелиоранта слабозасоленных почв не дали положительных результатов. Таким образом, организовав рециклинг твердых бытовых отходов можно добиться снижения количества органических отходов попадаемых в мусорный полигон, а полученный продукт в виде компоста может быть применен для мелиорации слабозасоленных почв.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Установлена необходимость смены парадигмы ПДК и дополнение системы экологического мониторинга водных и почвенных экосистем более информативными, интегрированными, комплексными методами и индикаторами. Используемые, в данном исследовании такие индексы как: коэффициент обогащения (EF), индекс геоаккумуляции (Igeo), коэффициент загрязнения (CF), степень загрязнения (Cd), индекс потенциального экологического риска (PER) и индекс экологического риска (RI), позволяют определить уровень загрязнения почв тяжелыми металлами, и определяют стратегию устойчивого развития и охраны окружающей среды.

2. Установлено, что соотношение мужских и женских особей облепихи крушиновидной (*Hippophae rhamnoides* L.), может использоваться в качестве

фитоиндикационного признака при оценке степени рекреационной нагрузки на прибрежные экосистемы.

3. Установлена необходимость изменения в национальную программу экологического мониторинга озера Иссык-Куль, включая в ее состав определение показателя «хлорофилл-а» и индекса TLI, позволяющие объективно диагностировать степень трофии водоема и, тем самым, обеспечить достоверную оценку качества водной среды и эффективности природоохранных мероприятий.

4. Выявлена и обоснована взаимосвязь между степенью урбанизационной трансформации прибрежных буферных зон и интенсификацией трофического состояния водоемов, с акцентом на нарушение фильтрационной способности ландшафта как одного из ключевых факторов прогрессирующей эвтрофикации.

5. Созданы интегрированные индексы качества и уязвимости (ICVI) экосистемы озера Иссык-Куль, и разработаны оценочно-прогнозные картографические модели. Установлена значимость проведения оценки уязвимости прибрежных экосистем с учетом специфических природно-климатических и социально-экономических условий целевой территории.

6. Разработана и внедрена современная цифровая модель системы экологического мониторинга экосистемы озера Иссык-Куль, включающая биофизические и гидрохимические параметры, позволяющая осуществлять комплексную оценку экологического состояния водоема обеспечивая высокую информативность, автоматизацию процессов анализа и прогнозирования, а также поддержку принятия решений в сфере экологического управления и охраны водных экосистем;

7. Предложен метод биоремедиации почв, загрязнённых нефтепродуктами, с учётом специфики высокогорных условий и холодного климата рудника Кумтор. Исследования показали, что использование метода биостимулирования обеспечило ускорение процесса разложения углеводов на 62,78%, что подтвердило высокую эффективность и целесообразность данного подхода.

## ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

1. Государственным органам в сфере охраны окружающей среды для оценки загрязнения почв тяжелыми металлами рекомендуется использовать коэффициент обогащения (EF), индекс геоаккумуляции (Igeo), коэффициент загрязнения (CF), степень загрязнения (Cd), индекс потенциального экологического риска (PER) и индекс экологического риска (RI).

2. Службам экологического и технического надзора при проведении экологического мониторинга в прибрежных зонах с высоким уровнем рекреационной нагрузки рекомендуется учитывать изменения соотношения

мужских и женских особей облепихи крушиновидной (*Hippophae rhamnoides* L.).

3. Рекомендуется внести изменения в национальную систему экологического мониторинга озера Иссык-Куль, включением в его программу параметра «хлорофилл-а» и TLI индекса (акты внедрения от 13.08.2024 г.; 20.08.2024г.).

4. Для комплексной оценки влияния как социально-экономического развития территории, так и экологического потенциала экосистемы, рекомендуется государственным органам в сфере охраны окружающей среды использовать интегральный индекс уязвимости (ICVI), что является ключевым для достижения долгосрочного устойчивого развития.

5. Разработаны рекомендации и руководство по рекультивации нефтезагрязненного грунта полигона опасных отходов ЗАО «Кумтор» Голд Компани. Рекомендуется использовать очищенный грунт при послойной засыпке в качестве изолирующего и рекультивационного слоя полигона рудника (акт выполненных работ от 24.12.2019 г., С-6123 от 13.11.2018 г.).

## СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ

1. Totubaeva, N. E. An integrated coastal vulnerability index for sustainable development of coastal ecosystems: a case study of Issyk-Kul lake [Text] / N. Totubaeva, Z. Tokpaeva, J. Izakov, R. Abdykadyrova, // Scientia Iranica. – Tehran 2024. – Vol. 31; Same: (online publication). - [Electronic resource]. - Available at: [https://scientiainanica.sharif.edu/article\\_23698.html](https://scientiainanica.sharif.edu/article_23698.html)

2. Bioremediation approaches for oil contaminated soils in extremely high-mountainous conditions [Text] / N. Totubaeva, Z. Tokpaeva, J. Izakov, M. Moldobaev, // Plant, Soil and Environment – Prague, 2023. – V. 69, № 4. – P. 188-193; Same: [Electronic resource]. – Available at: <https://pse.agriculturejournals.cz/pdfs/pse/2023/04/06.pdf>

3. Totubaeva, N. E. Comparison of the Machigin and CAL Methods for Extraction of Plant Available P in Soils [Text] / U. Buczko, N. E. Totubaeva, R. O. Kuchenbuch, // Communications in Soil Science and Plant Analysis. – Philadelphia, 2024. – V. 55, № 15. – P.2217-2231; Same: [Electronic resource]. - Available at: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/00103624.2024.2345149>

4. Ecological Assessment of Technogenically Disturbed Soils of the Mountain Ecosystems of Kyrgyz Republic based on the TRIAD method [Text] / N. Totubaeva, Z. Tokpaeva, K. Kojobaev, A. Usabaliyeva, V. Terekhova // Polish Journal of Environmental Studies. – Warszawa, 2022. – № 31 (3). – P. 2256-2272; Same:

[Electronic resource]. – Available at: <https://www.pjoes.com/pdf-143509-74305?filename=Ecological%20Assessment%20of.pdf>

5. Comparison of Various Ecological Indexes for Environmental Assessment of Vulnerable Mountain Ecosystems [Text] / N. Totubaeva, Z. Tokpaeva, K. Kojobaev, G. Kurmanbekova // Polish Journal of Environmental Studies. – Warszawa, 2020. – № 29 (4). – P. 2879-2887; Same: [Electronic resource]. – Available at: <https://www.pjoes.com/A-Comparison-of-Various-Ecological-Indexes-nfor-Environmental-Assessment-of-Vulnerable.109721.0.2.html>.

6. Microbiological Diversity and Biotechnological Potential of the Soil Ecosystem of the High Mountainous Landfill [Text] / N. Totubaeva, Z. Tokpaeva, A. Akjigit uulu, K. Kojobaev // Polish Journal of Environmental Studies. – Warszawa, 2019. – № 28 (6). – P. 4429-4435; Same: [Electronic resource]. – Available at: <https://www.pjoes.com/pdf-99904-42208?filename=Microbiological%20Diversity.pdf>

7. Totubaeva, N. E. Dynamics of microbiological diversity of soils in the Chu valley with changes in the type of pasture use [Text] / N. Totubaeva, K. Shalpykov // Arid Ecosystems. – M., 2022. – № 2. – P. 187-192; Same: [Electronic resource]. – Available at: <https://link.springer.com/article/10.1134/S2079096122020135>

8. Totubaeva, N. E. Potential of Sea Buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) Thickets in Preserving Endangered Ecosystems in Kyrgyz Republic [Text] / N. Totubaeva, A. Usubalieva, R. Abdykadyrova // Grassroots Journal of Natural Resources. – Budapest, 2024. – V. 7, № 2. – P. 96-118; Same: [Electronic resource]. – Available at: <https://grassrootsjournals.org/gjnr/0702m00400.html>.

9. Ecological aspects in the use of soil enzymes as indicators of anthropogenic soil pollution [Text] / N. Totubaeva, A. Batykova, T. Karches, A. Osmonaliev, V. Sultanalieva // Scientific Horizons. – Ukraine, 2023. – № 26. – P. 88-98; Same: [Electronic resource]. – Available at: [https://sciencehorizon.com.ua/web/uploads/pdf/Scientific%20Horizons\\_2023\\_Vol.%2026.%20No.12-88-98.pdf](https://sciencehorizon.com.ua/web/uploads/pdf/Scientific%20Horizons_2023_Vol.%2026.%20No.12-88-98.pdf)

10. Влияние разработки Кара-Кечинского бурогольного месторождения на состав и свойства вод реки Кара-Кече [Текст] / К. Кожобаев, Н. Э. Тотубаева, Н. Шайкиева, С. Оторова // Горный журнал. – М., 2022. – № 12. – P. 68-72; То же: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=50378529>

11. Геоэкологические проблемы, связанные с деятельностью горнодобывающих предприятий Кыргызской Республики [Текст] / К. Кожобаев, Г. Молдогазиева, Н. Тотубаева, С. Оторова // Горный журнал. – М., 2016. – № 8. – С. 32-37. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=26469058>

12. Totubaeva, N. E. Challenges of Transforming Coastal Buffer Zones into Urban Systems and their Sustainable Development Management: Case of Lake Issyk-

Kul [Text] / A. Abduralieva, N. E. Totubaeva // Grassroots Journal of Natural Resources. – 2024. – V. 7, № 2. – P. 160-178; Same: [Electronic resource]. – Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=68999076>

13. Тотубаева, Н. Э. Влияние антропогенных факторов побережья озера Иссык-Куль на состояние облепихи крушиновидной (*Hippophae rhamnoides*) [Текст] / Н. Э. Тотубаева, Э. М. Эсиркепова, К. Кожобаев // Успехи современного естествознания. – Пенза, 2021. – № 5. – С. 110-116; То же: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=46121934>

14. Тотубаева, Н. Э. Водный режим зарослей облепихи крушиновидной (*Hippophae rhamnoides*) побережья озера Иссык-Куль [Text] / Н. Э. Тотубаева, С. Дуйшебекова, К. Кожобаев // Успехи современного естествознания. – Пенза, 2021. – № 4. – P. 77-83; То же: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=45705114>

15. Тотубаева, Н. Э. Анализ изменения земельного фонда Чуйской области с использованием ГИС-технологий [Текст] / Н. Тотубаева, А. Максатбекова // Успехи современного естествознания. – Пенза, 2022. – № 6. – С. 96-102; То же: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=48846661>

16. Влияние города Нарын на некоторые показатели вод реки Нарын [Текст] / С. Оторова, Н. Тотубаева, Б. Асанов, К. Кожобаев, // Экология урбанизированных территорий. – М., 2021. – № 2. – С. 33-39; То же: [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=46459865>

17. Тотубаева, Н. Э. Возможности использования высокогорных растений для фиторемедиации нефтезагрязненных грунтов [Текст] / Н. Тотубаева, М. Жумабаева, К. Кожобаев // Успехи современного естествознания. – Пенза, 2020. – № 5. (19). – С. 96-100; То же: [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=42958654>

18. Фитотестирование нефтезагрязненных почв с помощью фитотолерантных растений [Текст] / К. Кожобаев, Ж. Токпаева, Г. Эсенжанова, Н. Тотубаева // Проблемы региональной экологии. – М., 2019. – № 2. – С. 20-25; То же: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=37825190>

19. Изменения некоторых показателей почв и грунтов города Балыкчы, загрязненных нефтепродуктами после ремедиации [Текст] / Н. Э. Тотубаева, Ж. Токпаева, Г. Талайбекова, К. Кожобаев // Проблемы региональной экологии. – М., 2019. – № 2. – С. 38-42; То же: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=37825190>

20. Тотубаева, Н. Э. Оценка экологического состояния воды озера Иссык-Куль по индексу трофического состояния (TSI) [Текст] / Н. Тотубаева, // Известия Национальной академии наук Кыргызской Республики. – 2023. – № 7.

– С. 185-194; То же: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=57837339>

21. Тотубаева, Н. Э. Фитотестирование почв, загрязненных нефтепродуктами, в условиях длительного загрязнения: на примере города Балыкчы [Текст] / Н. Тотубаева // Известия Национальной академии наук Кыргызской Республики. – 2023. – № 7. – С. 152-156; То же: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=57837329>

22. Тотубаева, Н. Э. Комплексное использование прибрежных экосистем озера Иссык-Куль – основа устойчивого развития [Текст] / Н. Тотубаева // Исследование живой природы Кыргызстана. – 2021. – № 1. – С. 72-76; То же: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=47311235>

23. Тотубаева, Н. Э. Подбор оптимальной питательной среды для культивирования углеводородокисляющих бактерий [Текст] / Н. Э. Тотубаева, Ж. Токпаева // Наука, новые технологии и инновации Кыргызстана. – 2019. – № 12. – С. 123-125; То же: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=43930789>

24. Тотубаева, Н. Э. Оценка возможности переработки твердых бытовых отходов с получением биокомпоста [Текст] / Н. Э. Тотубаева, З. Маймеков // Наука, новые технологии и инновации Кыргызстана. – 2019. – № 11. – С. 55-61; То же: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=42637978>

25. О некоторых физико-химических показателях грунтовых вод села Ат-Башы [Текст] / С. Оторова, Н. Тотубаева, Г. Молдогазиева, А. Касиев // Наука, новые технологии и инновации Кыргызстана. – 2019. – № 4. – С. 223-227; [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=39842318>

26. Тотубаева, Н. Э. Микробиологическое разнообразие почвы полигона опасных отходов рудника Кумтор [Текст] / А. Аджигит уулу, Н. Э. Тотубаева // Наука, новые технологии и инновации Кыргызстана. – 2018. – № 1. – С. 31-34; То же: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=35020941>

27. Тотубаева, Н. Э. Анализ состояния озера Иссык-Куль по гидрохимическим показателям [Текст] / Н. Тотубаева, Г. Молдогазиева, К. Кожобаев // Наука и новые технологии и инновации Кыргызстана. – 2017. – № 3. – С. 108-112; [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=29298620>

28. Тотубаева, Н. Э. Экогеохимический мониторинг вод озера Иссык-Куль за 2016-2018 гг. [Текст] / Н. Тотубаева, К. Кожобаев // Известия Национальной академии наук Кыргызской Республики. – 2024. – № 5. – С. 48-58; То же:

[Электронный ресурс]. – Режим доступа:  
<https://drive.google.com/file/d/1fLThXUtz9dX5lICJ2RfF4-gsUpi9BodI/view>

29. Totubaeva, N. E. Some indicators of the ecological state of a deep-water lake intensively used for recreational purposes – a case study of Issyk-Kul Lake, Kyrgyz Republic [Текст] / N. Totubaeva, K. Kojobaev // Известия Национальной академии наук Кыргызской Республики. – 2024. – № 5. – С. 122-134; [Электронный ресурс]. – Режим доступа:

<https://drive.google.com/file/d/1ZPZLDnLL4UcMnp36sda0fKOKvBB0FBty/view>

30. Totubaeva, N. E. Changes in agrochemical indicators of soils under the rotational technique of pasture use in the conditions of the Kyrgyz Republic [Текст] / N. E. Totubaeva, K. Shalpykov // International Conferences on Science and Technology; Engineering Science and Technology. – Budva, 2021. – P. 132; То же: [Электронный ресурс]. – Режим доступа:

[https://drive.google.com/file/d/1RIS7t4z5-kj\\_PYLZc5Mx-pPn5E1.Fzeaq/view](https://drive.google.com/file/d/1RIS7t4z5-kj_PYLZc5Mx-pPn5E1.Fzeaq/view)

**Тотубаева Нурзат Эрмековнанын «Түндүк Кыргызстандын туруктуу өнүгүүсүндөгү суу жана топурак факторлору» деген темадагы 03.02.08 – экология адистиги боюнча биология илимдеринин доктору илимий даражасын алуу үчүн жазылган диссертациясынын**

#### **РЕЗЮМЕСИ**

**Ачкыч сөздөр:** экосистеманын экологиялык абалынын критерийлери, туруктуу өнүгүү, экологиялык индекстер, өндүрүш калдыктарын кайра иштетүү, биоремедиация.

**Изилдөө объектилери:** оор металлдар, мунай зат менен кирдеген топурактар, Ысык-Көлдүн экосистемасы, Кумтор кени.

**Изилдөө предмети:** экологиялык индекстердин жана көрсөткүчтөрдүн негизинде жаратылыш жана техногендик объекттердин суу жана топурак ресурстары.

**Изилдөөнүн максаты:** Кыргызстандын түндүгүндөгү өнөр жай жана урбанизацияланган райондордун кыртыш жана суу экосистемаларынын экологиялык абалына мониторинг жүргүзүү жана интеграцияланган баалоо критерийлерин иштеп чыгуу жана калдыктарды рециркуляциялоо боюнча технологиялык чечимдерди сунуштоо.

**Изилдөө ыкмалары:** суу жана топурак ресурстарынын абалын баалоонун комплекстүү ыкмалары, булганган кыртыштарды биоремедиациялоо ыкмалары, тазаланган кыртыштарды кайра иштетүү жана жаратылыш ресурстарын сарамжалдуу пайдалануу ыкмалары.

**Илимий жаңылыгы:** Ысык-Көл облусунун урбанизацияланган жана техногендик зоналардын топурак экосистемаларынын экологиялык абалына

каныгуу коэффициентинин (EF), геоаккумуляциялык индексинин (Igeo), булгануу факторунун (CF), булгануу даражасынын (Cd), потенциалдык экологиялык тобокелдик индексинин (PER) жана экологиялык тобокелдик (RI) индекстерин колдонуу менен баа берүү жүргүзүлгөн; Ысык-Көлдүн жээктик экосистемасынын рекреациялык жүктөмүн баалоодо чычырканактын (*Hippophae rhamnoides* L.) фитоиндикациялык параметрлери изилденген; Ысык-Көлдүн экосистемасынын булгануу даражасын баалоого мүмкүндүк берүүчү экологиялык байкоо тутумунун заманбап модели иштелип чыккан; мунай зат продуктулары менен булганган кыртыштарды рекультивациялоонун экологиялык жактан туруктуу технологиялары иштелип чыккан; Кумтөр кенинин бийик тоолуу аймактарынын шарттарында мунай зат продуктулары менен булганган кыртыштарды рекультивациялоонун жана технологиянын акыркы этабында бийик тоолуу өсүмдүктөрдүн жергиликтүү түрлөрүн колдонуунун жолдору иштелип чыккан жана негизделген.

**Колдонуу тармагы:** экология жана айлана-чөйрөнү коргоо

## РЕЗЮМЕ

докторской диссертации Тотубаевой Нурзат Эрмековны на тему: «Водные и почвенные факторы устойчивого развития севера Кыргызстана», представленной на соискание ученой степени доктора биологических наук по специальности 03.02.08 – экология

**Ключевые слова:** критерии экологического состояния экосистем, устойчивое развитие, экологические индексы, рециклинг промышленных отходов, биоремедиация.

**Объекты исследования:** почвы загрязненные нефтепродуктами, тяжелыми металлами, экосистема озера Иссык-Куль, рудник Кумтор.

**Предмет исследования:** водные и почвенные ресурсы, исследуемых природных и техногенных объектов, основанных на экологических индексах и индикаторах.

**Цель исследования:** Разработка критериев и интегрированной методологии мониторинга и оценки состояния почвенных и водных экосистем в промышленных и урбанизированных районах севера Кыргызстана, а также технологических решений по рециркуляции отходов.

**Методы исследования:** интегральные методы оценки состояния водных и почвенных ресурсов, методики биоремедиации загрязненных почв, методы рециркуляции очищенных грунтов и методы рационального использования природных ресурсов.

**Научная новизна:** проведена оценка экологического состояния урбанизированных и техногенных зон, с использованием индексов коэффициент обогачения (EF), индекс геоаккумуляции (Igeo), коэффициент загрязнения (CF), степень загрязнения (Cd), индекс потенциального экологического риска (PER) и индекс экологического риска (RI) в почвах Прииссыкуля; изучены фитоиндикационные параметры облепихи крушиновидной (*Hipporhae rhamnoides* L.), в контексте оценки рекреационной нагрузки на прибрежные экосистемы озера Иссык-Куль; разработана современная модель экологического мониторинга экосистемы озера Иссык-Куль позволяющая оценивать степень загрязнения озера; разработаны экологически устойчивые технологии ремедиации нефтезагрязненных почв; в условиях высокогорных территорий рудника Кумтор, разработаны и обоснованы подходы к применению местных видов высокогорных растений на завершающей стадии ремедиации и рекультивации нефтезагрязненных почв.

**Область применения:** экология и защита окружающей среды

#### SUMMARY

of the dissertation of Nurzat Ermekovna Totubaeva on the «Water and soil factors of sustainable development of the north of Kyrgyzstan» for the degree of Doctor of Biological Sciences on specialty 03.02.08 - ecology.

**Keywords:** criteria of ecological state of ecosystems, sustainable development, ecological indices, industrial waste recycling, bioremediation.

**Research objects:** soils polluted with oil products, heavy metals, ecosystem of Issyk-Kul Lake, Kumtor mine.

**The subject of the study:** water and soil resources of the studied natural and anthropogenic objects based on environmental indices and indicators.

**Purpose:** Development of criteria and integrated methodology for monitoring and assessment of soil and water ecosystems in industrial and urbanized areas of northern Kyrgyzstan, and technological solutions for waste recirculation.

**Research methods:** integral methods of assessing the state of water and soil resources, methods of bioremediation of contaminated soils, methods of recycling of treated soils and methods of rational use of natural resources.

**Results and novelty:** assessment of ecological state of urbanized and technogenic zones was carried out, using indices of enrichment factor (EF), geoaccumulation index (Igeo), pollution factor (CF), pollution degree (Cd), potential ecological risk index (PER) and ecological risk index (RI) in soils of Issyk-Kul district;

phytoindication parameters of sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) were studied in the context of recreation assessment, in the context of assessing the recreational load on the coastal ecosystems of Lake Issyk-Kul; developed a modern model of ecological monitoring of the ecosystem of Lake Issyk-Kul allowing to assess the degree of pollution of the lake; developed environmentally sustainable technologies for remediation of oil-contaminated soils; in the conditions of high-mountainous areas of the Kumtor mine, developed and substantiated approaches to the use of native species of high-mountainous plants at the final stage of remediation and reclamation of oil-contaminated soils.

**Field of application:** ecology and environmental protection

