

**НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКИ  
ИНСТИТУТ ГЕОЛОГИИ им. М.М. АДЫШЕВА**

На правах рукописи

УДК: 504.06 (064.2) (062.4): 631.4: 574.58

**ТОТУБАЕВА НУРЗАТ ЭРМЕКОВНА**

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

03.02.08-экология

Диссертация на соискание ученой степени  
доктора биологических наук

Научные консультанты:

доктор технических наук  
профессор, член-корр. НАН КР

**Кожобаев К.А.**

доктор биологических наук  
профессор, член-корр. НАН КР

**Шалпыков К.Т.**

**Бишкек – 2025**

## СОДЕРЖАНИЕ

ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ И ОБОЗНАЧЕНИЙ	4
ВВЕДЕНИЕ	6
ГЛАВА 1 ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР	14
1.1 Экологические аспекты устойчивого развития	14
1.2 Экологические критерии и индикаторы устойчивого развития	28
1.3 Стратегии, инновационные технологии и подходы рационального природопользования для достижения целей устойчивого развития	43
1.4 Становление и подходы устойчивого развития в КР	57
ГЛАВА 2 МЕТОДОЛОГИЯ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ	67
ГЛАВА 3 КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ ПОЧВЕННЫХ РЕСУРСОВ ОСНОВАННЫЕ НА ИСПОЛЬЗОВАНИИ ИНТЕГРИРОВАННЫХ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИНДЕКСОВ И ИНДИКАТОРОВ	96
3.1 Экологическое состояние почвенных ресурсов Кыргызстана и системы оценивания их экологического состояния	96
3.2 Экспериментальные исследования применения многокритериальных экологических индексов для комплексной оценки почвенных экосистем севера Кыргызстана	102
ГЛАВА 4 КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ ОСНОВАННЫЕ НА ИСПОЛЬЗОВАНИИ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИНДЕКСОВ И ИНДИКАТОРОВ	138
4.1 Экологическое состояние водных экосистем Кыргызстана и системы оценивания их экологического состояния.	138
4.2 Анализ экологического состояния озера Иссык-Куль и рек Кыргызстана с помощью экологических индексов	147

4.3	Экологическое состояние прибрежных буферных экосистем озера Иссык-Куль и их роль в устойчивом развитии	159
4.4	Экологические риски преобразования прибрежных экосистем в агроландшафты и последствия для устойчивого развития озера Иссык-Куль	170
4.5	Интегрированный индекс уязвимости как основа устойчивого развития прибрежной зоны: анализ на примере озера Иссык-Куль	187
ГЛАВА 5	ЭКОЛОГИЧЕСКИ УСТОЙЧИВЫЕ ПОДХОДЫ К ИСПОЛЬЗОВАНИЮ ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ И РЕЦИКЛИНГУ ОТХОДОВ В РЕГИОНАХ, ПОДВЕРЖЕННЫХ ТЕХНОГЕННОМУ ВОЗДЕЙСТВИЮ	199
5.1	Экологически безопасные методы восстановления загрязненных нефтепродуктами грунтов	199
5.2	Возможности использования высокогорных растений для фиторемедиации нефтезагрязненных грунтов	207
5.3	Метод фитотестирования для оценки снижения фитотоксичности слабозасоленных почв при добавлении компоста	213
	ЗАКЛЮЧЕНИЕ	218
	ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ	221
	СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	222
	ПРИЛОЖЕНИЯ	253

## **ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ И ОБОЗНАЧЕНИЙ**

1. МКОСР - Международная комиссия по окружающей среде и развитию
2. UNEP - United Nations Environment Programme
3. WWF - World Wildlife Fund
4. МСОП - Международный союз охраны природы
5. МКУР - Международная комиссия по устойчивому развитию
6. Цели устойчивого развития – ЦУР
7. ВСУР - Всемирный саммит по устойчивому развитию
8. ПГ – Планетарные границы
9. ОЭСР - Организация стран экономического сотрудничества и развития
10. ISC - Научный комитет по проблемам окружающей среды
11. КОСПАР - Комитет по космическим исследованиям
12. INGSA - Международная сеть правительственных научных консультаций
13. IRDR - Комплексное исследование риска бедствий
14. SCOR - Научный комитет по исследованию океана
15. ВПИК - Всемирная программа исследований климата
16. КУР – Комиссия по устойчивому развитию ООН
17. ИЖП – Индекс “живой планеты”
18. LCA - Life Cycle Assessment
19. ERA - Environmental Risk Assessment
20. ESA - Ecosystem Services Assessment
21. MEA - Millennium Ecosystem Assessment
22. ЭУ – Экосистемные услуги
23. ОВОС – оценка воздействия на окружающую среду
24. СЭО - Стратегическая экологическая оценка
25. IR - Интегрированный риск

26. УУЗР - Устойчивое управление земельными ресурсами
27. МООПТ - Мировой обзор природосберегающих подходов и технологий
28. НСУР - Национальная стратегия устойчивого развития
29. ППУР - Программа перехода к устойчивому развитию
30. NbS - Nature-Based Solutions
31. ПБЗ - Прибрежные буферные

## **ВВЕДЕНИЕ**

**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. 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. 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.

Следовательно, разработка оценочных критериев и методик интегрированных показателей состояния почвенных и водных экосистем в рамках конкретных объектов и территориальных границ становится не только необходимой, но и актуальной задачей, позволяющей более точно и всесторонне оценивать

состояние экосистем, выявлять уязвимые участки и разрабатывать меры по их восстановлению и сохранению. Создание таких критериев также будет способствовать улучшению мониторинга экологической ситуации, что, в свою очередь, поможет в принятии обоснованных управленческих решений и обеспечении устойчивого использования природных ресурсов. Учитывая современные вызовы, такие как изменение климата и усиление антропогенной нагрузки, важно интегрировать междисциплинарные подходы и учитывать социально-экономические факторы для более эффективного управления экосистемами.

**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 (ППКР №511 от 13.08.2003г.). 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 (УП№221 от 31.10.2018г); Национальной программы развития Кыргызской Республики до 2026 года (ППКР №435 от 12.10.2021г), в соответствии с планом НИР Кыргызско-Турецкого университета “Манас”, Дирекции Биосферной территории “Ысык-Кель”, а также в рамках выполнения мини проектов ЗАО “Кумтор” Голд Компани, ФК «Фауна энд Флора Интернэшнл» в КР, проекта ОФ “Инон” “Үч чака” .

**Цель исследования.** Разработка критериев и интегрированной методологии для оценки экологического состояния почвенных и водных экосистем в промышленных и урбанизированных районах севера Кыргызстана, а также экологически устойчивых технологий ремедиации и переработки отходов.

### **Задачи исследования:**

1. Провести анализ современного состояния почвенных и водных экосистем страны, обосновать актуальные направления системы экологического мониторинга и разработать экологические критерии для оценки уязвимости этих экосистем, а также их способности к самовосстановлению;
2. Разработать научно-практические основы применения многокритериальных экологических индексов для комплексной оценки почвенных экосистем, подвергающихся техногенному воздействию;
3. Изучить потенциал использования фитотолерантных растений для фитотестирования нефтезагрязненных почв, для оценки степени загрязнения и эффективности природных методов восстановления почв;
4. Изучить и подобрать индикаторные виды для оценки рекреационной нагрузки на прибрежные экосистемы оз.Иссык-Куль;
5. Оценить экологическое состояние оз.Иссык-Куль, с применением экологических индексов и критериев, изучить степень преобразованности прибрежных буферных зон озера и оценить экологический риск их трансформации;
6. Изучить и обосновать критерии определения ширины прибрежной буферной зоны водных экосистем на примере озера Иссык-Куль.
7. Разработать интегрированные показатели для оценки антропогенной трансформации природных экосистем и степени их экологической нагрузки;
8. Разработать современные модели программы экологического мониторинга экосистемы оз.Иссык-Куль, для эффективного управления рисками загрязнения водных и почвенных ресурсов.
9. Разработать экологически устойчивые технологии ремедиации почв промышленных объектов.

### **Научная новизна полученных результатов:**

- впервые проведена оценка экологического состояния урбанизированных и техногенных зон (на примере почв Прииссыкуля, 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 Прииссыкуля;
- разработаны и рекомендованы методы фитотестирования для оценки состояния почв, загрязнённых нефтепродуктами, также подобраны как устойчивые, так и чувствительные фитотесты, а также фитотолерантные растения, подходящие для фиторекультивации загрязнённых нефтепродуктами супесчаных почв в г. Балыкчи;
- впервые изучены фитоиндикационные параметры облепихи крушиновидной (*Hippophae rhamnoides* L.) в контексте оценки рекреационной нагрузки на прибрежные экосистемы озера Иссык-Куль;
- впервые разработаны современные модели экологического мониторинга природных экосистем позволяющие своевременно выявлять угрозы, оценивать степень загрязнения и разрабатывать стратегии по предотвращению и минимизации негативного воздействия на окружающую среду.
- изучены и оценены уровни трофического состояния озера Иссык-Куль, степень трансформации прибрежных буферных зон и связанные с ними экологические риски;
- впервые определена степень экологической напряженности и оценена уязвимость прибрежных экосистем оз. Иссык-Куль с использованием интегрированного индекса уязвимости прибрежных зон и созданы оценочно-прогнозные картографические модели экосистемы оз. Иссык-Куль;

- разработаны экологически устойчивые технологии ремедиации почв на промышленных объектах (на примере рудника Кумтор), позволяющие эффективно восстанавливать загрязненные почвы, минимизируя негативное воздействие на окружающую среду, обеспечивая безопасное использование земельных ресурсов;
- изучены возможности применения местных видов высокогорных растений способные адаптироваться к локальным условиям и применимые для фиторемедиации нефтезагрязненных почв в качестве завершающего этапа ремедиации и рекультивации территорий;

Достоверность и новизна научных результатов подтверждается теоретическими и экспериментальными исследованиями.

**Практическая значимость работы.** 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.

Разработана и внедрена методика оценки трофического уровня водных экосистем. Рекомендовано внести изменения в национальную систему экологического мониторинга, добавив определение параметра "хлорофилл-а" и TLI индекса, необходимых для комплексной оценки качества водных объектов. С учетом требуемых изменений в государственной экологической программе была разработана и внедрена научная разработка — Информационная система экологического мониторинга (ИСЭМ) озера Иссык-Куль, а также рекомендация по оптимизации системы экологического мониторинга озера Иссык-Куль (акты внедрения от 13.08.2024; 20.08.2024г.).

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, С-6123 от 13.11.2018). 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:**

- интегральные показатели качества почв в промышленных и техногенных зонах, разработанные с использованием комплексных индексов, коэффициентов и подхода ТРИАД;
- интегрированные индексы качества и уязвимости экосистем, а также прибрежных буферных зон озера Иссык-Куль, включая оценочно-прогнозные картографические модели;
- основные параметры обновления системы экологического мониторинга водных и почвенных экосистем с учетом дополнений к существующей системе предельно допустимых концентраций (ПДК);
- современная цифровизированная модель программы экологического мониторинга экосистемы оз.Иссык-Куль;
- технологические решения для снижения уровня загрязнения и рециклинга нефтезагрязненных грунтов и органических отходов твердых бытовых отходов (ТБО).

**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.** Основные положения диссертации опубликованы в материалах и доложены на Междунар. науч.-практ. конф.

«Сохранение экосистем Центральной Азии и устойчивое развитие: принципы, вызовы, перспективы» (Бишкек, КР, 2024), 2<sup>nd</sup> International Conference “Mountains: Biodiversity, Landscapes and Cultures” (Baku, Azerbaijan, 2024), 6<sup>th</sup> International Black Sea Modern Scientific Research Congress (Trabzon Turkiye, 2024), II-Междунар. науч.-практ. конф. “Современные проблемы биоразнообразия, экологии и биобезопасности Биосферной территории “Ысык-Кёль” (Бишкек, КР, 2021), X Междунар. науч.-практ. конф. “Экология речных бассейнов” (Владимир, РФ, 2021), Междунар.конф. «Экологический мониторинг: методы и подходы» и XX Междунар. Симпозиум “Сложные системы в экстремальных условиях” (Красноярск, РФ, 2021), Междунар.конференции “Актуальные проблемы геологии и географии Тянь-Шаня и сопредельных территорий” (Бишкек, КР, 2020)

**Полнота отражения результатов диссертации в публикациях.** Основные положения диссертации опубликованы: 34 научных трудах и научных докладов, из них 10 в рецензируемых журналах НАК КР, 12 в журналах индексируемых в базе данных Web of Science и SCOPUS, 7 в журналах индексируемых в РИНЦ, 5 в материалах междунар. науч.-практ. конф., получено 1 авторское свидетельство, 3 актов внедрения и 2 рационализаторских предложения.

**Структура и объем диссертации.** Диссертация изложена на 220 странице компьютерного текста, включают 38 таблиц, 79 рисунков, 7 приложений. Диссертация состоит из введения, 5 глав, заключения, перечня сокращений и обозначений, принятых в работе, списка использованной литературы и приложений. Количество использованных библиографических источников составляет 468 наименований.

**Благодарности.** Выражаю благодарность менеджеру отдела ООС “Кумтор Голд Комани” (2019г) Ольге Медоевой, директору департамента ООПТ и сохранения биоразнообразия МПРЭТН Ибраеву Э.Б. (2022 г), начальнику отдела ООПТ Турдуматову Т.К., начальнику управления за загрязнением природной среды Гидрометеорологической службы при Министерстве чрезвычайных ситуаций КР Жапаровой Л.Ж. (2022г.), менеджеру проекта “Консолидация институционального потенциала для национального мониторинга качества поверхностных вод в Кыргызской Республике (KGZ-Вода III)” Карри Элохеймо и Оливие Груздовой за оказанное содействие в проведении исследований, профессору Тереховой В.А. (МГУ им.М.В. Ломоносова) за научные консультации, соавторам своих научных публикаций за совместную усердную работу и труд.

# ГЛАВА 1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

## 1.1. Экологические аспекты устойчивого развития

Стремительный инновационный прогресс человечества обусловил резкое увеличение качества жизни человечества, но привел к значительному ухудшению состояния экосистем планеты. На первой международной экологической конференции ООН по проблемам окружающей среды человека, проведенной в 1972 году в Стокгольме, впервые были озвучены основные экологические проблемы и вопросы охраны окружающей среды и признаны права человека на «свободу, равенство и адекватные условия жизни в окружающей среде» [1]. Была создана Программа ООН по окружающей среде или ЮНЕП (*англ.* UNEP, United Nations Environment Programme), учрежденная на основе резолюции Генеральной Ассамблеи ООН №2997 от 15 декабря 1972 года, для способствования координации охраны природы на общесистемном уровне. Однако проблемы экологического состояния экосистем только усугублялись, что положило основу исследований по экологической безопасности, неразрывно связанных как части национальной и глобальной безопасности. По инициативе ЮНЕП, Международного союза охраны природы (МСОП) и Всемирного фонда дикой природы (*англ.* World Wildlife Fund, сокр. WWF) в 1980-е годы была разработана концепция устойчивого развития и призывала к необходимости перехода к «развитию без разрушения». Под эгидой ООН были созданы комиссии – Независимая комиссия по проблемам международного развития, 1977-1983, известного как «комиссия Брандта» и Независимая комиссия по вопросам разоружения и безопасности, 1980-1982, также известного как «комиссия Пальме», в которых были заложены основы устойчивого развития. Однако программную базу по переходу к устойчивому развитию в рамках глобального и национального уровня получила работа Международной комиссии по окружающей среде и развитию (МКОСР), которую возглавила Гру Харлем Брунтланд. В докладе

«Наше общее будущее», опубликованном в 1987 году, впервые было озвучено о начавшейся деградации окружающей среды и необходимости перехода к новому этапу развития человечества. Основным акцентом данного доклада стало необходимость «устойчивого развития», при котором «удовлетворение потребностей настоящего времени не подрывает способность будущих поколений удовлетворять свои собственные потребности» [2]. Этот доклад, известного, как «Доклад комиссии Брунтланд» получил широкую огласку и ознаменовал начало триединой концепции устойчивого развития, объединяющая три основные точки зрения: экономической, социальной и экологической [3], [4], [5]. Стало очевидным, что без объединения усилий всех стран мира, включая все структурные организации государств и активное вовлечение населения добиться поставленных задач не удастся, т.е. устойчивость относится не только к окружающей среде, но и к обществу и экономике [6], [7]. Таким образом, устойчивым называется такое развитие, при котором не происходит деградация основных составляющих систем биосферы.

Анализ данных, приведенных Уилл Стеффеном показывают, что стремительный рост экономической деятельности (рисунок 1.1.1) с середины прошлого века, оказывает давление на базисные экосистемы планеты, доказывая, что все экологические системы планеты Земля находятся на пределе (рисунок 1.1.2) [8]. Если оказываемый антропогенный прессинг на экосистемы будет увеличиваться, эти экосистемы будут трансформироваться в другие типы экосистем, более устойчивые к внешним суровым факторам среды. Например, экосистема степи из-за чрезмерного выпаса скота, распашки земель, браконьерства и др. постепенно может превратиться в пустыню, непригодную для жизни естественных форм обитания степей и конечно же человека тоже. Необходимо осознавать, что обратного возврата в исходное положение, к сожалению нет. Плачевным примером чего стало Аральское море, в бывшем одна из самых крупных экосистем, четвертым по величине

внутренним морем мира, за несколько десятилетий было безвозвратно преобразовано. Результаты этой экологической катастрофы оказывают влияние на всю близлежащую и глобальную экосистем мира. Стало очевидным, что если не будут решены проблемы окружающей среды, то все достижения нашей цивилизации окажутся под угрозой уничтожения.

## Socio-economic trends

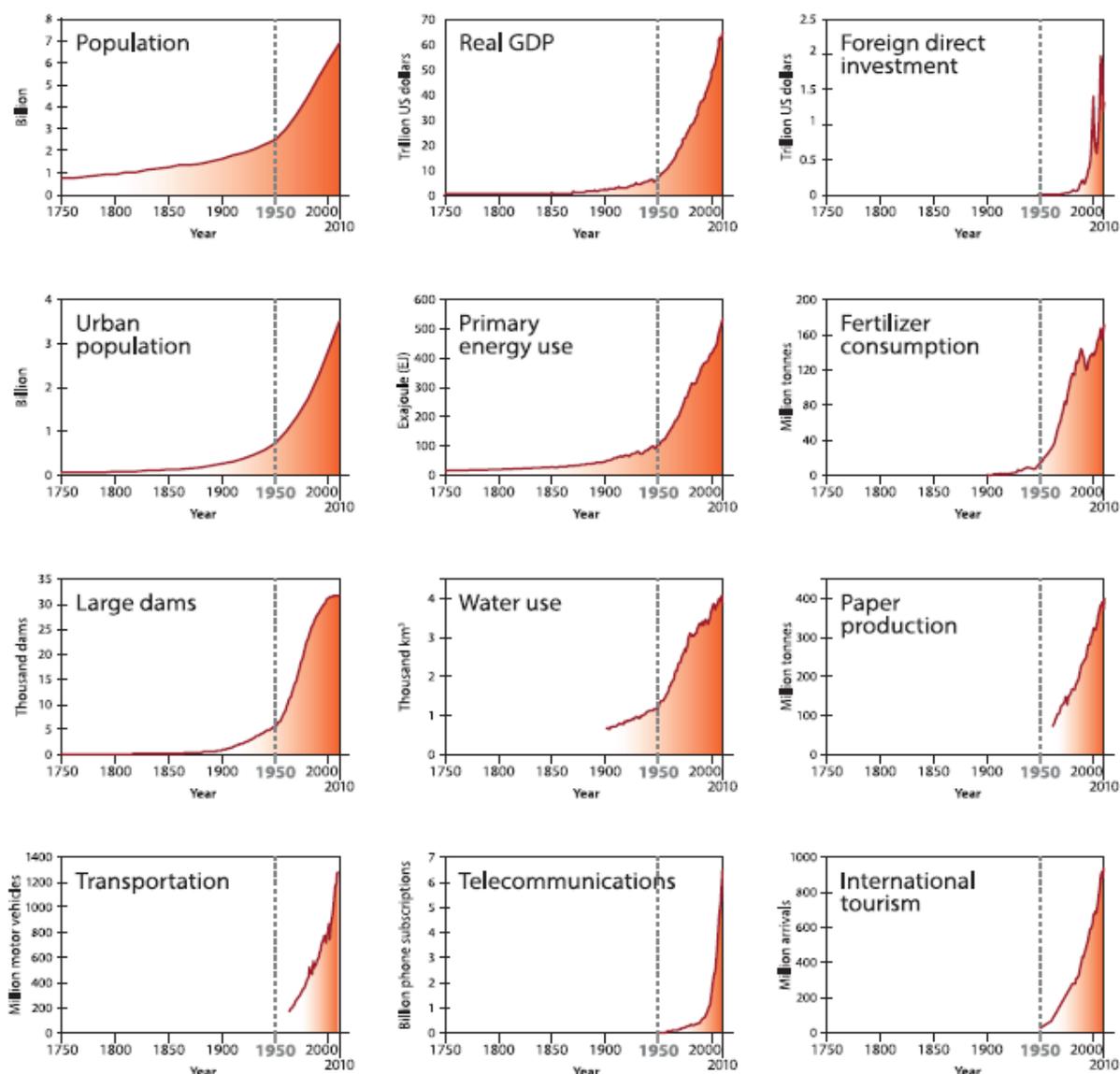


Рисунок 1.1.1 Динамика глобальных показателей социально-экономического развития с 1750 по 2010 год (источник: Steffen, Broadgate et al., 2015)

## Earth system trends

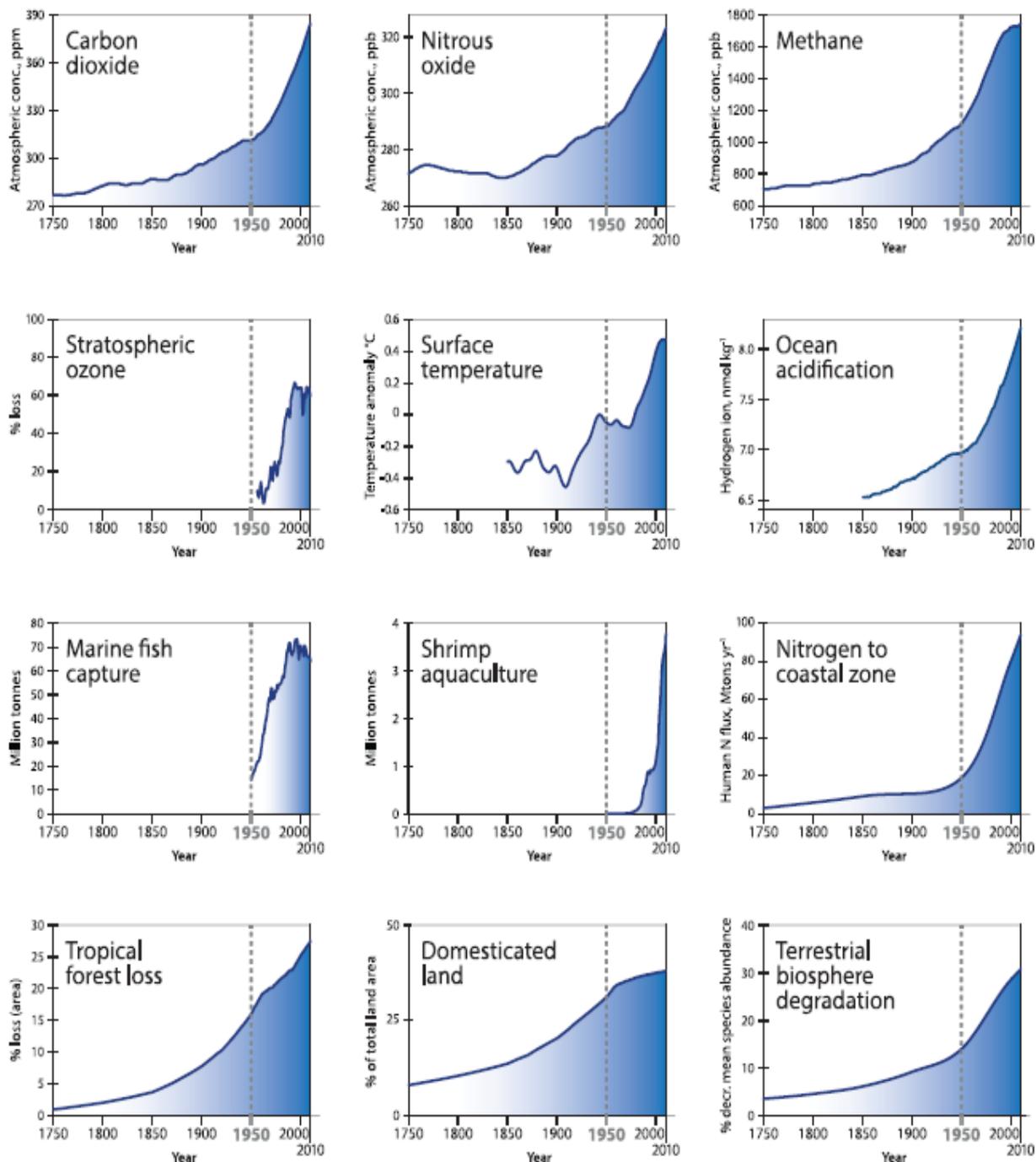


Рисунок 1.1.2 Тенденции изменения показателя структуры и функционирования системы Земли с 1750 по 2010 год (источник: Steffen, Broadgate et al., 2015)

Изучение динамики и темпов загрязнения и ухудшения окружающей среды стали ключевым фактором и объектом конференции ООН по окружающей

среде и развитию, которая состоялась в Рио-де-Жанейро в 1992 году, известной также как "Саммит Земли", стала основой концепции устойчивого развития, на которой были разработаны стратегии и планы действий по переходу к более устойчивой модели развития и принята Повестка дня на XXI век, в которой разработан детальный план устойчивого развития. Отличительной чертой данного документа стало, что страны-участницы приняли обязательство обеспечить устойчивое развитие как на местном, так и на региональном уровнях в пределах своих стран. Контроль за реализацией данного документа возложен на Международную комиссию по устойчивому развитию (МКУР).

Следовательно, начиная с 1992 года, с Саммита Земли, проведенного в Рио-де-Жанейро, концепция устойчивого развития впервые официально была включена в национальные и международные политические повестки дня.

10-летний итог Всемирного саммита по устойчивому развитию (ВСУР) состоялся в Йоханнесбурге в 2002 году, где был принят Йоханнесбургский план выполнения решений (ЙПВР) и подведены итоги достижения всех согласованных на международном уровне целей развития и международных соглашений за последние 10 лет. План выполнения построен на достигнутом прогрессе и уроках, извлеченных после Встречи на высшем уровне «Планета Земля», и предполагает более целенаправленный подход с конкретными шагами и количественной оценкой, и сроками для целей и задач.

Вновь конференция по устойчивому развитию собралась в 2012 году, в Рио-де-Жанейро, получившая название «РИО+20». На саммите был принят документ "Будущее, которого мы хотим", к будущему с большим числом зеленых рабочих мест, экологичной энергетикой, большей безопасностью и достойным уровнем жизни для всех стран и наций.

В 2015 году в связи с завершением разработки новой глобальной повестки дня в области социально-экономического развития, в Нью-Йорке состоялся Саммит ООН по устойчивому развитию, где была принята новая Повестка дня

– «Преобразование нашего мира: повестка дня в области устойчивого развития на период до 2030 года». Документ состоит из Декларации, 17 Целей в области устойчивого развития и 169 задач.

В настоящий момент Повестка дня на XXI век остается ключевым инструментом, регулирующим соотношение экономического, социального потребления и ресурсными возможностями экосистем Земли. Ключевой компонентой Повестки дня на XXI век, являются 17 Целей устойчивого развития (ЦУР), которые "представляют собой план достижения лучшего и более устойчивого будущего для всех. Они направлены на решение глобальных проблем, с которыми мы сталкиваемся, в том числе связанных с бедностью, неравенством, изменением климата, деградацией окружающей среды, миром и справедливостью" [9].

17 Целей устойчивого развития являются интегрированными задачами развития общества, экономика и окружающей, которые призваны обеспечить благосостояние нынешнего и будущего населения Земли при обеспечении и поддержании природных основ существования. 17 ЦУР конкретизированы 169 подцелями, реализация которых основывается на 232 показателях, и должны быть достигнуты во всем мире и всеми государствами-членами к 2030 году (рисунок 1.1.3).

Все намерения ЦУР связаны с окружающей средой, так как для того, чтобы добиться устойчивого развития и сохранения экосистем Земли, необходимо добиться всех 17 целей ЦУР. Однако, эксперты ООН, выделяют цели устойчивого развития, имеющие непосредственную связь с окружающей средой: Цель 6 (Чистая вода и санитария), Цель 7 (Недорогостоящая и чистая энергия), Цель 11 (Устойчивые города и населенные пункты), Цель 12 (Ответственное потребление и производство), Цель 13 (Борьба с изменением климата), Цель 14 (Сохранение морских экосистем) и Цель 15 (Сохранение экосистем суши) [10].



Рисунок 1.1.3 17 целей устойчивого развития повестки дня 2030 (источник: <https://u-intosai.org/ru/kursy/intensivnyj-kurs-po-cur/> )

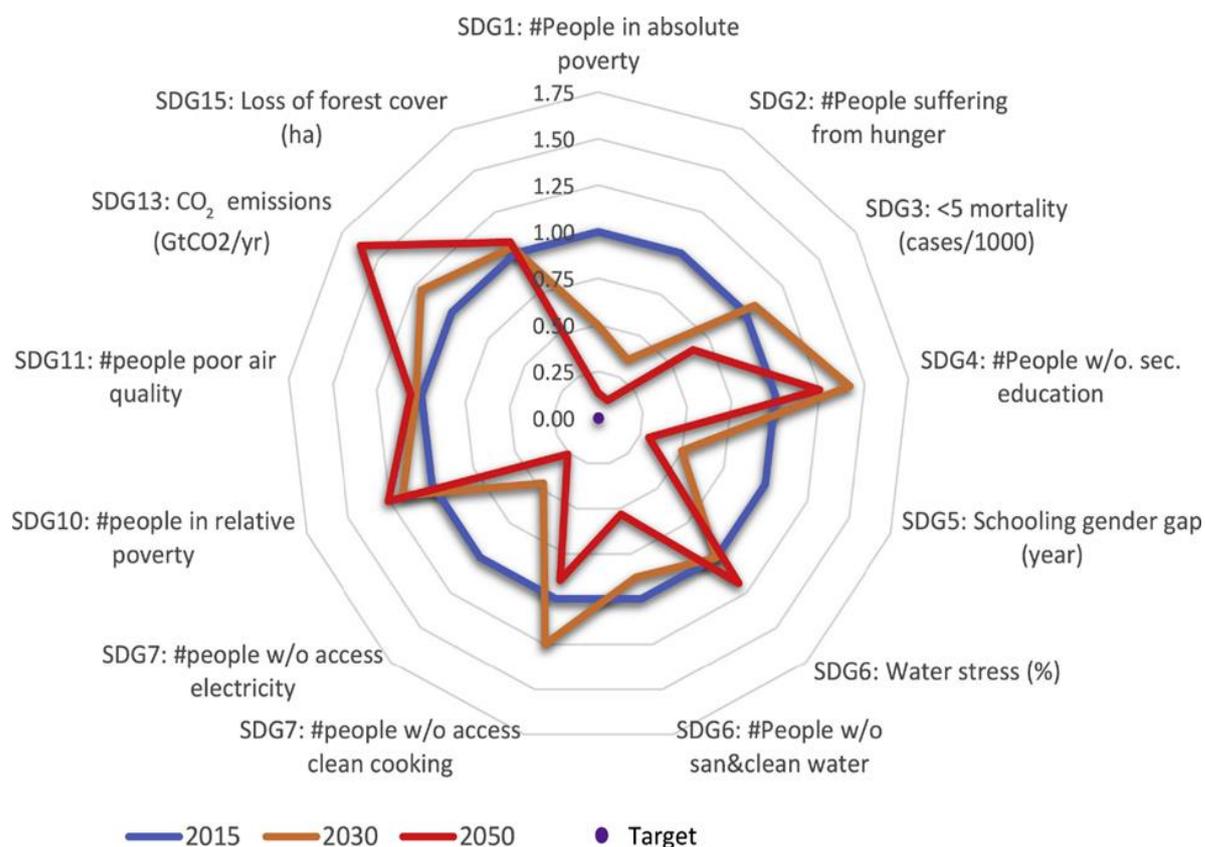
Очередной Саммит по ЦУР был проведен в 2019 году в Нью-Йорке, в котором все участники признали, что с периода принятия Повестки дня в области устойчивого развития на период до 2030 года многие усилия и цели не привели к желаемым результатам и сошлись во мнении объявить следующее десятилетие периодом «действий и свершений во имя устойчивого развития» [11].

50-летие со дня исторической конференции, на которой человечество впервые признало необходимость защищать окружающую среду прошло в Стокгольме, в 2022 году, под девизом «Стокгольм+50: здоровая планета для всеобщего процветания — наша ответственность, наша возможность». В своем выступлении, генеральный секретарь ООН Антониу Гутерриш отметил, что пятьдесят лет назад человечество признало свою коллективную ответственность по защите природы и впервые назвало это условием мира, процветания и развития. «И действительно, за минувшие годы человечеству удалось добиться прогресса, — отметил он. — Но сегодня глобальное благополучие в опасности, в существенной степени — из-за не сдержанных

обещаний по защите окружающей среды» [12] . Сегодня уровень потребления в мире настолько высок, что ресурсов одной планеты не хватает – требуется 1,7 планеты, а если бы все жили, как в богатых странах, понадобилось бы три планеты. Сегодня, продолжил он, разворачивается тройной кризис: изменение климата, деградация экосистем и загрязнение, которое уносит около девяти миллионов человеческих жизней в год. «Я призываю страны признать право каждого человека – особенно представителей малоимущих слоев населения, женщин и девочек, коренных народов, молодежи и будущих поколений – на чистую и здоровую окружающую среду. Мы должны по-настоящему ценить окружающую среду и не ограничиваться одними лишь показателями валового внутреннего продукта при оценке человеческого прогресса и благополучия», – заявил он [13].

Но, на пути к достижению устойчивого развития имеются трудности: во-первых, социальные проблемы – бедность, экспоненциальный рост населения; во-вторых, политические - политическая нестабильность во многих странах; в-третьих – нерациональное потребление природных ресурсов в духе «коричневой» экономики.

По данным экспертов ООН, человеческая деятельность изменила 77 процентов суши (исключая Антарктиду) и 87 процентов мирового океана. Более двух миллиардов гектаров земель деградируют из-за чрезмерного использования или неправильного управления, а одному миллиону видов грозит полное исчезновение [14], [5]. Для многих экологических целей развитие продолжается в неправильном направлении (рисунок 1.1.4) [15] и для достижения ЦУР необходимо значительно усилить реализацию политики устойчивого развития в социально-экономической и экологической сферах [16], [17], [18].



1 = 2015 год, 0 = целевое значение (значения больше 1 указывают на ухудшение по сравнению с 2015 годом; значения между 0 и 1 указывают на улучшение, но целевое значение не достигнуто).

Рисунок 1.1.4 Пример использования целевого пространства с использованием данных, опубликованных для сценария SSP2 в различных исследованиях (источник Detlef P. van Vuuren et al., 2022)

Следовательно, достижение устойчивого развития невозможно без согласования трех основных элементов: экономический рост, социальную интеграцию и охрану окружающей среды [15] [19],[20], [21]. Это означает, что для обеспечения устойчивого развития общества необходимо создать такую систему приоритетов и ценностей, которая будет основана на равенстве, справедливости, взаимном уважении, порядочности и осознанности базисной составляющей всего нашего природного существования. Важно также понимать, что устойчивое развитие — это процесс, а не самоцель.

Постоянное стремление к достижению экономической рациональности при сохранении социальной справедливости и экологического равновесия - задача невероятно сложная и требует сотрудничества и поддержки со стороны всех слоев общества, где все заинтересованные стороны со своими главными

движущими целями объединяются для достижения большего и великого блага общества. Эффективность принимаемых решений будет достигнута только тогда, когда будут учтены тесно переплетенные взаимосвязи между тремя измерениями устойчивости. Следовательно, три измерения устойчивости должны пониматься как система, в которой для принятия эффективных решений необходимо учитывать взаимосвязи [4].

### *1. Экологическое измерение*

- ✓ Как долго эта среда будет способна удовлетворять наши потребности и желания?
- ✓ Что мы можем сделать, чтобы увеличить производительность этой среды для удовлетворения наших потребностей без ущерба для нее и тем самым для нас?
- ✓ Что мы можем сделать для повышения устойчивости этой среды? Устойчивые среды более стабильны, а значит, лучше удовлетворяют наши потребности.
- ✓ Когда мы должны оставить эту среду и есть ли ей альтернатива?
- ✓ Как долго эта среда будет восстанавливаться, прежде чем мы сможем вернуться и снова потреблять из нее?

### *2. Социальное измерение*

- ✓ Как распределить роли и ресурсы в нашей группе таким образом, чтобы улучшить или хотя бы сохранить целостность и стабильность группы?
- ✓ Что необходимо для поддержания и укрепления социальных уз доверия и взаимной ответственности? Фрагментированная группа слабее и рискует в драках еще больше ослабить ее.
- ✓ Как обеспечить, чтобы все люди получали равные шансы внести свой вклад? Только в этом случае сообщество получает выгоду от целого ряда талантов, а не только от генофонда и идей немногих привилегированных.

### *3. Экономическое измерение*

- ✓ Сколько и каких ресурсов необходимо для обеспечения выживания группы, а может быть, и повышения ее жизнестойкости?
- ✓ Сколько группа может инвестировать, чтобы получить тот или иной ресурс?

✓ Как следует распорядиться имеющимися ресурсами, чтобы удовлетворить будущие потребности и повысить устойчивость?

В стремлении сделать любую систему, основанную на ресурсах, более устойчивой, будь то устойчивое развитие или организационная устойчивость, существует три основных подхода: Эффективность, Последовательность и Достаточность [22]. Каждый из подходов по отдельности не способен достичь устойчивости, только комплексный подход способен повысить устойчивость системы в отношении ресурсов.

Принципы устойчивого развития, сформулированные в докладе комиссии Брунтланд, уже около половины века назад могли стать реальной основой экономического развития стран мира, однако реальные действия не в полной мере удовлетворяют поставленные цели и задачи [23], [24], [25].

В 2009 году исследователи представили новую концепцию, концепцию планетарных границ (ПГ), в которой определены и количественно измерены девять планетарных границ, в пределах которых человечество может продолжать развиваться и безопасно существовать [26] [27], вызвав огромный научный, а также политический и управленческий интерес во всем мире, став центральным элементом изучения устойчивости [28], [29], [30], [31]. Система планетарных границ представляет собой "планетарную приборную панель", отражающую глобальные результаты деятельности человечества по решению ряда экологических проблем, которые ставят под угрозу способность системы Земли поддерживать человечество. Согласно анализу концепции ПГ проведенные Штеффеном и др. [26], системы Земли и девять планетарных границ не существуют отдельно. Они образуют огромную паутину взаимосвязанных процессов и функций - нарушение равновесия одной из них, отразится на стабильности других (рисунок 1.1.5) [32].

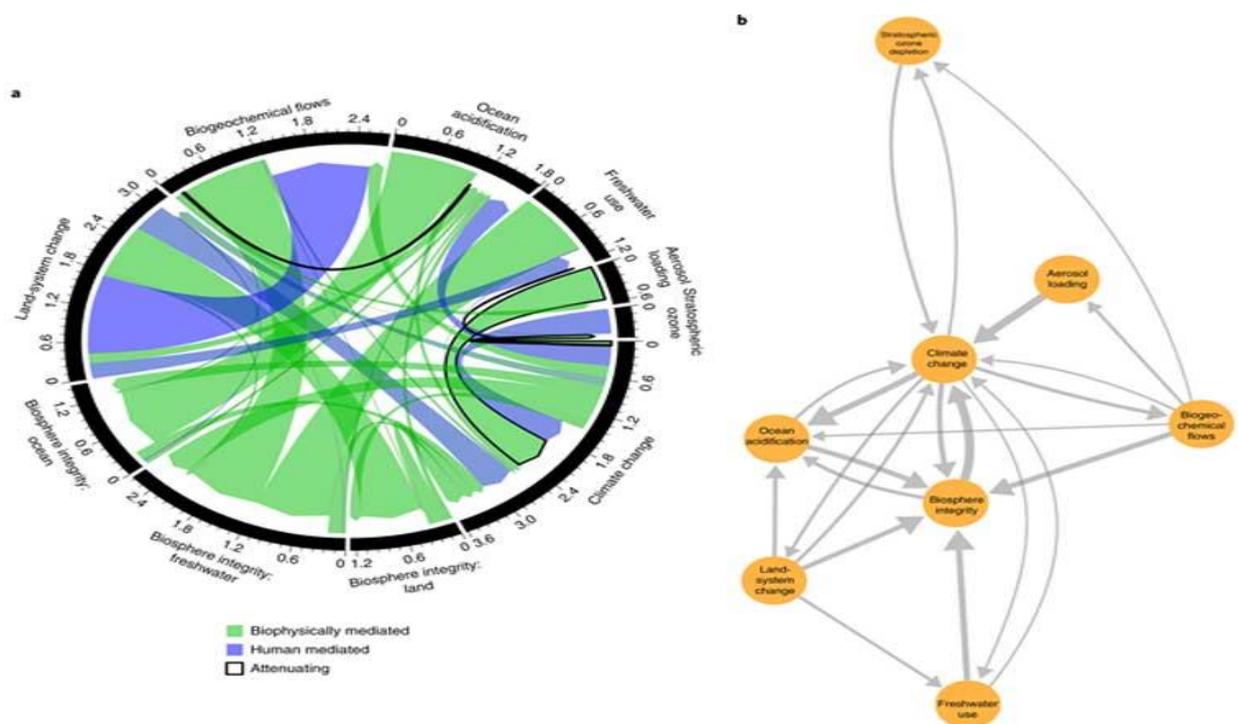


Рисунок 1.1.5 Взаимосвязи планетарных систем (источник Steve Lade et al. (2020) и Стокгольмским центром устойчивости.

Выделены следующие девять планетарных границ:

- ✓ Изменение климата
- ✓ Изменение целостности биосферы (потеря биоразнообразия и вымирание видов)
- ✓ Истощение стратосферного озона
- ✓ Закисление океана
- ✓ Биогеохимические потоки (циклы фосфора и азота)
- ✓ Изменение земельных систем (например, обезлесение)
- ✓ Использование пресной воды
- ✓ Атмосферная аэрозольная нагрузка (микроскопические частицы в атмосфере, влияющие на климат и живые организмы)
- ✓ Внедрение новых веществ (например, органических загрязнителей, радиоактивных материалов, наноматериалов и микропластика).

Источник Стокгольмский центр устойчивости:

<https://www.stockholmresilience.org/research/research-news/2015-01-15-planetary-boundaries--an-update.html>

Если мы движемся в пределах этих границ, риск опасных, необратимых изменений окружающей среды относительно невелик. Если же мы выходим за

эти пределы, то ставим под угрозу стабильность экосистем, а значит, и базисную основу современной цивилизации.

В 2015 году Штеффен и др. представили обновленный и расширенный анализ концепции ПГ [27], из количественно оцененных восьми экологических измерений, пять уже превысили предел воздействия (изменение климата, потеря целостности биосферы (т.е. генетическое разнообразие (E/MSY); функциональное разнообразие еще не определено), биохимические потоки (т.е. потоки азота (N) и фосфора (P) в биосферу и океаны), изменение земельных систем и новые образования) и один еще не был определен (аэрозольная нагрузка). Превышение границ составило шесть из девяти.

На рисунке 1.1.6 показано, в какой степени эти границы уже превышены [33], [27].

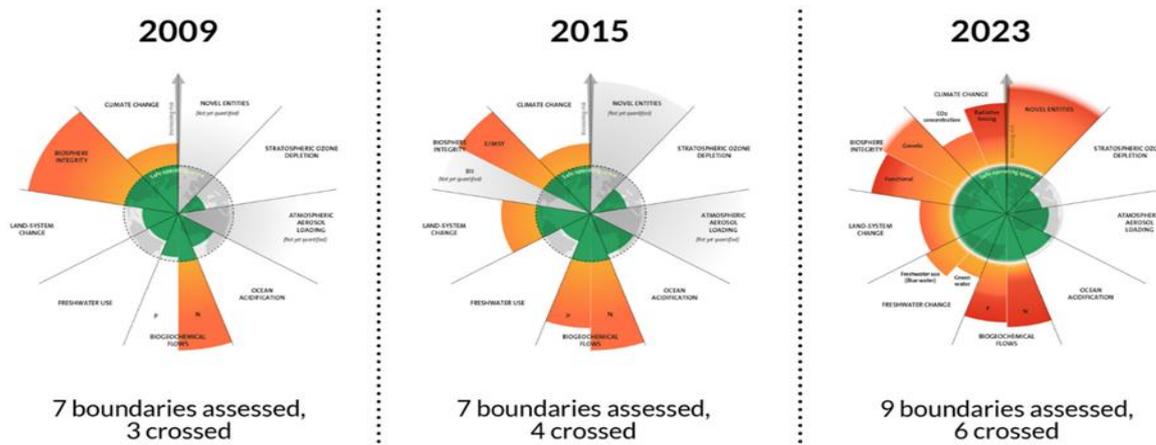


Рисунок 1.1.6 Эволюция системы планетарных границ. Лицензировано CC BY-NC-ND 3.0 (Credit: Azote for Stockholm Resilience Centre, Stockholm University. Основано на материалах Richardson et al. 2023, Steffen et al. 2015 и Rockström et al. 2009)

За прошедшее время эта концепция стала неизменным ориентиром для международной и национальной политики в области окружающей среды и развития, особенно климатической политики, и постоянно совершенствуется благодаря новым результатам исследований [22]. Несмотря на то, что данная система имеет большое влияние, ее критический недостаток для применения в управлении устойчивостью заключается в том, что в настоящее время она не

отражает, как воздействие, связанное с одной из планетарных границ, влияет на состояние других планетарных границ [32].

Продолжая бездумное потребление и преобразование экосистем планеты человечество ставит под угрозу преобразования экосистем планеты в новое состояние тем самым подвергая риску свое существование [34], [33], [35]. Требуется переход на принципиально новую стратегию природопользования, которая должна быть основана на выполнении двух ключевых требований:

- ✓ Перехода на разумное, осознанное природопользование;
- ✓ Разработки инновационных зеленых технологий. Причем разработанные технологии должны быть имитировать саморегулирующие свойства природных экосистем.

Следовательно, основа экологического аспекта устойчивого развития – синхронизация потребностей человечества с естественными способностями экосистемы Земли, с ее ресурсным потенциалом и самовосстанавливающей способностью. Превышение этих возможностей повышает риск возникновения крупномасштабных резких или необратимых изменений окружающей среды [36]. Радикальные изменения не обязательно произойдут в одночасье, но все вместе границы обозначают критический порог для увеличения рисков для людей и экосистем, частью которых мы являемся [37], [38].

Определение предела выносливости экосистемы и предела ее экологической емкости имеет решающее значение как для оценивания на пути к устойчивому развитию, так и осознания как прогресса, так и пробелов в концепции продвижения устойчивого развития экосистем.

Это означает, что ключевое значение для науки и практики наряду с разработкой новых зеленых технологий и систем имеет также разработка показателей устойчивого развития, экологических критериев, норм и пределов допустимого порога воздействия и индикаторов прогресса на пути устойчивого развития [39].

## *1.2. Экологические критерии и индикаторы устойчивого развития*

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 [40]. В пункте 75 документа «Преобразование нашего мира: Повестка дня в области устойчивого развития на период до 2030 года» говорится: «Последующая деятельность в отношении этих целей и задач и их обзор будут проводиться с использованием набора глобальных показателей. Эти показатели будут дополняться показателями на региональном и национальном уровнях, которые будут разработаны государствами-членами, а также результатами проделанной работы по определению исходных значений для тех задач, по которым на национальном и глобальном уровнях исходные данные отсутствуют» [7], а также в 40-ой главе «Повестки дня на XXI век» отмечено, «В целях создания надежной основы для процесса принятия решений на всех уровнях и содействия облегчению саморегулируемой устойчивости комплексных экологических систем и систем развития необходимо разработать показатели устойчивого развития» [41]. Разработкой критериями и индикаторами устойчивого развития занимаются ведущие международные организации: ООН, Всемирный Банк, ФАО, Организация стран экономического сотрудничества и развития (ОЭСР), Научный комитет по проблемам окружающей среды (ISC), Комитет по космическим исследованиям (КОСПАР), Международная сеть правительственных научных консультаций (INGSA), Комплексное исследование риска бедствий (IRDR), Научный комитет по исследованию океана (SCOR), Всемирная программа исследований климата (ВПИК) и др. Необходимость определения индикаторов продиктовано следующими положениями [42]:

- ✓ Обоснования принимаемого решения
- ✓ Пояснения происходящих изменений
- ✓ Выявления упущений
- ✓ Упрощения работы с массивом данных
- ✓ Обеспечения доступа и обмена информацией.

Существуют два подхода к конструированию индикаторов устойчивого развития:

- ✓ Формирование такой системы индикаторов, при котором каждый компонент отвечает за определенные аспекты развития, дифференцируясь на экологические, экономические и социальные подсистемы
- ✓ Определение системного, интегрального индекса, позволяющего оценить степень устойчивости наблюдаемых экосистем или социально-экономического развития региона.

Сложность разработки индикаторов устойчивого развития определяется необходимостью большого массива всеохватывающих данных. Для чего экспертами разработаны критерии отбора для разработки индикаторов [43] [44]:

- ✓ Значимость и полезность индикатора, позволяющий охарактеризовать состояние окружающей среды, ее изменения и воздействия, имея четкие пороговые и фоновые значения для оценки
- ✓ Иметь научно-практическое обоснование, позволяющее интегрировать их в экономические и симуляционные модели
- ✓ Быть измеримым

Отвечать всем предъявляемым требованиям крайне сложно, и в зависимости от ситуации и объекта изучения могут быть выбраны индикаторы устойчивости, отвечающие нескольким критериям. В целом, для оценки целевой направленности индикаторы устойчивости дифференцируются на 3 категории:

- ✓ Индикаторы, характеризующие процесс человеческой деятельности и его влияние на устойчивое развитие
- ✓ Индикаторы состояния, характеризующие актуальное состояние аспектов устойчивого развития
- ✓ Индикаторы реагирования, позволяющие реализовать вариант реагирования для улучшения актуального состояния.

Соответственно, индикаторы устойчивого развития являются инструментом измерения, визуализации и моделирования прогноза и реагирования на актуальные изменения состояния изучаемого объекта во времени, позволяющие охарактеризовать количественно и качественно изучаемую ситуацию; выявить положительные и отрицательные тенденции и принять необходимые меры реагирования.

Приведем примеры наиболее масштабных и распространенных систем индексов и индикаторов устойчивого развития:

- ✓ ***Система индикаторов устойчивого развития***, разработанная Комиссией ООН по устойчивому развитию (КУР), которые группируют по социальным, экономическим, экологическим, институциональным аспектам устойчивого развития [45];
- ✓ ***Индикаторы мирового развития***, разрабатываемые Всемирным Банком, включающих 6 комплексных показателей:
  - комплексный
  - население
  - экономика
  - окружающая среда
  - государство
  - рынок.

Ежегодно Всемирный Банк выпускает доклад «Индикаторы мирового развития» по итогам текущего года, в котором отражаются пороги поставленных намерений стран мира. В целом анализируется информация по

более чем 550 показателям развития стран мира, на основании чего выпускается краткий «зеленый» справочник [46], [47].

✓ **Индекс качества жизни**, также разрабатываемый Всемирным Банком, позволяющий оценить уровень общественного развития. Используются 9 показателей качества жизни страны [48]:

- ✓ Здоровье: Ожидаемая продолжительность жизни (в годах)
- ✓ Семейное положение: уровень разводов (на 1 тыс. чел)
- ✓ Общественная жизнь
- ✓ ВВП на душу населения
- ✓ Показатели безопасности и стабильности
- ✓ Климат и географическая составляющая
- ✓ Уровень безработицы (в процентах)
- ✓ Средний индекс политической и гражданской свободы
- ✓ Гендерное равенство

✓ **Индекс «живой планеты»**, рассчитываемый по интегральным агрегированным индексам, основанным на экологических параметрах. Оценкой состояния природных экосистем планеты для расчета агрегированного индекса «Живой планеты» (ИЖП) занимается Всемирный Фонд Дикой Природы (World Wild Fund) [49].

Индекс живой планеты (ИЖП) — это показатель состояния биологического разнообразия в мире, основанный на динамике численности популяций позвоночных видов в наземных, пресноводных и морских средах обитания. Расчет Индекса живой планеты показывает, что с 1970 года численность популяций наблюдаемых млекопитающих, птиц, земноводных, рептилий и рыб сократилась в среднем на 69 %, и показывает, что в среднем численность популяций составляет менее одной трети от той, что была в 1970 году.

✓ **Показатель «экологический след»** (ЭС) измеряет потребление населением продовольствия и материалов в эквивалентах площади

биологически продуктивной земли и площади моря, которые необходимы для производства этих ресурсов и поглощения образующихся отходов, а потребление энергии — в эквивалентах площади, необходимой для абсорбции соответствующих выбросов CO<sub>2</sub>. «Экологический след» может быть сравнен с величиной экологически продуктивной территории данного региона, а результат этого сравнения служит индикатором продвижения региона к устойчивому развитию. Величину «экологического следа» для стран мира ежегодно рассчитывает Всемирная сеть экологического следа (Global Footprint Network). Человечество потребляет услуги, которые предоставляет ему природа, слишком интенсивно – быстрее, чем успевает восстанавливаться природный потенциал для их производства. Уже сейчас совокупный отпечаток человечества превышает возможности биосферы на 30% [50].

✓ **Индекс экологической устойчивости**, (ESI) — это показатель общего прогресса в области экологической устойчивости, определяемая по 5 крупным разделам:

- ✓ Состояние окружающей среды – воздуха, воды, почвы, экосистем
- ✓ Уровень загрязнения и воздействия на окружающую среду
- ✓ Потери общества от загрязнения окружающей среды, представленные в виде потерь продукции, заболеваний и др.
- ✓ Социальные и институциональные возможности решать экологические проблемы
- ✓ Возможность решать глобальные экологические проблемы путем консолидации усилий для сохранения природы.

Значение индекса рассчитывается по 22 индикаторам, имеющим в среднем 2-5 переменных, всего выделено 67 переменных. В виду отсутствия общепризнанных приоритетов в ранжировании экологических проблем все переменные при расчете индекса имеют равный вес [51].

Важной составляющей системы индикаторов устойчивого развития является определение качественных и количественных преобразований природных компонентов и систем. Для достижения целей устойчивого развития по отношению к окружающей природной среде необходимо:

- ✓ обозначить проблемы, выявленные при оценке состояния окружающей природной среды
- ✓ оценить динамику и степень ее преобразованности под влиянием антропогенного фактора
- ✓ определить пределы ее выносливости и уязвимости
- ✓ рассчитать экологические риски антропогенного влияния
- ✓ составить модели и прогнозы развития, с учетом различных сценариев.

Результаты этой оценки позволяют определить степень антропогенной нагрузки и обозначить необходимые компенсационные механизмы регуляции позволяющие регулировать дальнейшую тенденцию развития. Разработаны немало методов и критериев оценки качества природных компонентов как: атмосферный воздух, водных объектов, почв, животного и растительного мира и др., видоизменяемых под влиянием антропогенного давления [52], [53], [54]. Наряду с этим актуальными являются вопросы комплексной, интегрированной оценки качества окружающей природной среды обосновываемые сбором, обработкой широкого спектра данных и осуществленных оценок отдельных компонентов, объектов и административных образований [55], [56], [57], [58], [59], [60], которые в последующем могут быть применены для разработки комплексных оценок, нормативов качества природной среды или антропогенной нагрузки. Соответственно, разработка оценочных критериев, методик комплексных показателей состояния природной среды в рамках конкретных объектов и границ является весьма необходимым и актуальным.

Международными организациями сформированы различные модели структурирования структуры индикаторов, наиболее популярны модели разработанные ОЭСР основанное на оценке воздействия – состояния – реакции, Европейским агентством по окружающей среде предлагается дополненная пятиступенчатая модель структуры индикаторов "источник (движущая сила) воздействия – давление – состояние – воздействие - реакция" (PSIR). [61]. Эти пять компонентов (PSIR) являются основными индикаторами оценки воздействия окружающей среды и лежащей в основе подхода комплексной экологической оценки. На рисунке 1.2.1 представлена схема взаимодействия этих компонентов, подготовленная G. Braathen (2015) для онлайн платформы по интерактивному обучению сценариям и возможным последствиям антропогенного воздействия на окружающую природную среду [62], в которой, согласно автора:

***Движущие силы*** – это фактор техносферы, который определяет деятельность усиливающую или митигирующую воздействие на окружающую природную среду. Основные движущие силы представлены, например, развитием производства, сельского хозяйства, туризма, урбанизацией, что обуславливается ростом основных факторов, как рождаемость, рост благосостояния, преобразование технологий, отношением в обществе. В то время как скорость движения является движущей силой, валовый объем выбросов отходов производства — это давление. То тогда ухудшение качества воздуха при поступлении газовых загрязнителей в воздухе является состоянием, а проверка контроля выбросов - ответной реакцией.

***Давление:***

Давление можно рассматривать как источник воздействия оказывающий стресс на природную составляющую и видоизменяющий ее, в основном определяется по интенсивности движения, таким как прирост населения, преобразование экосистем, промышленный бум, бедность, скорость

потребления. Согласно G. Braathen (2015) их классифицируют на четыре основных типа:

- ✓ Давление, вызванное развитием общества (демография, технологии, миграции).
- ✓ Давление, вызванное непредвиденными последствиями политики (например, продовольственная безопасность).
- ✓ Давление, вызванное природными процессами, такими как сели, засухи.
- ✓ Давление, вызванное экологической политикой, которая оказывает положительное давление на изменение окружающей среды.

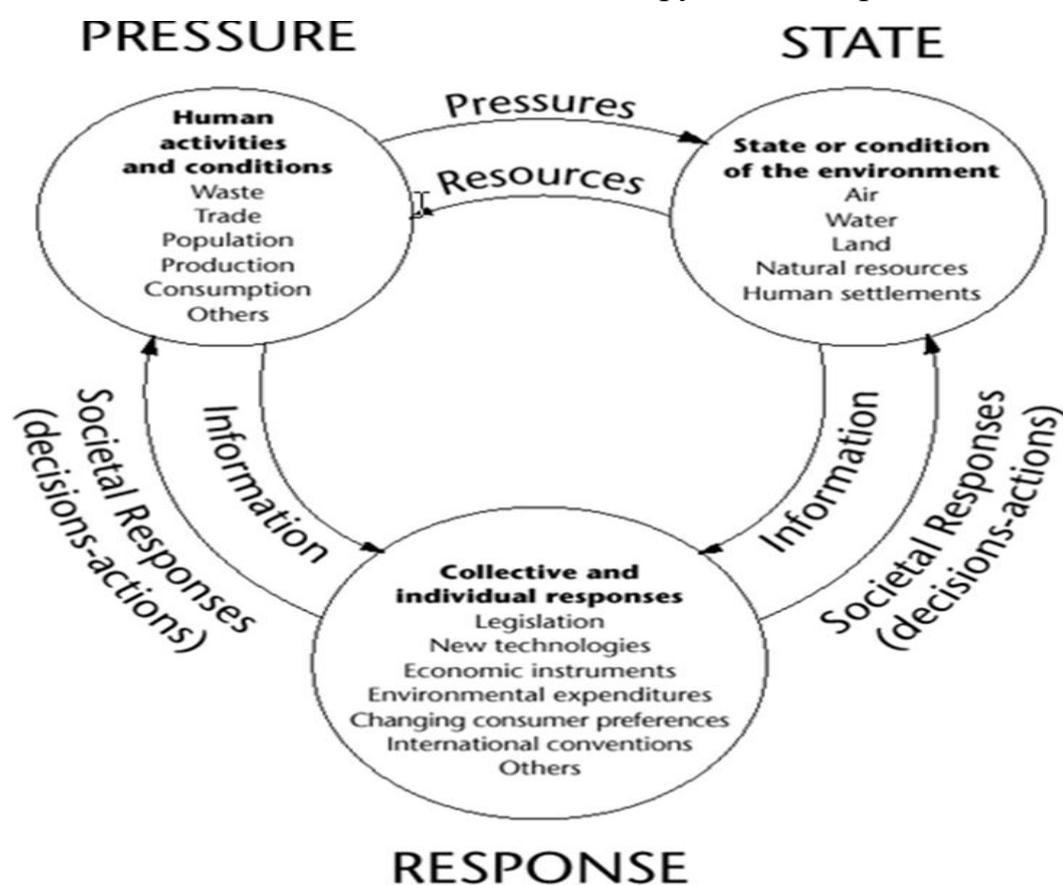


Рисунок 1.2.1 Схема взаимосвязи компонентов PSIR (источник: G. Braathen, 2015)

**Состояние** — это тренд окружающей среды в результате оказываемого давления, и ее текущим состоянием, определяемое качеством и количеством экологических и природных ресурсов, такими как, площадь лесов, площадь деградированных пастбищ, качество воды и др.

**Воздействием** принято понимать действия государства, общества, предпринимаемые для митигации или предотвращения вредного воздействия на окружающую среду, устранения экологического ущерба или сохранения природных ресурсов. Которые могут быть представлены в виде нормативных актов, финансированием на охрану окружающей среды, поддержкой научно-исследовательских изысканий, изменениями в стратегиях управления. Измерение можно проводить по таким параметрам как здоровье населения, снижение биоразнообразия или истощением природных ресурсов. Авторы считают, что с точки зрения индикаторов иногда трудно провести различие между состоянием и воздействием [62].

### **Реакция**

Давление оказываемой современной техносферой на экосистему планеты является актуальной проблемой международного уровня, поскольку планета у нас у всех одна и решать создавшиеся проблемы можно только сообща. Основными стрессовыми факторами являются выбросы токсичных веществ с промышленных предприятий, преобразование естественных природных комплексов и многое другое. Фактически, экологические нарушения часто включают в себя различные комбинации таких стрессов. Поэтому сейчас признается, что оценка воздействия экологических нарушений на организмы требует понимания последствий стресса на всех иерархических уровнях биологической организации, от молекулярного и клеточного до организменного и популяционного, а также на уровне сообществ и экосистем [63], [64], [65]. До 70-х годов прошлого столетия ущерб окружающей среде определялся в основном ссылаясь на оказываемое воздействие на здоровье человека или на крупные катастрофы оказываемое негативное воздействие на экономику страны. Однако все более поздние изменения в окружающей среде показали, что длительное и хроническое воздействие экологического стресса не менее опасная [66], чем видимые и крупные изменения, происходящие в окружающей среде, такие воздействия характеризуются низкой скоростью,

специфичностью [67] и зачастую трудно отделить от процесса и последствий естественного изменения окружающей среды [68]. Констатация этого факта стала основным камнем преткновения при оценке воздействия на окружающую среду с момента начала подобных исследований [69].

Переход от качественной оценки к количественной интерпретации рассматриваемого объекта, с получением интегральной оценки переведенного в индекс по каждой из групп индикаторов является ключевым моментом при комплексной оценке состояния окружающей среды [70] и принятия соответствующих мер реагирования. В настоящее время для оценки локального, регионального и глобального воздействия человеческой деятельности на экосистемы существует целый ряд методик, в том числе оценка жизненного цикла (Life Cycle Assessment (LCA)), оценка риска (RA), оценка экологического риска (Environmental Risk Assessment (ERA)), оценка экосистемных услуг (Ecosystem Services Assessment (ESA)), оценка воздействия на окружающую среду (ОВОС) и Стратегическая экологическая оценка (СЭО).

Первые исследования LCA относятся к концу 1960-х и 1970-м годам [71], но только в 1990-2000 годах методология была оформлена в виде международных стандартов, что привело к более широкому признанию со стороны научного сообщества [71]. В свою очередь, RA — это широко ориентированная процедура, изучающая и управляющая рисками конкретных видов деятельности (например, добычи ископаемого топлива, финансовых инвестиций) или событий (например, стихийных бедствий). Идеи и принципы RA в том виде, в котором они известны сегодня, были разработаны в 1970-1980-х годах [72]. Ключевая цель экологической науки - разработать надежные, практичные и относительно недорогие процедуры оценки риска для здоровья биосферы и использовать эти возможности для прогнозирования вероятных последствий воздействия потенциально опасных токсичных загрязнителей [73]. ERA — это более конкретный процесс в рамках RA,

направленный на выявление, анализ и оценку потенциальных экологических рисков, возникающих в результате человеческой деятельности, которые могут нанести вред человеку (ERA для здоровья человека) или экологическим рецепторам (ERA для экологии). До относительно недавнего времени процедуры оценки риска были ориентированы на защиту здоровья человека. Теперь широко признано, что такие процедуры должны также обеспечивать защиту сложных биотических сообществ в природных экосистемах, чтобы сохранить качество окружающей среды, в которой мы живем. В настоящее время оценка экологического риска основывается на наборе информации, полученной в результате изучения физико-химических характеристик соединений (подход QSAR) и лабораторных испытаний на токсичность [72] и имеет алгоритм исполнения приведенный на рисунке 1.2.2.



Рисунок 1.2.2 Алгоритм реализации ERA (источник: собственная презентация основанная на G. Braathen, 2015)

В современном управлении водными, почвенными ресурсами ориентируются на характеристики наиболее важных химических загрязнителей. На основании которого проводится мониторинг концентрации принятых загрязняющих веществ. Если концентрация измеренных загрязняющих веществ в пределах предельно допустимых концентраций (ПДК), то качество контролируемых объектов считается «хорошим», если же ПДК превышены, то принимаются меры по снижению до принятых

нормативов [74]. Однако сложные процессы в природе подразумевают не только воздействие отдельных соединений, но и воздействие смесей, которые не учитываются в нормативе ПДК [75]. Следовательно, экологическое нормирование содержания загрязнителей в объектах окружающей среды достаточно сложно из-за трудности учета всех экологических факторов. Нормативы также не учитывают климатические и геохимические особенности регионов [76]. Ввиду многокомпонентности и сложности протекающих процессов в экосистемах имеется необходимость разработки новых подходов для их оценки [77] ввиду того, что концепция предельно допустимых концентраций не всегда дает полную адекватную оценку их воздействия на компоненты окружающей среды и нуждается в дополнении [78]. В целом, существует большой спрос на экотоксикологические данные, которые в настоящее время ограничивают более надежную оценку многих ПДК. Для воды примерно половина ПДК определяется на основе четырех или более КОНЭ (концентраций отсутствия наблюдаемого эффекта) [79]. Для другой половины ПДК основаны лишь на нескольких хронических или острых тестах. Для почвы и осадочных пород почти нет экотоксикологических данных, и ПДК для этих компартментов во многих случаях определяются на основе ПДК в воде с применением метода равновесного разделения (EqP-метод), что приводит к ПДК с большей неопределенностью. Некоторые из использованных методов и основополагающих допущений нуждаются в улучшении. Например, коэффициент между ПДК и МК (мизерных концентраций), метод статистической экстраполяции, метод, используемый для вторичного отравления, роль фоновых концентраций «естественно» встречающихся веществ, биодоступность и EqP-метод [80].

Предлагаются методы для улучшения оценки экологического риска почвенных экосистем, как например метод TRIAD [81], при котором отдельно учитываются химические, экотоксикологические и экологические показатели, а затем рассчитывается интегрированный риск (IR) [82]. IR рассчитанный на

основе данных трех дисциплин (химии, экологии и токсикологии), представляется более полной характеристикой для оценки экологического состояния почв [83].

Оценка качества воды играет важную роль в управлении водной средой и принятии решений и является основой планирования и управления системой водных ресурсов [84], [85]. Предлагаются методы однофакторной оценки, классификацию качества воды, комплексный индекс загрязнения, индекс загрязнения по Немерову, анализ основных компонентов, нечеткую комплексную оценку и комплексный индекс идентификации качества воды [86], однако каждый индекс имеет сильные и слабые стороны, что ограничивает его применимость и простоту использования. которые необходимо адаптировать под локальные условия, типы загрязнения, нагрузки и целей мониторинга [87], [88].

ESA — это экосистемно-ориентированная методология, которая оценивает вклад экосистем в благосостояние человека через предоставление экосистемных услуг (ЭУ). Кроме того, методология подчеркивает компромиссы и синергизм, которые могут возникать между ЭУ, когда деятельность человека происходит в экосистеме. Концепция ЭУ берет свое начало в 1970-х годах [89]. Позже, в 1990-х годах, ЭУ были определены как «потоки материалов, энергии и информации из запасов природного капитала, которые в сочетании с услугами промышленного и человеческого капитала создают благосостояние человека» [90]. Более широкое распространение и применение получила в 2005 году опубликованием Оценки экосистем тысячелетия ООН (Millennium Ecosystem Assessment - MEA) в 2005 году [91]. MEA способствовала разработке одних из первых рамок, в которых ЭУ оцениваются для поддержки принятия решений в контексте земле- и водопользования человеком [92], [93]. Однако ни один из них не может в отдельности комплексно оценить как положительные, так и отрицательные последствия человеческой деятельности в различных географических

масштабах. Для проведения комплексных экологических оценок, научного анализа, принятия комплексных управленческих решений и понимания компромиссов необходимо в комплексе изучать сложную цепочку воздействий [94], [95], [96]. Например, замена ископаемого топлива на биоэнергию может снизить углеродный след, но неизбежно увеличит земельный и водный след [97]. Для учета таких рисков особенно подходят более целостные, интегрированные методы оценок. Выделяются три категории интеграции: пост-анализ, интеграция через объединение результатов и интеграция через дополнение метода управления. Обзор литературы показывает, что наиболее распространенным типом интеграции является интеграция через дополнение метода управления. Однако ни один из интеграционных подходов нельзя отнести к категории полной интеграции, но это и не требуется для всесторонней оценки. Наиболее важным аспектом является выбор соответствующих компонентов из каждой методологии, которые могут охватить как экологические, так и социально-экономические затраты и выгоды от деятельности человека на экосистемы [98].

Экономический рост в развитых странах и растущая нагрузка на окружающую среду были двумя факторами, которые внесли значительный вклад в разработку и внедрение одного из действенных инструментов оценки воздействия на окружающую среду (ОВОС) [99].

*ОВОС* — это процесс, в ходе которого потенциальное воздействие предлагаемого развития на окружающую среду оценивается на ранней стадии принятия решений с целью содействия рациональному природопользованию [100]. Оценка воздействия на окружающую среду (ОВОС) применяется не только к продукции или проектам, но и к политике и программам. Это систематический процесс рассмотрения возможных воздействий до принятия решения о том, следует ли давать разрешение на реализацию предложения. Консультации и участие общественности являются неотъемлемой частью этой оценки [101]. Основная цель ОВОС - защитить экологические нормативы до

начала экономической политики, не препятствуя экономическому и социальному развитию, определить все положительные и отрицательные последствия, которые может вызвать определенная деятельность, обеспечить принятие всех необходимых мер и, наконец, избежать такой деятельности, которая окажет воздействие пагубное для самовосстановления окружающей среды [102]. Защита экосистемы направлена на поддержание устойчивой окружающей среды на благо человека, и ОВОС является одним из наиболее эффективных инструментов экологического планирования и управления окружающей средой для достижения этой цели [103], [104], [105]. Однако, одной из самых слабых сторон ОВОС является сложность учитывания нарастания воздействия, оказываемого одним или несколькими проектами в пространственно-временных сценариях, называемое «кумулятивным эффектом» или «кумулятивным воздействием» [106], [107], и по своей сути ОВОС не рассматривает такое воздействие [108]. Концепция кумулятивного воздействия возникает, когда два или более стимулов, таких как агенты изменений, стрессоры или причины, действуют вместе, чтобы повлиять на состояние компонента экосистемы [109], [110], [111].

В качестве охвата этого недостатка ОВОС предлагается новый метод **«Стратегическая экологическая оценка»** (СЭО), охватывающий в себя ОВОС

СЭО - это систематический процесс оценки экологических последствий предлагаемых политик, планов и программ для обеспечения полного выяснения их последствий с целью их надлежащего решения на самом раннем этапе на национальном уровне [112], [113]. Основная цель СЭО - «информированное принятие решений» путем предоставления социально-экономических и экологических предложений, альтернатив [114]. Имея возможность учитывать кумулятивное воздействие множества осуществляемых и прогнозируемых проектов он считается логическим инструментом принятия решений, который должен использоваться

организованно и строго для достижения более экологически устойчивых результатов [115]. Однако важно помнить, что по сравнению с развитым стратегическим мышлением переход к СЭО может происходить очень медленно [116].

На протяжении 1990-х и 2000-х годов термин ESG начал набирать обороты и все чаще использовался в качестве основы для оценки устойчивого и этического воздействия инвестиций [117]. Это было вызвано растущим признанием финансовых рисков и возможностей, связанных с факторами ESG, а также растущим осознанием необходимости для компаний быть более прозрачными и подотчетными за свое воздействие на окружающую среду и общество. Критерии экологического, социального и управленческого характера (ESG) служат для оценки устойчивости компании и ее влияния на общество [118]. Оценка деятельности компании по этим критериям ESG предполагает тщательное изучение ее практики и политики в различных областях, включая экологическую ответственность, трудовые стандарты, права человека, корпоративное управление и взаимодействие с общественностью [119]. Существенным недостатком данного подхода является отсутствие общепринятой системы ESG и консенсуса в отношении практического использования различных показателей ESG [120], для решения которых развернуты активные исследования.

Таким образом, многообразие подходов, методов, стратегий, которые постоянно обновляются, адаптируются, улучшаются требует апробирования в локальных масштабах и зависят от специфических воздействий и условий и зависят от факторов, воздействующих на них. Направленным фактором устойчивого развития наряду с оценкой степени, качества развития требует разработок экологически ориентированных подходов.

### ***1.3 Стратегии, инновационные технологии и подходы рационального природопользования для достижения целей устойчивого развития***

Достижение целей и задач устойчивого развития требует совершенно нового подхода, которая требует расширения масштабов деятельности, организационной системы рационального и устойчивого роста, который должен опираться на технологические инновации и подходы [121]. Модернизация производства может быть основана на совершенно новом инновационном подходе производства, но может и подразумевать усовершенствование функционирующих технологий, путем внедрения новых подходов и методов рециркуляции, рационализации схем и процессов. Зеленые технологии направлены на соблюдение экологических принципов и эколого-экономических законов, экономию ресурсов и энергии, а также на предотвращение, устранение или уменьшение загрязнения и разрушения экологической среды [122].

Представлены значительное количество исследований посвященных этой теме: «Стратегия зеленого роста» Организации экономического сотрудничества и развития (ОЭСР) [123], доклад Программы ООН по окружающей среде (ЮНЕП) «На пути к зеленой экономике» [124], стратегия ЕС «Европа 2020» [125], исследование европейских исследовательских институтов «Новый путь роста для Европы» [126] и, наконец, программа устойчивого развития «На пути к устойчивой Азии», представленная 26 азиатскими академиями наук [127], [128]. Хорошо известно, что в основе «развития» лежит совокупность технологических, социальных и институциональных возможностей, создаваемых с течением времени путем использования многочисленных возможностей для роста [129]. При этом и устойчивое развитие, и технологические инновации сочетаются друг с другом и способствуют, друг другу определяя уровень производительности и процветания любой экономики [130], [131]. В этом случае рост происходит за счет инвестиций в модернизацию всей производственной системы с переходом на экологические и ресурсосберегающие процессы и продукты. Предложены 3 варианта трансформации на пути устойчивого развития:

Циркулярная экономика, Зеленая экономика и Биоэкономика [132], [133], [134], [135], [136], [137]. Необходимость выбора этих трех концепций обусловлена тем, что все они предлагают адаптировать или трансформировать современную экономику в сторону более устойчивой [138]. На рисунке 1.3.1 приведена схема взаимосвязи трех макро концепций устойчивого развития предложенная [139] перехода к Концепции стратегического устойчивого развития предложенная [140].

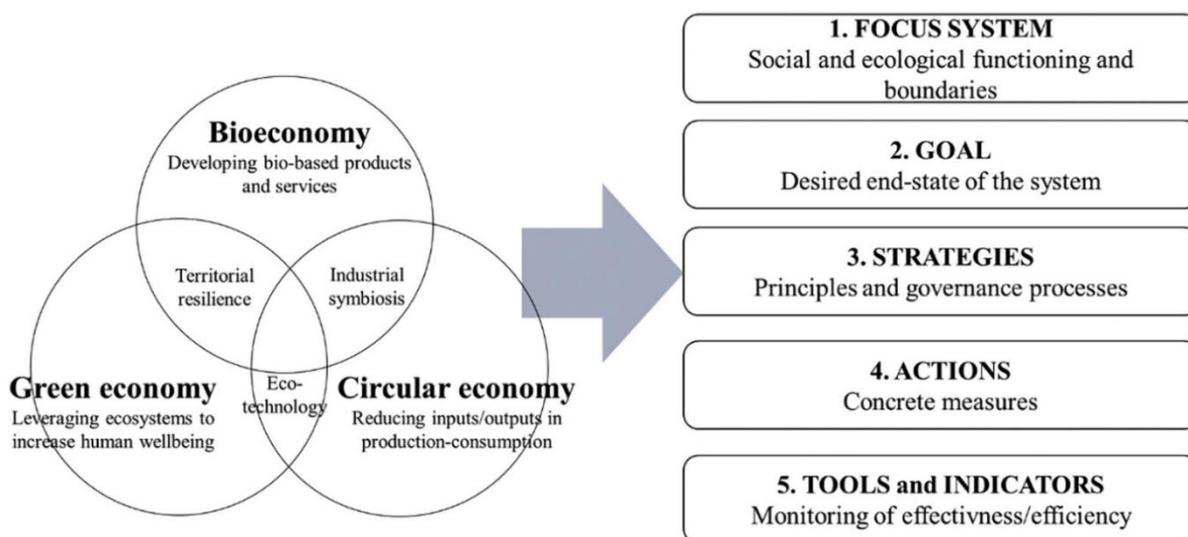


Рисунок 1.3.1 Взаимосвязь между тремя макроконцепциями устойчивого развития (источник D’Amato, 2019, Broman and Robert, 2015)

Зеленая экономика представляет собой модель экономического развития, при котором предполагается ответственное отношение человека к природным ресурсам [141]. Хотя в краткосрочной перспективе разработка и внедрение «зеленых» технологий может быть дорогостоящим делом, в конечном итоге они создают экономические возможности, которые не ставят под угрозу способность природных активов предоставлять ресурсы и экологические услуги для будущих поколений [142], [143]. Действительно, «зеленые» технологии сосредоточены на устойчивых инновациях, которые учитывают краткосрочное и долгосрочное воздействие экономической деятельности на общество и природу. Однако устойчивые инновации не ограничиваются

постепенными изменениями в способах производства продукции. Напротив, это концептуальный сдвиг в управлении, производственных процессах и каналах поставок, предполагающий осознание того, что продукт является частью целой экосистемы [144], [145]. Значительным изменением, которое может способствовать такому осознанию, являются революционные инновации, затрагивающие всю отрасль [146], [147]. Переход на электромобили, циркулярная экономика (например, повторное использование промышленных отходов и выбросов), экономика совместного использования и цифровизация - все это отличные примеры такого рода инноваций [148]. Когда компании сталкиваются с озабоченностью клиентов по поводу охраны окружающей среды, инновации могут помочь им найти решения с точки зрения клиентов, выявить потребности новых клиентов, особенно экологически сознательных потребителей, и обеспечить быстрый ответ рынка с помощью инноваций [149], [150].

Несмотря на широкую поддержку, между потенциалом технологий для содействия устойчивого развития и его реализацией остаются пробелы, и ряд вопросов требует дальнейшего внимания. Среди примеров таких вопросов - неопределенность в отношении наиболее эффективных или подходящих технологий в каких контекстах и как это можно оценить, наиболее эффективных способов технологических переходов, наилучших способов внедрения технологий и надлежащей поддержки инноваций, в том числе за пределами национальных границ [151]. Повышение технологического потенциала страны означает не только наличие доступа к технологиям, но и такие благоприятные факторы, как «человеческий, физический, финансовый, институциональный и организационный капитал» [151]. Большинство развивающихся стран испытывают дефицит этих факторов, что объясняет ограниченное распространение новейших технологий [152]. Однако они меняются и эволюционируют в плане размеров, плотности населения, видов деятельности, транспорта, инфраструктуры, выбросов углекислого газа,

производства сточных вод и мусора [153] и нуждаются в адаптированных под каждую страну подходов и методов инновационного роста. Сокращение, повторное использование и переработка являются основными инструментами, позволяющими минимизировать негативное влияние производства на окружающую среду. Одним из наиболее актуальнейших задач являются утилизация отходов, будь то отходы промышленности или бытовые отходы [154]. Если мы хотим обеспечить устойчивое будущее для человечества, мы должны научиться предотвращать, минимизировать, повторно использовать и перерабатывать отходы [155], [156]. Рассмотрим основные источники современных отходов.

Горнодобывающая деятельность оказывает значительное воздействие на окружающую среду, особенно в плане разрушения естественной среды обитания и утраты биоразнообразия [157]. Повторное использование шахтных отходов позволяет применять их с пользой, в то время как переработка позволяет извлечь компоненты ресурсов или превратить отходы в ценные продукты [158]. Однако сегодня многие из предлагаемых концепций повторного использования и переработки шахтных отходов нерентабельны. Поэтому подавляющее большинство шахтных отходов по-прежнему помещается в хранилища отходов [159]. Для разработки экономически эффективных вариантов повторного использования и переработки, а также для предотвращения миграции загрязняющих веществ из рекультивированных хранилищ отходов в долгосрочной перспективе необходимы значительные исследовательские усилия [160].

Другой насущной проблемой и задачей является вопросы повторно используемой и переработанной воды, которая в зависимости от загрязнений, содержащихся в сточных водах, и их будущего повторного использования, могут быть либо непосредственно использованы повторно, либо обработаны и повторно использованы (рециркулированы) [161]. Переработанная вода также может смешиваться с поверхностными или подземными водами для

увеличения запасов, снижая экономические и экологические затраты, связанные с созданием новых источников водоснабжения в рамках развития циркулярной экономики водных ресурсов [162].

Рост населения соответственно привел к росту потребления, которое в свою очередь привело к росту бытовых отходов, требуя разработок мер по управлению ими. Наиболее предпочтительными методами управления отходами являются предотвращение или минимизация отходов. Участие населения в разделении бытовых отходов для повторного использования и переработки является ключом к сокращению объемов захоронения отходов или увеличению количества отходов, вывозимых с полигонов [163]. Экологические последствия повторного использования и переработки твердых бытовых отходов были показаны в конкретных исследованиях [164], [165], [166] как выгодные с точки зрения сырья, ресурсов, затрат и сокращения количества свалок. Проблемы, связанные с отходами, могут быть разными в разных странах, но пути решения проблем сектора отходов могут быть общими. Примеры из практики доказывают, что концепции экологической устойчивости приводят к экономии ресурсов и оказывают положительное влияние на окружающую среду, давая конкурентные преимущества компаниям. Предотвращение и сокращение отходов у источника будут иметь первостепенное значение для всех стран, чтобы добиться радикальных изменений в направлении экологизации сектора отходов [167].

Наряду с ростом населения и производства продуктов питания возросло потребление одежды и текстиля [168], что привело к резкому увеличению количества текстильных отходов [169], [170]. По оценкам Управления по твердым отходам Агентства по охране окружающей среды (EPA), в США американцы выбрасывают более 30,8 кг одежды и текстиля на человека в год, а одежда и другие текстильные изделия составляют около 4 % твердых бытовых отходов [171]. В Великобритании средний потребитель выбрасывает 30 кг одежды и текстиля в год [172]. Это серьезная экологическая проблема,

особенно если учесть, что производство текстиля требует значительных природных ресурсов. Например, чтобы произвести 1 кг хлопка, требуется от 7 000 до 29 000 литров воды и от 0,3 до 1 кг нефти [173], что вызывает необходимость разработки их повторного использования и переработки. Другим наиболее быстрорастущим потоком отходов потребления являются отходы электрического и электронного оборудования [174].

Немаловажное место в разработке инновационных технологий имеет сохранение и рациональное использование экосистем и природных ресурсов. Особенно это актуально для стран с развивающейся экономикой, которые имеют преимущество развития своей экономики, не допуская тех ошибок, которые были допущены в развитых странах [175], [176], [177], [178]. Например, создание мегаполисов с сохранением большого массива природных лесов и парков [179]. Отмечается, что они также играют определенную роль в социальной сфере и жизни общества, например, озеленение или повышение визуальной эстетики природных ландшафтов; деревья и растения в какой-то мере снижают выбросы парниковых газов, фиксируя эмиссию углерода; кроме того, зеленые зоны создают расслабляющие рекреационные пространства в мегаполисах, предоставляя возможности для социальной активности людей, живущих или работающих в этом районе. Рациональный подход к управлению городским пространством связан с [180]:

- ✓ сохранением природной среды,
- ✓ восстановлением деградировавших зеленых зон,
- ✓ продвижением зеленых технологий,
- ✓ инновационными энергетическими решениями,
- ✓ продвижением местной промышленности и бизнеса, основанного на охране окружающей среды,
- ✓ инвестированием в возобновляемые источники энергии,
- ✓ экологически чистым транспорт,
- ✓ увеличением расходов на общественный транспорт,

- ✓ ограничением движения в центрах городов,
- ✓ предпочтением пешеходному или велосипедному транспорту,
- ✓ автомобили на альтернативных видах топлива,
- ✓ уменьшением пробок в городах,
- ✓ инновационными решениями, регулирующими пропускную способность городов,
- ✓ зелеными и открытыми пространствами,
- ✓ экологичным строительством,
- ✓ эффективным использованием природных ресурсов,
- ✓ увеличением доли вторичной переработки и
- ✓ правильным управлением водными ресурсами.

Программа ООН по окружающей среде (2012) утверждает, что «ключ к устойчивому развитию лежит в концепции экогорода» [181]. Эко-города отличаются от обычных городов качеством городской среды и удобством для жизни, которые характеризуются следующими особенностями: компактность, смешанная застройка, транспорт с низким энергопотреблением, производство возобновляемой энергии и уменьшение общего экологического следа [182]. Тематические исследования озеленения городов могут показать многообещающие результаты на пути к улучшению окружающей среды, качества жизни и одновременно создать новые перспективы и экономические возможности для устойчивого развития общества [183].

Наряду с городскими инновационными технологиями сельскохозяйственные зеленые инновационные технологии дают новый импульс и возможность для скоординированного развития экономики, общества и экологических ресурсов [184]. Поскольку вся базисная составляющая цивилизации человечества и существования самого человека основана на литосфере и его плодородном слое почвы нагрузка, оказываемая на нее также колоссальна. Признав деградацию земель важной экологической проблемой в 14-ой главе Содействие устойчивому ведению сельского хозяйства и развитию сельских

районов Повестки дня на XXI век, была принята задача по разработке долгосрочных национальных и региональных программ по сохранению и восстановлению земель. Согласно данным [185], «около 25% поверхности пахотных земель по всему миру считаются деградированными; ежегодно к общей площади деградированных земель добавляется около 12 миллионов гектаров. Экономический ущерб от деградации земельных ресурсов оценивается в 490 миллиардов долларов США ежегодно, что составляет от трех до шести процентов всемирного валового внутреннего продукта». В 2010 году в рамках Конвенции о биологическом разнообразии были разработаны Айти-цели по восстановлению деградировавших экосистем, которые предусматривают восстановление не менее 15% деградировавших экосистем к 2020 году. Однако на сегодня ни одна из 20 целевых задач Айти в области биоразнообразия, не была достигнута [186]. В создавшейся ситуации становится ясно, что в дальнейшем продовольственная безопасность будет зависеть от того, будут ли земельные, почвенные и водные ресурсы планеты сохранены. «Забота о земле, о водных ресурсах и особенно о здоровье почв в долгосрочной перспективе имеет основополагающее значение для обеспечения доступа к продовольствию в условиях постоянного ужесточения требований к продовольственной цепочке» [187]. Важнейшим шагом на пути к достижению этой цели является разработка беспристрастных методик определения приоритетов, которые помогут установить ключевые области для восстановления [188]. Для осуществления изменений потребуется сочетание подходов «снизу вверх» и «сверху вниз», которые продвигают инновации и решения, отвечающие разнообразным потребностям и интересам местных сообществ, а также отмечается о необходимости уделить больше внимания территориальному управлению. Этот акцент должен объединить и согласовать планирование землепользования, управление природными ресурсами, социально-экономическое развитие территорий, а также планирование и

внедрение устойчивой инфраструктуры для достижения целей биоразнообразия и устойчивого развития [186].

Планирование землепользования (ПЗ) для достижения нейтральности деградации земель (НДЗ) нуждается в методах и инструментах, поддерживающих определение лучших решений ПЗ с точки зрения перехода от текущих деградационных практик землепользования (ПЗ) и управления земельными ресурсами (УЗР) к лучшим вариантам ПЗ и УЗР [188].

В этом направлении разрабатываются и предлагаются практики или меры устойчивого управления земельными ресурсами (УУЗР), которые должны внедряться путем интеграции социально-экономических принципов с экологическими проблемами [189]. Практики УУЗР служат для поддержания экологической устойчивости и стабильности экосистемных услуг, и представляет собой набор возможных технологий, практик и подходов к управлению земельными ресурсами [190].

Мировой обзор природосберегающих подходов и технологий (МОПТ) предлагает приведенные на рисунке 1.3.2 меры измерения УУЗР в качестве примера, которые применяются в природоохранном сельском хозяйстве и в схемах экологически безопасного сельского хозяйства [191]:

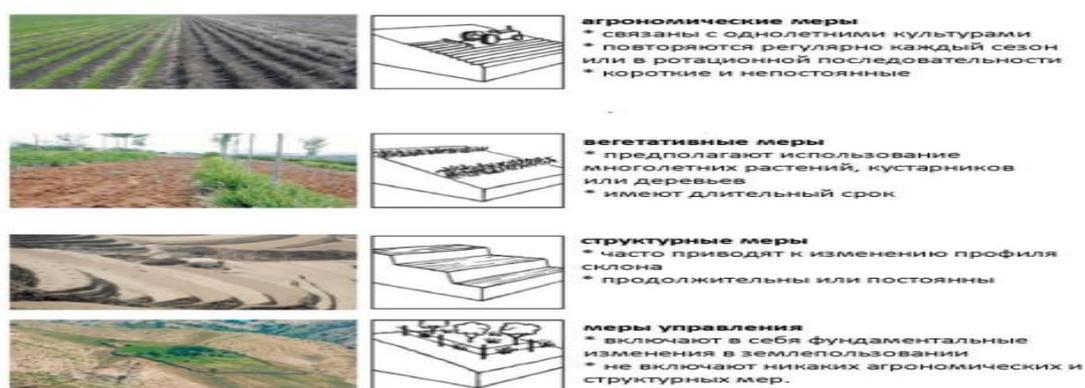


Рисунок 1.3.2 Измерения УУЗР (источник: Nagari, 2017)

Ключевым моментом является выбор схем устойчивого управления земельными ресурсами (УУЗР) подходящих для конкретных условий. Выбор такой схемы должно быть направлено не только на восстановление прошлой деградации, но и на предотвращение будущей деградации, которая может быть

вызвана несоответствующими практиками использования земель и управления земельными ресурсами [192]. Таким образом, для организации детального мониторинга и точной оценки деградации земель, эффективного устойчивого управления земельными ресурсами необходимо учитывать множество знаний, используя различные методы и масштабы, адаптированные и применимые и учитывающие специфику локальных условий и воздействий [193].

Анализируя ситуацию по практикам достижения целей устойчивого развития и достижения рационального природопользования, при котором будет обеспечена безотходная технология развития, подобно природным экосистемам все больше предлагается переход к циркулярной экономике [194], [195], [196], которая опирается на идеи промышленной экологии и промышленного метаболизма, сформулированные в 1970-х и 1980-х годах на основе переосмысления промышленных процессов [197]. Циркулярная экономика представляет собой стиль экономического развития, который позволяет повысить эффективность использования ресурсов, защитить и улучшить окружающую среду и обеспечить устойчивое развитие [198], путем производства и потребления товаров и услуг через замкнутые материальные потоки, в которых экологические внешние факторы учитываются с самого начала проектирования продукта или услуги [199], [200]. По мнению Kirchherr et al., циркулярная экономика действует на микроуровне (продукты, компании, потребители), мезоуровне (экоиндустриальные парки) и макроуровне (город, регион, страна и далее) [201]. Этому должны способствовать новые бизнес-модели и ответственные потребители. Следовательно переход к циркулярной экономике требует постановки целей и задач, тщательного планирования и разработок стратегий управления на всех уровнях организации и конечно же ответственного отношения потребителями [202]. Она может играть важную роль в устойчивом развитии и управлении хозяйствующим субъектом, что обеспечивает долгосрочную его

работоспособность и гарантирует экологические и социальные выгоды. Главным критерием для его достижения выполнять принцип замкнутости каждым хозяйствующим субъектом, предусмотренных в рамках своих стратегических планов [203]. Отмечается необходимость структуризации объемов потребления природных ресурсов с учетом технологической эффективности и отходов, позволяющая объединить первичные природные ресурсы с конечным потреблением и позволяющим оценить размеры теряемых первичных природных ресурсов [204]. Несмотря на усилия все еще четкого определения моделей циркулярного бизнеса и предложений циркулярной ценности не определены [200].

В свою очередь биоэкономика представляет собой экономическую деятельность, связанную с производством, использованием и сохранением биологических ресурсов, которая включает в себя разработки в области биотехнологии, направленных на создание новых продуктов и процессов [205]. Биоэкономика отводит новую роль традиционным биооснованным секторам: сельскому, лесному, рыбному хозяйству и аквакультуре в процессе перехода от ископаемой к циркулярной и устойчивой биооснованной экономике. Этим секторам предстоит столкнуться с растущим спросом на биомассу, необходимую для новых цепочек создания добавленной стоимости, и при этом не превышать экологических границ при выборе источников биомассы [206]. На Глобальном саммите по биоэкономике 2020 года, термин "биоэкономика" был определен как "производство, использование, сохранение и восстановление биологических ресурсов, включая соответствующие знания, научные дисциплины, технологии и инновации, обеспечивающие устойчивые решения (информацию, продукты, процессы и услуги) как внутри всех секторов экономики, так и на уровне их взаимодействия, и содействующие переходу к устойчивой экономике" [207]. ФАО считает биоэкономике инструментом, который не только обеспечит растущее население планеты питательными и доброкачественными пищевыми

продуктами и предоставит возможности для устойчивого развития и создания новых рабочих мест, но и позволит снизить вред для окружающей среды и сократить отходы [208], способствуя при этом повышению продовольственной безопасности и улучшению питания, укреплению источников средств к существованию в сельской местности. Примерами положительных практик являются производство биопластика [209], [210], биопестицидов [211], органических удобрений [212], [213], повторное использование биомассы [214] и др. Для внедрения лучших практик биоэкономики предлагается проводить научные изыскания, исходя из местных условий и традиций [215].

Наряду с приведенными выше стратегиями и подходами устойчивого развития учеными, международными организациями проводятся работы по изучению новых практик устойчивого развития, которые смогут заполнить недостающие компоненты практикуемых решений. В 2008 году Всемирный банк предложил решения ориентированные на принципах природы или природоориентированные решения (Nature based solutions NbS), которые широко рассматриваются как научными, так и международными организациями [216]. Согласно определению Европейской комиссии (2020), NbS - это: «Решения, основанные на природном принципе, экономически эффективные, одновременно обеспечивающие экологические, социальные и экономические преимущества и способствующие повышению устойчивости» [217]. С точки зрения нормативов, решения, основанные на принципах природного подхода, относятся к экосистемным вмешательствам, направленным на одновременное решение экологических, социальных и экономических проблем [218]. Эта цель неизбежно предполагает прямое и косвенное взаимодействие биофизических и социальных факторов в различных пространственных и временных масштабах. По этой причине учет сложности компонентов биофизических и социальных факторов является неотъемлемой системной характеристикой природоориентированных

решений [219]. Технологии NbS важны для будущего человечества, поскольку они способны смягчить некоторые негативные последствия изменения климата и способствовать благосостоянию людей [220]. В настоящее время существует относительно небольшое количество практических примеров реализации решений на основе природы в глобальном масштабе, что требует расширения и применения теорий, основанных на естественных подходах. Поэтому быстро развивающиеся области, такие как экологическая инженерия, агроэкология, экологическая интенсификация и экономика устойчивого развития, должны уделять особое внимание реальным практическим приложениям с потенциалом расширения и социально-экономической значимостью [221].

Несмотря на очевидные различия в предположениях и стратегиях реализации, концепции циркулярной, зеленой, биоэкономики, NbS решений, объединены общим идеалом согласования экономических, экологических и социальных целей.

На основании литературного обзора проведенного D'Amato [222] с точки зрения содержания, циркулярная экономика фокусируется на промышленных городских процессах для устранения разрыва между использованием ресурсов и экономическим результатом; биоэкономика - на инновациях, основанных на биологических ресурсах, и практике землепользования в контексте сельского развития; а зеленая экономика представляет собой зонтичную перспективу для сбалансированного социально-экологического развития с глобальной областью исследований. По проведенному обзору исследование зеленой экономики является наиболее инклюзивной концепцией, включающей некоторые идеи из циркулярной и биоэкономики. Хотя взаимодополняющее понимание циркулярной экономики, биоэкономики и «зеленой» экономики обеспечивает важные ориентиры для преобразований в области устойчивого развития, существует необходимость в более целостном, общесистемном и интегративном исследовании потенциально взаимодополняющих концепций

устойчивого развития [223], главным образом адаптированных к местным условиям, согласно традиционным знаниям и ценностям.

Одного общего руководства для всех стран, ввиду их многогранности существовать не может, поэтому важно разрабатывать стратегии с учетом местных условий, традиций, факторов воздействия и ценностей.

#### ***1.4 Становление и подходы устойчивого развития в Кыргызской Республике***

На Конференции ООН по устойчивому развитию в 2012 году Кыргызской Республикой выражена приверженность устойчивому развитию через продвижение приоритетов "зеленой" экономики, для реализации целей и задач которого в том же году был создан Национальный Совет по устойчивому развитию [224] и принят политический курс страны на устойчивое развитие. “Для Кыргызской Республики такой переход является насущной необходимостью, так как социально-экономическое развитие страны в значительной степени основано на потреблении природных ресурсов. Страна сталкивается в своем развитии с проблемами, которые могут представлять угрозу для будущего устойчивого развития страны, главными из которых являются: истощение природных ресурсов без создания эффективных альтернатив, потеря основных естественных экосистем и стагнация человеческого капитала” [225]. Для реализации концепции устойчивого развития в стране приняты ряд ключевых документов:

- ✓ В 2013 году разработана Программа перехода к устойчивому развитию (ППУР) Кыргызской Республики на период 2013-2017 годы, утвержденная постановлением Жогорку Кенешем Кыргызской Республики от 18 декабря 2013 года № 3694-V [226].
- ✓ В 2015 году утверждена распоряжением Правительства Кыргызской Республики от 19 февраля 2015 года № 48-р «Матрица индикаторов мониторинга и оценки прогресса перехода Кыргызской

Республики к устойчивому развитию», включающая набор разработанных индикаторов «зеленого» роста [227].

✓ 1 января 2016 года официально вступили в силу 17 целей в области устойчивого развития (ЦУР), изложенные в Повестке дня в области устойчивого развития на период до 2030 года [228].

✓ В рамках адаптации и реализации ЦУР, в Кыргызской Республике образован Координационный комитет по адаптации, реализации и мониторингу ЦУР [229].

✓ Признавая, что “старая экономическая модель развития государств, основанная на хищнической эксплуатации природных ресурсов планеты и сверхпотребительском стимулировании спроса населения, работает неэффективно. В прошлом экономическое развитие могло привести к быстрому накоплению физического и человеческого капитала, но все это достигалось за счет чрезмерного истощения и деградации природного капитала” [230], была принята Концепция зеленой экономики в Кыргызской Республике "Кыргызстан - страна зеленой экономики", утверждения постановлением Жогорку Кенеша КР от 28 июня 2018г №2532-VI [231].

✓ Указом Президента Кыргызской Республики от 31 октября 2018 года УП №221 принята “Национальная стратегия развития Кыргызской Республики на 2018-2040 годы” [232].

Национальная стратегия развития Кыргызской Республики 2018-2040 определяет четыре стратегических направления [233]:

✓ Человеческое развитие: признание важности доступа и вовлечения общества через равный доступ к услугам здравоохранения, образования, достойной работе, культуре, науке и гражданской интеграции.

✓ Экономическое благосостояние, продвижение бизнеса и финансирования: признание важности развития конкурентоспособной экономики, извлечение всех возможных выгод из человеческого

капитала и формальных рынков труда, улучшение инвестиционного потенциала и региональное развитие с качественной инфраструктурой. Оно также стремится развивать ключевые отрасли экономики, такие как аграрно-промышленный комплекс, легкая промышленность и устойчивый туризм. Обеспечение устойчивости окружающей среды и адаптация к изменению климата станут основой долгосрочного роста экономики.

✓ Государственное управление: обеспечение сильного и стабильного государственного управления через сбалансированную систему государственной власти, справедливую судебную систему, развитие местного самоуправления, укрепление национальной и региональной безопасности, экономическую и дипломатическую интеграцию и продвижение цифровой экономики.

✓ Преобразование системы развития: реформирование управления системой развития путем пересмотра всех предыдущих политических стратегий развития до Стратегии 2040 года, укрепление потенциала для координации посредством реорганизации Национального совета по устойчивому развитию, улучшения потенциала и использования технологий, а также мониторинга и оценки.

В данном обзоре будет представлена информация касающаяся состояния природных систем страны и их показателей. Признавая, что интенсивное использование природных ресурсов, безусловно, вносит значительный вклад в экономический рост в краткосрочном периоде, но понимая, что в долгосрочной перспективе это приведет к значительным негативным последствиям: широкомасштабной бедности и ухудшению здоровья населения из-за загрязненного воздуха и некачественной питьевой воды, недостатка продовольствия и энергии Национальной стратегии развития Кыргызской Республики на 2018–2040 годы, в сфере охраны окружающей среды, основная политика направлена на создание благоприятной для жизни

человека окружающей среды, рациональное использование природных ресурсов для социально-экономического развития и сохранение уникальных экосистем Кыргызской Республики для будущих поколений [232], так как страна, являясь горной аграрной страной сталкивается со многими рисками, присущими горным экосистемам [234], и несмотря на принятые ряд важных документов в стране в области устойчивого развития, описанные выше и приоритетах на «зеленом» устойчивом развитии, необходимо признать, что в настоящее время в экономике страны применяются, в основном, ресурсоразрушающие технологии, приводящие к ухудшению экологической обстановки в стране. Основными проблемами, препятствующими достижению целей устойчивого развития[235], являются:

- ✓ деградация земель и опустынивание;
- ✓ взаимосвязь водоснабжения и энергетики;
- ✓ угрозы продовольственной безопасности и сельскохозяйственному производству;
- ✓ стихийные бедствия;
- ✓ воздействия изменения климата на окружающую среду и последующее воздействие на проблемы бедности, здоровья, энергетики.

Уже сейчас в Кыргызской Республике наблюдаются тревожные тенденции, около 60% сельскохозяйственных угодий подвержено процессам различных видов деградации, что несет в себе серьезные угрозы продовольственной безопасности и сельскохозяйственному производству [236]. Деградация земель в Кыргызской Республике по большей части является результатом неустойчивого использования сельскохозяйственных угодий, чрезмерного выпаса скота, а также неэффективных систем ирригации и управления водным хозяйством [237]. Все сельскохозяйственные районы республики считаются потенциально уязвимыми к эрозии, включая 6.43 миллиона гектаров подверженных площадей, в том числе 0,77 миллионов гектаров пахотных земель и 4,55 миллионов гектаров пастбищ. Помимо этого, 5 млн гектаров -

45,7% от общей площади сельскохозяйственных угодий [238], пострадали от ветровой и водной эрозии. Процесс деградации усиливается с каждым годом и на некоторых участках территории принял необратимый характер [239]. Ожидается, что риски изменения климата окажут дополнительное негативное воздействие на проблемы качества управления. Не решен вопрос низкого доступа и плохого предоставления услуг водоснабжения и канализации [240]. Около 20% сельского населения не имеют доступа к чистой питьевой воде. Качество воды также является недостаточным, поскольку 40% воды в сельской местности не очищается на должном уровне. Санитарная ситуация ухудшается, так как доступ к централизованным канализационным системам составляет менее трети от существующих потребностей. Данная проблема в рамках Целей устойчивого развития отмечается как существенный вызов системе управления страной и территориями [241]. Ухудшение экологического состояния почв приводит к конечной точке его деградации – опустыниванию, выражаемое в деградации земель в засушливых, полузасушливых и сухих полугумидных климатических зонах и включает в себя пять основных процессов: деградацию растительности, водную эрозию, ветровую эрозию, засоление и заболачивание, а также образование корки и уплотнение почвы [242]. Учитывая, что Кыргызская Республика расположена в центре обширных пустынь Центральной Азии [243], имеющее место деградирование земельных водных и почвенных ресурсов может нести потенциальную угрозу для устойчивого развития экосистем страны.

Остро стоят вопросы "экологизации" разработки, добычи и переработки природных ресурсов и ископаемых, снижения воздействия на окружающую среду старых горно-обогатительных комбинатов, рекультивации горной добычи, в том числе старых и вновь образуемых хвостохранилищ, так как в последние годы отмечается тенденция увеличения количества токсичных отходов промышленного производства и потребления горнорудного сектора промышленности, которых скопилось более 2 млрд. тонн, более 95% из

которых приходится на производства добычи полезных ископаемых [244]. В населенных пунктах республики растет количество стихийных свалок и полигонов для бытовых и промышленных мусорных отходов. Сбор бытового мусора практически повсеместно производится без применения сортировочных мероприятий, что не дает возможности его повторного использования. При этом, практически не учитывается тот факт, что отходы производства и потребления при надлежащей переработке могут являться источником сырья для производств по вторичной переработке отходов [245].

Ввиду того, что индикаторы являются основой для мониторинга прогресса в достижении целей устойчивого развития на местном, национальном, региональном и глобальном уровнях в стране также разработаны и активно ведутся работы по их оценке и разработке. В целях адаптации глобальных показателей Целей устойчивого развития в Кыргызской Республике в 2017 году была проведена инвентаризация задач и показателей ЦУР с учетом национальных приоритетов [235]. В ходе работы из 232 глобальных индикаторов по 140 индикаторам были выработаны национальные аналоги-показатели к задачам и разработаны 157 дополнительных национальных аналогов-показателей к задачам, которые должны оказать содействие в мониторинге достижения ЦУР [246]. Необходимость разработки и адаптации национальных, местных целей устойчивого развития исходит из того, что глобальные индикаторы предлагают международный критерий для одобренной на глобальном уровне повестки дня, их набор недостаточен для проведения мониторинга ситуации в стране, поскольку они ставят на первое место международную сопоставимость и направлены на охват всех целевых задач за счет частичных показателей [247]. Исходя из этого, группой специалистов системы ООН, направленных на интеграцию вопросов Повестки в области устойчивого развития на период до 2030 года и достижения Целей устойчивого развития в контексте развития Кыргызской Республики проанализированы достижения целей устойчивого развития в Кыргызской

Республике, согласно которым в стране имеется ряд достижений, но в то же время имеют место недостающие данные для многих показателей, ввиду отсутствия подходящих методологий или метаданных [248]. Разработанная панель управления [249], в которой аккумулированы официальные международные и страновые показатели, относится к одной из четырех категорий, определяемых с помощью порогового уровня (рисунок 1.4.1):

- ✓ зеленый— целевая задача на 2030 год достигнута;
- ✓ желтый — целевая задача на 2030 год еще не достигнута, но достигнута промежуточная задача;
- ✓ красный — промежуточная задача не достигнута;
- ✓ серый — для целевой задачи нет доступного показателя или невозможно провести оценку.



Рисунок 1.4.1 Панель управления ЦУР для Кыргызской Республики (источник: [224]).

Национальная платформа отчетности по ЦУР отображает данные и метаданные, позволяет просмотреть графическое изображение показателя, картирование и скачивание данных в разных форматах, которое можно посмотреть по ссылке <https://sustainabledevelopment-kyrgyzstan.github.io/>.

Согласно оценки статистического потенциала выявлено, что страна готова отчитаться по 102 показателям, или по 50 процентам всех применимых

глобальных показателей ЦУР. Из 102 доступных и легко доступных показателей, 78 показателей, что составляет 76% предоставляет НСК и 24% - министерствами и ведомствами [235].

Рисунок 1.4.2 показывает, что стране необходимо усилить работу по направлениям ЦУР 6, ЦУР 7, ЦУР 11, ЦУР 12, ЦУР 15 взаимодополняющих и взаимосвязанных целей имеющих непосредственное отношение к сохранению и рациональному использованию природных ресурсов страны, которые нуждаются в защите и разработке механизмов их регулирования и реализации.

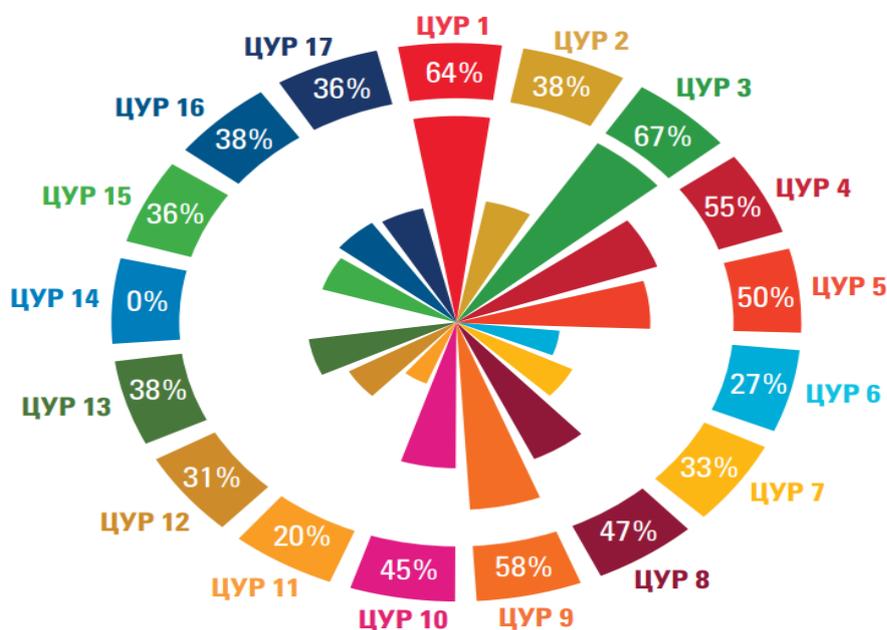


Рисунок 1.4.2 Анализ доступности глобальных показателей ЦУР в Кыргызской Республике (источник [235]).

Таким образом, естественные экосистемы страны находятся в зоне сопряженности большого стресса, в большей части еще не утратив саморегулирующей способности возобновления природных ресурсов и обеспечения экологического равновесия, однако при этом находятся на стадии деградирования. Учитывая, что все природные системы взаимосвязаны, а водные и земельные ресурсы республики находятся в критическом экологическом состоянии и более 65% населения проживают в сельской местности будущее сельскохозяйственного производства будет зависеть от

управления рисками ухудшения их качества, что обязывает нас разрабатывать меры, стратегии, подходы по устойчивому развитию уникальных природных комплексов страны с использованием новейших разработок и методов в области устойчивого развития. При этом необходимо принимать во внимание, что важными стратегическими направлениями развития промышленной и сельскохозяйственной индустрий является научно-исследовательский прогресс и инновационные наработки, позволяющие вести непрерывное обновление производства на основе достижений науки и техники, но нуждающемся в сильной государственной политике и финансировании образовательной и научно-технической сфер деятельности страны.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Интенсивный инновационный прогресс достиг колоссальных высот, однако это негативно сказалось на качестве окружающей природной среды. 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. На конференции ООН в Рио-де-Жанейро, в 1992 году была предложена и принята концепция устойчивого развития официально была включена в национальные и международные политические повестки дня и взят курс в будущее с большим числом зеленых рабочих мест, экологичной энергетикой, большей безопасностью и достойным уровнем жизни нынешних и будущих поколений человечества. Для понимания как достижений, так и недостатков в продвижении концепции устойчивого развития экосистем ключевую роль играет разработка новых зеленых технологий, адаптированных из принципов природы, а также разработка индикаторов устойчивого развития, экологических критериев, норм и пределов допустимого воздействия. 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. Кыргызская Республика, столкнувшись с проблемами окружающей природной среды, в 2012 году, выразила приверженность устойчивому развитию через продвижение приоритетов “зеленой” экономики и приняла политический курс страны на устойчивое развитие. Несмотря на принимаемые усилия и меры по развитию согласно принципам устойчивого развития направленных на сохранение и приумножению природных богатств страны, страна имеет значительные проблемы деградирования водных и земельных ресурсов. Учитывая, что Кыргызская Республика это высокогорная аграрная страна, расположенная в окружении обширных пустынь Центральной Азии и имеющая более 65% населения проживающего в сельской местности необходимо разрабатывать меры, стратегии, подходы, индикаторы устойчивого развития и сохранения уникальных природных экосистем страны, адаптированных к местным, региональным условиям, учитывающих культурные, экономические, экологические особенности этой уникальной горной страны.

## ГЛАВА 2. МЕТОДОЛОГИЯ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Экспериментальные исследования охватывали два основных направления. Первое направление включает разработку критериев оценки состояния водных и почвенных ресурсов, исследуемых природных и техногенных объектов, основанных на экологических индексах и индикаторах, специально подобранных для оценки данных объектов. Второе направлено на изучение объектов промышленного производства в стране, которые оказывают негативное влияние на водные и почвенные ресурсы и требуют поиска и внедрения «зеленых» технологий и научно-технических решений для реализации концепции устойчивого развития этих ресурсов в Кыргызской Республике. Блок-схема проведения экспериментальных исследований представлена на рисунке 2.1.



Рисунок 2.1 Блок-схема проведения экспериментальных исследований

В качестве объектов исследований были выбраны техногенные экосистемы, природные горные ландшафты, прибрежные экосистемы, экосистемы городской среды (рисунок 2.2.).



Рисунок 2.2 Объекты экспериментальных исследований

Ввиду того, что данная работа состоит из комплекса экспериментальных исследований использованные методы исследований сгруппированы в блоки: методик критериев оценки состояния водных и почвенных ресурсов; методик ремедиации загрязненных почвенных ресурсов; методы рециркуляции очищенных грунтов.

#### ***Критерии оценки состояния водных и почвенных ресурсов:***

- ✓ *Оценка загрязнения почв тяжелыми металлами:*

Объект исследования прибрежные территории вдоль оз.Иссык-Куль, почвы техногенных территорий Ак-Тюзского ГОК.

Отбор проб:

а) *Почвы прибрежных территорий оз.Иссык-Куль.* Для выявления наиболее сильного антропогенного воздействия на почву регион был условно разделен на четыре зоны: западную, восточную, северную и южную. Всего было отобрано 28 почвенных образцов (рисунок 2.3). Каждый образец почвы был отобран на глубине 0-20 см из пяти разных точек и объединен в один

композитный образец. Образцы были помещены в маркированные полиэтиленовые пакеты и доставлены в лабораторию для последующей подготовки к анализу. В лаборатории все образцы были высушены при комнатной температуре и просеяны через 2-миллиметровое сито. 1 грамм почвенных образцов перемешивали с 15 мл концентрированной соляной кислоты (HCL) и 5 мл концентрированной азотной кислоты. Полученную смесь нагревали, добавляли дистиллированную воду, затем фильтровали с помощью фильтровальной бумаги Whatman и доливали дистиллированной водой до 100 мл. Затем концентрация Pb, Cd, Zn, Cu, Fe в образцах почвы была проанализирована с помощью атомно-абсорбционного спектрофотометра.

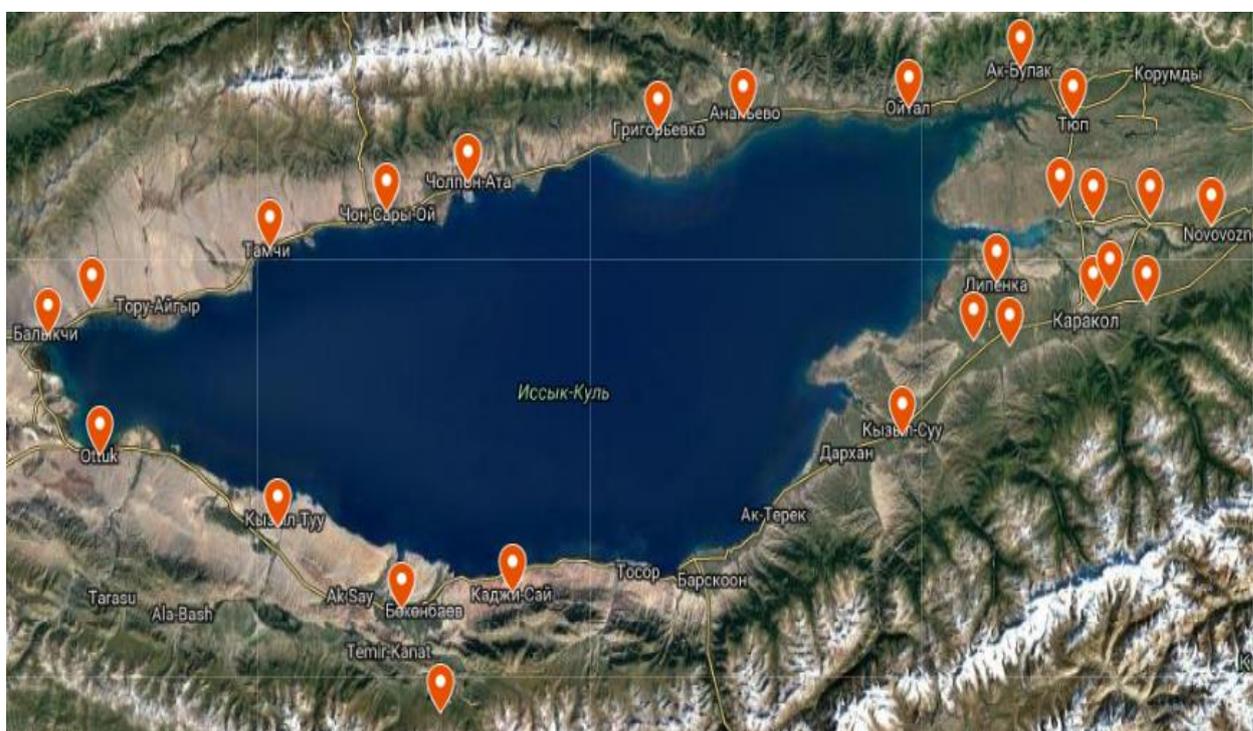


Рисунок 2.3 Точки отбора проб вокруг побережья оз.Иссык-Куль

б) почвы техногенных экосистем Ак-Тюзского рудника

Образцы почв были отобраны непосредственно в четырех хвостохранилищах, расположенных на территории завода, весной и осенью 2011-2014 гг. Контрольный образец был отобран на расстоянии 10 км в поселке Кичи-Кемин. Были отобраны пробы глубин: 0-5 см и 5-20 см. С каждой глубины в пределах одного участка отбиралось по пять подпроб, которые объединялись

в одну смешанную пробу. С 25 участков было отобрано 250 образцов почвы. Образцы почвы были гомогенизированы, высушены на воздухе при 20°C в течение 3 дней и пропущены через 2-мм сито (рисунок 2.4).

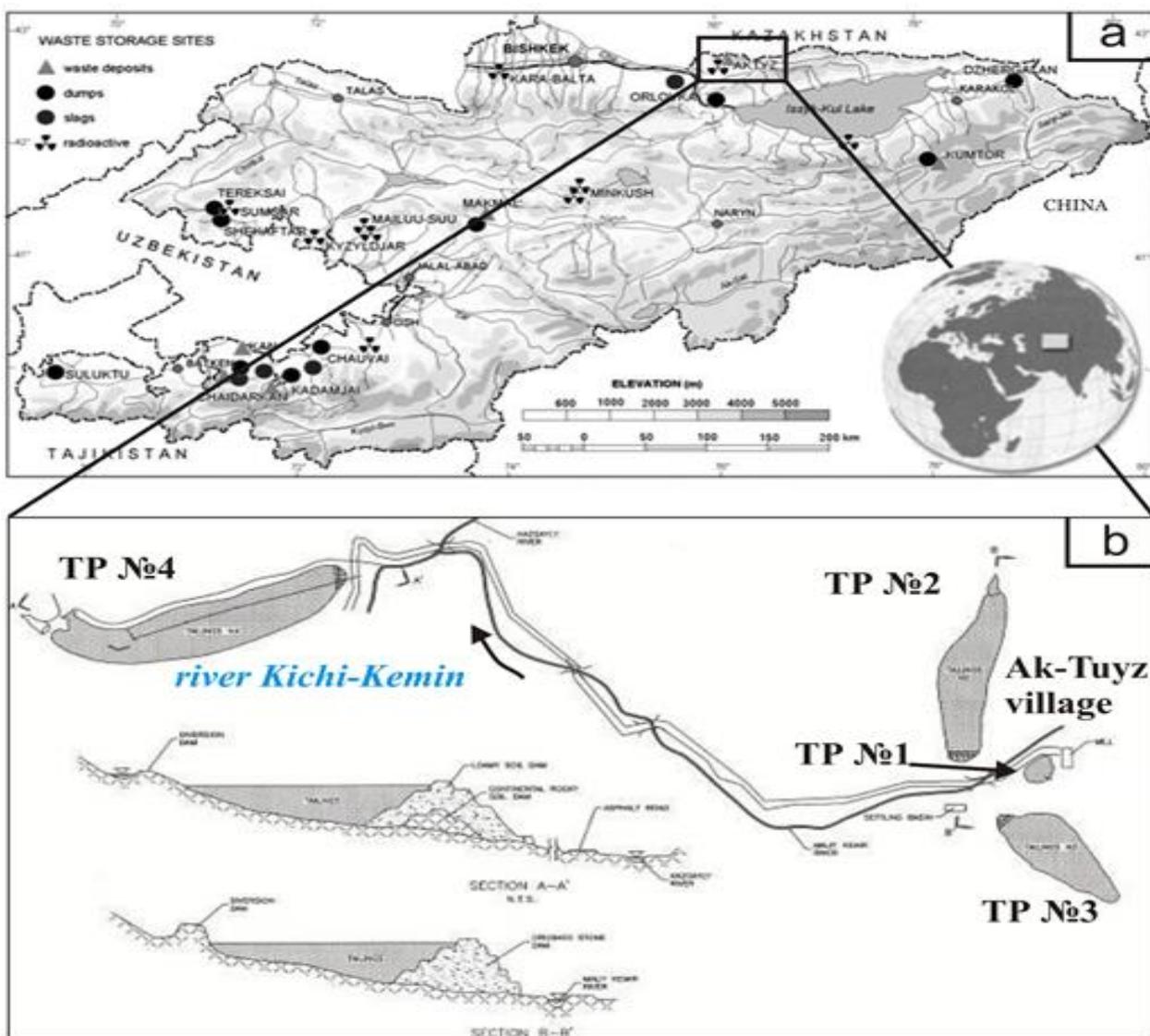


Рисунок 2.4 Карта хвостохранилищ на территории Кыргызстана: а) местоположение посёлка Ак-Тюз; б) Ак-Тюзские хвостохранилища №1-4 в долине реки Кичи-Кемин.

Далее образцы почв двух исследуемых территорий изучались для определения уровня загрязнения тяжелыми металлами с использованием различных показателей: коэффициент обогащения (EF), индекс геоаккумуляции (I<sub>geo</sub>), коэффициент загрязнения (CF), степень загрязнения (Cd), индекс потенциального экологического риска (PER) и индекс экологического риска (RI) по методу TRIAD.

Коэффициент обогащения (EF) — это показатель, позволяющий оценить влияние антропогенной деятельности на концентрацию тяжелых металлов в почве. EF определяется следующим уравнением (1):

$$EF = (C_X / C_{Fe})_{sample} / (C_X / C_{Fe})_{background} \quad (1)$$

В качестве эталонного природного элемента было выбрано Fe (железо) [253],  $(C_X/C_{Fe})$  образец - отношение концентрации элемента «X» к концентрации Fe в образце почвы;  $(C_X/C_{Fe})_{фон}$  - отношение концентрации элемента «X» к концентрации Fe в незагрязненной исходной среде. Степень фактора загрязнения была разделена на пять категорий [254]:  $EF < 2$  - минимальное загрязнение;  $2 < EF < 5$  - умеренное загрязнение;  $5 < EF < 20$  - значительное загрязнение;  $20 < EF < 40$  - очень высокое загрязнение; и  $EF > 40$  - чрезвычайно высокое загрязнение.

Для оценки интенсивности загрязнения почвы тяжелыми металлами использовался индекс геоаккумуляции ( $I_{geo}$ ), который выражался следующим образом (2):

$$I_{geo} = \log_2(C_n / 1.5B_n) \quad (2)$$

где,  $C_n$  - концентрация металла в анализируемой почве;  $B_n$  - фоновая концентрация того же металла, а коэффициент 1,5 - поправочный коэффициент фоновой матрицы. Согласно рекомендациям Мюллера [17], значения  $I_{geo}$  интерпретируются следующим образом:  $I_{geo} < 0$ , незагрязненная;  $0 \leq I_{geo} < 1$ , незагрязненная до умеренно загрязненной;  $1 \leq I_{geo} < 2$ , умеренно загрязненная;  $2 \leq I_{geo} < 3$ , умеренно и сильно загрязненная;  $3 \leq I_{geo} < 4$ , сильно загрязненная;  $4 \leq I_{geo} < 5$ , сильно и чрезвычайно загрязненная;  $I_{geo} \geq 5$ , чрезвычайно загрязненная.

Коэффициент загрязнения (CF) определяется делением концентрации элемента в почве на фоновую концентрацию [255]. CF рассчитывается по следующему уравнению (3):

$$CF = C_{mSample} / C_{mBackground} \quad (3)$$

где  $C_{mSample}$  - концентрация данного металла в почве, а  $C_{mBackground}$  - значение эталонного металла, которое является значением металла в среднем сланце. Значения CF делятся на 4 категории:  $CF < 1$  означает низкое загрязнение;  $1 \leq CF < 3$  - умеренное загрязнение;  $3 \leq CF < 6$  - значительное загрязнение;  $CF > 6$  - очень высокое загрязнение.

Для упрощения контроля загрязнения Nakanson [255] предложил диагностический инструмент, названный степенью загрязнения (Cd). Cd определяется как сумма CF для каждого образца (4):

$$Cd = \sum CF \quad (4)$$

классификация степени загрязнения (Cd) в почве [18]: Cd <6 низкая степень загрязнения; 6 < Cd < 12 умеренная степень загрязнения; 12 < Cd < 24 значительная степень загрязнения; Cd > 24 высокая степень загрязнения

Индекс нагрузки загрязнения (PLI) для набора из n загрязняющих элементов определяется как значение, рассчитанное по средним геометрическим коэффициентам загрязнения этих элементов. PLI рассчитывается по следующему выражению, приведенному Томлинсоном и другими [256] (5):

$$PLI = (CF_1 \times CF_2 \times CF_3 \times \dots \times CF_n)^{1/n} \quad (5)$$

Значение PLI больше единицы говорит о наличии загрязнения, а меньше 1 - об отсутствии загрязняющих нагрузок.

Для оценки экологической опасности тяжелых металлов в почве использовался показатель потенциального экологического риска (PER) [257] (6, 7):

$$Cif = Ci / Cin \quad (6)$$

$$PER = Tir \times Cif \quad (7)$$

$$PERI = \sum PER \quad Cd = \sum CF, \quad (8)$$

где Cif - коэффициент загрязнения. Ci - концентрация измеряемых металлов, Cin - фоновые значения тяжелых металлов. Tir - коэффициент токсической реакции для данного тяжелого металла. Коэффициент токсической реакции для Cd, Cu, Pb и Zn составляет 30, 5, 5 и 1 соответственно [258]. PERI (8) - это сумма всех PER, рассчитанных для каждого металла в пределах одной территории. Классификация потенциального экологического риска выглядит следующим образом [20]: RI < 150 - низкий риск, 150 ≤ RI < 300 - умеренный риск, 300 ≤ RI < 600 - значительный риск и RI ≥ 600 - очень высокий экологический риск.

Уравнения, использованные для расчета индексов состояния почв по методологии ТРИАД, согласно данным В. Тереховой [259] представлены в табл. 2.1.

Таблица 2.1 - Уравнения, используемые для расчета индексов состояния почв на основе химических, токсикологических и биоиндикационных характеристик по Dagnino A. [260]

Comparison of data on contaminated and background samples	Calculation of the indices of soil state by ith component	Integration of data on ith into the index of soil state
Index of soil state as based on the chemical indicators (IC)		
$C_i \leq C_{backgr.i}$	$IC_i = (C_i / C_{backgr.i}) \cdot 0.50$	$IC = \sum_{i=1}^n IC_i / n$
$\tilde{N}_{backgr.i} < C_i \leq 10MPC_i$	$IC_i = 0.5 + \left( \frac{C_i - C_{backgr.i}}{10MPC_i - C_{backgr.i}} \right) \times 0.5$	
$10 MPC_i < C_i$	$IC_i = 1$	
Index of soil state as based on the toxicological indicators (IT)		
$\frac{ T_i - T_{backg.i} }{T_{backg.i}} \leq 0.20$	$IT_i = 0$	$IT = \frac{\sum_{i=1}^n IT_i}{n}$
$IB = \frac{\sum_{i=1}^n IB_i}{n}$	$IT_i = \frac{\frac{ T_i - T_{backg.i} }{T_{backg.i}} - 0.20}{0.80 - 0.20}$	
$0.80 < \frac{ T_i - T_{backg.i} }{T_{backg.i}}$	$IT_i = 1$	
Index of soil state as based on bioindication (IB)		
$\frac{ B_i - B_{backg.i} }{B_{backg.i}} = 0$	$IB_i = 0$	$IB = \frac{\sum_{i=1}^n IB_i}{n}$
$0 < \frac{ B_i - B_{backg.i} }{B_{backg.i}} \leq 0.80$	$IB_i = \frac{\frac{ B_i - B_{backg.i} }{B_{backg.i}}}{0.80}$	
$0.80 < \frac{ B_i - B_{backg.i} }{B_{backg.i}}$	$IB_i = 1$	

*Биоиндикация - индекс экологического риска (EcoRI)*

Подсчет микроорганизмов проводили методом пластин. Десять граммов каждого образца почвы добавляли к 90 мл дистиллированной воды. Раствор разбавляли (от 10<sup>-1</sup> до 10<sup>-6</sup>) и аликвоты полученных растворов высевали на соответствующие культуральные среды. Для выращивания микромицетов использовалась среда Чапека, для выращивания бактерий - мясо-пептонный агар (МПА), для выращивания актиномицетов - крахмально-аммиачный агар (КАА). Все эксперименты проводились в трех повторностях. После инкубации

при 25 или 30 °С в течение 10 дней проводился подсчет колониеобразующих единиц (КОЕ).

*Биотестирование - индекс экотоксикологического риска (EtoxRI)*

Исследования фитотоксичности проводили по методике Тереховой и др [261] с использованием однодольного растения - овса (*Avena sativa* L.) и двудольных растений - редиса (*Raphanus sativus* L.) и кресс-салата (*Lepidium sativa*). Испытание на фитотоксичность проводили в фитопланшетах в модификации лаборатории экотоксикологического анализа почв МГУ им. М.В. Ломоносова. Для оценки фитотоксичности измеряли следующие конечные точки: всхожесть семян (%), длину побегов (мм), длину корней (мм). Растения, которые не проросли, не учитывались в последующем анализе роста. Фитотоксический эффект (ФЭ) может быть рассчитан с использованием различных подходов. Чаще всего используют показатели всхожести семян. Фитотоксический эффект PE (%) рассчитывали по формуле (9):

$$PE(\%) = \left( \frac{R_{control} - R_{sample}}{R_{control}} \right) \times 100\% \quad (9)$$

где  $R_{sample}$  - отклик в образцах,  $R_{control}$  - отклик в контроле. При оценке результатов испытаний были приняты следующие критерии токсичности: нетоксичные образцы ИТ <10%; малотоксичные образцы 10% <ИТ <50%; токсичные образцы 50% <ИТ <100%; высокотоксичные образцы ИТ = 100%.

Индекс химического риска (ChemRI), индекс экотоксикологического риска (EtoxRI) и индекс экологического риска (EcoRI) в диапазоне 0-1 были рассчитаны в соответствии с Dagnino et al [260]. Данные были проанализированы путем сравнения результатов, полученных на исследуемых участках, с результатами, полученными на контрольном участке с низким уровнем загрязнения (10 м), и вычисления индексов риска для каждого параметра. Затем был рассчитан интегральный индекс риска (RI) (10) с применением весовых коэффициентов, основанных на экологической значимости различных данных: 1, 1,5 и 2, соответственно для ChemRI, EtoxRI и EcoRI. В табл. 2.2 представлены диапазоны значений характеризующие

соответствующую степень антропогенной нагрузки на почвы и экологическое состояние почв.

$$RI = \left( \frac{ChemRI \times 1 + Etox \times 1.5 + EcRI * 2.0}{1 + 1.5 + 2.0} \right) \quad (10)$$

Таблица 2.2 - Соответствие интегрального показателя экологического состояния, определенного на основе методологии ТРИАД, категориям качества почв [259].

Значение ИС	Категория качества почв	Степень нагрузки	Состояние почвы
ИС = 0	I	Допустимая	Фоновое
0 < ИС < 0.30	II	Низкая	Слабо нарушенное
0.30 ≤ ИС < 0.50	III	Средняя	Нарушенное
0.50 ≤ ИС ≤ 0.79	IV	Высокая	Сильно нарушенное
0.79 ≤ ИС ≤ 1	V	Очень высокая	Необратимо нарушенное

✓ *Фитоиндикация степени нарушенности прибрежных экосистем.*

Объектом исследования послужили - заросли облепихи крушиновидной *Hipporhae rhamnoides* L. Произрастающие на побережье озера Иссык-Куль. Исследования были проведены на 6-ти участках, различающихся степенью антропогенной нагрузки и трансформации экосистем. Исследовали возможность использования показателей развития *H. rhamnoides* для мониторинга качества фитоценозов с повышенной рекреационной нагрузкой и их применения в оценке прибрежных экосистем в условиях умеренной пустыни. Отбор пробных площадок был произведен в 2018 году, с учетом возрастания антропогенной нагрузки, которая была оценена по уровню посещаемости объектов туристами приведенными на рисунке 2.5

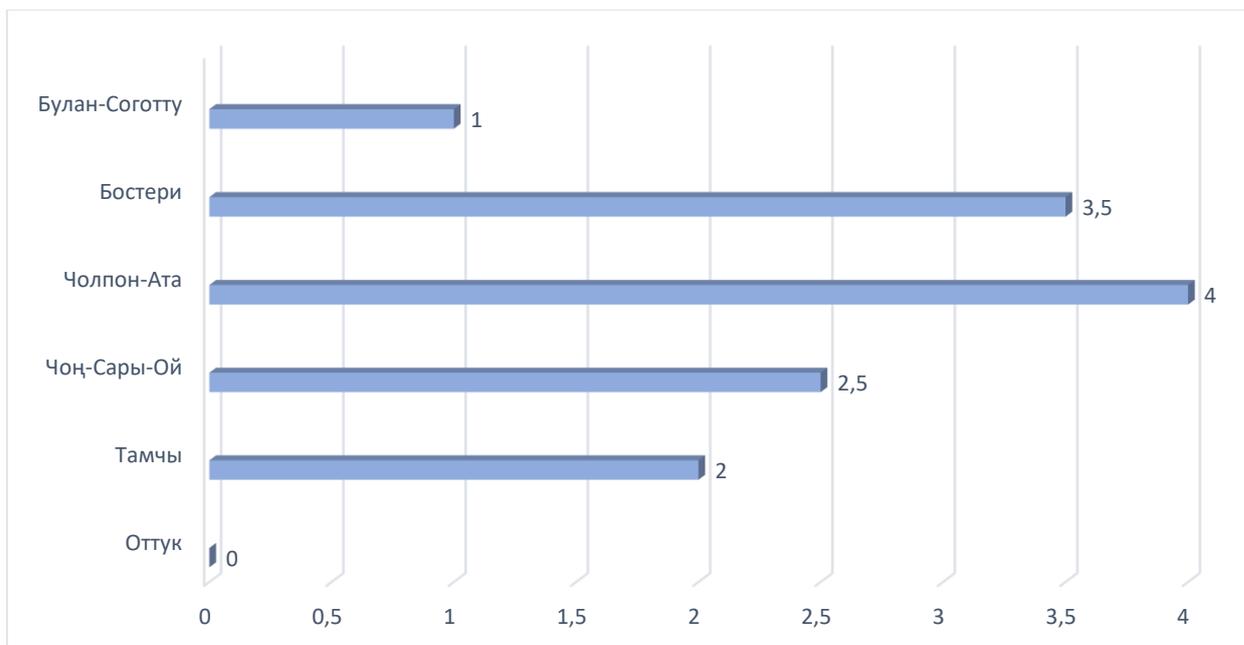


Рисунок 2.5 Распределение рекреационной нагрузки (в баллах) на экосистемы прибрежной зоны оз. Иссык-Куль

Пробные площадки пункта Оттук, представляющие заповедную зону, где посещение туристами регулируется заповедным режимом, использовали в качестве контроля. Анализировали кустарники, произрастающие в непосредственной близости к пляжным зонам. Пункты пробных площадок, различающиеся по степени туристической нагрузки приведены на рисунке 2.4. Были оценены морфометрические параметры кустарников: длина плодоножки, длина и ширина листьев, интенсивность транспирации, содержание воды в листьях, водопотеря, водный дефицит, соотношение мужских и женских особей в сообществе, степень околюченности [250], [251], [252]. Все анализы данных проводились с использованием программы Statistica 13.0. Все рисунки созданы в программе Excel из пакета программ Microsoft Office.

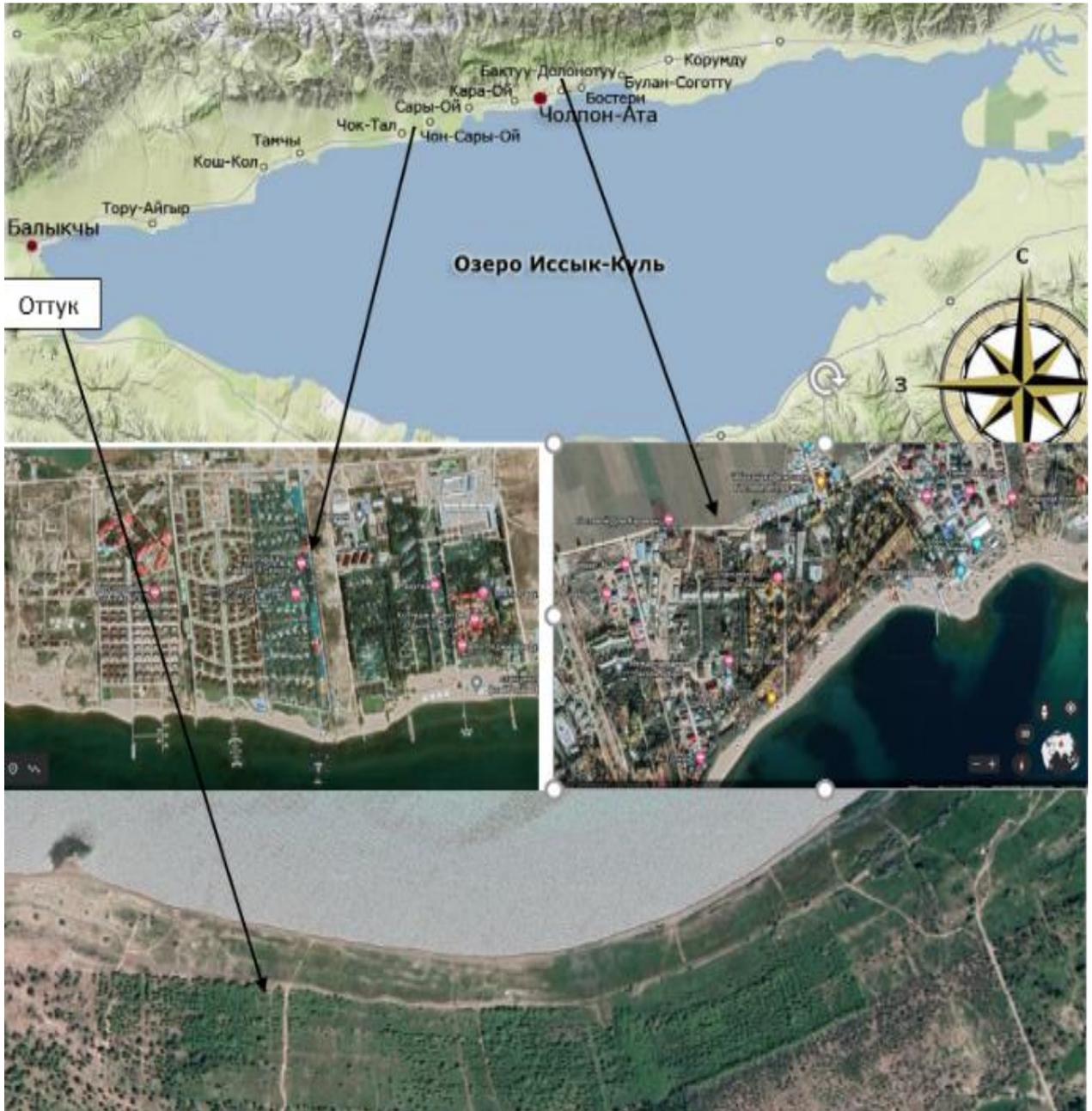


Рисунок 2.6 Карта-схема пробных площадок прибрежной зоны оз. Иссык-Куль

✓ *Определение площадей прибрежных зон и трофического состояния озера Иссык-Куль по индексу TLI*

Для исследования озера Иссык-Куль были выбраны три спутниковых снимка Sentinel-3 за май (2012 г.), июнь (2017 г.) и февраль (2022 г.). Характеристики снимков, используемых для оценки изменений береговой линии, должны быть высокого качества и получены в безоблачные периоды времени. В мае и июне

было безоблачно, что позволило успешно решить поставленные задачи. Однако в феврале на картах наблюдался высокий уровень снежного покрова. Для повышения точности оценки изменений береговой линии и интерпретации данных в данном случае был использован масштаб 1:10000, что способствовало получению точных и корректных данных.

Определение границ и площадей прибрежных зон, а также степени их трансформации было выполнено с использованием Google Earth Pro и ArcGIS 10.5.1. Определены площади буферных зон на расстоянии 100 м и 500 м от береговой линии озера и их изменения на 2012, 2017 и 2022 гг. Площадь, покрытая лесной растительностью вдоль береговой линии озера Иссык-Куль, определена по данным Государственного лесного кадастра Кыргызской Республики. Площадь лесной растительности вдоль береговой линии была рассчитана по установленным границам лесхозов вдоль береговой линии (пять лесхозов и один государственный природный заповедник имеют лесные угодья вдоль береговой линии).

Отбор проб воды для определения группы азота и фосфора проводили в соответствии с ГОСТом [262] в объеме  $1000 \text{ см}^3$  в емкости из полимерных материалов с помощью батометра на научно-исследовательском судне «Мөлтүр». Пробы отбирались в точках указанных на рисунке 2.7. Пробы для определения азота консервировали добавлением серной кислоты из расчета  $1 \text{ см}^3$  концентрированной серной кислоты на  $1000 \text{ см}^3$  воды и анализировали в течение 2 суток. Пробы для определения группы фосфора анализировались непосредственно в лаборатории на научно-исследовательском судне «Мөлтүр». Пробы воды для определения хлорофилла-а отбирают согласно [263] в объеме  $1000 \text{ см}^3$  в бутылку из темного стекла и анализировали в течение 24 часов.

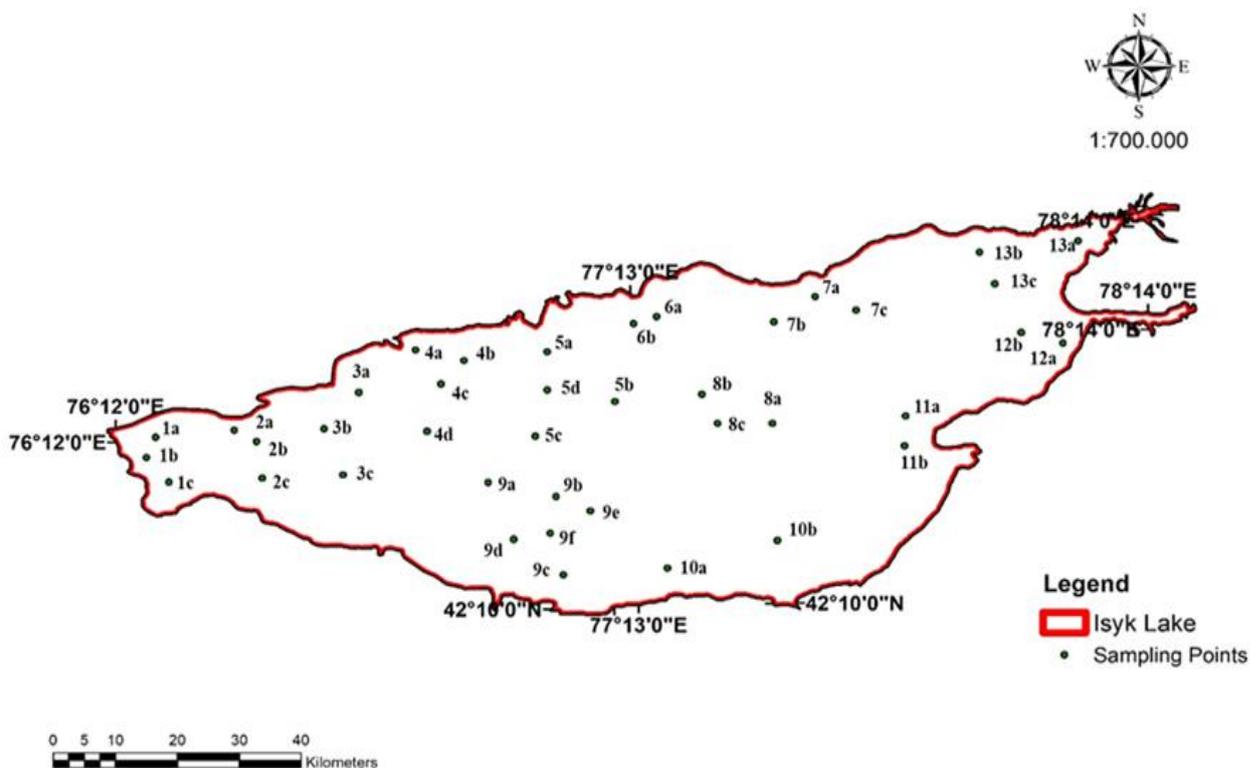


Рисунок 2.7 Точки отбора проб воды оз.Иссык-Куль

Определение химико-биологического статуса и проведение гидроэкологической оценки были проведены, используя 4 параметра TN, Chl-a, TP – которые были определены спектрофотометрическим методом, SD используя Секки диск. Индексы TLI озера были рассчитаны с помощью нижеследующих уравнений 1-5:

$$TL_c = 2.22 + 2.54 \log(\text{Chl-a}) \quad (1)$$

$$TL_s = 5.10 + 2.60 \log(1/SD - 1/40) \quad (2)$$

$$TL_p = 0.218 + 2.92 \log(\text{TP}) \quad (3)$$

$$TL_n = -3.61 + 3.01 \log(\text{TN}) \quad (4)$$

$$TLI = \frac{1}{4}(TL_c + TL_s + TL_p + TL_n) \quad (5)$$

Для классификации трофического уровня исследуемых проб воды были использованы диапазоны значений, согласно Burns et al. 1999, приведенный в табл. 2.3 [264].

Таблица 2.3 - Диапазоны значений классификации TLI

TLI		SD (m)	TP (( $\mu$ g P/L)	Chl-a ( $\mu$ g/L)	TN (mg N/L)
ультраолиготроф	0.0-10.0	31.34	0.84-1.8	0.13-0.33	16-34
мезоолиготрофный	10.0-20.0	24-15	1.8-4.1	0.33-0.82	34-73
олиготрофный	20.0-30.0	15-7.8	4.1-9.0	0.82-2.0	73-157
мезотрофный	30.0-40.0	7.8-3.6	9.0-20	2.0-5.0	157-337
эвтрофный	40.0-50.0	3.6-1.6	20-43	5.0-12	337-725
суперэвтрофный	50.0-60.0	1.6-0.7	43-96	12-31.0	725-1558
гиперэвтрофный	60.0-70.0	> 96	> 96	> 31	> 1558

✓ *Определение восстановительной стоимости зеленых насаждений*

Для определения фактической восстановительной стоимости зеленых насаждений (растительности зеленых насаждений общего пользования (за исключением городских лесов), растительности зеленых насаждений ограниченного пользования, растительности зеленых насаждений специального назначения была использована методика, принятая для руководства службами лесного хозяйства республики.

Фактическая восстановительная стоимость зеленых насаждений определяется в расчете на одно дерево, один кустарник, один метр кустарниковой растительности в живой изгороди, 1 кв. м газона или цветника. Фактическая восстановительная стоимость зеленых насаждений зависит от продолжительности восстановления их декоративного и экологического

потенциала, исходя из расчета базовой стоимости, определяемой по сметным ценам на посадку и уход за растениями.

Фактическая восстановительная ценность кустарника определяется согласно уравнению 6.

$$Cв = [Cпкi + (Cу \times Kвк)] \times K \times Kind \quad (6) \text{ где,}$$

Cв - фактическая восстановительная стоимость кустарника, сом;

Cпкi - сметная стоимость создания одного кустарника с учетом стоимости посадочных работ, стоимости посадочного материала (кустарника) и стоимости послепосадочного ухода в течение первого года до ввода объекта в эксплуатацию, сом;

Cу - сметная стоимость ухода за кустарником в процессе эксплуатации в течение одного года, сом;

Kвк - количество лет восстановительного периода, учитываемое при расчете компенсации за сносимый (вырубаемый) кустарник - 1 год;

K - количество кустарников, подлежащих удалению, шт;

Кнд - индекс-дефлятор.

- ✓ *Метод “соотношения выгоды и затрат”* был использован для определения ширины прибрежной буферной зоны оз.Иссык-Куль (уравнение 7).

$$\delta = \left| \frac{TLL_0 - TLL_i}{\Delta A \times \alpha} \right| \quad (7)$$

где  $\delta$  - соотношение выгоды и затрат, рассчитанное с использованием отредактированного TLL при инвестициях.  $TLL_0$  - индекс трофического уровня озера, отражает трофическое состояние озера до проведения природоохранных мероприятий,  $TLL_i$  - смоделированный индекс трофики озера после проведения природоохранных мероприятий в  $i$ -й буферной зоне определенной ширины,  $\Delta A$  (га) - уменьшенная площадь обрабатываемых земель в буферной зоне,  $\alpha$  - капитальные затраты на единицу площади.

- ✓ **Картирование качества отдельных свойств воды озера**

Для проведения пространственного анализа некоторых значений индекса качества воды была использована методика интерполяции Kriging на программе ArcGIS. На основе этой методики был проведен пространственный анализ и определены области распространения индекса качества воды. На основе данных, полученных методом Kriging, была построена экспериментальная вариограммная модель. Эти модели оценивались по средней ошибке, близкой к 0, и расчетным стандартизированным

среднеквадратичным ошибкам (RMSSE), близким к 1 [265]. Также было проверено, существует ли эффект анизотропии при применении моделей. Для анализа ареала была выбрана наиболее подходящая из этих моделей.

Формула интерполяции Kriging, использованная для построения пространственного распределения качества воды, приведена ниже (8) [266].

$$Z_p = \sum_{i=1}^n W_i Z_i \quad (8)$$

где;  $Z_p$ : искомое значение андуляции для точки P,  $W_i$ : значения массы, соответствующие каждой используемой точке  $Z_i$ ,  $Z_i$ : значения ондуляции используемых точек, n: количество используемых точек.

✓ *Определение степени влияния трансформированных буферных земель на качество воды оз.Иссык-Куль*

Объектом исследования были трансформированные земли буферных прибрежных земель оз.Иссык-Куль, в с.Тору-Айгыр Иссык-Кульской области.

Были выбраны четыре варианта схем исследований:

1. Контрольный участок 1 - естественные заросли облепихи, вдоль берега озера
2. Контрольный участок 2 - нетрансформированные природные экосистемы
3. Удобрённые поля под сельскохозяйственные культуры
4. Трансформированные земли под абрикосовые поля

В ходе исследования с каждого участка были отобраны усредненные образцы почвы общей площадью 1 га.

Определение физико-химических свойств исследуемых образцов проводилась в Национальной почвенно-агрохимической лаборатории Кыргызстана. Метод экстракции по Мачигину проводили по ГОСТ 26205-91 (2020): 5 г воздушно-сухой почвы добавляли к 100 мл 0,104 М (10 г/л) раствора карбоната аммония, суспензию встряхивали 5 мин и фильтровали через 20 ч. Фосфаты в фильтрате определяли фотометрически (при длине волны 580 нм) по молибденово-голубому методу. Органическое вещество почвы определяли методом Тюрина.  $C_{орг}$  почвы рассчитывается по стехиометрической реакции окисления углерода дихроматом калия в концентрированной серной кислоте до диоксида

углерода [267]. Текстура почвы определяется пипеткой по методу Качинского (1958), обменные  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{Mg}^{2+}$  - перколяцией образца с ацетатом аммония при pH 7,  $\text{H}^+$  и  $\text{Al}^{3+}$  - перколяцией образца с 1 М раствором KCl [268].

Содержание тяжелых металлов в исследуемых образцах определяли методом ICP-OES (оптико-эмиссионный спектрометр) Optima 5300DV в международной аккредитованной лаборатории «Alex Stewart Assay and Environmental Laboratories» ISO 22036-2014.

✓ *Комплексный метод определения уязвимости природных и урбанизированных территорий*

Для определения индекса уязвимости прибрежной зоны Иссык-Куля были рассмотрены пять административно-территориальных районов: Ак-Суу, Джети-Огузский, Иссык-Кульский, Тонский, Тюпский. В области насчитывается 3 города и 2 поселка городского типа, 61 айылный аймак и 178 сельских населенных пунктов (на начало 2022 года). В целом прибрежная зона озера Иссык-Куль представляет собой полосу шириной от 2 до 15-20 км, образованную речными веерами и террасами, где сосредоточены населенные пункты и участки сельскохозяйственных угодий. Ее территория расположена на абсолютных высотах от 1607 до 7439 м над уровнем моря.

Ак-Суйский район расположен в восточной части Иссык-Кульской котловины. На территории района расположен город областного подчинения Каракол. Гидрография района представлена реками Каракол, Джыргалан (максимальный расход  $70 \text{ м}^3/\text{с}$ ) и Сары-Джаз ( $258 \text{ м}^3/\text{с}$ ) и многочисленными горными реками.

Джети-Огузский район расположен в юго-восточной части Иссык-Кульской котловины. Административный центр - село Кызыл-Суу. Ущелье Джети-Огуз славится живописными скалами и курортом с термальными источниками, и водопадами.

Иссык-Кульский район расположен в северо-западной части Иссык-Кульской котловины. Площадь района составляет 3603 км<sup>2</sup>. В состав Иссык-Кульской области входит курортный город Чолпон-Ата.

Тонский район расположен в юго-западной части Иссык-Кульской котловины. Площадь района составляет 7230 км<sup>2</sup>. На территории района находится город Балыкчи, крупный транспортный и промышленный узел страны. Район города Балыкчи - самое сухое место в Иссык-Кульской котловине. Среднегодовое количество осадков составляет около 120 мм, испарение - около 1050 мм [269].

*Индекс уязвимости побережья (CVI).* Для количественной оценки CVI для каждого прибрежного участка физические факторы (тип береговой линии, реки, расстояние сельскохозяйственных земель и пастбищ за береговой линией, трансформация сельскохозяйственных земель под строительство хозяйственных объектов, степень защиты грунтовых вод) были классифицированы как различные переменные в диапазоне от 1 до 5, которые могут иллюстрировать степень уязвимости (таблица 2.4). Годовой CVI рассчитывается для каждого района в соответствии со следующим уравнением [270]:

$$CVI = \left( \frac{1}{N} \prod_{i=1}^N X_i \right)^{\frac{1}{2}} \quad (1)$$

где  $n = 3$  - количество параметров нагрузки;  $X_1$  - тип береговой линии,  $X_2$  - реки и  $X_3$  - степень защиты грунтовых вод.

Таблица 2.4 - Показатели физических параметров, связанные с различными уровнями уязвимости

Уровни уязвимости	Очень низкая	Низкая	Средняя	Высокая	Очень высокая
	1	2	3	4	5
Тип береговой линии	Высокий утес (40+ м)	Средний утес (20-40 м)	Низкий утес (10-20 м)	Одиночный хребет	Песчаный пляж/дюна
Реки	Отсутствуют	Течение	Малая река	Средняя река	Крупная река
Степень защищ. подзем.вод	Высокая защищенность	Защищены	Средняя защищенность	Низкая защищенность	Не защищены

*Индекс социально-экономической уязвимости (SVI).* Для количественной оценки SVI для каждого прибрежного участка качественные (аэропорт, дорога, гавань, землепользование и охраняемая территория) и количественные (плотность населения прибрежной зоны) факторы были классифицированы как новые переменные в диапазоне от 1 до 5, которые могут иллюстрировать степень уязвимости (табл. 2.5), в соответствии с [270]. Годовой SVI рассчитывается для каждого района в соответствии со следующим уравнением [271]:

$$SVI = \left( \frac{1}{N} \prod_{i=1}^N v_i \right)^{\frac{1}{2}} \quad (2)$$

где N=10 - количество социально-экономических параметров; v 1, v 2, v 3, v 4, v 5, v 6, v 7, v 8, v 9 и v 10 - плотность населения, аэропорт, дорога, гавань, землепользование, количество рекреационных и промышленных объектов, охраняемая территория, сельское хозяйство и пастбища соответственно.

Таблица 2.5 - Ранжирование факторов потенциального риска относительно плотности населения, аэропорта, дороги, гавани, землепользования, охраняемой территории и количества рекреационных объектов, пастбищ и сельскохозяйственных угодий вблизи береговой линии. Пустое поле соответствует отсутствию фактора риска.

Уровни уязвимости	Очень низкая	Низкая	Средняя	Высокая	Очень высокая
	1	2	3	4	5
Плотность населения (числ/км <sup>2</sup> )	<100	100-200	200-400	400-600	> 600
Аэропорт	отсут	аэродром	регион. аэропорт		междун. аэропорт
Дороги	отсут		A'Class		автострада двойная проезжая часть
Гавань	отсут				имеется
Землепользование	лес	культ. растит	естест. пастбища	с\х земли	урбан.. и пром.инфраструктура
Охраняемая террит	имеется				отсут
Количество рекреационных объектов (гостиница, дом отдыха, санаторий, гостевой дом)	1-5		6-10		более11
Количество промышленных объектов	отсут	1	2-5	6-10	More 10
Agriculture	отсут	> 1000 m от побережья	> 5000 m от побережья	100-500 m от побережья	в 500 m от побережья
Pastures	отсут	> 1000 m от побережья	> 5000 m от побережья	100-500 m от побережья	в 500 m от побережья

*Интегрированный индекс прибрежной уязвимости (ICVI).* Интегрированный индекс прибрежной уязвимости иллюстрирует степень подверженности

прибрежных территорий воздействию прибрежной уязвимости и социально-экономических факторов. Рассчитанный в данном исследовании подход к индексу уязвимости побережья, называемый интегрированным индексом уязвимости побережья (ICVI), был выражен следующим уравнением (3) в соответствии с [270]:

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

Наконец, каждая прибрежная зона может быть отнесена к категориям уязвимости с низким, умеренным, высоким или очень высоким риском в соответствии с таблицей 2.6.

Таблица 2.6 - Значения степени уязвимости

Значения	Уязвимость
<20	низкая
20-40	средняя
40-60	высокая
> 60	Сверх высокая

✓ *Методы рекультивации грунтов загрязненных нефтепродуктами*

Объектом исследования был рудник Кумтор, расположенный к юго-востоку от Кыргызстана на высоте 4 000 м над уровнем моря в частично оледенелой зоне вечной мерзлоты в горах Центрального Тянь-Шаня. Полевые эксперименты проводились на полигоне опасных отходов рудника “Кумтор” в течение 90 дней с наступлением теплого сезона (июнь-август). Среднемесячное количество осадков в районе составляет 59,6 мм, среднемесячная температура - 5,23 °С, максимальная - 18,8 °С, минимальная - 11,10 °С [272]. Почвенные образцы были отобраны из полигона промасленной ветоши рудника Кумтор. Фоновый образец был отобран на расстоянии 2000 метров от полигона. Отбор почвенных проб производился из верхнего (0-15 см) горизонта методом «конверта» с пробной площадки размером 1x1 м путем составления объединенной пробы массой 400-500 г. Всего было заложено 4 пробных площадок непосредственно на полигоне, а также 1 фоновый на

расстоянии 2000 м от полигона. Отбор почвенных проб проводился в соответствии с ГОСТ 17.4.3.01-83, ГОСТ 17.4.02-84 и ГОСТ 28168-89. Определение концентрации нефтепродуктов проводился гравиметрическим методом (методическое указание по определению НП. РД 52.18. 647 – 2003). Образцы почвы отбирались в пяти случайных точках на площадке на глубине 0-30 см. (рисунок 2.8).



Рисунок 2.8 Отбор проб из полигона опасных отходов рудника “Кумтор”, 2017г.

Образцы почвы для полупроизводственных экспериментов по биоремедиации были взяты из полигона опасных захоронений и помещены в три пластиковые коробки с размерами: 0,3 м в высоту × 1,25 м в длину × 1,25 м в ширину, которые были расположены рядом с полигоном (рисунок 2.9). Для выделения углеводородоразлагающих бактерий из полигона опасных захоронений пробы почвы отбирали на среде Ворошиловой-Диановой (ВД), содержащей на литр:  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  1,0 г,  $\text{K}_2\text{HPO}_4$  1,0 г,  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  1,0 г,  $\text{MgSO}_4$  0,2 г,  $\text{CaCl}_2$  0,02 г,  $\text{FeCl}_2$  - 2 капли концентрированного раствора, со стерильной 1% сырой нефтью в качестве единственного источника углерода. Кроме того, 5 мл образца сырой нефти и нефтезагрязненной почвы добавили в 250-литровую колбу Эрленмейера с жидкой средой. Суспензию встряхивали на шейкере со скоростью 200 оборотов в минуту и инкубировали при 30 °С в течение 15 дней. Чистые штаммы бактерий выделяли традиционным методом на мясо-пептонном агаре (МПА). Для выделения микроорганизмов, разлагающих

масло, каждый изолят суспендировали в 100 мл среды ВД с 1% масла. Бактерии выращивали в течение 7 дней на шейкере. Бактерии, способные расти на среде, содержащей нефть, определяли спектрофотометрически при 590 нм (Specord 50, Analytik Jena GmbH).



Рисунок 2.9 Полупроизводственные эксперименты по биоремедиации, 2017г.

Суммарное содержание нефтяных углеводородов в образцах почвы определяли с помощью ГХ с пламенно-ионизационным детектором (Shimadzu GC-FID, Киото, Япония). Физико-химические характеристики почвы, такие как текстура почвы, рН, общий азот, подвижные формы фосфора, обменный калий и органический углерод почвы, определяли в лаборатории Республиканского почвенной станции при Министерстве сельского хозяйства Кыргызской Республики. Общий азот определяли по методу Кельдаля. При использовании этого метода, 1 г образца почвы взвешивали в пробирке для сбраживания. В пробирку добавляли 2 г смеси катализаторов (6 г  $\text{CuSO}_4 \cdot 5 \text{H}_2\text{O}$  + 94 г  $\text{K}_2\text{SO}_4$ ) и 5 мл концентрированной  $\text{H}_2\text{SO}_4$ . Смесь кипятили при  $390 \pm 10$  °С, пока она не стала прозрачной, затем кипячение продолжали в течение 10 мин. Затем дистиллировали до 20 мл 2%  $\text{H}_3\text{BO}_3$ , добавив 20 мл воды и 20 мл 10 моль/л раствора  $\text{NaOH}$  в дистилляционный аппарат. После отгонки его титровали 0,01 моль/л  $\text{HCl}$ . Подвижные формы фосфора и обменного калия в почвенных образцах определяли по стандартному методу Мачигина (ГОСТ 26205-91, 1993). Метод основан на экстракции подвижных соединений фосфора и калия из почвы. Метод предусматривает использование раствора карбоната аммония в концентрации 10 г/л при соотношении почвы к раствору 1:20 и последующее определение фосфора проводили на спектрофотометре (710 нм), а калия на пламенном фотометре (766-770 нм). Определение органического углерода почвы проводилось по модифицированному методу Уокли-Блэка. При этом методе в коническую колбу объемом 250 мл быстро добавляли 20 мл концентрированной  $\text{H}_2\text{SO}_4$  из бюретки с быстрой подачей после взвешивания и содержали около 10 мг органического углерода. Колбу нагревали на горячей плите до достижения температуры 135°С. Смесь быстро доводили до кипения, затем осторожно кипятили в течение 20 минут и давали постоять на листе асбеста в течение 30 минут. После этого смесь обрабатывали водой (200 мл) и  $\text{H}_3\text{PO}_4$  (10 мл).

Различные виды биоремедиации (биостимуляция, биоаугментация и биостимуляция + биоаугментация) проводились на площадке рядом с полигоном опасных отходов (рисунок 2.10), в соответствии с табл. 2.7.



Рисунок 2.10 Экспериментальные работы на полигоне опасных отходов, 2019г  
Таблица 2.7 - Различные варианты биоремедиации загрязненных нефтепродуктами грунтов

Вариант опыта	идент	Состав
Контроль	С	почва
Биостимуляция	BS	почва + N. P. K
Биоаугментация	BA	почва + MO <sup>X</sup>
Биостимуляция + биоаугментация	BS + BA	почва + MO <sup>X</sup> + N. P. K

<sup>X</sup>MO – микроорганизмы: (*Pseudomonas fluorescens* P1, *Rhodococcus rhodococcus* R3 and *Flavobacterium* K1)

Биостимуляция и биоаугментация применялись в первом и втором контейнерах, а биостимуляция + биоаугментация - в третьем контейнере, соответственно. Минеральные удобрения в соотношении N: P: K = 16: 16:16, содержащие 16% неорганического азота, 16% пентоксида фосфора и 16% оксида калия, были внесены в качестве мелиорантов из расчета 60 г/м<sup>2</sup>. Эти питательные вещества были добавлены в загрязненную почву и надлежащим образом гомогенизированы механическим способом. Консорциум ранее выделенных местных микроорганизмов: *Pseudomonas fluorescens* P1, *Rhodococcus rhodococcus* R3 и *Flavobacterium* K1 содержался в питательном бульоне [273]. Консорциум этих микроорганизмов инокулировали на поверхности обработок биостимуляция, биостимуляция + биостимуляция и механически перемешивали. Во всех экспериментах влажность поддерживалась на уровне 80%, аэрация обеспечивалась путем разворачивания контейнеров каждые 14 дней.

#### ✓ *Методы фиторемедиации рекультивированных грунтов*

Отбор проб был произведен из полигона опасных отходов рудника Кумтор, располагающегося на абсолютной высоте 3665 м н.у.м. Почвенные образцы отбирались из верхнего слоя (0-15 см) методом «конверта», с пробной площадки размером 1x1 м путем составления объединенной пробы массой 400-500 г. Фоновый образец почвы был взят на расстоянии 2000м от полигона. Отбор почвенных проб проводился в соответствии с ГОСТ 17.4.3.01-83, ГОСТ 17.4.4.02-2017 и ГОСТ 28168-89. Определение концентрации нефтепродуктов проводилось гравиметрическим методом (методическое указание по определению НП. РД 52.18. 647 – 2003), в аккредитованной лаборатории ГАООСЛХ КР. рН почвы измеряли калибровочным Horiba portable рНmeter, В-213. Для проведения фиторемедиационных работ были взяты образцы почв после биоремедиации, где содержание нефтепродуктов составляло 980 мг/кг, а в фоновом образце - 100 мг/кг. В качестве тест-культур были взяты семена двух растений, произрастающих в природно-климатических условиях рудника

Кумтор: овсяница валлисская (*Festuca valesiaca* Gaudin), плевел многолетний (*Lolium perenne*). Семена используемых растений предварительно калибровали, выбрав семена одного размера и визуально здоровых. В качестве вегетационных сосудов использовали пластиковые емкости. С равномерным распределением по поверхности в каждый из сосудов производили посадку семян тест-культур. В пластиковые контейнеры высевались с 3-х кратной повторностью по 15 семян каждого растения. Тест-объекты выращивались при одинаковых внешних факторах воздействия: освещенность, приближенная к реальным условиям; влажность почвы, поддерживаемая на уровне 60% полной влагоемкости; температура, поддерживаемая на уровне 18–25°C. Полив производился в одинаковое время и с одинаковым объемом.

Исследовались такие параметры тест-культур, как всхожесть (%), длина ростка и корня (мм), которые выращивались на протяжении 40 суток. Тест-откликом служила всхожесть семян, изменения надземной и подземной части семян в сравнении с фоном. Всхожесть семян была рассчитана как число проросших семян, выраженное в процентах от общего количества высеянных семян. Статистическая обработка данных проводилась с помощью пакета Microsoft Excel, рассчитывали средние арифметические значения и стандартные отклонения признаков.

#### ✓ *Методы рециклинга твердых бытовых отходов*

В качестве объекта исследования выбраны коммунально-бытовые отходы дома №194 жилого микрорайона “Жал” города Бишкека, реализация проекта была осуществлена молодежной группой проекта “Үч чака” Всего в эксперименте участвовали 12 квартир из 48, т.е. 25%. В модельном доме проживают 104 человек, из них 13 старше 50 лет, 28 человек в возрасте 30-50 лет, 28 человек в возрасте 18-30 лет, 9 человек в возрасте 18-10 лет и 26 человек младше 10 лет.

Установлен пункт приема сортированного мусора (рисунок 2.11)



Рисунок 2.11 Пункт приема мусора и место расположения компостера



Рисунок 2.12 Компостер The Schnell, Model: S-50)

Было предложено сортировать бытовой мусор на 5 категорий:

1. Пищевые отходы
2. Бумага и картон
3. Пластик, стекло, металл
4. Не перерабатываемый мусор
5. Опасные отходы.

Компостирование пищевых отходов производилось на аппарате THE SCHNELL KOMPOSTER (компания «Urban Solutions», Model S-50) (рисунок 2.12).

### ✓ Фитотестирование

В качестве опытной почвы был отобран почвенный образец пахотной земли со следующими характеристиками (табл.2.8):

Таблица 2.8 - Характеристики пахотной земли

Тип почвы	рН	Гумусность,%	Общий азот,%	Подвижные формы, мг/кг	
				Фосфор	Калий
Серозем	7,6	1,98	0,100	25,5	185,0

Компост использовали для структурирования почвы. Оценивали эффект сухого компоста в дозах 150 г/кг; 100 г/кг, 50г/кг, 10 г/кг.

В качестве стандартных тест-культур применяли кормовую репу (*Brassica rapa* L.) и овес посевной (*Avena sativa* L.). Повторность опыта 3-х кратная.

Учитывали рост проростков, длину корня и энергию прорастания.

Энергия прорастания (%):

$$X = A / B \cdot 100\%$$

где, А - количество проросших семян; В - количество посаженных семян.

Определение скорости роста (дни):

$$A1 + A2 + \dots + An$$

$$((A1 \times 1) + (A2 + 2) + \dots + (An + n)) / (A1 + A2 + \dots + An)$$

где, А (n) - количество семян, проросших за 1, 2, ..., n дней; 1,2, ..., n - срок прорастания семян.

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ:** В связи с комплексностью проведенных исследований в данном разделе методы и объекты представлены в структурированном виде, сгруппированном по следующим блокам: методики оценки состояния водных и почвенных ресурсов, методики ремедиации загрязненных почв, методы рециркуляции очищенных грунтов и методы рационального использования природных ресурсов.

## **ГЛАВА 3. КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ ПОЧВЕННЫХ РЕСУРСОВ ОСНОВАННЫЕ НА ИСПОЛЬЗОВАНИИ ИНТЕГРИРОВАННЫХ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИНДЕКСОВ И ИНДИКАТОРОВ**

### ***3.1 Экологическое состояние почвенных ресурсов Кыргызстана и системы оценивания их экологического состояния.***

Кыргызстан горная страна, не имеющая выхода к морю и расположенная в восточной части Центрально-Азиатского региона. Однако страна обладает уникальными природными экосистемами, которые позволили ей войти в число 200 приоритетных экологических регионов планеты. Эксперты отмечают, что на ее территории произрастает около 2% видов мировой флоры и обитает более 3% видов фауны [274].

По состоянию на 1 января 2023 года, согласно НСК более 41% земельной площади страны приходится на земли запаса, земли сельскохозяйственного назначения составляют 33,7% и земли лесного фонда – 12,7% [245]. Структуру сельскохозяйственных угодий в 2023 году, также по данным НСК, составляют: 85% пастбищ, пашни – 12%, сенокосы – 2%, другие угодья – 1%.

Одним из приоритетов страны является обеспечение устойчивого развития страны, где экологические системы и обеспечение их качества являются неотъемлемой частью государственной безопасности [275]. Однако страна имеет ряд существенных экологических проблем, согласно данным Национального центра по борьбе с опустыниванием [276] “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 средне и сильно деградированные” [277].

Источниками загрязнения и ухудшения экологического состояния почвенных экосистем страны являются: промышленность, сельское хозяйство и полигоны отходов производств и человеческой деятельности.

Одной из доходобразующих предприятий в стране является “горнодобывающая промышленность, занимающая одно из ведущих отраслей экономики” [278]. Согласно данным Кожобаева К. А. и др.: “... наряду с этим, характерной особенностью этой отрасли является образование значительных отходов, объемы которых только на стадии разработки месторождения полезных ископаемых (МПИ) в 4–5 раз превосходят объемы добычи, а с учетом обогащения и других процессов – до 10 раз и более”. Кроме того авторы отмечают, что “во время разработки МПИ или в процессе обогащения его руд, источниками экологической опасности служат как сами головные предприятия, так и в большей мере объекты и отходы их деятельности – хвостохранилища, отвалы пустых пород, а также остатки используемых материалов, сточные воды, изношенные резино-металлические изделия, отработанные масла автомашин, тракторов и другой техники, материалы тар и т. п.” [279], представляя огромную опасность для окружающей природной среды [280].

Агропромышленный сектор является важнейшей отраслью экономики страны, который испытывает на себе результаты экологического ухудшения природной среды, при этом сам же его создавая, как бы бумерангом. Начиная с 2007 года стали проявляться предпосылки угрозы продовольственной безопасности страны. Плодородие пахотных земель снижается с каждым годом [281].

Промышленные и бытовые отходы, являются одним из основных факторов влияющих на экологическую обстановку в стране. Согласно данным Экологического обзора Кыргызской Республики [281]: “В стране отсутствует государственная система управления отходами, включающая мониторинг, хранение, переработку и утилизацию промышленных и бытовых отходов.

Промышленные отходы, включая токсичные, до настоящего времени складываются и хранятся в различных накопителях, зачастую без соблюдения соответствующих экологических норм и требований. В результате этого почва, подземные и поверхностные воды многих регионов подвержены интенсивному загрязнению. Постоянно возрастающие объемы складированных отходов формируют новые техногенные ландшафты. С ростом высоты отвалов и терриконов они становятся все более интенсивными источниками пылеобразования. Основная масса твердых бытовых отходов без разделения на компоненты вывозится и складывается на открытых свалках, 97% которых не соответствуют требованиям природоохранного и санитарного законодательства. Их размещение и обустройство осуществлены без проектов и оценки воздействия на окружающую среду. Только около 5% твердых бытовых отходов в республике подвергается утилизации или сжиганию”.

Земельные ресурсы являются пространственно операционным базисом человеческой деятельности, которые испытывают на себе различный уровень влияния техносферы, преобразовываясь и отражая в своих свойствах специфику антропогенного воздействия [282]. Они ограничены пространственно и ничем не заменимы [283]. Ограниченность почвенных экосистем обуславливает необходимость бережного отношения и рационального использования [284]. По данным Макарова: “Под экологическим состоянием почв понимают комплекс почвенных свойств, определяющий степень их соответствия природно-климатическим условиям почвообразования и пригодности для устойчивого функционирования естественных и антропогенных экосистем” [285]. Сложностью практической реализации этих задач является ограниченность знаний о критериях и показателях оценки экологического состояния почв [286]. Учитывая, что любая система будь то природная или техногенная имеет определенный ресурс, в отношении почвенных экосистем предлагается различать технологический природный ресурс, экологический природный ресурс и

социально-экономический ресурс, при котором, согласно А. Яковлеву: “... экологическая ценность природных компонентов не совпадает с их ресурсно-технологической ценностью, а допустимая совокупная антропогенная нагрузка на земельный участок представляет собой допустимую разницу между фоновым и сложившимся в результате землепользования состоянием окружающей среды конкретного земельного участка” (рисунок 3.1.1, источник А.Яковлев, 2019 ) [287].

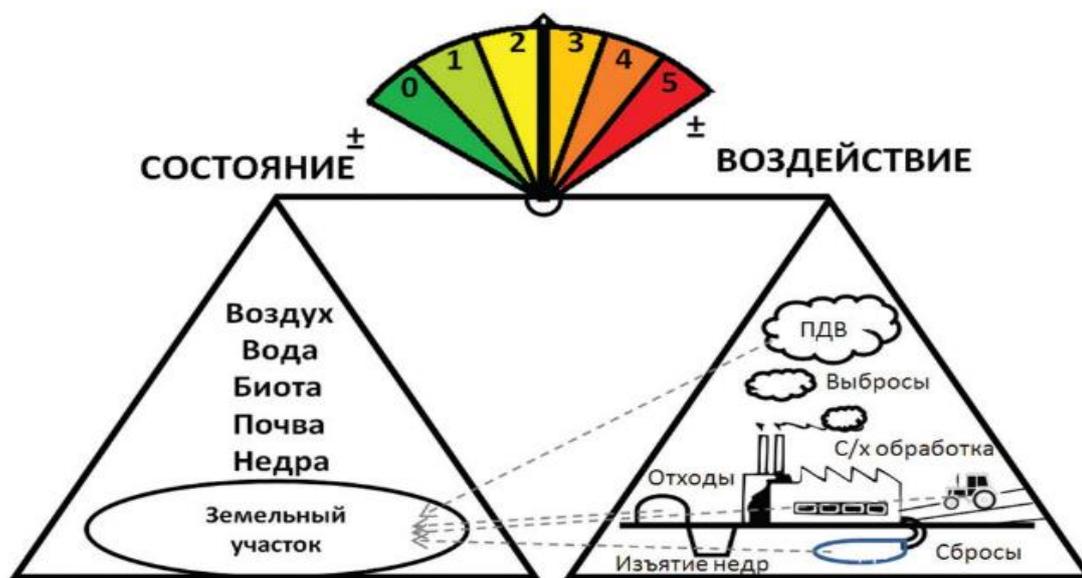


Рисунок 3.1.1 Схема экологического равновесия в системе “состояние – воздействие” источник А.Яковлев, 2019)

Следовательно, по данным В. Заболотских: “... экологическая оценка окружающей среды должна учитывать устойчивость конкретных экологических систем к конкретным внешним воздействиям и нагрузкам, т.е. должна базироваться на нормировании качества, нормировании воздействия и нормировании нагрузки” [288].

Поскольку Закон Кыргызской Республики “Об охране окружающей среды” от 16 июня 1999 №53 является основополагающим законом страны, регулирующий природоохранное законодательство страны, нормирование в области охраны окружающей среды, по данным национального обзора нормативных документов страны осуществляется: “... в целях установления

предельно допустимых масштабов воздействия на окружающую среду, гарантирующих экологическую безопасность населения и сохранение генетического фонда, обеспечивающих рациональное использование и воспроизводство природных ресурсов в условиях устойчивого развития хозяйственной деятельности” [289]. Согласно ст. 8 Закона “Об охране окружающей среды”: “...система нормативов и стандартов качества окружающей среды включает в себя:

- ✓ нормативы предельно допустимых концентраций вредных веществ в атмосферном воздухе, воде, почве и недрах;
- ✓ нормативы предельно допустимых выбросов и сбросов вредных веществ;
- ✓ нормативы предельно допустимого уровня радиационного воздействия;
- ✓ нормативы предельно допустимых уровней нагрузки на окружающую среду;
- ✓ нормативы санитарных и защитных зон;
- ✓ стандарты на используемые природные ресурсы;
- ✓ нормативы предельно допустимых уровней шума, вибрации, электромагнитных полей и иных вредных физических воздействий;
- ✓ предельно допустимые нормы применения химикатов в сельском хозяйстве;
- ✓ нормативы предельно допустимых концентраций химических, токсичных, канцерогенных веществ и биологических добавок в продуктах питания”.

Согласно гигиеническим нормативам страны система экологического нормирования страны в основном ориентированы на: “...санитарно-гигиеническом нормировании, в основе которого приняты предельно-допустимые концентрации (ПДК) элементов и их соединений в среде, и основаны на антропоцентрическом подходе, согласно которому величина

ПДК – такое содержание химических элементов в среде, которое в течение длительного времени не вызывает прямого или косвенного негативного влияния на здоровье человека” [290].

Также согласно гигиеническим нормативам страны [291]: “ПДК загрязняющих веществ в почве определяется с использованием четырех основных лимитирующих показателей вредности:

- ✓ транслокационный, характеризующий переход вещества из почвы в растение;
- ✓ миграционный водный, характеризующий способность перехода вещества из почвы в грунтовые воды и водоисточники;
- ✓ миграционный воздушный, характеризующий переход вещества из почвы в атмосферный воздух;
- ✓ общесанитарный, характеризующий влияние загрязняющего вещества на самоочищающую способность почвы и ее биологическую активность”.

Однако, в последнее время все больше признается о необходимости смене парадигмы ПДК к более экологически ориентированным подходам. Среди которых большее распространение принимает экосистемный подход, при котором нормальным может быть только то состояние экосистемы при котором сохраняется целостность и замкнутость круговорота веществ [292]. Существующая же система оценивания почвенных ресурсов в Кыргызской Республике не отвечает современным требованиям [293], земли как компонент окружающей среды не обеспечены самостоятельными показателями оценки, нормирования и управления, характеризующими весь набор компонентов, входящих в природный комплекс земель и нуждаются в их разработке. Для чего необходимо определить критические показатели и звенья характеризующие состояние экосистем [293], данное исследование не претендует на решение всех задач по устранению недостатков в области современных подходов нормирования и определения экологических

состояний природных объектов, в частности почвенных ресурсов, но вносит определенный вклад в начало комплексного оценивания почвенных и водных факторов устойчивого развития. Полученные результаты исследований приводятся в нижеследующих разделах.

### ***3.2. Экспериментальные исследования применения многокритериальных экологических индексов для комплексной оценки почвенных экосистем севера Кыргызстана.***

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 *индексов коэффициента насыщения, геоаккумуляции, коэффициента загрязнения, степени загрязнения, загрязняющей нагрузки, потенциального экологического риска и комплексного риска с использованием подхода ТРИАД* и были опубликованы [294]. Были проанализированы почвы урбанизированных экосистем Иссык-Кульской области, так как в регионе хорошо развиты курортный, агропромышленный и горнодобывающий секторы, и потенциальный риск загрязнения окружающей среды очень велик. Образцы почвы были проанализированы на содержание Pb, Zn, Fe, Cu и Cd с помощью атомно-абсорбционного спектрофотометра.

Тяжелые металлы являются наиболее значимыми загрязнителями окружающей среды [295]. Существует два основных источника их поступления: естественное содержание тяжелых металлов в горных породах и техногенное, обусловленное активной деятельностью горнодобывающей промышленности [296], [297], предприятий металлургического комплекса, автотранспорта [298], тепловых электростанций, сжиганием отходов и сточных вод [299]. Почва, обладающая ярко выраженной катионной

поглощительной способностью, является мощным аккумулятором тяжелых металлов. Почва, обладающая ярко выраженной катионной поглощительной способностью, является мощным аккумулятором тяжелых металлов. Поэтому постоянное поступление их даже в небольших количествах в течение длительного времени может привести к значительному накоплению их в почве и дальнейшему геохимическому переносу [300].

Иссык-Куль - один из развитых регионов Кыргызской Республики. В этом регионе развиты промышленность, сельское хозяйство и туризм. Более полтора миллиона туристов в год посещают этот район, и 70% из них принимают участие в пляжном отдыхе на озере Иссык-Куль [301]. В Иссык-Кульской области расположены Каджи-Сайское урановое хвостохранилище, золотодобывающий комплекс Кумтор и Джергаланский угольный разрез, который также является важным транспортным узлом, откуда ведут дороги в Казахстан и Китай. Иссык-Куль был включен в список водно-болотных угодий в 1986 году и поэтому имеет большое значение для обеспечения среды обитания водоплавающих птиц. В советский период на территории Иссык-Кульской области активно велась разведка полезных ископаемых, таких как уран, золото и т.д., что негативно сказалось на экологическом благополучии региона и здоровье населения [302]. В настоящее время неравномерная рекреационная и хозяйственная деятельность, а также неравномерное использование ресурсов представляют потенциальную угрозу для уникальной экосистемы Иссык-Куля, которая была включена в список водно-болотных угодий и поэтому имеет большое значение для обеспечения среды обитания водоплавающих птиц. Поэтому оценка состояния почв в этом регионе является приоритетной. В связи с этим целью данной работы было сравнение различных экологических индексов для оценки экосистемы Иссык-Куля. Содержание свинца, кадмия, меди и цинка в почвенных образцах исследуемых зон представлено в табл. 3.2.1.

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. 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.

Таблица 3.2.1 - Средние значения содержания тяжелых металлов в почве.

Зоны Иссык-Куля	Pb	Cd	Cu	Zn	Fe
Западная зона	32 ± 3,27	0,3 ± 0,08	18 ± 1,63	60 ± 5,89	233 ± 7,89
Северная зона	28,5±8,28	0,55±0,29	22 ± 3,21	61,3±13,46	316,7 ± 5,87
Южная зона	29,4±8,82	0,56±0,21	20,5± 5,68	65,1 ± 5,21	342,5 ± 4,19
Восточная зона	24,6±4,44	0,55±0,15	21,4± 4,82	69,9 ±6,62	308,6 ± 7,87
Фон	21,7±9,61	0,50±0,15	22,7± 6,43	41,3±10,26	380 ± 9,87

Mean and Standard Deviation,  $\bar{X} \pm SD$

Характер распределения Cd и Cu указывает на низкую пространственную неоднородность, а их содержание на исследуемой территории очень мало. Имелось несколько четких сильно загрязненных участков с повышенным содержанием Pb и Zn, расположенных в основном в северной и восточной частях исследуемой территории. Судя по картам, самые высокие концентрации выбранных тяжелых металлов в образцах почвы были обнаружены вблизи промышленных предприятий. деятельности, такой как транспорт и сельское хозяйство.

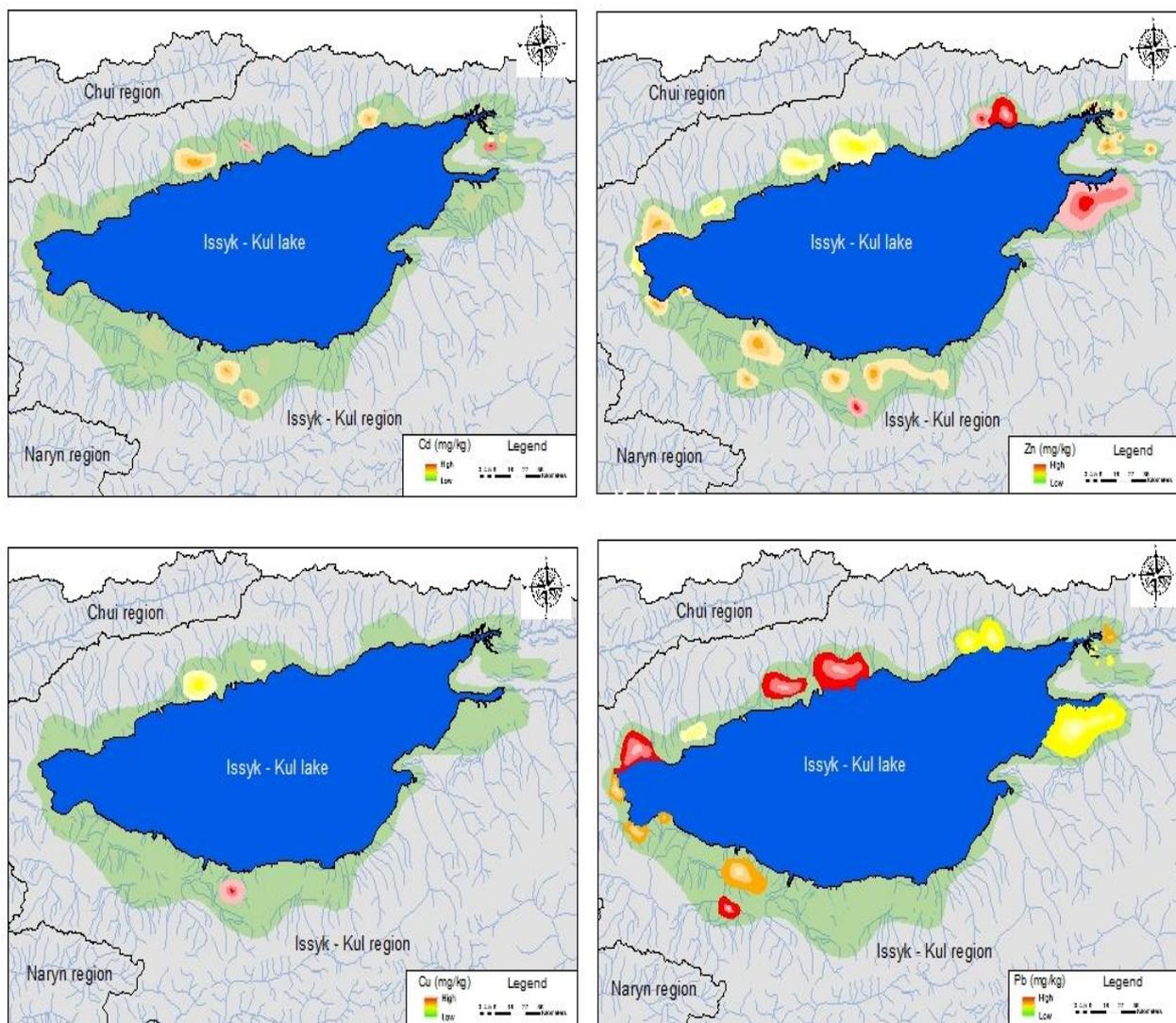


Рисунок 3.2.1 Пространственное распределение тяжелых металлов в почвах Прииссыккуля.

Значения коэффициента обогащения для исследуемых районов представлены в табл. 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 табл. 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). 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.

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

Таблица 3.2.4 - Коэффициенты загрязнения ( $K_z$ ) и степень загрязнения ( $C_z$ ) 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

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. 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 3.2.5 - 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

Данные табл. 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 3.2.6 - Потенциальный экологический риск (PERI) 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

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.

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

Установлено, что транспортное загрязнение оказывает значительное влияние 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 (табл. 3.2.7). Численность актиномицетов была незначительной. Наблюдались секции *Cinereus*, *Helvolo Flavus* и *Roseus*. Штаммы грибов были идентифицированы как *Aspergillus*, *Fusarium* и *Penicillium*.

Таблица 3.2.7 - Популяции почвенных микроорганизмов.

Пробы почв	бактерии, КОЕ	микробицеты, КОЕ	актиномицеты, КОЕ
Западная зона	60 ± 5,39	24 ± 2,89	30 ± 4,73
Фон	76 ± 4,47	34 ± 7,81	88 ± 3,37

Среднее и стандартное отклонение,  $\bar{X} \pm SD$

Тест-культуры показали высокую чувствительность к тяжелым металлам, и в нашем исследовании они были установлены в следующем порядке: *Raphanus sativus* < *Lepidium sativa* < *Avéna sativa*. Наиболее чувствительными оказались семена *Raphanus sativus*, прорастание которых составило 7% (табл. 3.2.8).

Таблица 3.2.8 - Прорастание, длина побегов и корней для видов растений, среднее значение и стандартное отклонение,  $\bar{X} \pm SD$

Тестируемые растения	Всхожесть, %	Длина стеблей, mm	Длина корней, mm	Фитотоксический эффект при проращивании семян, %
Западная зона				
<i>Lepidium sativa</i>	40	7.8 ± 0,22	9.1 ± 0,23	48
<i>Avena sativa</i> L.	100	15.1 ± 0,08	15.1 ± 0,24	11
<i>Raphanus sativus</i> L.	7	7.1 ± 0.05	3.5 ± 0.03	75
Фон				
<i>Lepidium sativa</i>	77	15.4 ± 0,30	20.6 ± 0,39	
<i>Avena sativa</i> L.	90	19.8 ± 0,35	14.2 ± 0,55	
<i>Raphanus sativus</i> L.	27	17.2 ± 0.32	23 ± 0.22	

Образцы почвы западной зоны оказывали заметное ингибирующее действие на надземную и подземную части растений по сравнению с контрольными показателями. Продемонстрирована высокая токсичность, вызывающая прорастание семян *Raphanus sativus* более чем на 50 %, что подтверждает наибольшую информативность биотического контроля токсичности природных сред [303], [304].

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

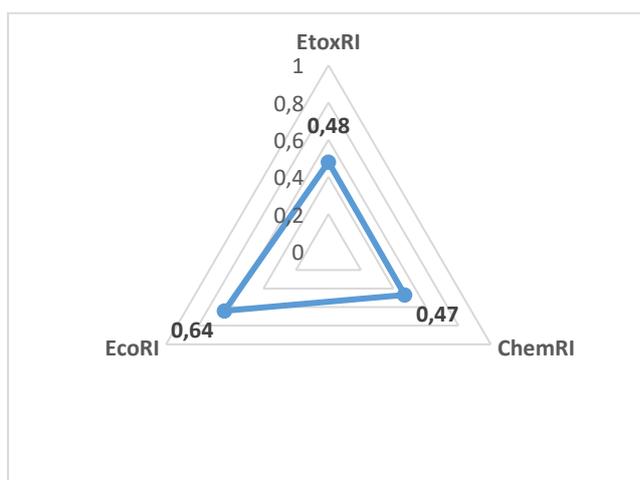


Рисунок 3.2.2 Рассчитанные индексы риска (RI): химический (ChemRI), экотоксикологический (EcoRI), экологический (EtoxRI)

Интегральный индекс, рассчитанный по триадному подходу и равный 0,55, отнес экологическое состояние почв Иссык-Кульской области к сильно нарушенному.

Наблюдались различия в уровнях накопления тяжелых металлов в Иссык-Кульской зоне. В четырех зонах наблюдались высокие уровни загрязнения тяжелыми металлами, такими как Pb и Zn. Концентрации тяжелых металлов в почвах Иссык-Куля располагались в следующем порядке возрастания: Zn > Pb > Cu > Cd. Согласно рассчитанным показателям, западная зона умеренно обогащена Pb. Эта зона является транспортным узлом всех автомобильных дорог региона, что подтверждает вероятность преобладания этого металла. Индекс геоаккумуляции показывает, что все зоны чрезвычайно загрязнены Zn, Pb и Cu, в то время как загрязнение Cd умеренное. Высокие значения I<sub>geo</sub> были получены для Zn на всех участках отбора проб. Содержание цинка в четырех зонах расположено в следующем порядке: восток > юг > север > запад. Поступление цинка в почву связано с использованием различных удобрений, применяемых в сельском хозяйстве, а также при сжигании угля [305]. Следует отметить, что в восточной провинции Джергалан развивается угледобыча, что влияет на преобладание цинка в восточной зоне. Коэффициент загрязнения во всех зонах выявил умеренное загрязнение Pb, Zn и Cd, за исключением западной зоны, где мы получили низкое загрязнение Cd. Значения потенциального экологического риска для всех участков отбора проб указывают на низкий экологический риск в почвах. Междисциплинарный подход, основанный на данных химии, экологии и токсикологии, характеризует почву как сильно нарушенную и относит ее к 4 категориям качества. Подход ТРИАД, который также учитывает состояние почвенной биоты, более информативен для долгосрочной перспективы, поскольку биотические компоненты уязвимы и чувствительны к различным загрязнениям [261].

**Заключение:** 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:  $Zn > Pb > Cu > Cd$ . 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.

*Далее для оценки экологического состояния техногенно нарушенных почв горных экосистем Ак-Тюзского рудника использовали подход ТРИАД.*

Территория Кыргызской Республики подвергается воздействию отходов различных предприятий, в первую очередь горнодобывающей промышленности. На территории республики на горных хребтах были размещены хвосты различных промышленных предприятий горнодобывающей отрасли. Одним из таких горных хребтов является Ак-Тюз, расположенный в 145 км от столицы Кыргызской Республики на высоте 2300 м над уровнем моря. В результате деятельности горнодобывающей промышленности Ак-Тюза радиоактивные отходы объемом 4,17 млн м<sup>3</sup> были размещены в четырех хвостохранилищах в долине Кичи-Кемин. Сыпучие отходы, содержащие радиоактивные элементы и тяжелые металлы, как правило, перемещаются на почву. Способность тяжелых металлов перемещаться в почве и биоаккумулироваться живыми организмами, повышая тем самым их токсичность, делает их одной из самых серьезных глобальных экологических проблем [306], [307]. Загрязнение тяжелыми металлами может неизбежно повлиять на качество почвы или воды с течением времени [308]. Осознание оценки рисков должно быть приоритетным, учитывая постоянный рост загрязнения почвы, воды и воздуха тяжелыми металлами и общего загрязнения окружающей среды в глобальном масштабе [309]. В настоящее время три хвостохранилища законсервированы, а хвостохранилище №4 является действующим. Основными видами отходов являются радиоактивный торий, тяжелые металлы, такие как кадмий, молибден, свинец, цинк, бериллий, а также оксиды гафния и циркония. Химический состав отходов: Th - 0,038 %, Pb - до 0,12 %, Zn - до 0,07 %, Th<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - (0,11-0,15) %, Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - до 0,02 %, ZrO<sub>2</sub> - (0,2-0,5) %, Mo - до 0,007 %, F - до 0,1 %, Cu - до 0,015 % [310]. Экологическая ситуация в регионе неблагоприятная. В декабре 1964 года произошел прорыв удерживающей дамбы, в результате чего более 600 000 м<sup>3</sup> радиоактивных и токсичных отходов вытекло из хвостохранилища в реку и долину Кичи-Кемин [311]. Тем самым была поставлена под угрозу безопасность всей экосистемы долины Кичи-Кемина. Многие ученые Кыргызской Республики изучали

влияние добычи Ак-Тюзской руды на окружающую среду [279], [307]. Согласно их исследованиям, деятельность фабрики по обогащению редкоземельных металлов рудника Ак-Тюз - ее отходы и особенно авария, произошедшая в 1964 году, - негативно сказалась на здоровье жителей Кичи-Кеминской долины. По данным НИИ онкологии и радиологии Кыргызской Республики, заболеваемость новообразованиями в Кеминском районе в 2005-2010 годах составляет около 145 на 100 000 человек, в соседнем Иссык-Атинском районе эти показатели составляют около 105, а в целом по стране - около 90 [312].

Оценка экологического состояния экосистем региона проводилась в основном аналитическими методами. Иными словами, содержание в тестовых пробах тяжелых металлов химическими методами и их сравнение с установленными ПДК не дает достоверной и объективной оценки экологического состояния экосистем. Для полной оценки воздействия антропогенных факторов на окружающую среду важно изучить влияние загрязняющих веществ на биогенные и абиогенные компоненты [313]. Наиболее актуальной проблемой остается поиск оптимального решения для интеграции данных экологического мониторинга [314]. Среди них – подход ТРИАД, основанный на методологии междисциплинарного уровня, учитывающей данные химических, экологических и экотоксикологических исследований [315]. Комплексные исследования загрязнения почв проведены в окрестностях поселка Кичи-Кемин, почвенная экосистема которых подвергается воздействию отходов (хвостов) промышленных предприятий горнодобывающей отрасли. Целью наших исследований была оценка токсичности почвенной экосистемы Ак-Тюз с использованием подхода ТРИАД. Схема отбора почвенных образцов приведена на рисунке 3.2.3



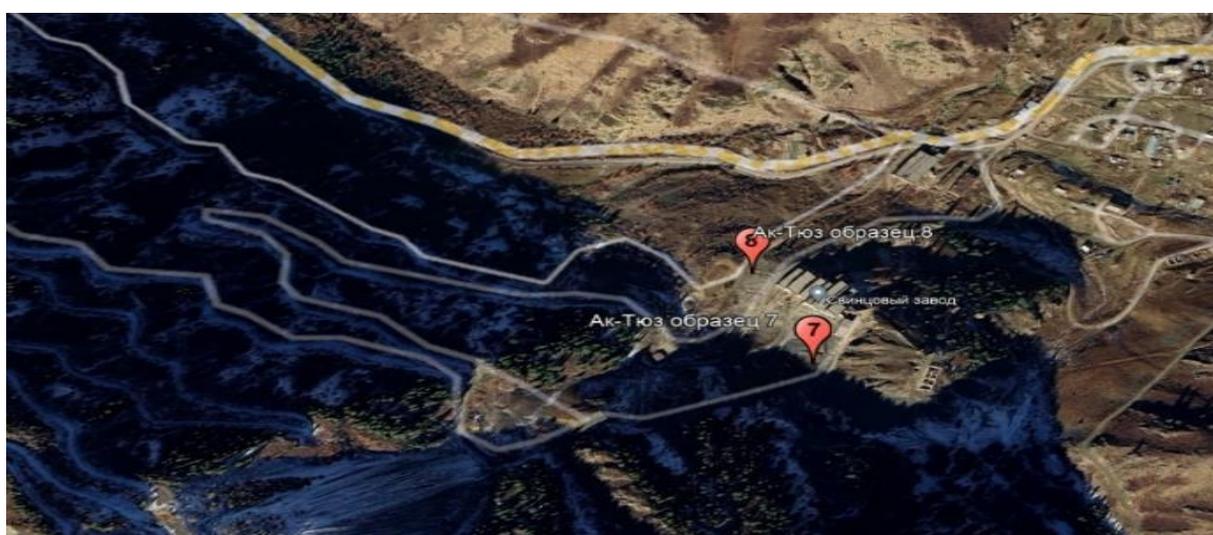
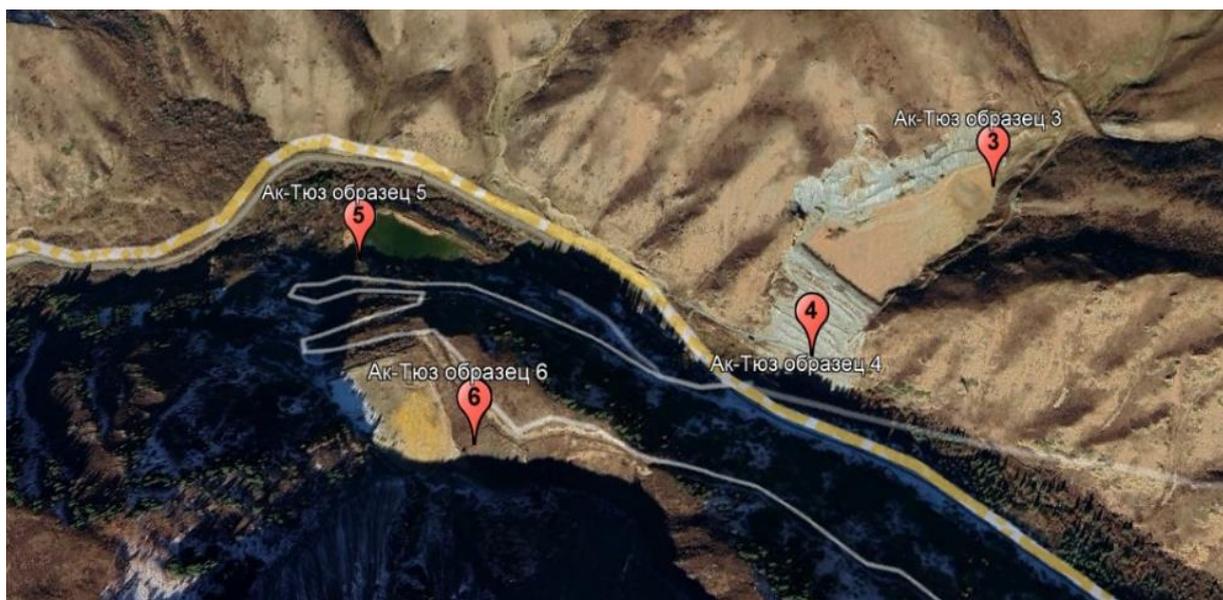


Рисунок 3.2.3 Пункты отбора почвенных образцов

В результате проведенных исследований получены нижеследующие результаты, которые были опубликованы в статье [316] и приведены ниже:

*“Оценка экологического состояния почв по химическим параметрам”.*

Важным критерием, влияющим на экологическое состояние почв, является загрязнение тяжелыми металлами. Содержание тяжелых металлов в исследуемых почвах представлено в табл. 3.2.9

Содержание цинка на всех четырех участках хвостохранилища значительно превышает фоновые значения. На хвостохранилищах №2 и №3 отмечены повышенные концентрации свинца по сравнению с фоновой пробой также в 6-

7 раз, в то время как на хвостохранилищах №1 и №4 его концентрация превышает в более чем в 20 раз.

На территории рудника Ак-Тюз уровень экспозиционной дозы гамма-излучения на поверхности объектов находится в диапазоне 40-60 мкР/час. Однако в отдельных аномальных точках он достигает 700 мкР/час [317].

Таблица 3.2.9 - Содержание тяжелых металлов (мг/кг) в образцах почв

Образцы почв	Zn ± SD	Pb ± SD
Хвостохранилища № 1	658.90 ± 26.38	469.92 ± 26.81
Хвостохранилища № 2	669.70 ± 31.37	387.25 ± 27.87
Хвостохранилища № 3	781.90 ± 26.15	391.56 ± 34.52
Хвостохранилища №4	698.20 ± 0.54	1847.51 ± 35.56
Фон	104.86 ± 17.19	62.82 ± 17.04

Среднее и стандартное отклонение,  $\bar{X} \pm SD$

*“Оценка экологического состояния почв по токсикологическим показателям”.*

“Для оценки экологического риска (ОЭР) необходимо использование токсикологических биопроб для определения потенциального риска загрязнения для отдельных живых организмов и экосистемы в целом” [318].

Тест-культуры показали высокую чувствительность к тяжелым металлам, и в нашем исследовании они были установлены в следующем порядке: *Raphanus sativus* < *Lepidium sativa* < *Avena sativa*. Наиболее чувствительными оказались семена *Raphanus sativus*.

На образцах хвостохранилищ №1, №2 и №3 прорастания семян редиса не наблюдалось (табл. 3.2.10).

Таблица 3.2.10 - Всхожесть, длина побегов и корней исследуемых видов растений в различных образцах почв

Тест-объекты	Всхожесть, %	Длина стебля, mm	Длина корня, mm	Фитотоксический эффект по всхожести семян, %
Хвостохранилище №1				
<i>Lepidium sativa</i>	10	2,55 ± 0,22	2,98 ± 0,23	79
<i>Avena sativa</i> L.	20	1,05 ± 0,08	3,20 ± 0,24	90
<i>Raphanus sativus</i> L.	0	0	0	
Хвостохранилище №2				
<i>Lepidium sativa</i>	20	1,84 ± 0,30	2,87 ± 0,39	58
<i>Avena sativa</i> L.	40	1,53 ± 0,35	4,48 ± 0,55	80
<i>Raphanus sativus</i> L.	0	0	0	
Хвостохранилище №3				
<i>Lepidium sativa</i>	25	2,21 ± 0,44	3,23 ± 0,88	58
<i>Avena sativa</i> L.	40	2,04 ± 0,43	4,82 ± 0,73	75
<i>Raphanus sativus</i> L.	20	0	0	
Хвостохранилище №4				
<i>Lepidium sativa</i>	40	2,80 ± 0,36	2,47 ± 0,50	68
<i>Avena sativa</i> L.	30	4,05 ± 0,78	6,30 ± 1,11	50
<i>Raphanus sativus</i> L.	20	1,65 ± 0,12	0,2	
Фон				
<i>Lepidium sativa</i>	100	3,25 ± 0,73	4,06 ± 0,62	
<i>Avena sativa</i> L.	95	5,96 ± 0,98	7,23 ± 1,15	
<i>Raphanus sativus</i> L.	10	1	0,3	

Среднее и стандартное отклонение,  $\bar{X} \pm SD$

Во всех образцах почвы энергия прорастания семян *Lepidium sativa* (20-40%) и *Avena sativa* (10-40%) была низкой по сравнению с фоновыми значениями. Самый низкий процент всхожести *Lepidium sativa* (10%) и *Avena sativa* (20%) отмечен в образце хвостохранилища №1. Образцы почвы всех хвостохранилищ оказали заметное ингибирующее действие на надземную и подземную части растений салата и овса по сравнению с контрольными показателями. Тяжелые металлы являются мобильными и доступными для растений, которые могут транслоцироваться в съедобные части и угрожать безопасности пищевых продуктов [319]. Высокую токсичность, вызывающую снижение прорастания семян овса и салата более чем на 50%, показали все образцы почвы, подтверждая наибольшую информативность биотического

контроля токсичности природных сред, что отмечалось ранее другими авторами [320], [321], [322]. Возможно, именно поэтому уровень заболеваемости местного населения онкологическими заболеваниями высок.

*“Оценка экологического состояния почв по показателям биоиндикации”.*

Результаты биоиндикационных исследований показали, что тяжелые металлы оказывают ингибирующее действие на рост и развитие почвенных микроорганизмов. Отмечено преобладание устойчивых форм микроорганизмов в исследуемых почвах. Так, согласно нашим опубликованным исследованиям: “Представители актиномицетов рода *Streptomyces* были представлены преимущественно секциями *Albus* и *Cinereus*, что свидетельствует об их устойчивости к тяжелым металлам, как отмечали и другие исследователи [323]. В хвостохранилище № 4, помимо представителей секций *Albus* и *Cinereus*, были выявлены представители секций *Helvolo Flavus* и *Azureus*, которые отсутствовали на других участках. Разнообразие грибов было представлено видами *Aspergillus*, *Penicillium*, *Trichoderma*, *Fusarium* и *Mucor*. Наименьшее разнообразие грибов отмечено на участке хвостохранилища №1 (табл. 3.2.11). Наиболее устойчивыми к высоким уровням загрязнения почвы тяжелыми металлами оказались виды родов *Aspergillus* и *Penicillium*” [316], что также отмечалось другими исследователями [324]. В районе исследования отмечено преобладание темноокрашенных грибов, что также подтверждает устойчивость грибов с меланиновой окраской к повышенной радиации и тяжелым металлам [325], [326].

Данные исследований по: “изучению микробиологического разнообразия техногенной экосистемы Ак-Тюз по видам, устойчивым к воздействию тяжелых металлов и радиоактивного тория, отметили увеличение КОЕ бактерий и актиномицетов рода *Streptomyces* при минимальном видовом разнообразии, что является показателем деградирующей экосистемы” [316]. Чем более устойчива экосистема к воздействию антропогенных факторов, тем

выше ее видовое разнообразие [327]. Это относится и к почвенной микробиоте, которая видообразуется под воздействием различных антропогенных факторов среды [328]. Также были рассмотрены варианты использования почвенных ферментов, в качестве биоиндикаторов, при оценке экологического состояния.

Таблица 3.2.11 – Микроорганизмы индикаторы почв

Почвенные образцы	бактерии, КОЕ/гр почвы	микровицеты, КОЕ/гр почвы	актиномицеты, КОЕ/гр почвы
Хвостохранилище №1	39,67 ± 8,39	1,67 ± 2,89	24,67± 4,73
Хвостохранилище №2	141,33 ± 29,5	12,7 ± 2,89	84,67± 28,04
Хвостохранилище №3	52,33 ± 31,09	6,33 ± 0,53	2,33± 2,08
Хвостохранилище №4	148,67±76,29	11 ± 3,07	87,33± 26,58
Фон	88,33 ± 57,47	23 ± 7,81	73,67 ± 7,37

Была проведена оценка воздействия антропогенного загрязнения на активность ферментов почвы в окрестностях Кара-Балтинского горнорудного комбината, результаты данного исследования были опубликованы [329]. Почва является неотъемлемой частью биосферы и биосферы в целом, выполняя важные природоохранные функции. Она обеспечивает жизнь на Земле, участвует в круговороте веществ и энергии в биосфере и способствует стабильности экосистем. Однако, в условиях растущей антропогенной нагрузки на планету, почва подвергается деградации в результате воздействия человеческой деятельности. Это влияет на все компоненты биосферы и подчеркивает важность оценки состояния почвы и ее возможной реабилитации [330]. Ферменты в почве играют ключевую роль в биохимических процессах, определяя ее функциональность. Они являются биокатализаторами, способствующими разложению органического вещества и циркуляции биогенных элементов в почве. Эти ферменты могут выделяться различными организмами, так как их жизнедеятельность создает в почве

сложные биохимические системы [331]. Изучение ферментативной активности в почве представляет собой мощный инструмент для оценки антропогенного воздействия и разработки стратегии реабилитации почвы. Она отражает динамику важных биохимических процессов, таких как разложение органического материала и нитрификация. Эти процессы являются ключевыми для поддержания здоровья почвы и экосистемы в целом [332]. Ферменты являются чувствительными индикаторами загрязнения, и их активность может меняться в зависимости от типа загрязнителя и его концентрации [333]. В частности, такие ферменты как уреазы, каталазы, и дегидрогеназы, могут использоваться для обнаружения нефтезагрязненных почв. Уреаза часто повышает свою активность при наличии нефти, что связано с ростом аммонифицирующих микроорганизмов. Однако после завершения процессов деградации нефти, активность уреазы снижается, а активность каталазы увеличивается. Эти изменения в активности ферментов могут служить показателями для диагностики состояния почвы после нефтяных загрязнений [334], [335]. Использование почвенных ферментов в качестве индикаторов антропогенного загрязнения почв в промышленных городах имеет большое значение для оценки экологической обстановки и здоровья почв [336], [337]. В связи с этим, проведение исследований активности ферментов в загрязненных почвах предоставляет возможность диагностировать и оценивать степень загрязнения почвы различными загрязнителями, такими как нефть, металлы или пестициды, а также использоваться в качестве биоиндикатора в подходе ТРИАД. Важно продолжать исследования в этой области и разрабатывать более точные методы для оценки активности почвенных ферментов и их взаимосвязи с антропогенными воздействиями, чтобы более эффективно решать экологические проблемы, связанные с загрязнением почв.

*Комплексная экологическая оценка почвенных условий по методу ТРИАД*

На рисунке 3.2.4 представлены результаты оценки экологического качества почв на исследуемых участках по химическим, токсикологическим и биоиндикационным данным. Экотоксикологический индекс (EcotoxRI) оказался наиболее чувствительным при оценке почв, загрязненных тяжелыми металлами по сравнению с химическим индексом (ChemRI).

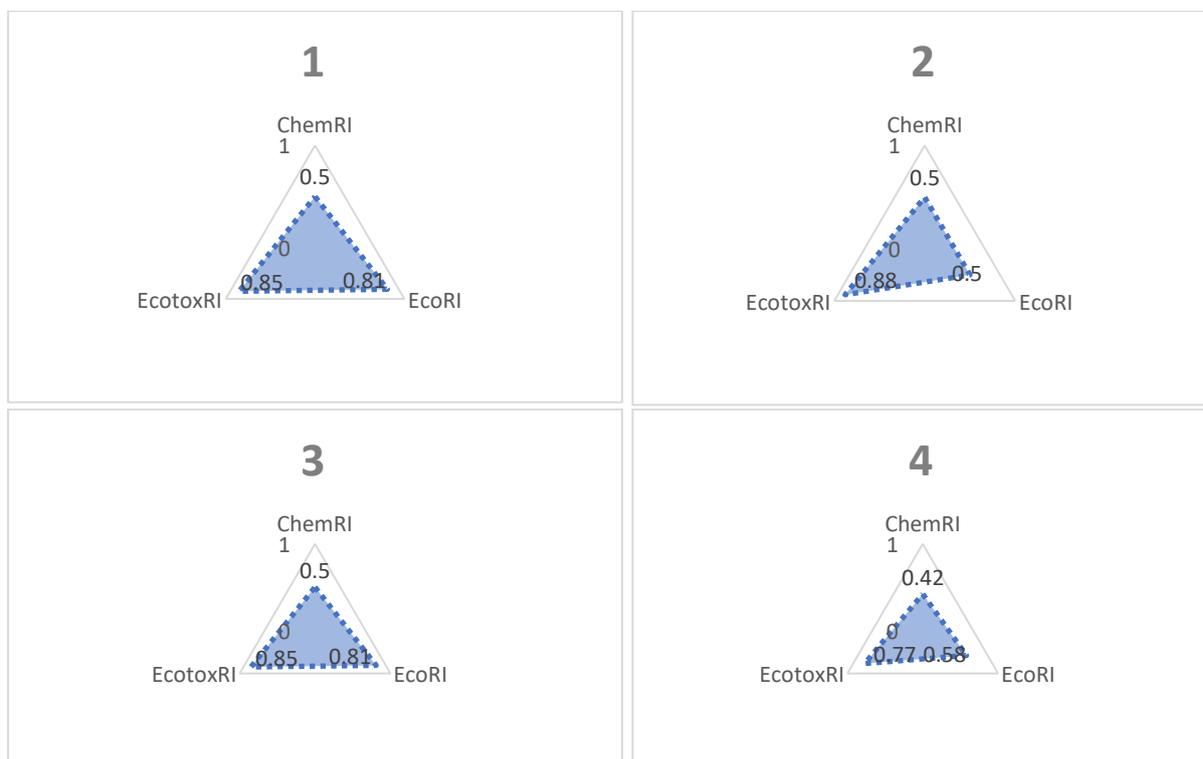


Рисунок 3.2.4 Рассчитанные индексы риска (RI): химический (ChemRI), экотоксикологический (EcotoxRI), экологический (EcoRI); количество хвостов 1-4; площадь темного треугольника отражает степень нарушения почвы.

Следовательно, подход TRIAD основан на междисциплинарной методологии и учитывает токсикологические данные одновременно с данными химических и биоиндикационных исследований [259], [327]. На основе триадного подхода к комплексной экологической оценке почв можно получить формализованные показатели экологического состояния почв, позволяющие сравнивать территории с различной степенью негативного влияния загрязняющих веществ. Парадигма TRIAD позволяет оценить потенциальное вредное воздействие на экосистему с учетом концентрации химических веществ, биодоступности загрязнителей и экологических параметров наблюдаемых экосистем. В настоящее время рекомендации по использованию данного

подхода для комплексной экологической оценки загрязненной среды уже разработаны и внедрены на государственном уровне в ряде стран [328]. Данные, полученные в результате различных направлений TRIAD (биоиндикация, биотестирование и химический анализ), неоднородны и характеризуются различной значимостью для полной оценки ущерба экосистемным функциям [310]. В нашей работе по результатам оценки экологического качества почв по данным химического, токсикологического и биоиндикационного анализа следует: наиболее чувствительным показателем при определении токсичности загрязненной почвы является экотоксикологический индекс, оцениваемый методом фитотестирования на пластинках. Интегральный показатель отражает изменение биологических и экотоксикологических свойств почвы. Несмотря на не очень высокое содержание исследуемого тяжелого металла, мы обнаружили изменения биологических параметров почв. Мы полагаем, что подобный эффект могут оказывать и другие загрязнители (ожидаемое загрязнение радиоактивными элементами) или их совместное воздействие. Согласно данным В.Тереховой: “диапазон значений интегрального индекса состояния, рассчитанного методом ТРИАД, был разделен на пять категорий”, как и в [327]. Были сопоставлены интегральные индексы со степенью антропогенной нагрузки на почву и характеристикой экологического состояния [315] (табл. 3.2.12). Комплексная оценка экологического состояния почв показала, что почвы характеризуются как сильно нарушенные и относятся к четвертой категории качества. Наибольшей нагрузке подвергается участок хвостохранилища № 1, где экологическое состояние почв характеризуется как необратимо нарушенное и относится к пятой категории качества.

Таблица 3.2.12 - Соответствие интегрального показателя экологического состояния, определенного на основе ТРИАД подхода, категориям качества почв, степени нагрузки и характеристике экологического состояния.

Значение ИС	Категория качества почв	Степень нагрузки	Состояние почвы
-------------	-------------------------	------------------	-----------------

$CI = 0$	I	Допустимая	Фоновое
$0 \leq CI \leq 0.30$	II	Низкая	Слабо нарушенное
$0.30 < CI \leq 0.50$	III	Средняя	Нарушенное
$0.50 < CI \leq 0.79$	IV	Высокая	Сильно нарушенное
$0.79 < CI \leq 1$	V	Очень высокая	Необратимо нарушенное

По результатам оценки экологического качества почв по данным химико-токсикологического и биоиндикационного анализа следует: наиболее чувствительным показателем при определении токсичности почвы, загрязненной тяжелыми металлами, является экотоксикологический индекс, оцениваемый методом фитотестирования на пластинках. Во всех хвостохранилищах экотоксикологический индекс колеблется от 0,77 до 0,99 (рисунок 3.2.4). В хвосте №1 химический индекс равен 0,46, а экотоксикологический - 0,99 - самое высокое значение может свидетельствовать о несовершенстве химического метода определения загрязнения. При химическом интегральном индексе 0,50 в хвостохранилищах №. 2 и № 4, экологические индексы (0,5 и 0,58) свидетельствуют о снижении видового и количественного разнообразия почвенной биоты от длительного загрязнения почвы тяжелыми металлами. Экологические индексы на всех участках варьируют в пределах 0,5-0,84, что свидетельствует о попытках восстановления экосистемы.

**Заключение:** Данное исследование было направлено на оценку экологического риска экосистемы почв территории рудника Ак-Тюз в Кыргызской Республике для окружающей почвы с использованием подхода ТРИАД. Были изучены несколько химических свойств почвы, биопробы с использованием фитотеста и микробное биоразнообразие. Междисциплинарный подход, основанный на данных химии, экологии и токсикологии, позволяет дать объективную картину экологических проблем в районе рудника Ак-Тюз. Интегральный индекс нарушенности почв рассчитывался по данным экологических наблюдений за почвенными

микробными сообществами (биоиндикация), данным экотоксикологического индекса методом фитотестирования (биопроба) и химического индекса, отражающего результаты количественного химического анализа содержания загрязняющих веществ. Экологический индекс, рассчитываемый по биоиндикационным параметрам сообществ почвенной микробиоты, стал авторитетным показателем состояния почв уязвимых горных экосистем. Исследования почвенных микроорганизмов показали снижение видового разнообразия в загрязненных почвах. Наиболее устойчивыми видами грибов оказались *Aspergillus* и *Penicillium*. Среди актиномицетов рода *Streptomyces* устойчивыми оказались секции *Albus* и *Cinereus*. Оценка антропогенного воздействия на горные экосистемы Кыргызской Республики с использованием триадного подхода показала, что наиболее чувствительным показателем токсичности в почвах рудника Ак-Тюз является экотоксикологический показатель EtoxRI, определяемый методом фитотестирования. Интегральный показатель, рассчитанный на основе метода ТРИАД, позволил получить полную картину влияния загрязняющих веществ на экосистему почв Ак-Тюза, характеризуя ее сильное ухудшение. Высокая чувствительность почвенных экосистем к загрязнению тяжелыми металлами, радиоактивным торием и высокая степень загрязняющей нагрузки отрицательно сказываются на экологическом состоянии почв Ак-Тюзского месторождения, которое характеризуется как сильно нарушенное и относится к четвертой категории качества. Учитывая уязвимость высокогорных экосистем, необходим постоянный мониторинг состояния экосистем и проведение комплекса восстановительных мероприятий с учетом особенностей почв и растительности.

### ***Фитотестирование и фиторекультивация нефтезагрязненных почв с помощью фитотолерантных растений***

В работе приведены данные фитотестирования растений в нефтезагрязненной почве города Балыкчы, которые были опубликованы [338], [339], [340]:

“Нефть и нефтепродукты являются одними из основных загрязнителей окружающей среды и представляют большую опасность для нормального функционирования почвенных экосистем. Загрязнение почв нефтепродуктами приводит к изменению их физико-химических свойств, а также к торможению интенсивности биологических процессов [341].

В середине 1990-х годов, из-за изношенности трубопроводов на территории нефтебазы в городе Балыкчы, по различным экспертным оценкам на грунт вылилось более 600 тонн нефтепродуктов [301]. По истечении тридцати лет почвенная экосистема все еще не восстановлена и до сих пор на загрязненном участке отсутствует какая-либо растительность. Известно, что нефть оказывает негативное действие на фотосинтезирующую деятельность растительного покрова, затрудняя поступление к растениям питательных веществ и влаги, в результате чего растения либо погибают, либо функционируют не в полной мере [342].

Многие ученые установили, что период восстановления растительности на почвах, при их сильной степени загрязнения нефтепродуктами, может составлять до 10-20 и более лет [343], [344].

Для очистки почв предлагаются методы применения растений путем подбора наиболее толерантных видов [345], [346], так как высев растительности обеспечивает не только удаление загрязнителей, но также способствует созданию благоприятной экологической обстановки на месте загрязнения”.

Согласно вышеуказанным: “Цель работы состояла в оценке влияния нефтяного загрязнения почв на рост и развитие растений - для изучения возможностей применения высших растений в качестве одного из звеньев технологической цепочки рекультивации почв”.

В качестве тест-объектов были использованы: кукуруза сахарная (*Zéa máys*), овес посевной (*Avéna satíva*), горох посевной (*Lathyrus oleraceus*), эспарцет посевной (*Onobrychis viciifolia*), подсолнечник масличный (*Heliánthus ánnuus*), костер полевой (*Brómus hordeáceus*), мятлик полевой (*Poa praténse* L.).

Содержание нефтепродуктов в исследованной почве составило 7067,5 мг/кг, в фоновом образце почвы 60 мг/кг.

Первые проростки растений появились на 4-7-е сутки (рисунок 3.2.5). Высокая всхожесть произрастания наблюдалась у кукурузы сахарной (*Zéa máys*) (88,3%) и овса посевного (*Avéna satíva*) (85 %). Остальные виды растений по всхожести расположились в следующем порядке: горох посевной (*Lathyrus oleraceus*) (67,86%)> эспарцет посевной (*Onobrychis viciifolia*)> (55%)> подсолнечник масличный (*Heliánthus ánnuus*) (45%)> костер полевой (*Brómus arvensis*)> (38,3)> мятлик полевой (*Poa praténse* L.) (21,7%) (рисунок 3.2.6).

Стимулирующий эффект нефтяного загрязнения на всхожесть, по сравнению с фоновыми показателями, проявился у эспарцета посевного (*Onobrychis viciifolia*), мятлика полевого (*Poa praténse* L.), кукурузы сахарной (*Zéa máys*) и подсолнечника масличного (*Heliánthus ánnuus*).

В результате исследований опубликованных в статье [338]: “...установлено, что наиболее чувствительным к нефтяному загрязнению является корневая система овса посевного (*Avéna satíva*), так в загрязненной почве длина корня составила  $1,94 \pm 0,93$  см, в то время как в фоновой почве ее длина составила  $7,17 \pm 2,98$  см. Наибольший стимулирующий эффект на рост надземной части отмечен у кукурузы сахарной (*Zéa máys*) ( $12,4 \pm 3,61$  см). Небольшое стимулирование на рост надземной части установлено у эспарцета посевного (*Onobrychis viciifolia*) и подсолнечника масличного (*Heliánthus ánnuus*) (табл. 3.2.13). Стимулирование прорастания семян вызвано скорее всего входящими в состав нефти минеральными элементами. Рост стимулирующих свойств нефти на прорастание семян было также отмечено и другими авторами [347]. У костра полевого (*Brómus arvensis*), мятлика полевого (*Poa praténse* L.) и кукурузы сахарной (*Zéa máys*) установлено небольшое угнетение в росте корня”.

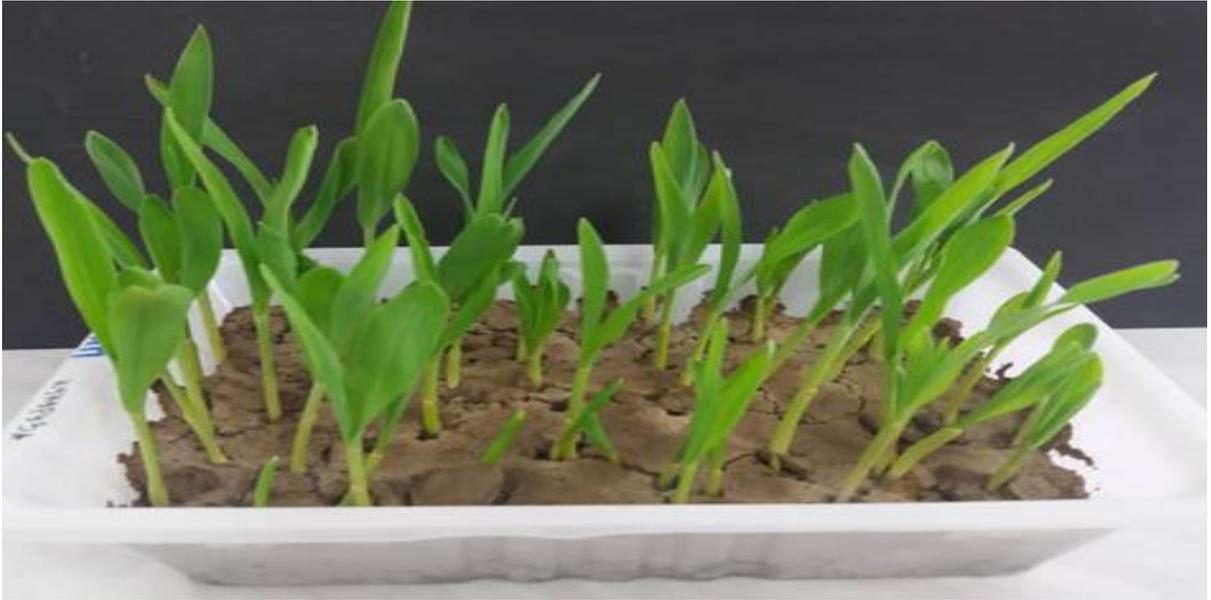
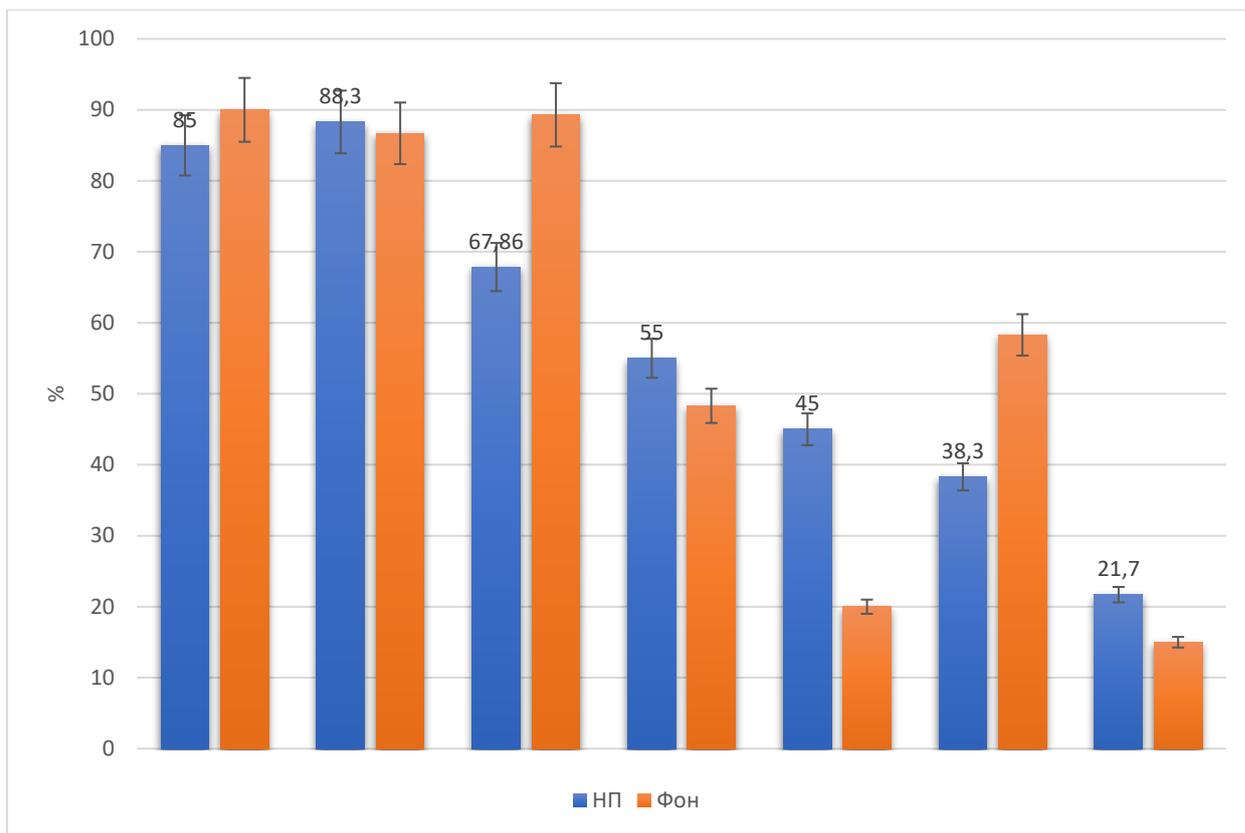


Рисунок 3.2.5 Всхожесть кукурузы сахарной (*Zea mays*) на 7-е и 14-е сутки



Примечание: НП - нефтезагрязненная почва.

Рисунок 3.2.6 Всхожесть тест – культур на 21 сутки, %

Таблица 3.2.13 - Параметры тест-культур

Тест- культуры	Длина корня, см		Длина стебля, см	
	НП	Фон	НП	Фон
Эспарцет посевной ( <i>Onobrychis viciifolia</i> )	1,79±0,93	0,69±0,58	4,43±2,52	3,64±1,6
Горох посевной ( <i>Lathyrus oleraceus</i> )	3,05±1,58	2,46±1,4	8,29±1,98	8,55±2,63
Овёс посевной ( <i>Avena sativa</i> )	1,94±0,93	7,17±2,98	10,05±3,78	11,48±3,79
Кукуруза сахарная ( <i>Zea mays</i> )	6,42±2,25	7,72±3,97	12,4±3,61	5,92±2,48
Подсолнечник масличный ( <i>Helianthus annuus</i> )	3,18±1,89	2,21±1,33	5,69±1,45	4,78±1,97
Мятлик полевой ( <i>Poa pratense</i> L.)	0,56±0,27	1,96±0,55	3,23±1,42	3,01±0,85
Костер полевой ( <i>Bromus arvensis</i> )	0,53±0,32	3,41±1,68	4,06±1,28	5,83±1,75

Как было приведено в статье [340]: “В исследуемой почве у мятлика полевого (*Poa pratense* L.) и костра полевого (*Brómus arvensis*) отмечен наименьший рост корня в сравнении с фоновыми показателями, что обуславливает их корневую систему чувствительной к нефтяному загрязнению (рис.3.2.10). Как видно из рис. 3.2.7 однодольные и двудольные растения не различаются превышением длины корня к длине побега проростков. Однако, наиболее адекватную оценку фитотоксичности почв дали однодольные растения – овес посевной (*Avéna satíva*), мятлик полевой (*Poa pratense* L.), костер полевой (*Brómus arvensis*) и кукуруза сахарная (*Zéa máys*)”.

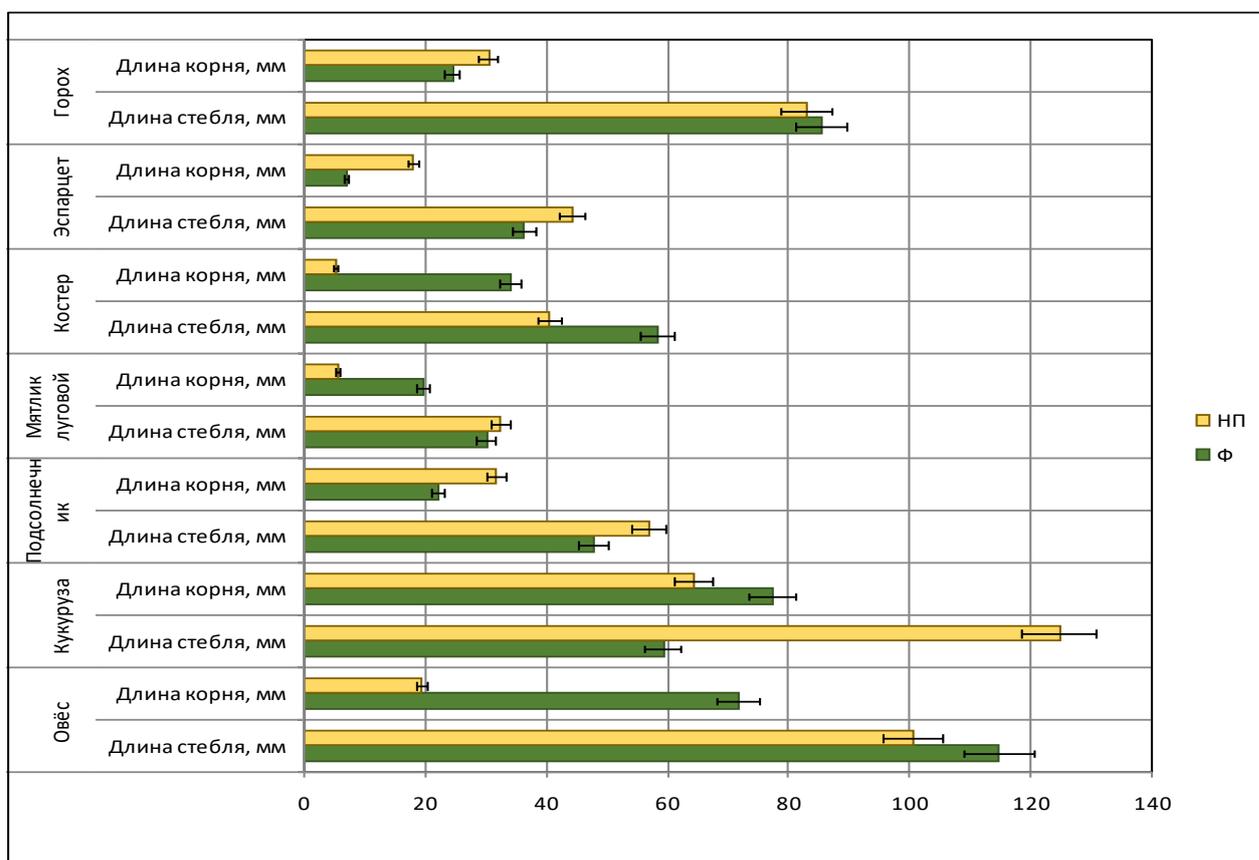


Рисунок 3.2.7 Средние отношения длины корня к длине побега тест-культур

**Заключение:** “Проведенные исследования показали, что тест-культуры растений по-разному реагируют на нефтяное загрязнение. У кукурузы сахарной (*Zéa máys*) был отмечен стимулирующий эффект на надземную часть, в то время как у овса посевного (*Avéna satíva*) наблюдалось ингибирование корневой системы. Наиболее толерантными к загрязнению

нефтепродуктами оказались кукуруза сахарная (*Zea máys*), овес посевной (*Avéna satíva*), горох посевной (*Lathyrus oleraceus*) и эспарцет посевной (*Onobrychis viciifolia*), с показателями всхожести 88,3%, 85%, 67,86% и 55% соответственно. Эти результаты свидетельствуют о том, что указанные виды могут быть эффективно использованы для фиторекультивации супесчаной почвы при умеренном уровне загрязнения нефтепродуктами” [340].

***Изучение возможности использования фитоиндикации рекреационной нагрузки на прибрежные экосистемы оз.Иссык-Куль***, результаты полученных данных были опубликованы [348].

Наиболее хрупкими и уязвимыми являются прибрежные экосистемы, с высоким рекреационным показателем. Актуальной задачей является организация экологического мониторинга в таких уязвимых зонах, для своевременного реагирования и принятия необходимых мер защиты. Одним из наиболее оперативными и информативными показателями качества прибрежной экосистемы могут служить растения, непосредственно произрастающие на побережье. Объектом исследований служили заросли облепихи крушиновидной (*Hippophae rhamnoides* L.), являющиеся типичными представителями прибрежного фитоценоза оз.Иссык-Куль.

Согласно данным опубликованным [348]: “Наземные экосистемы за последние 50 лет подвергаются интенсивному преобразованию [349], зачастую приводящему к негативным последствиям. Среди них особое место занимают прибрежные экосистемы, которые интенсивно преобразовываются в пляжные зоны, в дома отдыха. Актуальной задачей остается определение порога преобразования прибрежных зон и выявление эффективных индикаторов для оценки экологического состояния экосистем, для того, чтобы своевременно принять необходимые природоохранные решения. Исследования проведены на прибрежных экосистемах озера Иссык-Куль. Красота и рекреационные особенности этого высокогорного озера, повлекли

за собой увеличение потока туристов [350], что соответственно повлекло за собой увеличение антропогенного прессинга на него. Много работ посвящено изучению гидрохимических и иных свойств воды озера, но мало работ посвящено выявлению биоиндикаторов для оценки состояния экосистемы озера. Достоверным биоиндикатором может служить облепиха крушиновидная (*Hippophae rhamnoides* L.). Она является пластичным видом, адаптированным к условиям засушливых экосистем, может произрастать на песчаных почвах и при этом обильно плодоносить”.

Однако несмотря на свою пластичность и неприхотливость она также испытывает на себе негативное внешнее воздействие и может служить информативным индикатором изменения природной среды.

Ранее были проведены исследования по изучению влияния антропогенных нагрузок на рост и развитие облепихи крушиновидной [251], [252], [351], данное же исследование посвящено: “анализу возможности использования облепихи крушиновидной в качестве биоиндикатора прибрежных экосистем, с повышенной рекреационной нагрузкой и применения его в оценке прибрежных экосистем, в условиях умеренной пустыни. Исследования показали, что облепиха крушиновидная (*Hippophae rhamnoides* L.) успешно может быть использована в качестве фитоиндикатора рекреационной нагрузки на экосистемы озер. Информативными оказались такие показатели как изменения листовой пластины и соотношение женских и мужских особей в сообществе. Несмотря на визуальное обилие кустарников в наиболее нагруженных зонах побережья озера Иссык-Куль, при детальном исследовании и сравнении в кустарниками произрастающими в заповедной зоне показали существенное их различие по морфологическим признакам (рисунок 3.2.8)”.



Рисунок 3.2.8 Кусты облепихи крушиновидной, произрастающей в заповедной зоне (справа) и в пляжной зоне (слева): источник Н. Тотубаева [351].

По данным опубликованным в статье [252]: “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 маленький показатель имелся 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 (табл.3.2.14). Следующим показателем, вызывающим интерес является масса плода. Во всех исследованных образцах масса плода варьировала в пределах 0,6-0,2 гр, и характеризуются как мелкоплодные. Несмотря на то, что средний диаметр плода в пункте Чолпон -Ата был больше, чем в остальных пунктах, оказалось, что это не влияет на массу плода, среднее значение которых составила 0,2 гр., кроме этого визуальные наблюдения

зрелых плодов показали, что часто они предрасположены к потере сочности и нередко портятся будучи еще на кустах [14] (рисунок 3.2.9)”.

По данным, опубликованным в статье [348]: “В условиях повышенного антропогенного давления на экосистемы заросли облепихи подвергаются механическим повреждениям, что приводит к их угнетению, в особенности женских особей облепихи [352]. Как видно из рис. 3.2.10, 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 46%, 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 Приисыккуля

№ п / п	Места сбора	Средние величины параметров							
		Длина плодоножки		Длина плода		Диаметр плода		Масса плода	
		Ср. значен ия M±m, мм	Сv, %	Средние значени я M±m, мм	Сv, %	Ср. значен ия M±m, мм	Сv, %	Ср. значен ия M±m, гр	Сv, %
1	Оттук	3,8±0,2	2,1	7,3±0,6	0,7	5,1±0,4	1,0	0,2±0,1	10, 0
2	Тамчы	3,0±0,3	2,6	7,6±0,5	0,6	5,4±0,5	0,9	0,6±0,4	3,3
3	Чон- Сары-Ой	2,8±0,2	0,5	7,2±0,7	0,7	5,9±0,4	0,8	0,4±0,3	5,0
4	Чолпон- Ата	3,2±0,3	1,9	7,8±0,7	0,6	6,7±0,6	0,7	0,2±0,3	10, 0
5	Бостери	2,5±0,3	3,2	7,8±0,6	0,6	5,9±0,5	0,8	0,2±0,2	10, 0
Средневзв-е величины		3,1		7,5		5,8		0,4	



Рисунок 3.2.9 Поврежденные плоды облепихи крушиновидной: источник Н.Тотубаева [348].

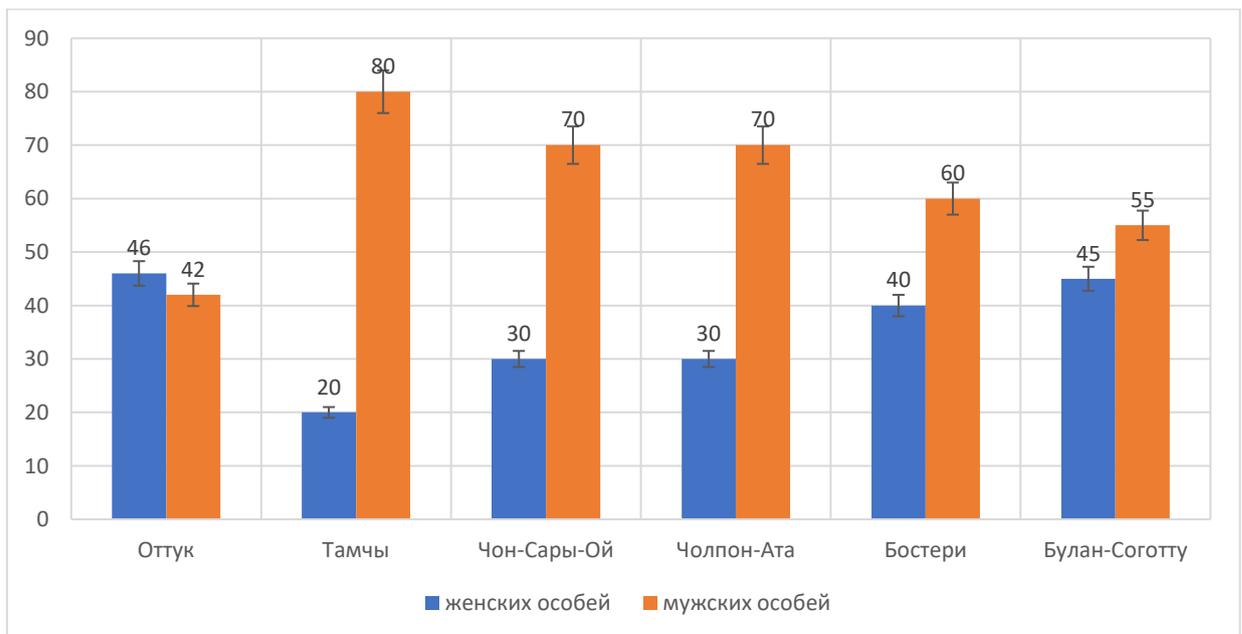


Рисунок 3.2.10 Процентное содержание мужских и женских особей в исследуемых пунктах: источник Н.Тотубаева [348].

Таким образом, по данным опубликованным в статье [348]: “процентное содержание мужских и женских особей в прибрежной зоне может служить наиболее информативным фитоиндикатором степени антропогенного воздействия на экосистему озера. Следующим наиболее информативным показателем антропогенного давления естественных экосистем оказались биометрические показатели плодов облепихи. В контрольном пункте Оттук, средние значения длины плодоножки составили 3,8 мм, а в наиболее нагружаемой пляжной зоне пункта Бостери, средняя длина плодоножки составила 2,5 мм, а в пункте Булан-Соготту, где поток туристов не обилен показатели длины плодоножки оказались наиболее близкими к контрольному варианту и составил 3,0мм (рисунок 3.2.11)”.

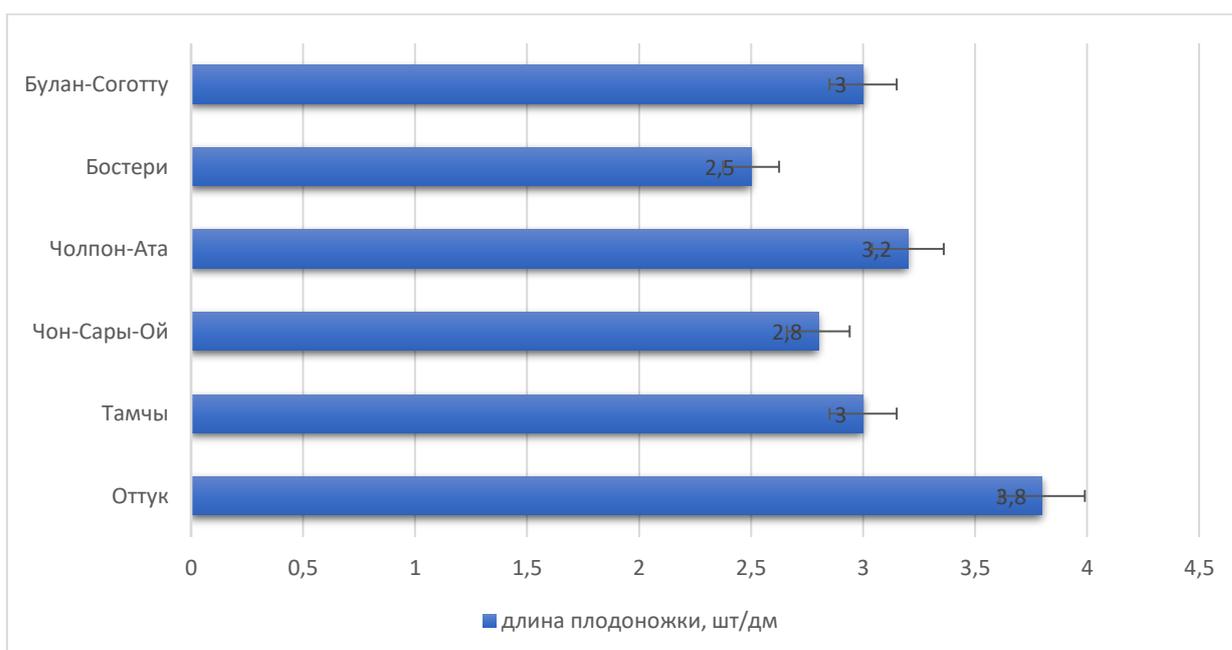


Рисунок 3.2.11 Длина плодоножки в различных пунктах исследования: источник Н.Тотубаева [348].

Также по данным опубликованным в статье [348]: “Листовые пластинки облепихи крушиновидной являются также оказались чувствительными к влиянию антропогенных факторов (рисунок 3.2.12). Средняя длина листа в заповедной зоне Оттук составила 48,0 мм, в наиболее нагружаемой зоне (Чолпон-Ата) этот показатель составил 34,5 мм, а в пункте Булан-Соготту, где

поток туристов наименее интенсивен – 44,3 мм, что меньше контрольного варианта всего на 3,7 мм”.

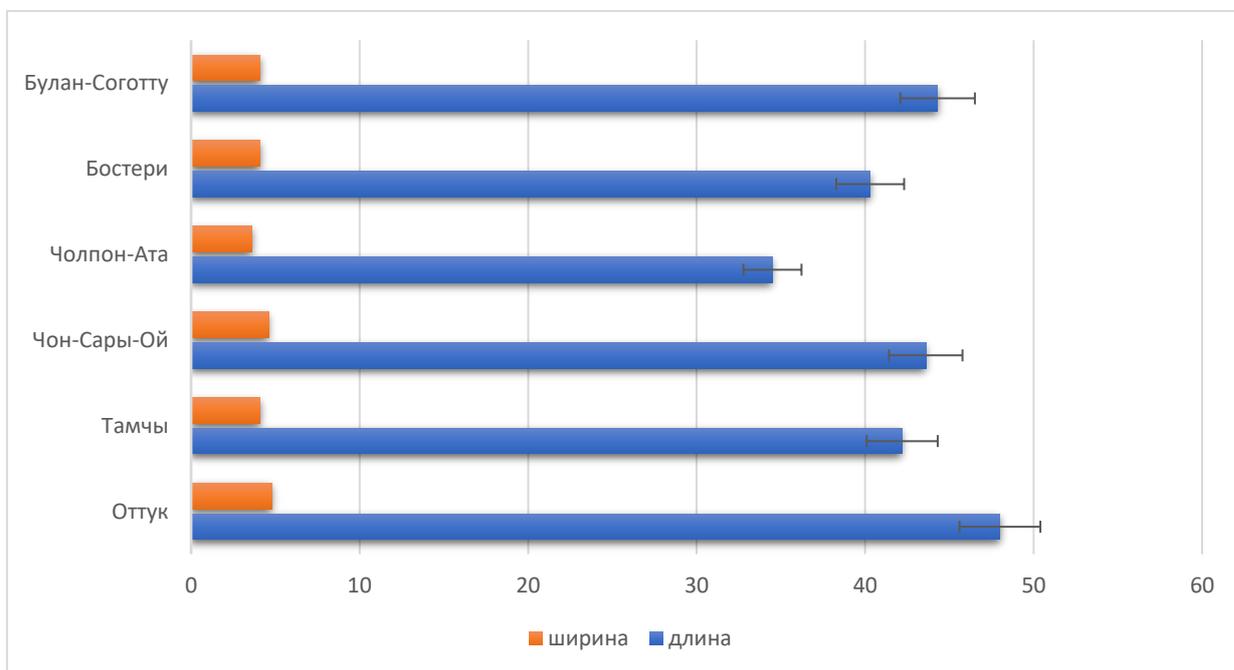


Рисунок 3.2.12 Соотношение длины и ширины листовых пластинок облепихи крушиновидной в исследуемых пунктах: источник Н.Тотубаева [348].

Таким образом, согласно нашим данным опубликованным в статье [348], можно предположить, что “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 (*Hipporhae 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. Определение указанных фитоиндикационных показателей оперативны, достоверны, сравнительно малозатратны, могут быть оценены в полевых условиях инспекторами экологических служб”.

**Заключение.** В главе 3 рассматриваются актуальные экологические проблемы почвенных экосистем Кыргызской Республики. Приводятся 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.

## **ГЛАВА 4. КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ ОСНОВАННЫЕ НА ИСПОЛЬЗОВАНИИ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИНДЕКСОВ И ИНДИКАТОРОВ**

### ***4.1. Экологическое состояние водных экосистем Кыргызстана и системы оценивания их экологического состояния.***

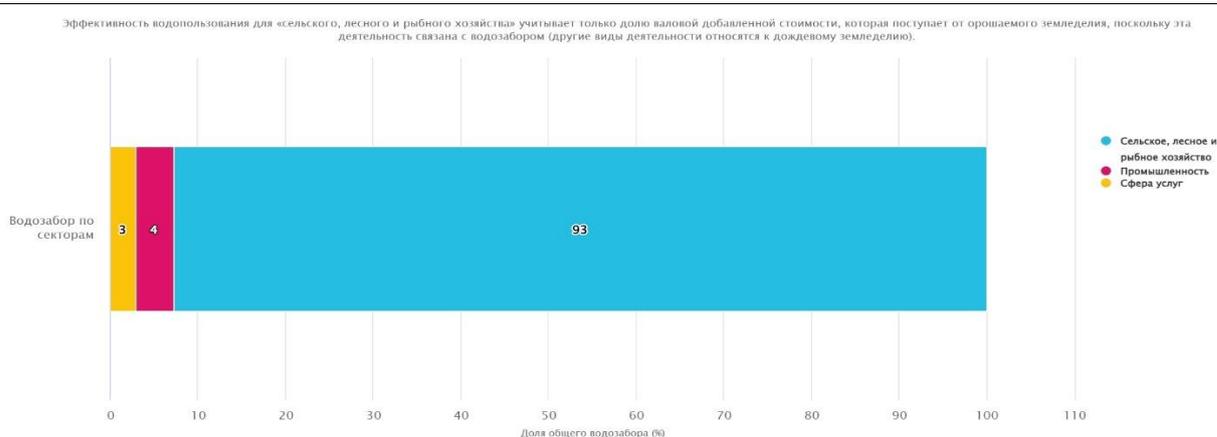
Вода как основной ключевой источник жизни, является основным потребляемым ресурсом, а значит и несущим на себе невероятную антропогенную нагрузку. Согласно новому докладу, подготовленному участниками и партнерами механизма “ООН-водные ресурсы” и опубликованному ЮНЕСКО: “...сегодня 2,2 миллиарда человек все еще живут без доступа к чистой питьевой воде, а 3,5 миллиарда не имеют доступа к безопасным санитарным условиям, отодвигая назад цель ООН по обеспечению такого доступа для всех к 2030 году, и есть основания опасаться, что это неравенство может продолжать расти” [353]. По экспертным оценкам экспертов ООН: “в условиях нынешней практики к 2030 году в мире ожидается дефицит водных ресурсов в размере 40 процентов, если сравнивать прогнозируемый спрос и имеющиеся в наличии водные ресурсы” [354].

В условиях растущей нехватки воды определение практических задач и механизмов их реализации является актуальнейшей задачей современности, в связи с невозможностью замены водного ресурса. Более того, по данным S. Trærup: “воздействия изменения климата на водные ресурсы будут оказывать каскадный эффект на здоровье человека, на экономику и общество, поскольку различные сектора – сельское хозяйство, энергетика и гидроэнергетика, судоходство, здравоохранение, туризм, равно как и окружающая среда, – напрямую зависят от водных ресурсов” [355].

По данным Национальной водной стратегии Кыргызской Республики до 2040 года: “Кыргызстан расположен в зоне формирования водного стока Центральной Азии. 40% водных ресурсов Центральной Азии формируется в

Кыргызстане. Кыргызстан имеет свыше 3500 водотоков различной протяжённости, представленными стоками рек, подземными водами и водами, аккумулированными в ледниках и озерах. В среднем по водности в год общие водные ресурсы составляют 2458 км<sup>3</sup>, из них: 47,23 км<sup>3</sup> — поверхностный речной сток (величина среднегодового речного стока в разных источниках различна: от 44,509 до 51,9 км<sup>3</sup>), 13 км<sup>3</sup> — потенциальные запасы подземельных вод, 1745 км<sup>3</sup> — озерная вода и 650 км<sup>3</sup> — ледники [356]. Наиболее крупными реками по величине площади водосбора являются реки Нарын, Карадарья, Тарим, Чу, Талас, Чаткал. В свою очередь, бассейн реки Сырдарья представлен правой своей составляющей - рекой Нарын, образующейся от слияния Большого и Малого Нарына, и левой составляющей – рекой Карадарья, которая, сливаясь с рекой Нарын за пределами Кыргызстана, образует реку Сырдарью. Наиболее крупная в Кыргызской Республике р. Нарын, которая, обеспечивая огромный сток воды, существенно влияет на хозяйственную деятельность, не только Кыргызстана, но и Узбекистана, Казахстана и Таджикистана”.

Согласно [357]: “Более 90% водных ресурсов республики используется на орошение в аграрном секторе, 4% промышленность и 3% сфера услуг (рисунок 4.1.1).



Поставщик данных: ФАО  
Из материалов Механизма ООН-Водные ресурсы <https://www.sdg6data.org> по состоянию на 21 Август 2024

Рисунок 4.1.1 Изменение эффективности водопользования по секторам, на 2020г.

Рациональное использование водных ресурсов является целью в области устойчивого развития, из 17 целей устойчивого развития (ЦУР), ЦУР 6 — обеспечение наличия и рационального использования водных ресурсов и санитарии для всех; и ЦУР 14 - Сохранение и рациональное использование океанов, морей и морских ресурсов в интересах устойчивого развития направлены на сохранение и защиту водных экосистем”.

Согласно статистики Целей устойчивого развития в Кыргызской Республике: “Кыргызстан реализует 8 приоритетных задач по ЦУР 6, и не реализует ни одной задачи по ЦУР 14 [235], хотя озера являются важной частью водных ресурсов в целях устойчивого развития Организации Объединенных Наций, в то время как эвтрофикация озер представляет серьезную угрозу для его достижения” [358].

Реализация задач устойчивого развития по сохранению водных объектов должны подкрепляться объективной экологической оценкой состояния водных ресурсов, качества природных экосистем с экологических позиций. По данным Oboldina G.: “Оценка состояния водных объектов и выработка соответствующих мероприятий является системной задачей, основанной на принципах текущей оценки воздействия на экологическое состояние водного объекта. Не отрицая системы ПДК, как важной меры сдерживания дальнейшего роста загрязнения водных объектов, следует признать, что назрела необходимость разработки новых подходов к регулированию и нормированию водохозяйственной деятельности” [359], о смене данной парадигмы обширно было описано в предыдущей главе данной работы. Для оценки качества природных вод в настоящий момент в стране используются базовые аналит-маркеры, которые характеризуют типичные негативные воздействия: рН, взвешенные вещества, ХПК, БПК, аммонийный азот, нитритный азот, нитратный азот, фосфор фосфатов. Однако необходима система оценки характеризующая критическое экологическое состояние природных водных объектов, в настоящий момент доклады о состоянии

окружающей среды только констатируют уровень загрязнения природных объектов по ПДК, однако данных о самовосстанавливающей способности, критических уровнях нагрузки, рекреационной емкости экосистем недостаточно и требует широких научно-изыскательных работ и исследований в этом направлении.

Были проведены ряд исследований по изучению некоторых показателей качества рек, озера Иссык-Куль, грунтовых вод, результаты которых приводятся ниже.

Были исследованы некоторые показатели грунтовых вод с.Ат-Башы и их взаимосвязи [360], в которой приведены результаты исследования электропроводности, водородного и некоторых других показателей грунтовых вод, используемых в качестве питьевых, села Ат-Башы. Подтверждено, что в селе Ат-Башы грунтовые воды с верхней части села к нижней - загрязняются. Построенные изолинии электропроводности показали, что течения грунтовых вод с. Ат-Башы не совпадают с направлением течения поверхностных вод. По итогам данных исследований [360]: “... были сделаны следующие выводы:

- ✓ По всем определенным показателям грунтовые воды не превышают предельных допустимых концентраций (ПДК) для питьевых вод, но так как многие важные показатели, в первую очередь по органическим веществам, не были определены, вода пока не может быть рекомендована для использования в питьевых целях.
- ✓ В целом при протекании через село грунтовые воды заметно минерализуются и загрязняются, в том числе и органическими веществами”.

По данным опубликованным в статье [361]: “Были проведены исследования содержания микроэлементов спектральным атомно-эмиссионным приближенно-количественным методом при испарении пробы из канала угольного электрода в водах крупнейшей реки Кыргызской Республики Нарын и ее крупных притоков. Исследованиями выявлено, что средние концентрации

практически всех обнаруженных 13 микроэлементов не превышают предельно-допустимых концентраций для питьевых вод. Разброс данных по отдельным пунктам, кроме некоторых элементов (серебра, галлия и ванадия), небольшой, и отношения среднеквадратичных отклонений к средним значениям не превышают 1,0—1,5. В правом притоке реки Нарын — в реке Кажырты были обнаружены более высокие содержания стронция, бария, циркония и меди, чем в среднем по всем точкам исследований. По левому притоку реки Нарын — в реке Ат-Башы обнаружены более высокие содержания стронция (на четверть), циркония — на 30%. По остальным пунктам отбора проб по реке Нарын и реке Малый Нарын резких отклонений, выше 25—30 %, от среднего содержания элементов не выявлено. Заметные изменения в концентрациях по сезонам года были отмечены у стронция, титана, марганца, никеля и меди. По всем остальным элементам явно выраженных отклонений по отдельным сезонам года не выявлено”. Также были проведены исследования, опубликованные в статье [362]: “Оценка влияния антропогенных объектов на физические показатели воды реки Нарын, по результатам выполнения проекта NATO SfP 983945 «Оценка трансграничного загрязнения воды в Центральной Азии» за 2013 и 2014 гг. Полученные при помощи прибора «CyberScan Eutech PCD 650» в полевых условиях данные, такие как рН, температура, электропроводность, сопротивление, растворенные общие соли, солонатовость, были усреднены и проанализированы. Измерения с двукратной повторностью проводились в 11 точках от высот в 3735 м н.у.м. до 513 м н.у.м. Эти точки замеров расположены на озере Петрова, реках Кумтор и Тарагай, которые являются истоками реки Нарын, а также в самой реке Нарын – от ее верховьев и до границы с Узбекистаном. В статье рассматривается воздействие антропогенных объектов на воды указанных рек. По результатам измерений значений рН, температуры, электропроводности и электросопротивления, NaCl до и после антропогенных объектов выявлено, что на изменения температуры, кроме

Токтогульского водохранилища, населенные пункты и другие объекты не оказывают существенного влияния”. По данным С. Оторовой и др., опубликованных в статье [362]: “После Токтогульского глубоководного водохранилища, из-за глубинной стратификации и вытекания воды из нижних горизонтов, она заметно охлаждается. Значения рН вниз по течению реки медленно и постепенно возрастают, за исключением отрезка между точками ниже села Казарман и перед Токтогульским водохранилищем, что, ввиду неясности причин, требует дополнительных исследований. На электропроводность вод истока реки Нарын – реки Кумтор, а, следовательно, на общей минерализации этой реки, значительное повышающее влияние оказывают воды с рудника Кумтор. На электропроводность вод реки Нарын заметное влияние предположительно оказывает впадение в реку Нарын ее более минерализованного правого притока – реки Кажырты. Населенные пункты не оказывают существенного влияния на минерализацию воды – ввиду больших расходов реки Нарын”. В продолжение этих исследований было изучено влияние города Нарын на некоторые показатели вод реки Нарын [363], в результате работы которого было выявлено: “что город Нарын оказывает заметное влияние на состав вод вблизи берега реки Нарын, выражающееся в резком повышении содержания сухих остатков и ряда микроэлементов, в среднем от трех до двух раз. Однако вследствие больших расходов реки Нарын, выше 90 м<sup>3</sup>/с, концентрация загрязнений резко снижается после достаточно полного смешивания и разбавления водой вниз по течению реки и влияние города Нарын на показатели вод реки Нарын практически нивелируются”.

Продолжая тему исследования рек страны, было изучено влияние разработки углей Кара-Кечинского месторождения на реку Кара-Кече и окружающую среду, опубликованном в статье [364], в котором “...на основании полевых и лабораторных исследований, описана экологическая ситуация на разрабатываемой 5 компаниями бурогольном месторождении Кара-Кече,

находящемся в Жумгалском районе Нарынской области Кыргызской Республики. Установлено, что эксплуатация месторождения ведется без полного учета требований нормативно-правовых документов и оказывает сильное отрицательное влияние на окружающую среду. Многочисленные и высокообъемные отвалы не изолированы от природных вод, что приводит к очень сильному их загрязнению. Реки загрязнены как ниже участков добычи угля, так и выше них - из-за развевания угольной пыли ветром. Воды рек даже в зимних условиях имеют повышенные показатели загрязнения - их коли-индексы составляют 55 – 70 единиц, а в теплые время этот показатель достигает первых тысяч. Сухой остаток, взвешенные вещества, химическое потребление кислорода, карбонатная и общая жесткость в пункте ниже основных очагов загрязнения, по сравнению с осредненными значениями пунктов выше очагов загрязнения, имеют заметно высокие значения: от 14% - для ХПК, 43% - для сухого остатка, 86% для карбонатной и 35% для общей жесткости, более чем 100% - для взвешенных веществ. Также есть все основания для предположения, что деятельность в районе месторождения интенсифицирует природные экзогенные процессы и явления и, в частности, инициирует обвалы и оползни”.

Высокому антропогенному давлению подвержены как реки, так и озера страны. 1923 озер, общей площадью 6836 км<sup>2</sup> покрывают озера. Самые крупные озера: Иссык-Куль — 6236 км<sup>2</sup>, Сон-Куль — 275 км<sup>2</sup>, Чатыр-Куль — 175 км<sup>2</sup>.

Экосистема озера Иссык-Куль, из-за своей высокой рекреационной привлекательности, подвергается существенному антропогенному преобразованию, поэтому изучение его экологического состояния было включено в программу настоящего исследования. Несмотря на рост туристической привлекательности и следовательно увеличению антропогенного давления некоторые гидрохимические показатели качества воды озера Иссык-Куль за последние 20 лет существенно не изменились и

находятся в пределах ПДК. По данным некоторых ученых [365], [366], [367], [368] существенного изменения гидрохимического состава воды озера нет, подтверждается и нашими данными [369], [370], [371], где приведены результаты экогеохимических исследований в рамках Финского Проекта «Формирование системы принятия решений, основанных на результатах экологического мониторинга и направленных на эколого-экономическое развитие территории оз. Иссык-Куль (KGZ-Вода/Иссык-Куль)». Отбор проб проводился в 2016 – 2018 гг в начале лета, перед открытием активного курортного сезона, и в начале осени в 2017 году, в конце активного курортного сезона - с использованием научно-исследовательского судна «Мөлтүр». По всей акватории озера от поверхности до дна на 16 створах, в основном расположенных в северной, наиболее антропогенно-нагруженной части, были отобраны и исследованы 195 проб воды по минимум 24 показателям. Исследованиями было установлено, что пока уровень загрязненности вод не превышает установленных норм. Насыщение воды кислородом удовлетворительное до самого дна, рН меняется от 7,8 до 8,9, с общим средним значением в 8,55 и в большинстве случаев находится в верхних пределах нормы, равной 8,5. Концентрации органических веществ по БПК<sub>5</sub> за 2016 - 2018 гг менялись от значений ниже допустимых пределов и до предельного. БПК<sub>5</sub> колебалась от 0,16 до 3,00 мгО<sub>2</sub>/л, что составляет 0,05-1,00 ПДК. По общему среднему значению этого показателя от 2016 года к 2017-2018 годам наблюдается заметное повышение – примерно на 31%. Концентрации азота аммонийного, нитритного, нитратного, фосфора минерального были намного ниже ПДК. Содержания тяжелых металлов, СПАВ, железа общего находились ниже предела чувствительности методов определения.

Также согласно данным Государственного агентства охраны окружающей среды и лесного хозяйства при Правительстве Кыргызской Республики (ГАООСЛХ) и Агентством по гидрометеорологии (Кыргызгидромет) при Министерстве чрезвычайных ситуаций Кыргызской Республики, на сайте

<https://ekois.net/glubinnyj-monitoring-kachestva-vody-ozera-issyk-kul/>

приводятся результаты очередного глубинного мониторинга качества воды озера Иссык-Куль: “...глубинный мониторинг включает в себя ряд исследований качества воды на основании проб воды, отбираемых с научно-исследовательского судна «Мөлтүр», принадлежащее Кыргызгидромет и предназначенное для исследовательских работ на больших глубинах”. Согласно данным Кыргызгидромет: “Результаты проведенных анализов показали, что химический состав озера и качество воды за исследованный период по сравнению с набором многолетних данных по результатам исследований озера существенных изменений не претерпели. Солевой состав озера, также, не изменился. Кислородный режим удовлетворительный. Прозрачность воды озера высокая до 19 метров, цветность, характерная для морской воды. Вода озера значительно минерализована. Наименее минерализована прибрежная часть Тюпского залива, особенно в весенне-летний период, так как реки наиболее полноводны и вода в заливе значительно опресняется. Мелководность Тюпского залива и береговые заросли камыша обуславливают также более низкую прозрачность и высокую цветность воды в этом районе”, те же результаты были получены по данным 2020года, на сайте <https://kabar.kg/news/kachestvo-vody-v-ozere-issyk-kul-sootvetstviet-vsem-normam-gaoosikh/> пресс-службой Госагентства охраны окружающей среды и лесного хозяйства КР сообщается, что “качество воды в озере Иссык-Куль соответствует всем нормам. По результатам химического анализа, качество воды во всех отобранных точках соответствует утвержденным всем нормам и требованиям предельно допустимой концентрации для водоемов рыбохозяйственной категории по всем определяемым ингредиентам”.

Ввиду того, что до конца 90-х годов озеро являлось ультраолиготрофным [372] мониторинг трофического статуса на озере не был организован и показатели хлорофилла –а не определялись. Только начиная с 2016 года начались единичные исследования содержания хлорофилла-а в озере. По их данным в

некоторых точках намечена тенденция сдвига озера из ультраолиготрофного статуса на мезотрофный уровень [367], [373]. Однако необходимо провести детальные исследования для получения достоверных данных с использованием различных экологических индексов, проведенные исследования полученные результаты отражены в следующем параграфе.

#### ***4.2. Анализ экологического состояния озера Иссык-Куль и рек Кыргызстана с помощью экологических индексов***

##### ***Оценка экологического состояния оз.Иссык-Куль по индексу состояния трофического уровня (TLI)***

Исследования оценки качества воды озера показали, что измеряемые физико-химические параметры не достаточны для анализа его трофического статуса, и нуждаются в поиске более комплексных подходов его оценки [369]. Одним из последствий чрезмерной антропогенной нагрузки является изменение трофического статуса озер и их ускоренная эвтрофикация [374]. Деятельность человека, например, высокая интенсивность туризма, поверхностных стоков от удобренных полей и городского загрязнения [375], [376] преобразование прибрежных буферных зон [377], приводит к повышенному поступлению биогенных элементов в озеро [376]. Беспрецедентное ускорение индустриализации, сельского хозяйства, урбанизации и роста населения в течение 20-го века привело к увеличению притока питательных веществ, повышению первичной продукции, ухудшению качества воды и сокращению биоразнообразия примерно в 40% от общего числа озер во всем мире [378]. Основными источниками этих питательных веществ являются сбросы промышленных предприятий и систем очистки сточных вод, а также сельскохозяйственные стоки [379]. Как и в Европе, проблемы эвтрофикации в Северной Америке обострились в течение 20-го века с ростом населения и интенсификацией сельского хозяйства. К 1960-м годам лимнологи поняли предупреждающие знаки, и доктор Томас Эдмондсон понял, что сточные воды

из города Сиэтл вызывали цветение цианобактерий в столичном озере Вашингтон. В ответ на его публичные предупреждения в 1960-х годах сточные воды были отведены из озера в близлежащий Пьюджет-Саунд, и цветение водорослей уменьшилось, а прозрачность воды в озере заметно повысилась [380]. К сожалению, антропогенное давление и потепление климата, как ожидается, будут увеличиваться, так что к 2050 году ожидается увеличение количества озер с вредоносным цветением водорослей более чем на 20 процентов [381]. Поэтому крайне необходимо лучше понять восприимчивость озер к эвтрофикации, чтобы защитить эти системы для устойчивого будущего. В таких озерах важно с самого начала предпринять правильные меры и планы управления по преобразованию и использованию естественных экосистем озер [382] в туристических и иных целях.

Несмотря на приведенные выше результаты об относительной неизменности гидрохимического состава воды и его чистоте, детальные рекогносцировочные обследования проведенные нами показали, что качество воды озера имеет тенденцию к загрязнению. На рис.4.2.1, 4.2.2 и 4.2.3 приведены фотографии сделанные летом 2020, летом 2022 года и летом 2024 года, тенденция явно не из лучших (источник: фото автора).



Рисунок 4.2.1 Качество воды оз.Иссык-Куль, 2020г

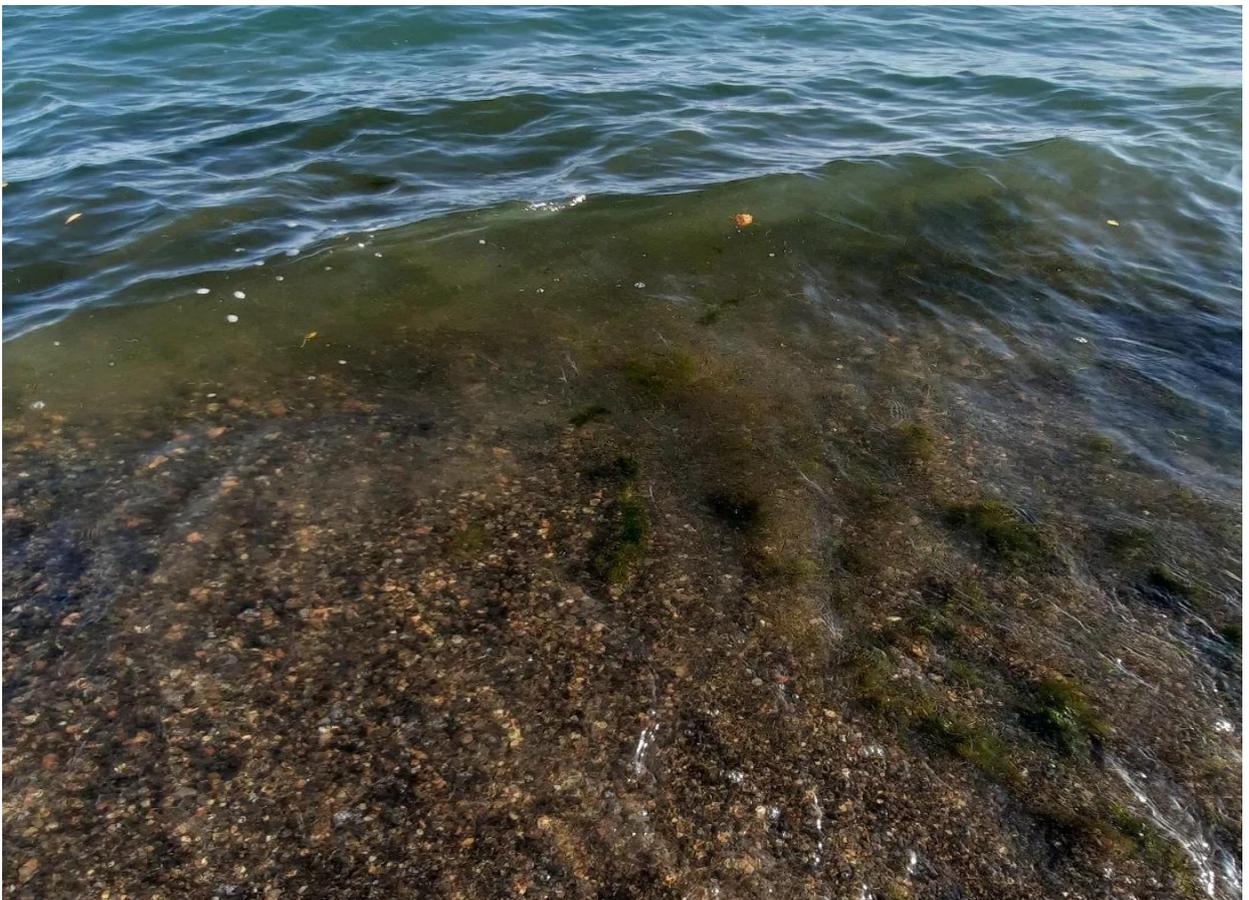
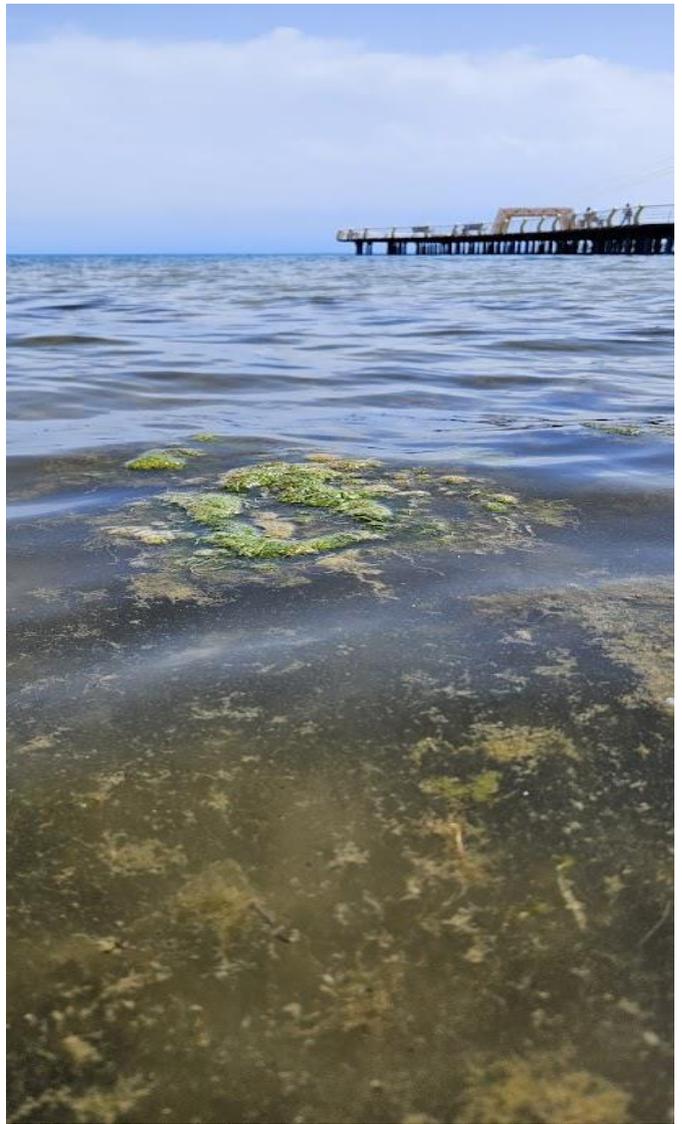


рисунок 4.2.2 Качество воды оз.Иссык-Куль, 2022г.



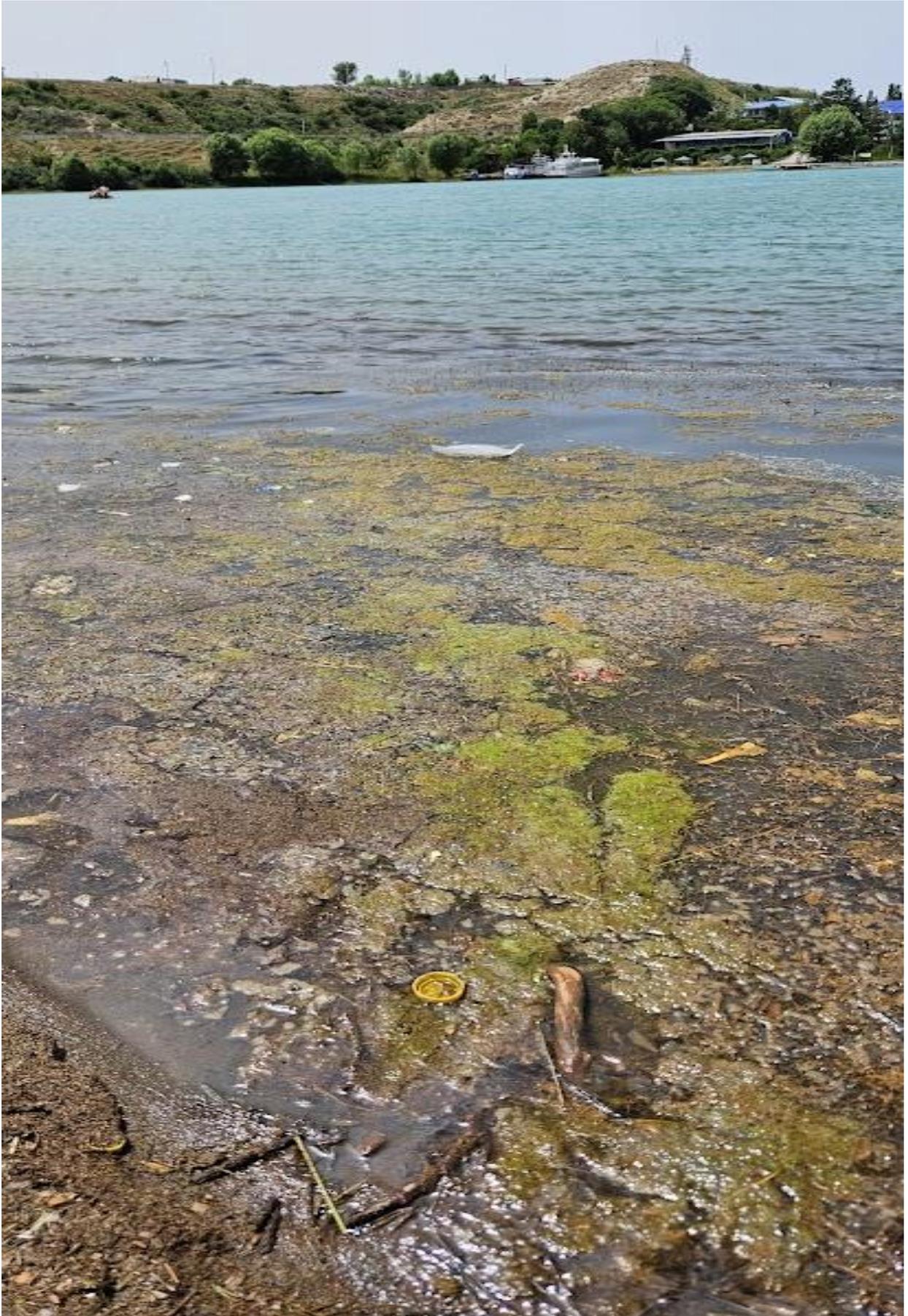


Рисунок 4.2.3 Качество воды оз.Иссык-Куль, 2024 г.

При оценке качества воды с использованием параметра “хлорофилл – а” было установлено, что трофический статус озера в 43% исследованных зонах имеет тенденцию сдвига с олиготрофности в сторону мезотрофности, что указывает о необходимости применения индекса TLI для получения более расширенной информации о состоянии водных экосистем [383]. Детальный анализ показателей, данных табл.4.2.1 и 4.2.2 показывает, высокий показатель индекса TLI (TN) в заливе Балыкчы и в районе с.Чок-Тал, что свидетельствует об изменении ультраолиготрофного статуса и перехода его в мезотрофный статус, причиной которой является повышенное поступление азотных соединений в озеро. Источниками которых могут быть как рекреационные нагрузки, так и сельскохозяйственная деятельность.

Таблица 4.2.1 - Показатели состояния оз.Иссык-Куль по индексу TLI, 2017 год

Points	Range	TN	TP	SD	TLI	
Tyup region, 15,5 km from the starting point	0,5 m	45,00767	32,22392	27	34,74387	Olig
Tyup region, 15,5 km from the starting point	10 m	45,28248	45,84963	27	39,37737	Olig
kadji-Say region, 0,1 km from the starting point	0,5 m от	42,26592	20	23	28,42197	Olig
Kadji-Say region, 1 km from the starting point	0,5 m	42,26592	4,150375	23	23,13877	Olig
Balykchy, № 30a	0,5 m	53,54917	27,36966	30	36,97294	Olig
Balykchy, № 30a	10 m	52,92181	27,36966	30	36,76382	Olig
Chok-Tal vil, № 11a	0,5m	45,00767	24,15037	25	31,38602	Olig
Cholpon-ata,	0,5m	36,07683	20	15	23,69228	Olig
Cholpon-ata,	10m	40,48255	27,36966	15	27,6174	Olig
Cholpon-ata,	25m	38,44722	30	15	27,81574	Olig
Grigorevka vil , № 9b	0,5m	31,22256	30	20	27,07419	Olig
Grigorevka vil , № 9a	0,5m	34,44184	14,15037	20	22,86407	Olig
Bosteri village	0,5 m	49,50075	20	27	32,16692	Olig

Таблица 4.2.2 - Показатели состояния оз.Иссык-Куль по индексу TLI, 2022 год

Address	Rang e	TN	TP	SD	Chl-a	TLI(average values:TN ,TP,SD)		Chl- A	TLI(average values:TN,T P,SD,Chl-a)	
Kadji-Say region,	0,5 m	28	32	25	32	28	Ult- olig	32	29	Ult- olig
Balykchy, № 30a	0,5m	49	32	31	64	38	Olig	64	44	Olig
Balykchy, № 30a	10m	42	32	31		35	Olig		35	Olig
Chok-Tal vil, № 11a	0,5m	49	30	29	87	36	Olig	87	49	Meso tr
Chok-Tal village	0,5m	37	34	29	76	33	Olig	76	44	Olig
Cholpon- Ata	0,5m	49	37	26	50	38	Olig	50	41	Olig
Cholpon- Ata	10m	44	36	26	31	35	Olig	31	34	Olig
Cholpon- Ata	25m	42	32	26	31	33	Olig	31	33	Olig
Grigorevka village	0,5m	38	36	34	51	36	Olig	51	40	Olig
Bosteri village	0,5 m	37	39	36	54	37	Olig	54	41	Olig

Анализ результатов по фосфору TLI(TP) показал, что наибольший его показатель содержался в образцах проб в г.Чолпон-Ата (49). Самое низкое же его значение зафиксировано в районе пгт. Каджи-Сай. Расчет индекса TLI (Chl-a) показал высокое содержание его в пункте с.Чок-Тал.

Знание трофического статуса имеет фундаментальное значение для понимания состояния и функционирования озерных экосистем. Трофический статус озера можно рассматривать как «ключевую переменную», которая соответствует таким важным характеристикам озера, как распространенность вредоносного цветения цианобактерий, уровень глубоководного кислородного истощения, биомасса водных сосудистых растений, видовой

состав беспозвоночных и позвоночных животных, а также воспринимаемая эстетическая ценность.

С целью интерполирования пространственного распределения некоторых свойств качества воды оз.Иссык-Куль были разработаны три различные модели: Стабильная, Гауссовская и Рационально-квадратичная.

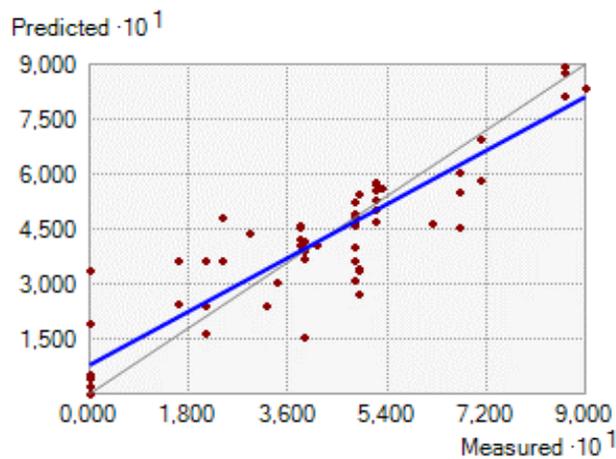
Низкие значения коэффициента надежности указывают на то, что выбранная схема отбора проб и расстояния между ними подходят для моделирования пространственной изменчивости свойств воды.

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.

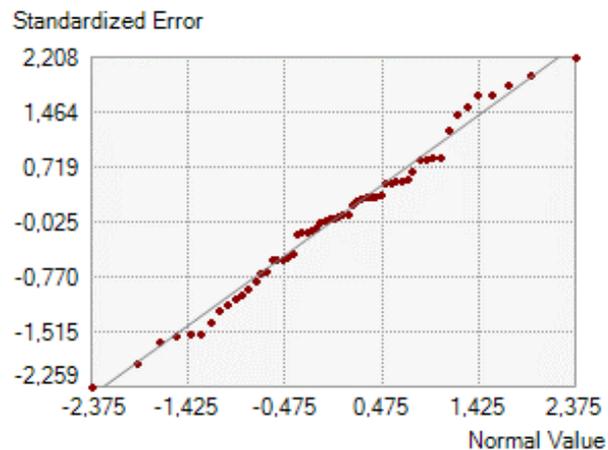
Результаты показали, что все модели являются надежными (табл. 4.2.3 и рисунок 4.2.4, 4.2.5, 4.2.6).

Таблица 4.2.3- Свойства некоторых Kriging-моделей индекса качества воды

Индекс качества воды	Модель	Регрессионная функция	Nugget, Co	Range, A	Sill, Co+C	Nugget/Sill, %	ME1	RMSE2
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

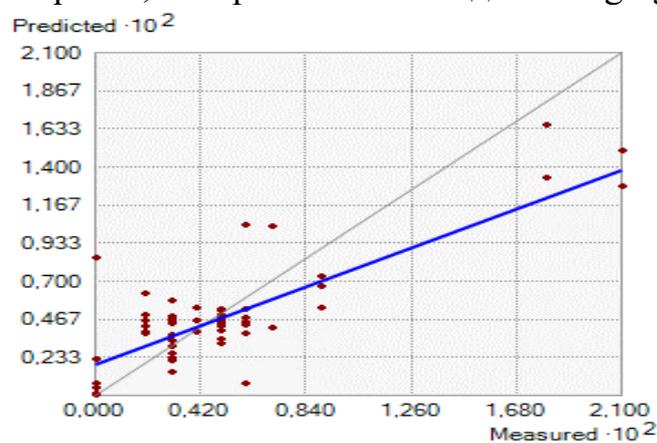


(a)

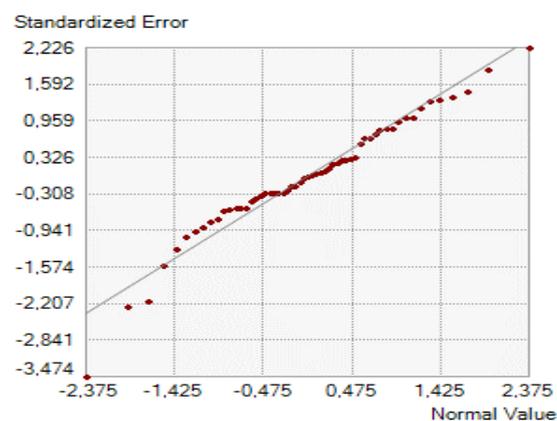


(b)

Рисунок 4.2.4 Показатели достоверности и погрешности карт концентрации нитратов, построенных по модели Kriging

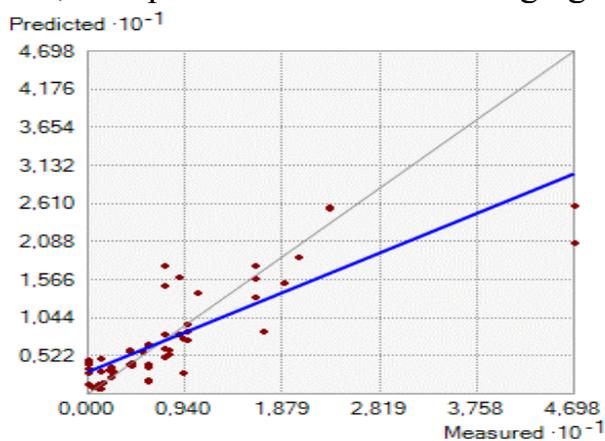


(a)

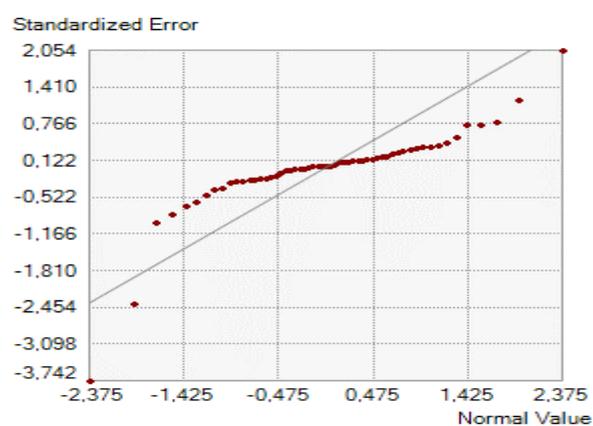


(b)

Рисунок 4.2.5. Показатели достоверности и погрешности карт концентрации  $PO_4$ , построенных по модели Kriging



(a)



(b)

Рисунок 4.2.6 Показатели достоверности и погрешности карт концентрации хлорофилла-а, построенных по модели Kriging

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 (рисунок 4.2.7).

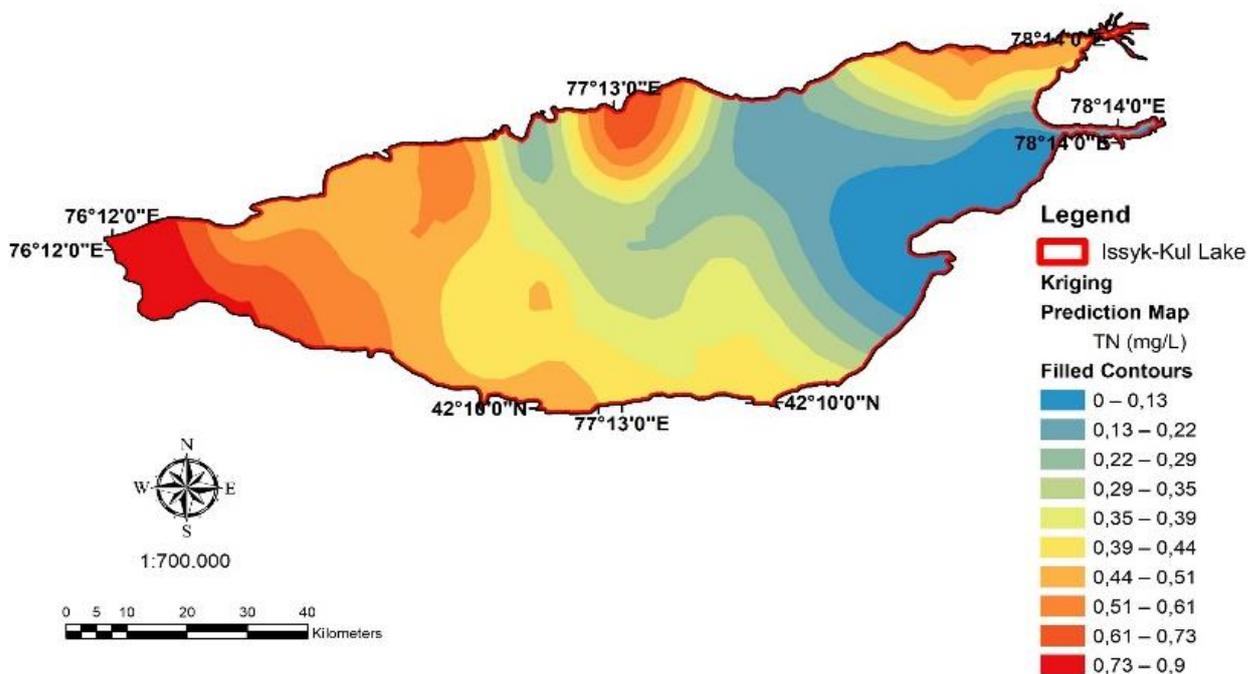


Рисунок 4.2.7 Пространственное распределение концентраций нитратов

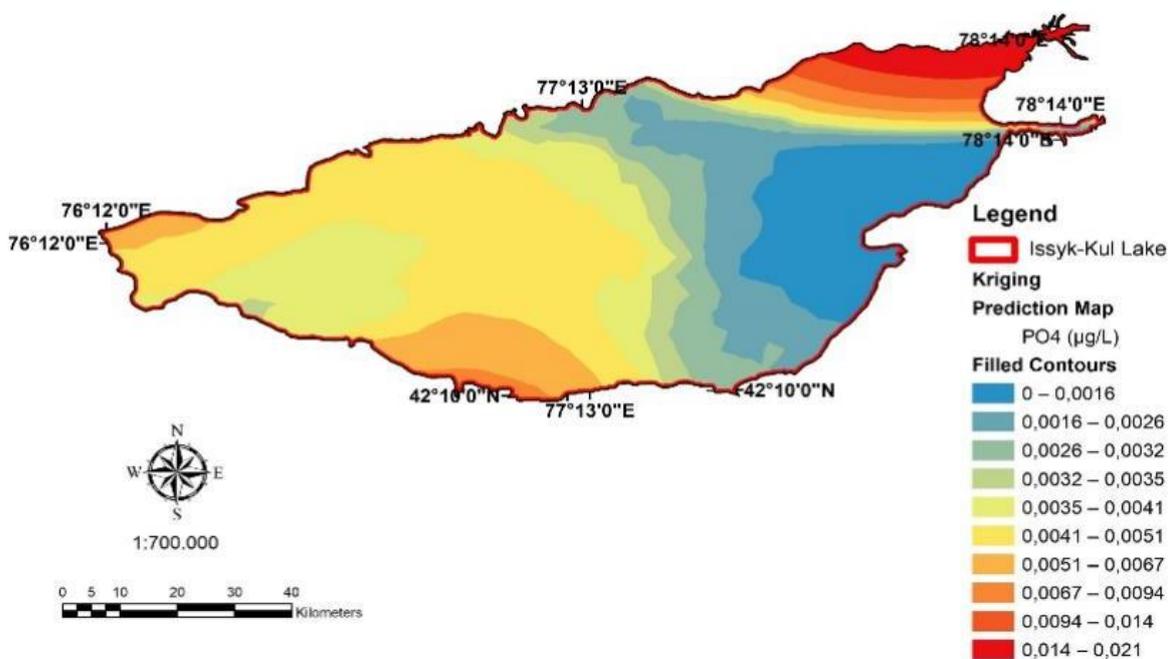


Рисунок 4.2.8 Пространственное распределение концентраций PO<sub>4</sub>

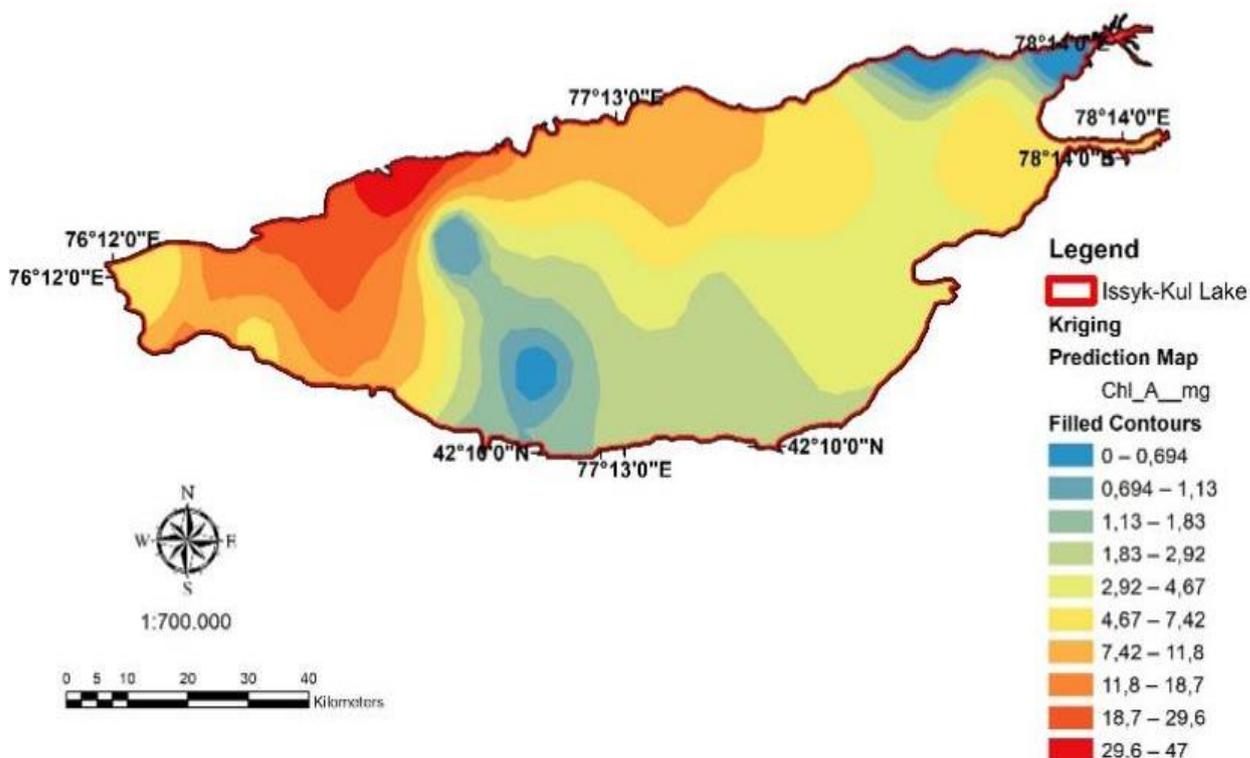


Рисунок 4.2.9 Пространственное распределение концентраций Chl-a

Концентрация фосфора в озере варьировала в пределах 0-0,0067 мг/л, фосфор был сконцентрирован в северо-восточной части озера (рисунок 4.2.8). Концентрация, хлорофилла-а в озере колебалась в пределах 0-1,87 мг/л и сосредоточена в северо-западной части озера (рисунок 4.2.9).

Таким образом, согласно проведенным исследованиям, трофический уровень озера от ультраолиготрофного постепенно, в наиболее урбанизированных местах, переходит в мезотрофное состояние (табл. 4.2.4) [381]. Если в 2017 году все исследованные точки имели статус ультраолиготрофных, за исключением одной точки (Балыкчи) - статус которой был олиготрофным, то в 2022 году статус ультраолиготрофных пунктов не был зафиксирован, две точки перешли в мезотрофный статус (рисунок 4.2.10).

Таблица 4.2.4 - Индекс трофического уровня (по Карлсону)

<i>Address</i>	<i>Range</i>	<i>TLI-2017 (average values: TN, TP, SD, Chl-a)</i>		<i>TLI-2022 (average values: TN, TP, SD, Chl-a)</i>	
Kadji-Say region	0.5 m	26.31	Ult-olg	36.42	Olig
Balykchy	0.5 m	32.72	Olg	45.31	Mesotr
Chok-Tal vil, № 11a	0.5m	27.63	Ult-olg	48.69	Mesotr
Choktal village,	0.5m	29.09	Ult-olg	43.86	Olig
Cholpon-ata,	0.5m	22.68	Ult-olg	40.67	Olig
Grigorevka vil	0.5m	24.55	Ult-olg	41.21	Olig
Bosteri village	0.5 m	28.62	Ult-olg	41.43	Olig



Рисунок 4.2.10 Динамика показателя индекса TLI, за 2017г, 2022г.

**Заключение.** Таким образом, результаты, полученные за период с 2017 по 2022 годы, показывают, что трофический статус озера Иссык-Куль имеет тенденцию к сдвигу в сторону мезотрофного состояния в летний период. Это свидетельствует о том, что использование индекса трофического уровня (TLI) позволяет более точно оценить экологическое состояние озера. Лицам, принимающим решения, важно опираться на данные комплексных показателей, а не ограничиваться аналитическим анализом отдельных параметров. Следующим шагом для сохранения экосистемы озера является необходимость поддержания баланса саморегулирования и регулирования

степени антропогенного воздействия, принимая во внимание возможности самовосстановления экосистемы. Для достижения этой цели важно определить рекомендуемую ширину прибрежной буферной зоны оз. Иссык-Куль.

#### ***4.3 Экологическое состояние прибрежных буферных экосистем озера Иссык-Куль и их роль в устойчивом развитии***

Рекреационная привлекательность озера влечет за собой нагрузку на прибрежные экосистемы озера, которое увеличивается с каждым годом [384]. Из года в год снижаются площади, покрытые древесно-кустарниковыми зарослями, в том числе облепиховыми зарослями, имеющих важное экологическое значение для поддержания баланса экосистемы озера [385]. Интенсивное преобразование прибрежных экосистем в пляжные зоны коснулось и полупустынных зон экосистемы озера [386].

Прибрежные буферные зоны могут использоваться в качестве инструмента управления окружающей средой для уменьшения воздействия землепользования на водные ресурсы [387]. Буферной зоной, обычно считается полоса земли, отделяющая возвышенность или холмы от гор, озер или водно-болотных угодий. Землепользование в этом районе должно ограничиваться, чтобы избежать неблагоприятного воздействия на качество воды, биоту и среду обитания в пределах водосбора [388]. Сочетание густых, выносливых и местных теплолюбивых трав и древесных растений значительно повышает эффективность рассредоточенного удаления загрязняющих веществ [389]. Прибрежные буферы рассматриваются как эффективное и устойчивое средство защиты водных экосистем от стока питательных веществ, таких как N и P, и, таким образом, действуют как буфер удержания поступления питательных веществ в воду [390]. Они истощают питательные вещества за счет адсорбции почвы, иммобилизации микроорганизмов, поглощения растениями [391]. Песчаные побережья

лишенные растительности не могут в полной мере выполнять свои экологические функции и создают угрозу эвтрофирования водоема и нуждаются в поиске и разработке устойчивого плана управления и использования прибрежными экосистемами [392]. Необходим анализ состояния прибрежных буферных зон озера, оценка их экологического состояния и поиск мер эффективного их управления. Проведенные исследования, с использованием программной платформы Google Earth Pro и ArcGIS 10.5.1 показали, что с 2000 года идет тенденция снижения площади прибрежных буферных земель (табл.4.3.1., рисунок 4.3.1а и 1в) [393].

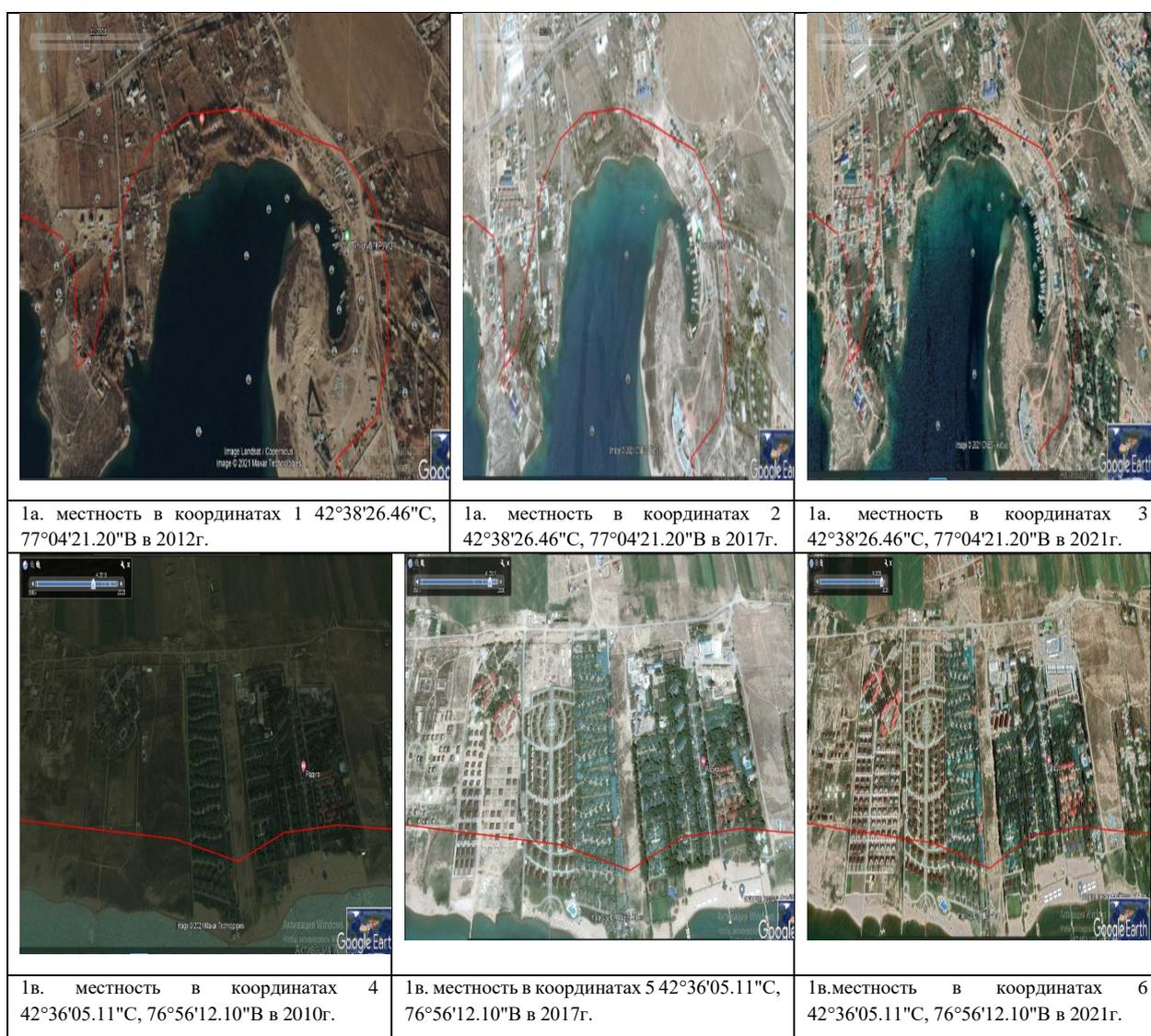


Рисунок 4.3.1 Преобразованные участки прибрежных буферных зон

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 табл.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%. Однако согласно *статьи 9. "Использование ресурсов природного потенциала ЭЭС «Иссык-Куль»* Закона Кыргызской Республики от 13 августа 2004 года № 115 "Об устойчивом развитии эколого-экономической системы «Иссык-Куль»": "уполномоченные государственные органы, местные государственные администрации и органы местного самоуправления, осуществляющие управление соответствующими ресурсами, при разработке планов использования природных ресурсов земли и пресной воды ЭЭС "Иссык-Куль" обязаны исходить из следующих нормативов:

- ✓ не более 1/3 ресурса на повседневное потребление (предельно допустимые нормы);
- ✓ не более следующей 1/3 ресурса - в чрезвычайных ситуациях;
- ✓ последняя 1/3 ресурса - неприкосновенный запас для предотвращения обвального разрушения экосистемы" [394], то превышение преобразования

прибрежных земель на расстоянии 500 метров уже на 2022 год составляет более 6%.

Кроме застроек ПБЗ преобразовываются в агроландшафты (рисунок 4.3.2), что также создает условия для попадания биогенных элементов в воду. Такими темпами к 2065 году ПБЗ могут быть преобразованы полностью (рисунок 4.3.3).

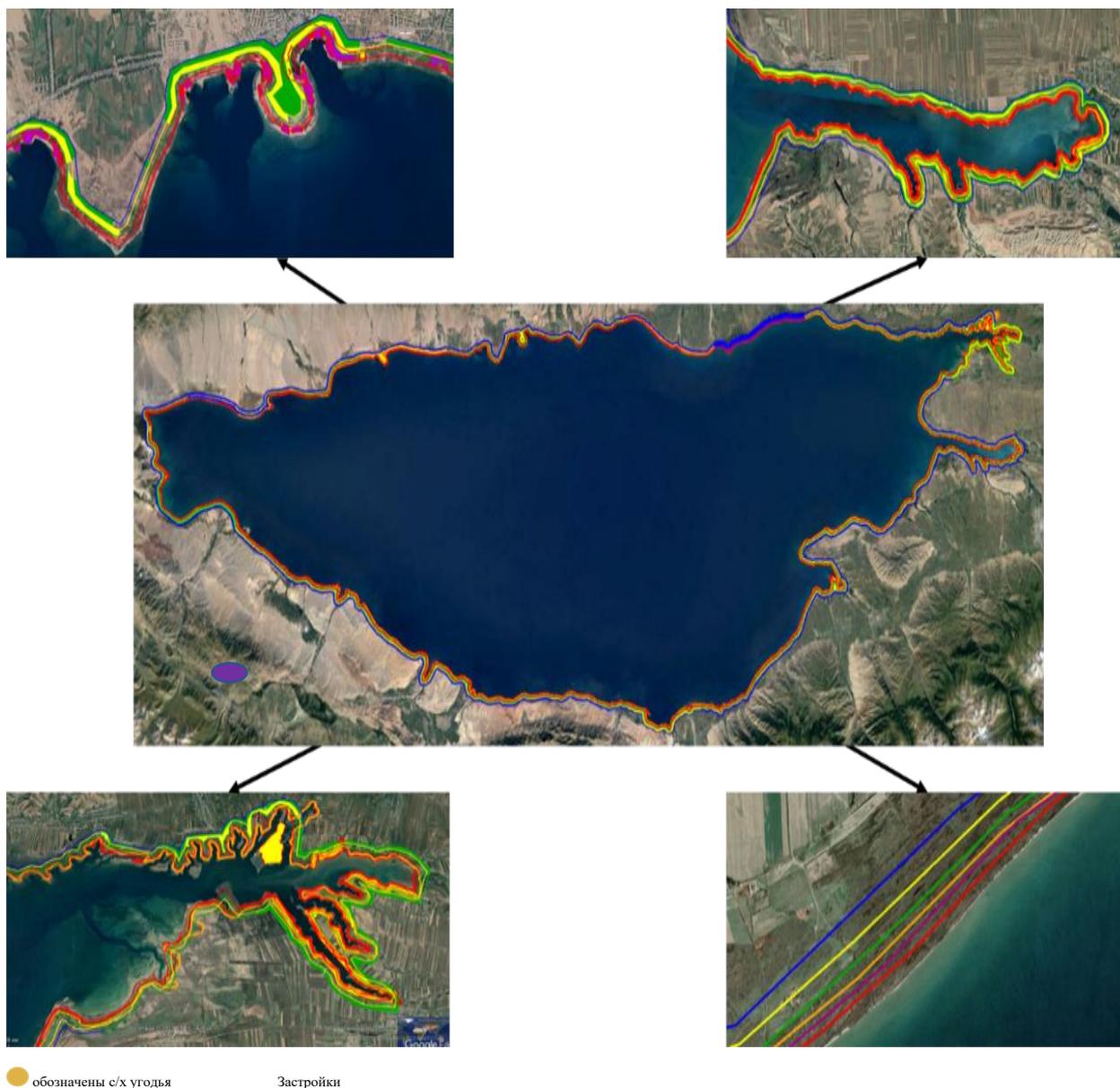


Рисунок 4.3.2 Карта-схема преобразования ПБЗ оз.Иссык-Куль

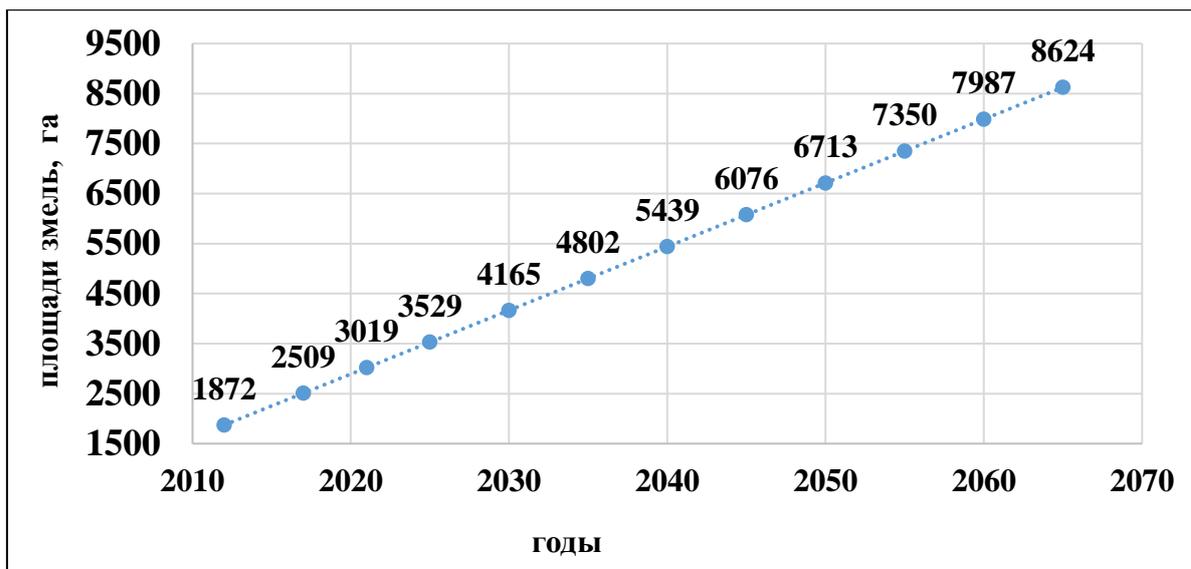


Рисунок 4.3.3 Прогноз преобразования ПБЗ при нынешней тенденции преобразования ПБЗ

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, в 2017 году - 2 189,65, в 2021 году - 2 135,18. 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. Лишь незначительная расчистка была произведена для рекреационного использования, полученные обобщенные результаты приведены на рис. 4.3.4, в котором показана площадь преобразованных земель по районам. Согласно рисунку 4.3.4, наибольшая трансформация земель отмечена в Иссык-Кульском районе, как в районе наиболее развитого курортного туризма, кроме того, имеют место случаи преобразования их под сельскохозяйственные земли. Однако, согласно статьи 19. “Использование природных ресурсов для целей рекреации”, Закона Кыргызской Республики от 13 августа 2004 года № 115 “Об устойчивом развитии эколого-экономической системы «Иссык-Куль»”, “факторами, определяющими функционирование объектов рекреации, являются: акватория озера Иссык-Куль, бальнеологические, грязевые, спелеологические,

природно-ландшафтные и другие ресурсы. Нормативы земли, отведенной под объекты рекреации, составляют:

- ✓ для курортов - 0,01 га на 1 человека;
- ✓ для санаториев - 0,02 га на 1 человека;
- ✓ для прочих объектов - 0,005 га на 1 человека” [394], соблюдение

указанных норм позволит сохранить уникальную экосистему озера Иссык-Куль для будущих поколений.

Несмотря на то, что согласно рисунка 4.3.4 преобразование земель в Тонском районе не имеет значительных показателей не означает, что там не идет интенсивная нагрузка на экосистему озера. Так называемые “юрточные“ городки, широко практикуемые в данном районе несут такую же угрозу, как и застроенные территории.

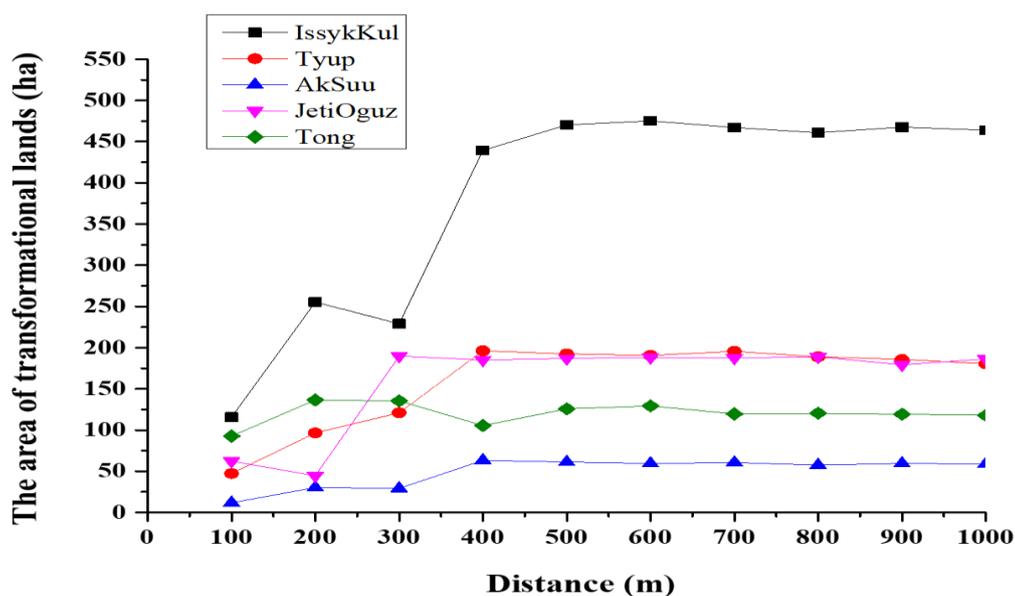


Рисунок 4.3.4 Интенсивность преобразования прибрежных буферных земель, по районам

Необходимо оснастить их хорошо оснащенными и качественными очистными сооружениями (рисунок 4.3.5). Также анализ показывает, что происходит интенсивное освоение и преобразование прибрежных экосистем полупустынных зон в курортные районы тоже. Вырубаются плантации

облепихи, которая выполняет большую экологическую функцию, сохраняя чистоту воды озера. Необходимо учитывать, что прибрежные экосистемы озера имеют международный статус водно-болотных угодий, в качестве места зимовки перелетных птиц и Кыргызстан имеет определенные обязанности по выполнению Рамсарской Конвенции [395]. Так, за последние 20 лет только облепиховые заросли уменьшились в 1.4 раз (рисунок 4.3.6). Анализ показал [396], что 60% вырубленных лесонасаждений приходится на полупустынную зону Тонского и Балыкчинского лесхозов (рисунок 4.3.7), о последствиях которых было сказано исследовано многими учеными [397], [398], [399]. Для решения создавшейся проблемы преобразования прибрежных буферных экосистем, особенно полупустынных зон в урбо и агроландшафты необходимо предложить альтернативные возможности получения прибыли местному населению проживающему вблизи прибрежных зон. На самом деле такая возможность имеется - это естественные прибрежные комплексы - песчаные пляжи, болота, образующиеся в зоне оттока воды и дикие кустарники на берегах озера. Именно здесь, в экосистемах облепишников и болот, обитает разнообразная флора и фауна, образующих своеобразную красоту и привлекающих своим очарованием. Облепиха — самый распространенный, но не единственный активный элемент фильтра. На болотах встречаются осот, барбарис, вишнёво-барбарисовый, смородиновый и другие виды. Необходимо используя природные возможности популяризировать экотуризм, с сохранением естественных ландшафтов. Также необходимо развивать перерабатывающую отрасль с использованием местных плодов прибрежной растительности. Здесь уместно привести пример положительных практик таких подходов, например юрточный городок “Бугу” в с. Тамга (рисунок 4.3.8) и негативных практик (рисунок 4.3.9).



Рисунок 4.3.5 Интенсивное преобразование прибрежных буферных зон

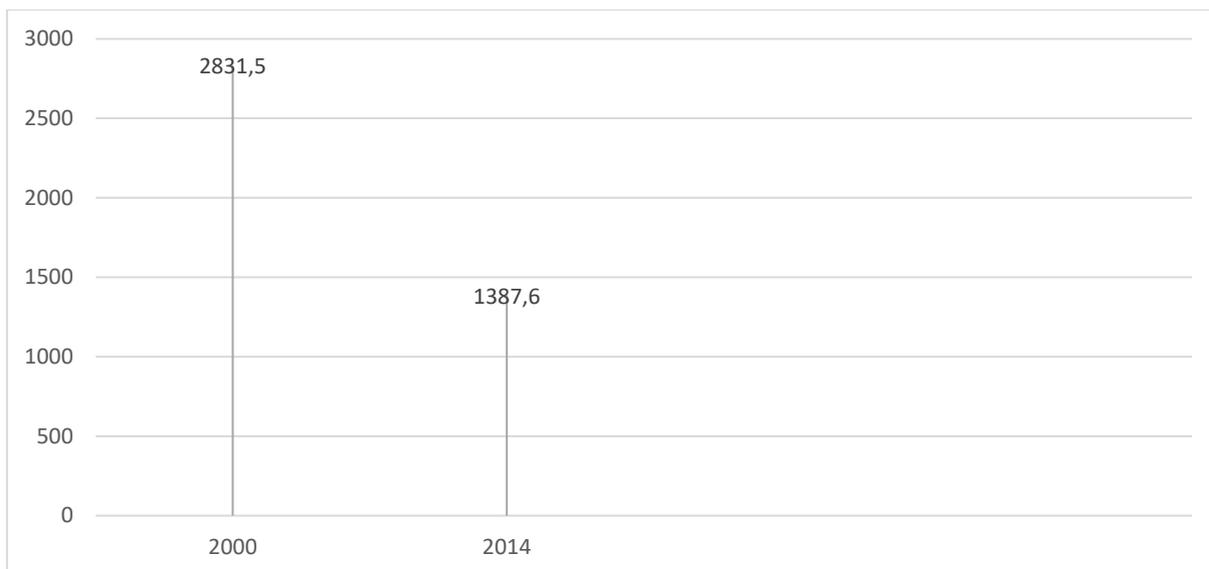
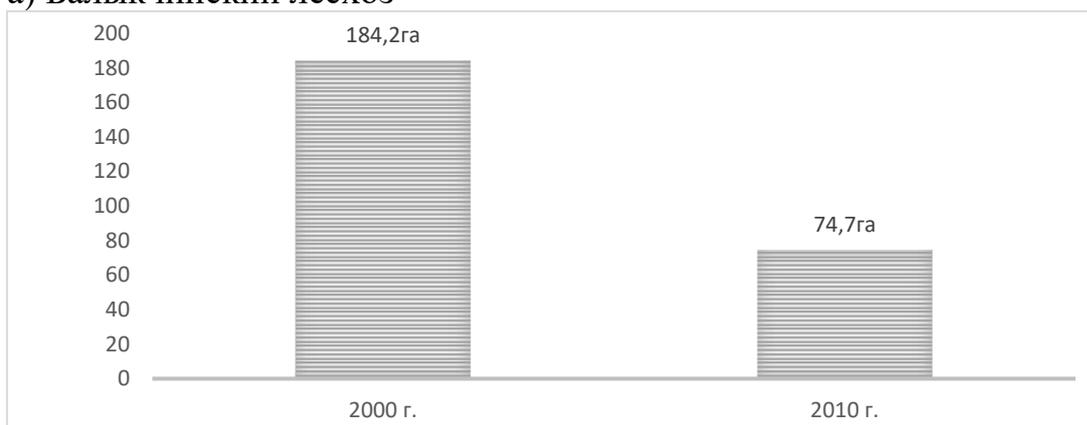


Рисунок 4.3.6 Динамика изменения облепиховых зарослей на территории Гослесфонда Исык-Кульской области, за 2000-2014гг.

а) Балыкчинский лесхоз



б) Гонский лесхоз

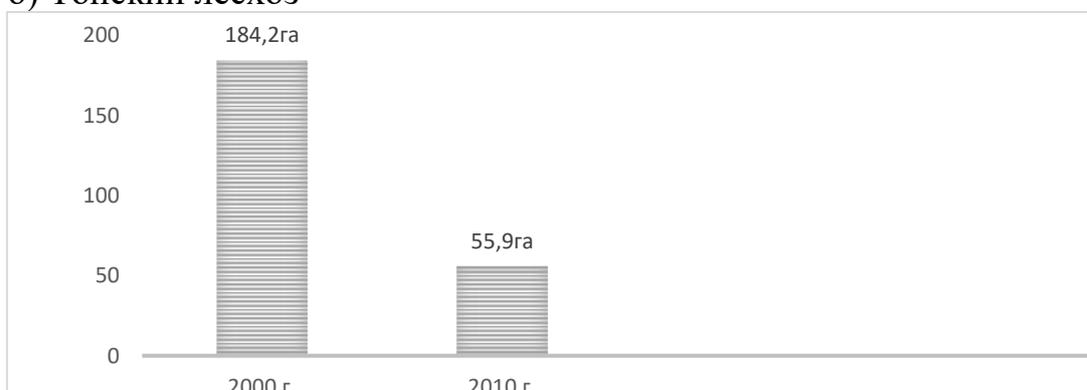


Рисунок 4.3.7 Динамика изменения облепиховых зарослей на территории Гослесфонда Исык-Кульской области, в разрезе лесхозов



Рисунок 4.3.8 Юрточный городок “Бугу”



Рисунок 4.3.9 Сплошные вырубki прибрежных кустарников для застройки

**Заключение.** В последние годы площадь естественных экосистем прибрежных буферных зон значительно сокращается, трансформируясь в агроландшафты и урбанизированные территории. Сохранение уникальных прибрежных экосистем, находящихся в непосредственной близости к населенным пунктам и подвергающихся антропогенному воздействию, требует объединения знаний и опыта. Важно вовлекать местное население в процесс охраны этих уязвимых экосистем, чтобы обеспечить их устойчивое существование и восстановление.

#### ***4.4 Экологические риски преобразования прибрежных экосистем в агроландшафты и последствия для устойчивого развития оз. Иссык-Куль***

Нерациональное преобразование прибрежных экосистем озер приводит к целому ряду экологических проблем, в том числе риску потери качества воды и эвтрофикации водоемов [400]. Такие территории часто не используются в целях рекреации, а трансформируются в сельскохозяйственные угодья, что сопровождается активным использованием химических веществ: удобрений, пестицидов, инсектицидов [401]. Использование органических и минеральных удобрений в незащищенных почвах может приводить к их просачиванию в подземные воды, а также непосредственному смыванию в водоем [402]. Целью данного исследования является изучение изменений физико-химических показателей почв прибрежных земель, трансформированных под создание садовых плантаций, а также оценка экологического риска деструктивных последствий для баланса экосистемы озер. Объектом исследования было выбрано с.Тору-Айгыр, расположенное на северо-западе озера Иссык-Куль (рисунок 4.4.1), в прошлом это были песчаные экосистемы, со скудной растительностью. На данный момент эти земли используются для выращивания черешни, абрикоса, клубники.

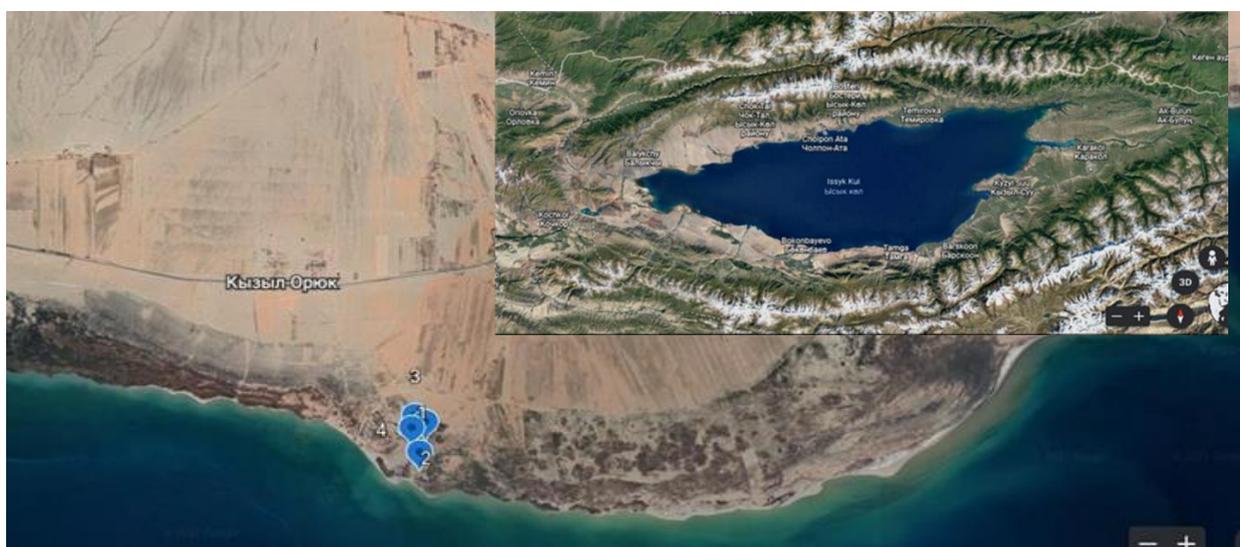


Рисунок 4.4.1 Месторасположение объекта исследования

Динамика состава подвижных форм фосфора и калия в почве зависит от различных интенсивных систем удобрения [403]. По результатам анализа, если учесть, что валовая форма фосфора в естественной почве в норме до 0,080–0,088 %, а фосфорный показатель в трансформированной почве составил 0,380 % на поле, где применялись удобрения, и 0,105 % на поле абрикосов в 4,3 и 1,1 раза выше нормы (табл.4.4.1).

Таблица 4.4.1 - Агрохимические показатели почв

№	Исследуемые пункты	Глубина отбора, см	Фосфор (валовый, %)	Фосфор (подвижн., мг/кг)	Калий (валовый, %)	Калий (обмен., мг/кг)
1	Контроль 1 Облепиховые заросли	0-15	0,080	28,0	0,70	400,0
2	Контроль 2 Нетронутые экосистемы	0-15	0,088	38,0	0,75	460,0
3	Удобрённые поля	0-15	0,380	130,0	0,75	600,0
4	Абрикосовые поле	0-15	0,105	36,0	0,75	520,0

При увеличении содержания гумуса в почве увеличивается минерализация соединений азота и углерода, а при большом количестве устойчивых фракций органического вещества она может и снижаться (табл.4.4.2). По результатам анализа проб гумуса в естественной песчаной почве было 2,08–2,60%, что связано с низким ростом растений в естественной песчаной почве. Было отмечено, что в трансформированной, то есть в почве, где были высажены искусственные насаждения, гумуса оказалось до 5,41%, что в 2 раза больше, чем в естественной почве. Следовательно, удержание гумуса увеличивается, потому что в преобразованной почве больше органического вещества.

Поглотительная способность является показателем плодородия почвы. По мере увеличения абсорбционной способности повышается плодородие почвы

[404]. По результатам анализа поглотительная способность естественной почвы составляет 11,6 мг-экв, а трансформированной почвы – 14,0 и 17,6 мг-экв. Преобразованная почва имеет в 1,5 раза большую поглотительную способность, чем естественная почва, что является признаком искусственно повышенного плодородия.

Поступление азота в почву состоит в основном из органических соединений, входящих в состав гумуса. 82–89% общего содержания азота входит в состав гуминовых веществ, а 3–11% составляют неспецифические соединения. Удержание азота повышает плодородие почвы. Общее удержание азота в песчаной почве составляет около 0,03–2,5%. По результатам анализа в естественной почве сохраняется до 0,103 % общего азота, а в трансформированной почве до 0,195 %, что может быть увеличено в результате применения минеральных и органических удобрений.

Таблица 4.4.2 - Агрохимические показатели почв в соотношении с содержанием гумуса

№	Образцы почв	Глубина отбора почв, см	pH	Гумус, %	Общ. азот, %	Поглотит. способность, мг.экв	Поглощен. натрий, мг. экв
1	Контроль 1 Облепиховые заросли	0-15	8,55	2,60	0,103	11,6	0,20
2	Контроль 2 Нетронутые экосистемы	0-15	8,70	2,08	0,060	12,0	0,12
3	Удобрённые поля	0-15	8,00	5,41	0,195	17,6	0,12
4	Абрикосовые поле	0-15	8,70	2,65	0,060	14,0	0,12

X ± SD = mean ± standard deviation (n=3)

Песчаные почвы очень бедны питательными веществами, особенно гумусом, состав меняется в 2 раза, и растения здесь растут очень плохо. Бедность гумуса

песчаных почв обусловлена не только высокой скоростью разложения и без того низкого органического вещества, но и плохой фиксацией органического вещества и гумуса в виде органо-минеральных соединений [405]. Песчаные и супесчаные грунты удобны в обработке, поэтому их называют легкими грунтами, они обладают хорошей водопроницаемостью и воздухопроницаемостью, быстро прогреваются. Однако они имеют ряд отрицательных свойств, в первую очередь, низкую влажность [406].

В естественных условиях песчаных почв содержалось большее количество крупных фракций песка: облепиховые поля содержали 73,95% крупных фракций, естественные нетронутые поля (используемые под пастбища) - 52,18%. А в преобразованных почвах близкие к естественным условия были созданы под абрикосовыми полями - 63,57% крупных фракций, а в удобренных полях их содержание составляло 44,67%. На удобренных полях увеличивалось количество средних фракций (21,53 %), а общее количество частиц физической формы (частицы размером менее 0,01 мм) составило 19,44% (табл. 4.4.3).

Таблица 4.4.3 - Механический состав почв изучаемых проб по фракциям

Образцы почв	Глубина отбора проб, см	Содержание фракций, % (размер частиц почвы в мм)						Сумма частиц <0.01
		1.0-0.25	0.25-0.05	0.05-0.01	0.01-0.005	0.005-0.001	<0.001	
Контроль 1 Облелиховые заросли	0-15	73,95	22,25	4,88	0,88	3,32	4,48	8,68
Контроль 2 Нетронутые экосистемы	0-15	52,18	12,58	23,56	0,80	4,16	7,72	12,68
Удобренные поля	0-15	44,67	21,53	14,36	1,64	7,88	9,92	19,44
Абрикосовые поле	0-15	63,57	12,47	6,28	1,44	7,36	8,88	17,68

По данным Fierer N.: “Пахотные почвы загрязнены такими элементами, как Hg, As, Pb, Cu, Sn и Bi, которые входят в состав почвенных пестицидов, биоцидов, стимуляторов роста растений и структурообразователей. Нетрадиционные удобрения, изготовленные из различных отходов, часто содержат широкий спектр загрязняющих веществ в высоких концентрациях. Среди традиционных минеральных удобрений фосфорные удобрения включают смеси Mn, Zn, Ni, Cr, Cr, Pb, Cu и Cd” [407].

Согласно Reese S.: “Накопление основной части поллютантов в основном наблюдается в гумусовом накопительном горизонте почвы, которые связаны с алюмосиликатами, несиликатными минералами и органическими веществами в результате различных реакций взаимодействия” [408]. Baldock J. утверждает, что “Состав и количество элементов, удерживаемых в почве, зависят от состава и содержания гумуса, кислотности-щелочности и окислительно-восстановительных условий, сорбционной способности и интенсивности биологического поглощения” [409]. Sadiq F. считает, что “Некоторые тяжелые металлы прочно удерживаются этими компонентами, не участвуют в миграции по профилю почвы и не представляют угрозы для живых организмов. Негативные экологические последствия загрязнения почв связаны с подвижными соединениями металлов” [410].

Согласно Rastogi R.: “Накопление подвижных соединений элементов, особо опасных для организмов, зависит от водного и воздушного режимов почвы: наименьшее их накопление в водопроницаемых почвах в промывном режиме и увеличение в почвах с плохой водопроницаемостью. При испарительной концентрации и щелочной реакции Se, As и V могут накапливаться в легкодоступных формах в почве, а при восстановительных условиях среды Hg может накапливаться в виде метилированных соединений” [411].

По результатам анализа проб было отмечено, что свинец, являющийся одним из токсичных тяжелых металлов, улавливался в природной почве в небольшом

количестве 6–8 ppm по сравнению с нормативным пределом, а в трансформированном в образцах почвы она составляла 10 ppm [412].

Удержание цинка в природной почве мало по сравнению с трансформированной почвой, а наличие органических веществ обеспечивает стабильность цинкорганических соединений. Поэтому естественная почва должна быть бедна цинком [413].

Основным источником загрязнения мышьяком земной почвы являются вещества, применяемые для борьбы с вредителями сельскохозяйственных культур, например гербициды и инсектициды. Мышьяк считается кумулятивным ядом, вызывающим хроническое отравление. ПДК для мышьяка составляет 2 мг/кг для песчаных почв. Установлено, что образцы превышают ПДК [414].

Как видно из рисунка 4.4.2, естественные заросли облепихи содержат минимальное количество исследуемых тяжелых металлов, в то время как на удобренных полях наблюдалось увеличение содержания Ва - в 2,64, Zn в 3,12, Cu в 2,4, Pb в 1,6, Ni в 2,0 раза по сравнению с нетронутыми облепиховыми полями.

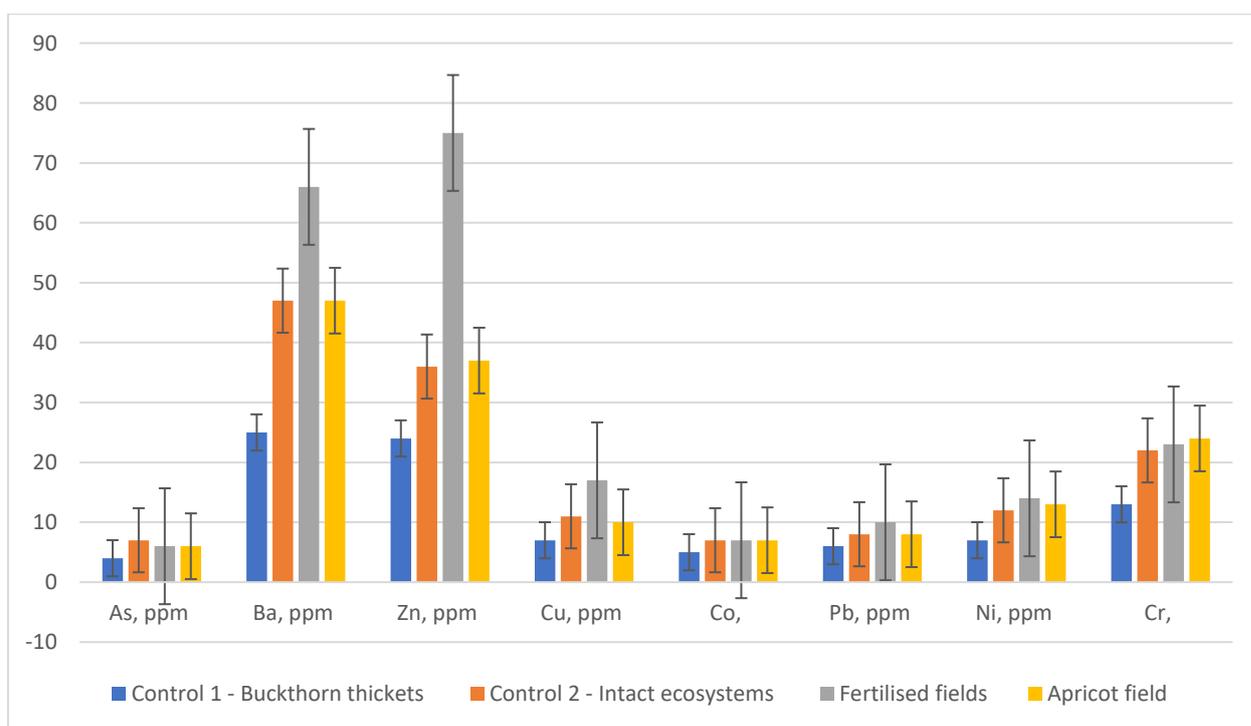


Рисунок 4.4.2 Содержание тяжелых металлов в исследуемых образцах почв

Уровень активности почвенных ферментов определяется комплексным действием природных и антропогенных факторов среды. Показатели активности ферментов эффективно использовать в качестве диагностического показателя при характеристике генетических особенностей почв, оценке эффективности агротехнологий – удобрений, обработки почвы [415]. Севооборот, мелиорация, уровень плодородия, характеристика фосфатного и азотного режима почвы, последствия эрозии, загрязнение почвы пестицидами и нефтью. С другой стороны, при длительном применении минеральных и органических удобрений почва начинает кислеть, и значения рН полей с использованием абрикосов и удобрений составляют 5,5, таким образом, в отличие от природной среды, было показано, что он относительно кислый, что является питательным веществом для микроорганизмов, ферментов и биоты из-за источника субстрата. Поэтому избыточная доза минеральных удобрений оказывает влияние на снижение активности фермента уреазы и приводит к окислению почвы (рисунок 4.4.3).

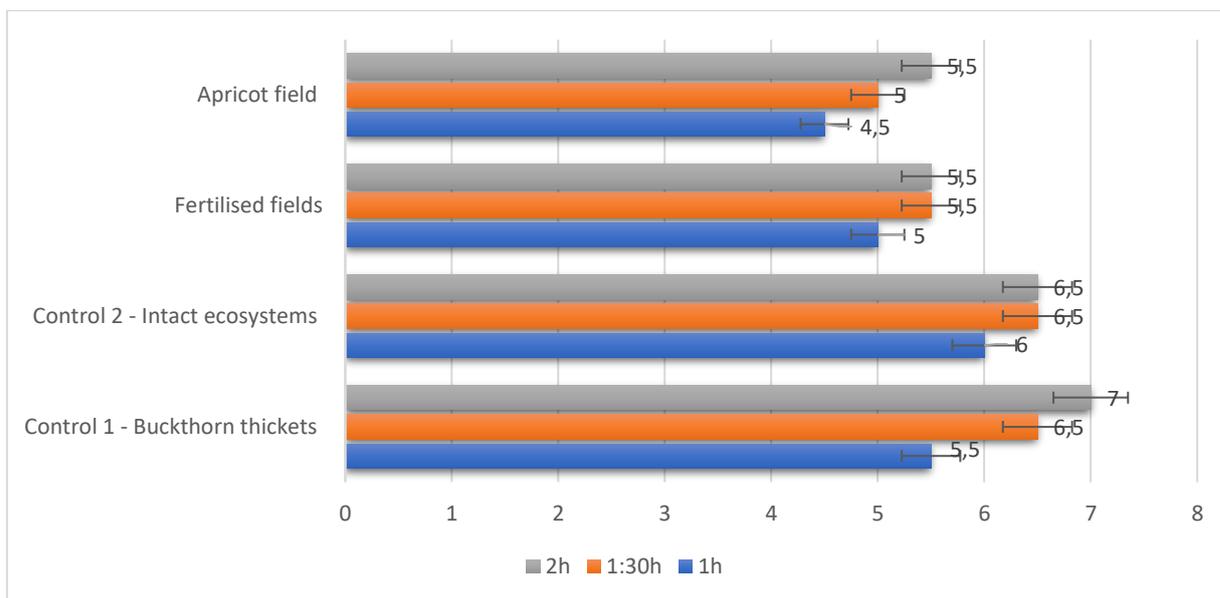


Рисунок 4.4.3. Уреазная активность изучаемых образцов почв

Результаты активности каталазы в исследуемых почвах (табл. 4.4.4) показали, что природная песчаная почва инертна и обладает низкой биологической активностью, поэтому активность фермента каталазы низкая в почве с

облепихой (129 U/ml) и высокая в образцах, выращенных в почве с абрикосами (159,01 U/ml) и удобрениями (154,25 U/ml). Это связано с преобразованием естественной структуры песчаной почвы. Для увеличения содержания гумуса в песчаной почве применяются различные методы, и почва искусственно обогащается, при этом повышается активность ферментов и активизируется фермент каталаза.

Таблица 4.4.4 - Активность фермента каталазы, U/ml

№	Пробы	Ферментативная активность каталазы
1	Контроль 1 Облепиховые заросли	129, 0±0.5
2	Контроль 2 Нетронутые экосистемы	130.4 ±0.6
3	Удобрённые поля	154.2 ±0.2
4	Абрикосовые поля	159.0 ±0.3

$X \pm SD = \text{mean} \pm \text{standard deviation (n=3)}$

Таким образом, изученные изменения физико-химических параметров почв прибрежных земель, трансформируемых для создания садовых насаждений, и оценен экологический риск разрушительных последствий для экологического баланса экосистемы озера показывают, что трансформированные почвы приобретают новые физико-химические, биологические свойства. Как показали наши исследования, трансформация прибрежных буферных земель приводит к изменению их некоторых физических, химических и биологических показателей: повышается активность каталазы, так как в естественной песчаной почве увеличивается искусственно внесенное органическое вещество. Содержание общего фосфора на удобрённых полях было в 4,3 раза выше, чем на контрольных вариантах. Учитывая, что трансформированные почвы находятся в прибрежной буферной зоне озера Иссык-Куль, подобные изменения могут существенно повлиять на качество воды в озере. Изменяются и физические параметры почвы, на удобрённых полях изменяется соотношение крупной и средней фракции почвенных частиц

и увеличивается сумма частиц размером  $<0,01$ . Изменение состояния земель также привело к увеличению содержания тяжелых металлов, в частности Ba, Zn, Cu, Pb, Ni. Напротив, естественные облелиховые насаждения препятствуют накоплению тяжелых металлов в почвах, их содержание в исследуемых образцах было ниже в разы.

Одним из надежных показателей экологического состояния почв является активность ферментов уреазы и каталазы. Это ферменты, играющие важную роль в трансформации азотсодержащих соединений, и их активность определяет важные этапы азотного цикла в почве [404]. В условиях антропогенной нагрузки активность этих ферментов может изменяться. По данным наших исследований, трансформация прибрежных буферных земель приводит и к изменению их биологических параметров: активность каталазы возрастает, так как в естественной песчаной почве увеличивается искусственно внесенное органическое вещество. Содержание общего фосфора на удобренных полях было в 4,3 раза выше, чем на контрольных вариантах. В результате такой динамики может нарушиться одна из основных функций почвы, что приведет к экологическому дисбалансу [416]. В связи с этим в процессе исследований было уделено внимание изучению активности ферментов. Учитывая, что трансформированные почвы находятся в прибрежной буферной зоне озера Иссык-Куль, изменения такого рода могут существенно повлиять на качество воды озера.

Из преобразовываемых ландшафтов только образцы с абрикосовыми полями имели более близкий к естественным облелиховым зарослям свойства почв, однако необходимо учитывать, что при выращивании плодовых культур, могут быть использованы различные гербициды, инсектициды и пестициды, причем неоднократно. Поэтому выращивание их в прибрежной буферной зоне имеющих песчанную структуру, несут экологические риски [417]. Для оптимизации состояния экосистем прибрежных территорий полупустынных зон необходимо ограничить такие виды деятельности, которые приводят к

химическому и другим опасным видам загрязнения природных водных объектов, а также контролировать деятельность сельскохозяйственных предприятий, расположенных на прилегающих территориях.

Предложенный подход к оценке состояния прибрежных экосистем, трансформируемых в сельскохозяйственные ландшафты, максимально реалистично позволяет внедрить принципы устойчивого управления в программы практической реализации, позволяет выделить ведущие факторы и параметры, разработать инновационные подходы к мониторингу и оценке экологической ситуации на локальном и региональном уровнях. Интенсивность освоения земель в прибрежной буферной зоне оказывает значительное влияние на решение о ширине прибрежной зоны. Если экологическое состояние вокруг озера хорошо сохраняется, интенсивность застройки низкая, а вредное воздействие внутрибассейновой застройки на водную среду озера невелико, то ширина буферной зоны будет небольшой. Если интенсивность застройки вокруг озера высока, а частная деятельность человека наносит серьезный ущерб экосистеме озера, то поддерживать озеро в хорошем состоянии будет сложнее, и ширина буферной зоны должна будет, следовательно, увеличиваться.

*Определение ширины прибрежной буферной зоны озера Иссык-Куль с использованием метода “соотношения выгоды и затрат”*

Прибрежная буферная зона озера определяется ее шириной. Если ширина будет слишком большой, природные ресурсы и капиталовложения будут потрачены впустую. Если же она будет слишком мала, то ширина окажется недостаточной для защиты воды озера [418], [399]. При проектировании прибрежной буферной зоны озера необходимо учитывать концепцию «минимально приемлемой ширины», которая подразумевает соответствующую ширину, при которой мы можем получить идеальные экологические преимущества и заплатить минимальные [386]. Если преобразование прибрежной буферной зоны озера будет осуществляться без

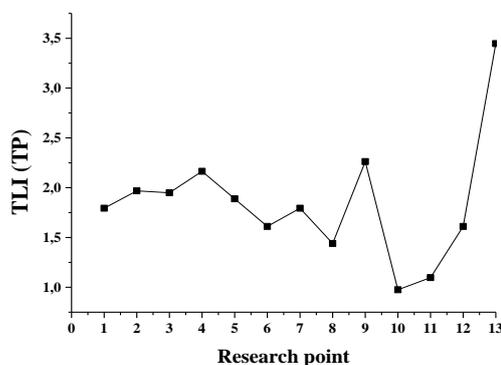
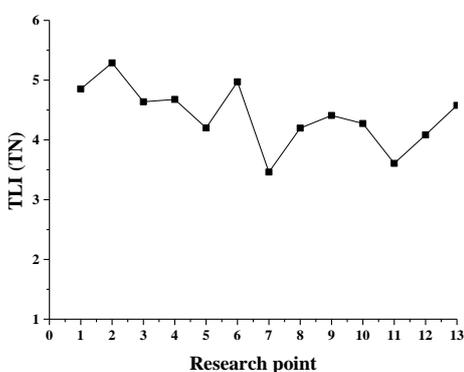
предварительных расчетов, без предварительного определения целей, это приведет к напрасной трате ресурсов или не позволит достичь ожидаемого эффекта и возможной потери рекреационной привлекательности хрупкой экосистемы озера [419]. Ширина прибрежной буферной зоны оз.Иссык-Куль регламентируется Законом Кыргызской Республики от 13 августа 2004 года № 115 “Об устойчивом развитии эколого-экономической системы «Иссык-Куль»“ [394]. Согласно которой: “Запрещается визуальное «загрязнение» природных ландшафтов рукотворными объектами, не соответствующими требованиям архитектуры. На расстоянии менее 100 метров от озера Иссык-Куль запрещается капитальное строительство. Запрещается строительство и эксплуатация объектов, кроме объектов рекреации, ближе 500 метров от озера Иссык-Куль. Норматив озеленения - не менее 50 процентов каждого объекта рекреации и не менее 70 процентов - парковых и лесопарковых объектов”. Однако имеется необходимость научно-обоснованного изучения и определения ширины прибрежной буферной зоны оз.Иссык-Куль, для этого был использован метод “соотношение цены – выгоды” [420], в котором оптимальная ширина буферной зоны рассчитывалась на основе экономико-экологических выгод и экономической стоимости инвестиций на восстановление преобразованного ландшафта. Были смоделированы влияния изменения структуры буферной зоны на качество воды озера путем разработки сценариев экологических измерений. Как видно, значительная часть трансформированных земель расположена в курортных зонах Иссык-Кульского, Жеты-Огузского и Тюпского районов на расстоянии 100-1000 м (рисунок 4.3.4). Используя (уравнение 1), была рассчитана оптимальная ширина прибрежной буферной зоны для озера Иссык-Куль с учетом трансформированных буферных зон на 2023 год и необходимых инвестиций для их восстановления до степени перевода в лесные категории. Результаты представлены на рисунке 4.5.1, где показана кривая  $\delta$  (соотношение выгоды и затрат) в буферных зонах озера Иссык-Куль шириной от 100 до 1000 м.

Координаты на графике представляют собой изменение  $\delta$  (соотношение выгоды и затрат) в буферных зонах озера Иссык-Куль на ТЛІ с 1 млн инвестиций.

$$\delta = \left| \frac{TLL_0 - TLL_i}{\Delta A \times \alpha} \right| \quad (1)$$

где  $\delta$  - соотношение выгод и затрат, рассчитанное с использованием ТЛІ при инвестициях. ТЛІ<sub>0</sub> - индекс трофического уровня озера, отражает трофическое состояние озера до проведения природоохранных мероприятий, ТЛІ<sub>i</sub> - смоделированный индекс трофики озера после проведения природоохранных мероприятий в i-й буферной зоне определенной ширины.  $\Delta A$  (га) - уменьшенная площадь обрабатываемых земель в буферной зоне.  $\alpha$  - капитальные затраты на единицу площади.

Опыт [421], определения ширины буферной зоны вокруг трех озер показывает, что наилучшие результаты для озер Дяньчи, Эрхай и Фусянь (Китай), могут быть получены после реализации двух мер по возвращению культивируемых земель в леса и луга в буферной зоне 450 м, 100 м и 150 м соответственно. В случае нашего исследования наибольший экологический эффект может быть получен при сохранении структуры прибрежной буферной зоны на уровне 500 м и при возвращении освоенных земель в категорию, охраняемых прибрежных буферных зон, с восстановлением кустарниковой растительности. Наши исследования показали, что чем больше процент перевода земель в рекреационные зоны, тем интенсивнее идет процесс ухудшения качества воды озера и роста органического вещества в воде, что свидетельствует о переходе от ультраолиготрофного состояния озера в наиболее развитых курортных зонах к мезотрофному (рисунок 4.5.1).



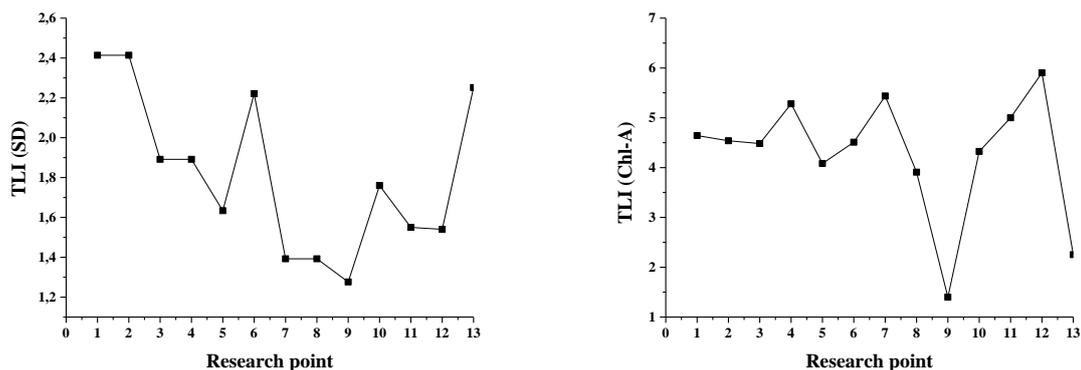


Рисунок 4.5.1 Средние значения индекса TLI для озера Иссык-Куль.

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. Как показывают наши исследования, ширина буферной зоны может варьироваться в разных пределах в зависимости от природных, климатических, социальных и экономических условий экологической системы. 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. Произведенные расчеты для определения ширины прибрежных буферных зон озера для каждого района приведены на рис.4.5.2, результаты которых показывают, что ширина прибрежных буферных зон при нынешнем уровне рекреационной нагрузки, должна составлять 600 м в Иссык-Кульском районе, 400 м в Тюпском районе, 400 м в Ак-Сууйском районе, 300 м в Джети-Огузском районе и 200 м в Тонском районе. Результаты значения величины  $\delta$ , оказалась наименьшей, что возможно связано с высокой степенью трансформации имеющее место на побережье озера Иссык-Куль, в данный момент, что позволил 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 требуется большая ширина прибрежной буферной зоны.

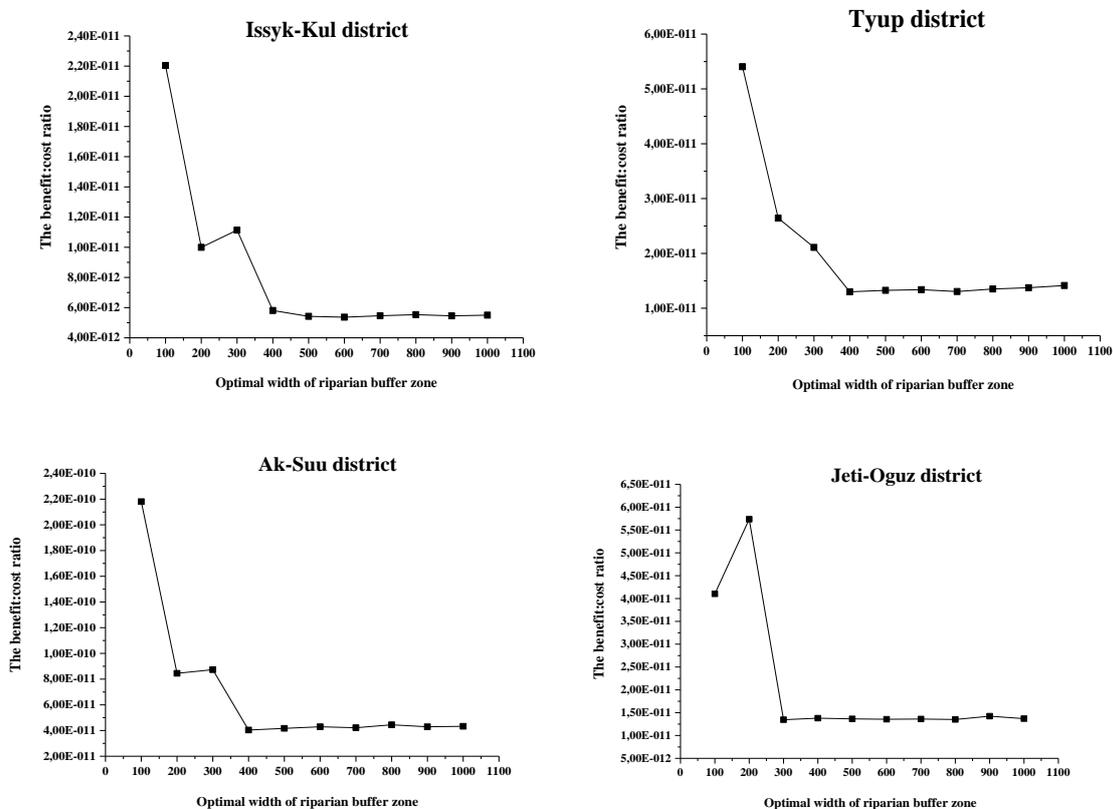


Рисунок 4.5.2 Кривая изменения  $\delta$  (соотношение выгод и затрат) в прибрежных буферных зонах озер шириной от 100 до 1000 м в бассейне озера Иссык-Куль

Также исследования показали, что трансформация прибрежных буферных зон имеет прямую корреляцию с увеличением в воде хлорофилла-а (табл.4.5.1).

Таблица 4.5.1 - Зависимость трансформации на значение индекса TLI

Годы	Средний TLI	% преобразованных площадей на расстоянии 100м	% преобразованных площадей на расстоянии 500м
2017	23.42	9,57	33,37
2022	37.34	14,46	35,61

Как видно из табл.4.5.1 с увеличением процента трансформированных земель растет и индекс трофического уровня воды оз.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 оз.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 и внедрена в производство для практического применения, и размещена на сайте <https://web-isem-of-ik.manas.edu.kg/> (акты внедрения прилагаются). Разработанные научные разработки позволяют не только собирать аналитические данные, но и позволяют анализировать и принимать соответствующие меры предотвращающие ухудшение экологического состояния экосистемы озера (профиль программного обеспечения приведен на рисунке 4.5.3.

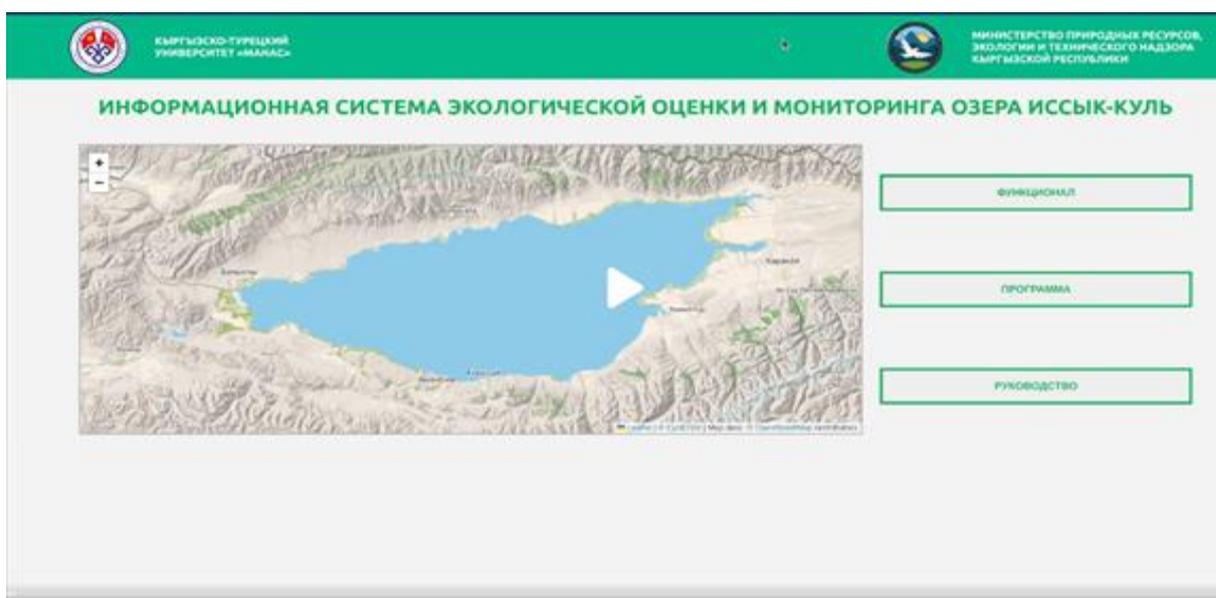


Рисунок 4.5.3 Профиль ИСЭМ

**Заключение.** Приоритетной задачей современного общества, формирующего свою деятельность на основе принципов устойчивого развития, является поддержание экологического и социально-экономического единства на всех этапах функционирования, а также активное восстановление и улучшение параметров окружающей среды при минимизации экологических рисков. Сокращение прибрежных буферных зон приводит к ухудшению качества воды в озере. Для устойчивого и долгосрочного использования озера в рекреационных целях рекомендуется сохранять естественные прибрежные экосистемы. Однозначно, что для оптимизации состояния экосистем прибрежных территорий полупустынных зон необходимо ограничить виды деятельности, приводящие к химическому, биологическому и другим опасным видам загрязнения природных водных объектов, а также контролировать состояние свалок бытовых и промышленных отходов, сельскохозяйственных предприятий, расположенных на прилегающих территориях.

Предлагаемая методика оценки состояния прибрежных экосистем в полупустынных зонах предлагает практический способ интеграции принципов устойчивого управления в программы реализации. Он позволяет выявить ключевые факторы и параметры и разработать инновационные подходы к мониторингу и оценке состояния окружающей среды как на локальном, так и на региональном уровнях. Такой подход предполагает комплексную оценку состояния экосистем с учетом оптимизации технических решений и превентивных мер, а также учета природных и антропогенных закономерностей, влияющих на экологическое состояние рассматриваемых территорий. Эффективная система управления экосистемами может быть сформирована только при наличии полной и достоверной информации о различных свойствах экосистем, их характеристиках и динамике, а также умении оптимально использовать полученные данные для выработки рациональных управленческих решений. В связи с этим оценка состояния экосистем прибрежных территорий полупустынных зон является

неотъемлемым компонентом устойчивого природопользования. Она требует повышенного внимания при составлении региональных и национальных экологических программ, формировании превентивных мер по предотвращению деструктивных процессов, использовании инновационных возможностей моделирования и прогнозирования. Возможности современных систем мониторинга, моделирования и прогнозирования экологического состояния прибрежных экосистем полупустынных регионов, а также определения оптимальных превентивных решений по предотвращению негативного антропогенного воздействия на исследуемые территории требуют дальнейших исследований и комплексных подходов оценки уязвимости, включающих оценивание не только качество воды, но и весь водосборный бассейн. Также полученные результаты данных исследований показывают о важности и необходимости внесения изменений в национальную программу экологического мониторинга оз.Иссык-Куль, включением в ее программу определение показателя хлорофилл-а, а также изменением тактики управления прибрежными экосистемами для по определению неприкасаемых прибрежных буферных зон экосистемы озера для сохранения качества и баланса саморегулирования оз.ИссыкКуль и обеспечения его устойчивого развития.

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 оз.Иссык-Куль” и методика отбора проб и определения хлорофилла-а.

#### ***4.5 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 оз.Иссык-Куль был определен интегрированный индекс прибрежной уязвимости (ICVI), в расчете которого был использован индекс прибрежной уязвимости (CVI) и социально-экономический индекс уязвимости (SVI), результаты которого опубликованы [422].

Озеро Иссык-Куль является важным объектом подобного рода исследований, поскольку наличие как нетронутых, мало измененных человеком, так и значительно трансформированных прибрежных территорий позволяет оценить различные степени уязвимости прибрежных экосистем. Интегрированный индекс уязвимости прибрежных экосистем позволяет получить комплексную оценку и состояние прибрежных экосистем и может быть использован для оценки таких хрупких экосистем, на которые влияет весь водосборный бассейн. Иссык-Кульская область является одной из экономически перспективных территорий Кыргызстана благодаря высокому разнообразию ландшафтов, что определяет ее уникальность. Благодаря этому индустрия туризма в этом регионе растет с каждым годом и играет значительную роль в социально-экономическом развитии страны в целом [423].

Изучение влияния социально-экономических факторов на прибрежную экосистему оз. Иссык-Куль (SVI). Влияние человеческой деятельности на прибрежную территорию оз.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.

Таблица 4.6.1 - Матрица уязвимости к социально-экономическому или антропогенному давлению

Прибрежный административно-территориальный округ	Ак-Суу	Джети-Огуз	Тон	Тюп	Иссык-Куль
Плотность населения (чел/км <sup>2</sup> )	5	1	5	2	3
Аэропорт	1	1	1	2	5
Дорога	5	3	5	3	5
Гавань	1	1	1	1	1
Землепользование	5	4	5	5	5
Охраняемые территории	5	1	5	1	5
Количество рекреационных объектов	5	5	5	3	5
Количество промышленных объектов	5	5	4	5	3
Сельское хозяйство	5	5	5	5	5
Пастбища	2	4	4	4	4

Согласно табл.4.6.1 степень уязвимости, связанная с количеством рекреационных объектов вокруг озера Иссык-Куль, является самой высокой для всех районов, кроме Тюпского. Так, лучшие песчаные пляжи расположены на северном, восточном и южном побережьях. В Иссык-Кульской области, на 2023 год), насчитывается 132 пансионата, санатория, детских санаториев, а также 212 туристических фирм и других рекреационных объектов [424]. Основная территория Иссык-Кульской области - горная, большая часть населения проживает на прибрежной полосе вокруг озера. Наибольшая плотность населения сосредоточена в двух городах областного значения – г.Каракол, г.Балыкчы и одном городе областного значения, и основной базе санаторно-курортного комплекса Иссык-Куля – г. Чолпон-Ате (рисунок 4.6.1). Проведенные исследования показали, что большинство социально-экономических факторов имеют высокую степень уязвимости в Ак-Сууйском, Тонском и Иссык-Кульском районах, прежде всего обусловленных наличием

в указанных районах густонаселенных городов Каракол, Балыкчи и Чолпон-Ата, то наличие в них промышленных, торговых (аэропорт) и городских инфраструктур обосновывает очень высокую степень их уязвимости.

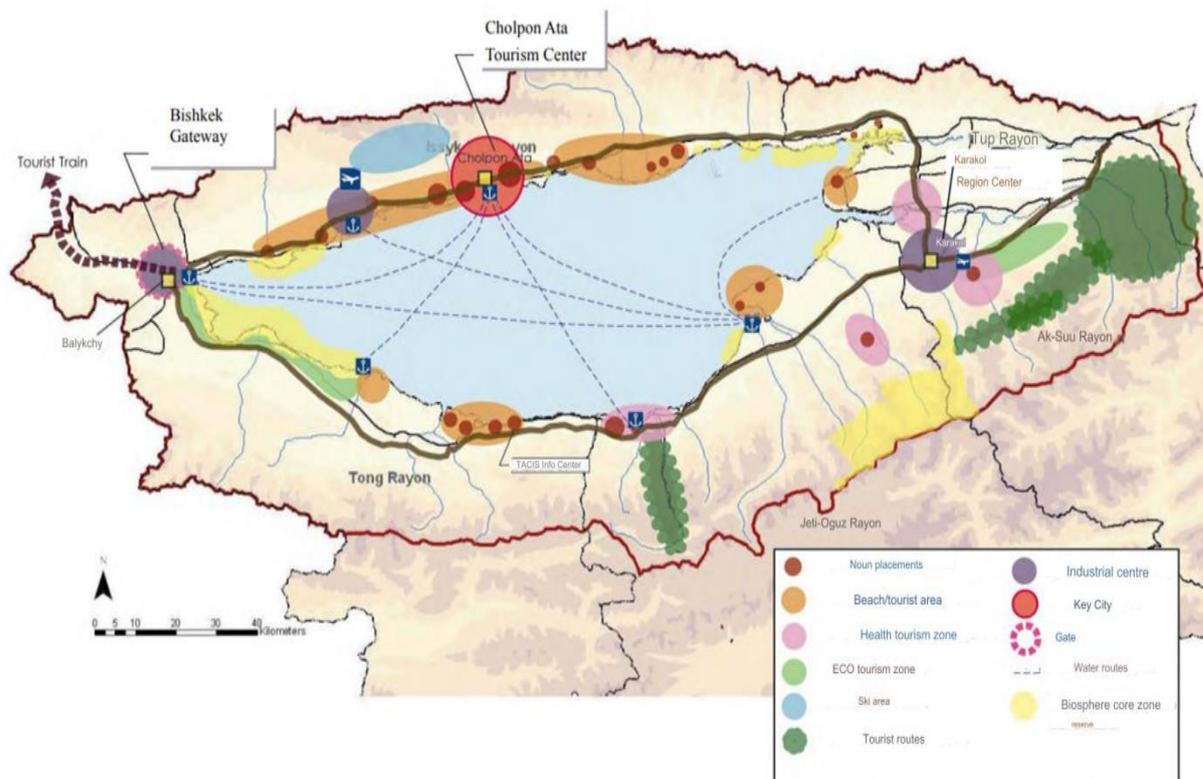


Рисунок 4.6.1 Структура территориального развития Иссык-Кульской области

Согласно табл. 4.6.1, степень уязвимости, связанная с землепользованием, высока для всех районов. Общая площадь земель Иссык-Кульской области составляет 4467,5 тыс. га. Сельскохозяйственные угодья занимают всего 1645,9 тыс. га или 36,8% от общей площади области, в их структуре преобладают пастбища (рисунок 4.6.2). Оптимальными зонами землепользования является прибрежная полоса озера Иссык-Куль. Площадь обрабатываемых земель составляет 12,6 % от всех сельскохозяйственных угодий. Местные жители в основном выращивают такие культуры, как пшеница, ячмень и картофель, а также занимаются животноводством. Интенсивное земледелие в прибрежной зоне приводит к трансформации природного ландшафта побережья.

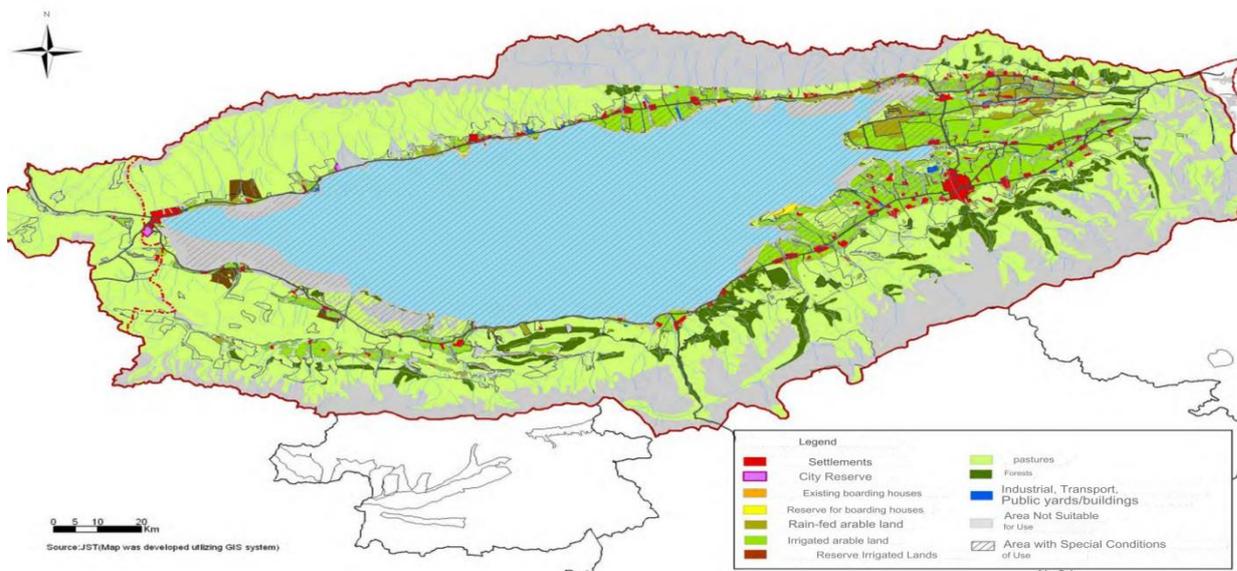


Рисунок 4.6.2 Землепользование в Иссык-Кульской области

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. Деятельность горнодобывающего производства Кумтор Голд Компани, расположенного в Джеты-Огузском районе, создает значительную опасность для исследуемого региона с точки зрения рисков. Перевалочная база Кумтор Голд Компани. Расположена в черте города Балыкчи, в 1500 м от берега озера Иссык-Куль. База предназначена для краткосрочного хранения химических реактивов. Однако существует вероятность того, что территория базы будет подвержена воздействию селевых потоков, что может привести к выносу химических реагентов в западную часть города и прилегающую акваторию озера Иссык-Куль. Опасения вызывают хвосты отходов от переработки урановых руд Каджи-Сая, расположенного в Тонском районе. Не исключено, что в случае активизации природных явлений, таких как землетрясения, опасные отходы могут попасть как в озеро, так и в подземные источники [269].

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 4.6.3). При попарном сравнении социально-экономических переменных приоритетными параметрами являются плотность населения, прибрежное землепользование и количество рекреационных и промышленных объектов. К сожалению, статус особо охраняемых природных территорий вдоль побережья озера Иссык-Куль не в полной мере справляется со своими обязательствами по обеспечению охраны ООПТ.

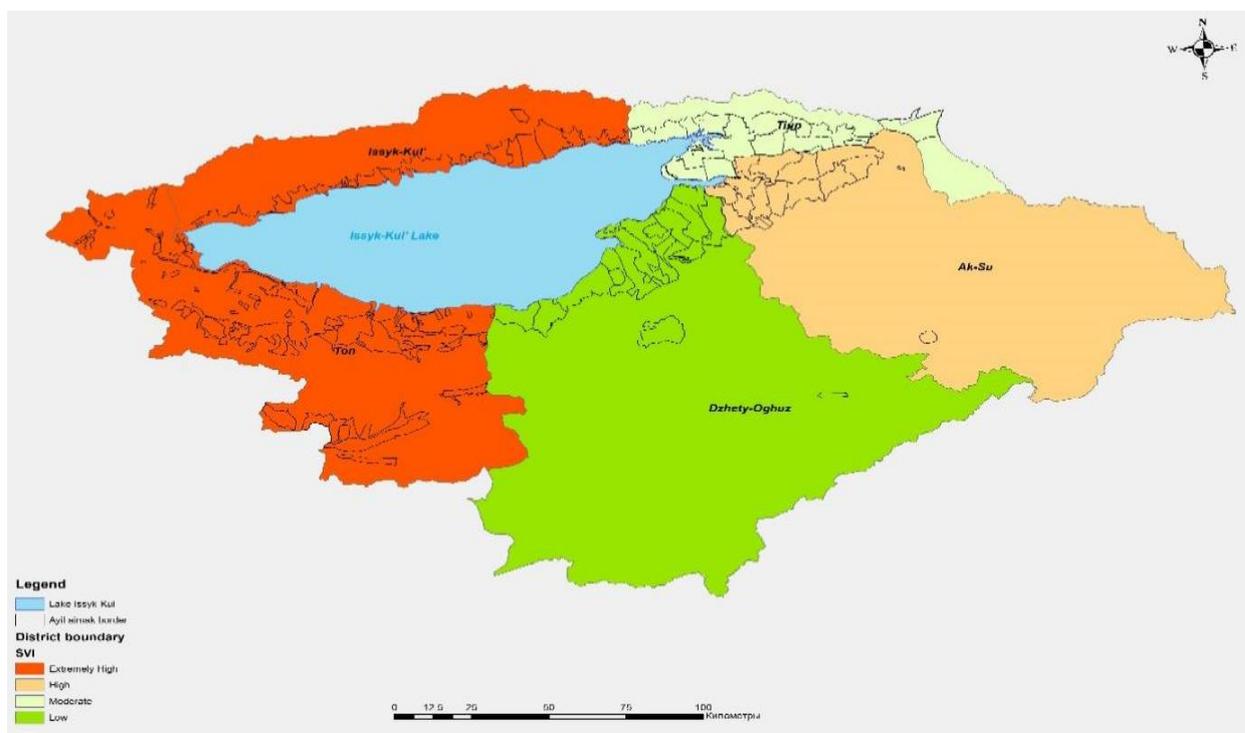


Рисунок 4.6.3 Пространственная изменчивость индекса социально-экономической уязвимости (SVI) побережья оз.Иссык-Куль

Влияние береговых факторов на побережье оз.Иссык-Куль (SVI), был оценен с учетом трех переменных (тип береговой линии, реки и степень защиты грунтовых вод), влияющих на уязвимость прибрежных районов.

Согласно официальным данным, «Общая протяженность побережья озера Иссык-Куль составляет 688 км. Протяженность пляжной зоны - 600 км, из них более 120 км - естественные пляжи 1-й и 2-й категорий. Общая площадь пляжей достигает 9,5 млн м<sup>2</sup>. Лучшие песчаные пляжи расположены на крупных полуостровах северного, восточного и южного побережий. Их окаймляют кустарники, общая площадь которых в три раза превышает площадь пляжей. Более половины длины пляжной территории занимают аккумулятивные, выровненные берега, состоящие из песка, мелкой и средней (0,5-0,1 мм) гальки и, в меньшей степени, валунов. Около двадцати крупных пляжных участков расположены на территории Иссык-Кульского и Тонского районов. Вдоль береговой линии развиты песчано-галечные гряды, достигающие наибольших размеров вблизи устьев рек, где происходит смешение пресных речных вод с солоноватыми водами озер и накапливаются твердые речные отложения. Восточная часть побережья (Ак-Су и Тюпский район) наиболее изрезана. Для нее характерны глубокие заливы, далеко вдающиеся в сушу. Самые крупные из них - Джергаланский и Тюпский - разделены полуостровом Сухой хребет. Восточный и частично южный берега сложены довольно рыхлыми песчаными отложениями. Озерная равнина колеблется от нескольких сотен метров до 12-20 км: северная - 1-10 км, восточная - 40-50 км, западная - 10-15 км, южная - узкая. Озеро бессточное, в него впадает до 80 относительно небольших притоков. Реки полноводны в конце весны и летом. Самые крупные из них - Тюп и Джергалан, текущие с востока. Все реки, впадающие в озеро, проходят между селами и населенными пунктами. Расположение сельскохозяйственных и пахотных земель вокруг озера повышает риск поступления биогенных веществ из-за смыва с полей использованных азотных и фосфорных удобрений. Прибрежные зоны содержат азональные и интразональные почвы, образовавшиеся в результате осадконакопления и заболачивания, в то время как населенные пункты вокруг озера характеризуются в основном низинными и предгорными почвами, а

именно серыми песчаными почвами с включениями гравия, с высокой проницаемостью, низким потенциалом удержания и низким содержанием органических веществ”.

Определение степени защищенности подземных вод Прииссыккуля, было выполнено в соответствии с методикой В. М. Гольдберга, внесенной модификациями, предложенными К. А. Кожобаевым. и другими исследователями [425]. 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 Кожобаевым К.А. По которым составлена карта «Степень защищенности подземных вод основных эксплуатируемых водоносных горизонтов», с использованием программы MapInfo (рисунок 4.6.4).

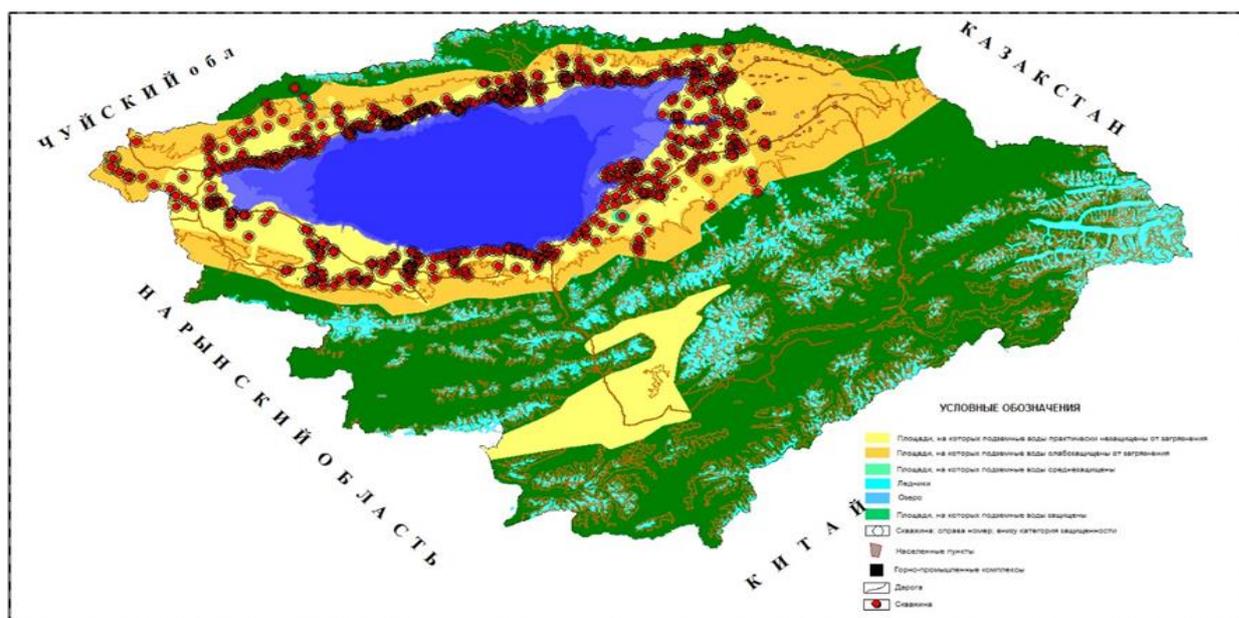


Рисунок 4.6.4 Карта «Степень защищенности подземных вод основных эксплуатируемых водоносных горизонтов» Прииссыккуля

На основе оценки этих факторов, “...подземные воды Прииссыккуля были разделены на три района с различной степенью защищенности:

1. Район с высокой степенью защищенности:

- ✓ Горные районы Прииссыккуля, где водоносные горизонты залегают на большой глубине и защищены от проникновения загрязнений водонепроницаемыми породами.
  - ✓ Границы района совпадают с границами горных хребтов, входящих в состав Прииссыккуля, таких как Терской-Ала-Тоо, Кыргызский хребет, Кунгей-Ала-Тоо и др.
  - ✓ Площадь района составляет около 70% от площади Прииссыккуля.
2. Район со средней степенью защищенности:
- ✓ Предгорные и равнинные районы Прииссыккуля, где водоносные горизонты залегают на меньшей глубине и могут быть подвержены загрязнению из-за антропогенной деятельности.
  - ✓ Границы района совпадают с границами предгорных и равнинных районов Прииссыккуля, таких как Иссык-Кульская котловина, Чуйская долина, Таласская долина и др.
  - ✓ Площадь района составляет около 20% от площади Прииссыккуля.
3. Район с низкой степенью защищенности:
- ✓ Долины рек и озер Прииссыккуля, где водоносные горизонты находятся близко к поверхности и могут быть легко загрязнены.
  - ✓ Границы района совпадают с границами долин рек и озер Прииссыккуля, таких как Иссык-Куль, Чу, Талас, Нарын и др.
  - ✓ Площадь района составляет около 10% от площади Прииссыккуля” [426].

Значение индекса CVI представлен в табл.4.6.2, где значение индекса прибрежной уязвимости или CVI варьируется от 5,0 до 15,49.

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 4.6.5).

Таблица 4.6.2 - Матрица уязвимости прибрежных районов

Прибрежный административно-территориальный округ	Тип береговой линии	Рек и	Степень защиты подземных вод		
			наличие риска на территории, где подземные воды защищены от загрязнения	наличие риска на территории, где подземные воды плохо защищены от загрязнения	наличие риска на территории, где подземные воды умеренно защищены от загрязнения
Ак-Суу	5	5	5	1	1
Джети-Огуз	5	4	5	1	3
Тон	5	4	5	4	3
Тюп	5	5	5	1	3
Иссык-Куль	5	4	5	4	3

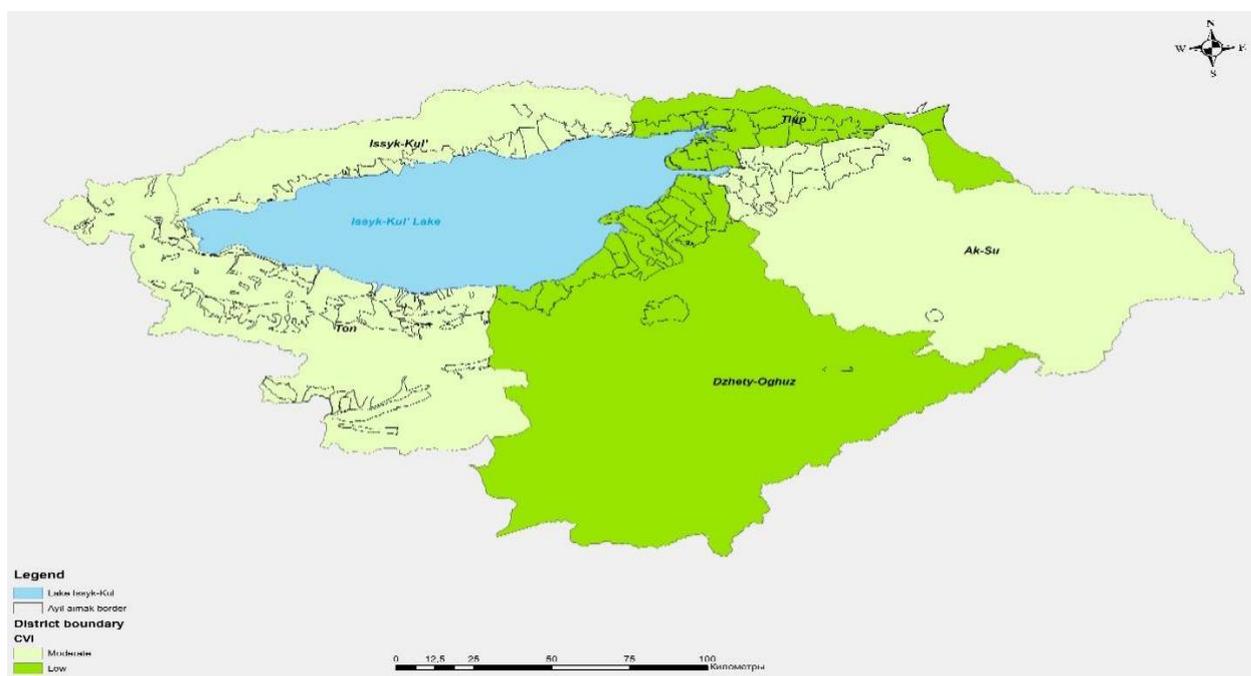


Рисунок 4.6.5. Пространственная изменчивость индекса уязвимости побережья (CVI) оз.Иссык-Куль

Прибрежные зоны Иссык-Кульского и Тонского районов имеют высокий уровень уязвимости, так за чертой прибрежных зон расположены много зданий туристических объектов, но при этом интенсивно сокращаются

прибрежная растительность, например, кустарников облепихи, которые играют очень важную роль в снижении процесса абразии/эрозии, особенно во время экстремальных явлений [382].

Определив значения двух предыдущих индексов SVI и CVI был рассчитан интегрированный индекс уязвимости побережья оз. Иссык-Куль. Как видно из рисунка 4.6.6, 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 [427] и как система индикаторов антропогенной трансформации территорий для определения приоритетности мероприятий по устойчивому развитию прибрежных территорий.

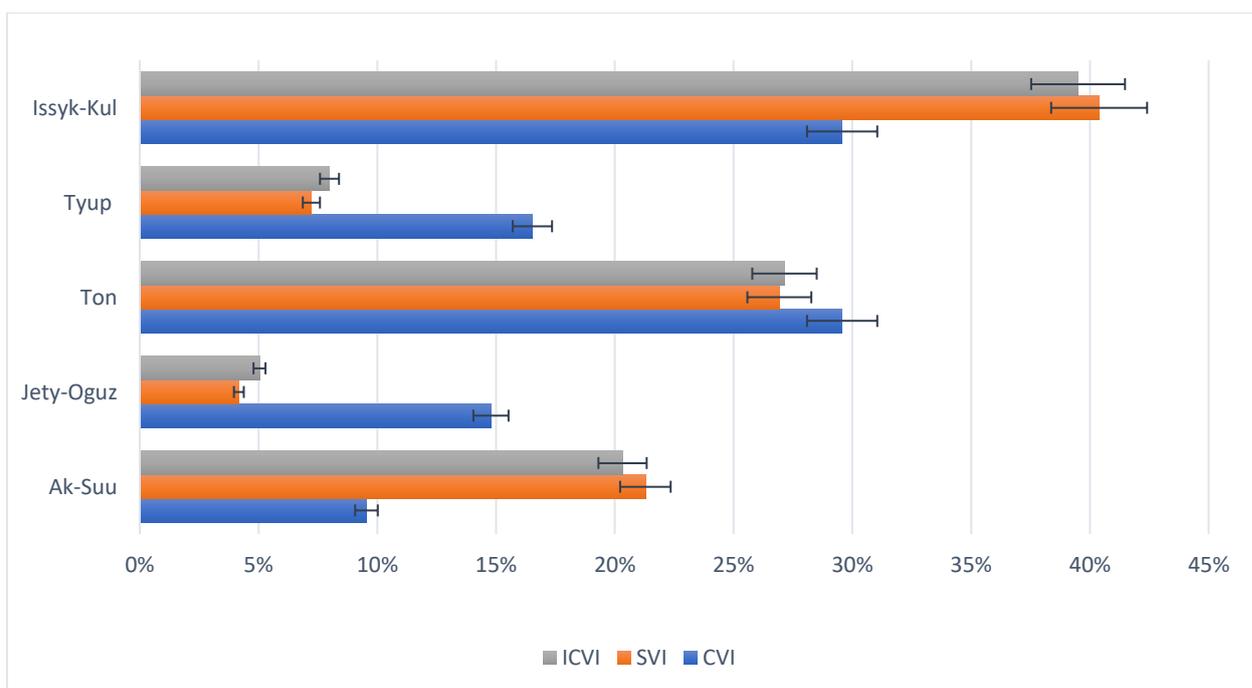


Рисунок 4.6.6 Рейтинг уровней уязвимости CVI, SVI и ICVI

На рисунке 4.6.7 показана пространственная изменчивость комплексной уязвимости прибрежной зоны озера Иссык-Куль, полученная на основе сочетания физических и социально-экономических факторов.

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

**Заключение.** Таким образом, 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. Результаты исследования подчеркивают необходимость переоценки уязвимости прибрежных экосистем в зависимости от конкретных природно-климатических и социально-экономических условий каждой территории с применением индекса ICVI. Выявление уязвимости с помощью этого индекса способствует проактивному планированию, которое может адаптироваться к

изменяющимся условиям и быть поддержано соответствующими органами власти. Расчеты ICVI для каждой прибрежной зоны озера Иссык-Куль показывают, что уязвимость различных участков зависит как от физических, так и от социально-экономических факторов. Результаты индекса социально-экономической уязвимости (SVI) свидетельствуют о том, что две основные зоны с наиболее развитой инфраструктурой, расположенные непосредственно на берегу озера, испытывают значительное антропогенное давление. Индекс прибрежной уязвимости (CVI) не выявил высокой уязвимости исследуемых районов, которые были разделены на зоны умеренной и низкой уязвимости, что, вероятно, связано с высоким потенциалом самовосстановления экосистемы озера. Интегральный индекс уязвимости (ICVI) предоставляет наиболее точную картину уязвимости прибрежных зон. Таким образом, для оценки экологических рисков особо уязвимых прибрежных экосистем учет интегрального индекса уязвимости становится актуальным, так как он позволяет учитывать весь спектр потенциальных негативных воздействий. Основные направления экологически ориентированного планирования землепользования на проектируемой прибрежной территории предполагают пространственную взаимосвязь между параметрами социально-экономического развития и экологическим потенциалом в рамках долгосрочного устойчивого развития. Следовательно, одной из ключевых задач является обеспечение сбалансированного развития природных и социально-экономических систем, находящихся в постоянном взаимодействии, для достижения устойчивого развития природной экосистемы.

## **ГЛАВА 5. ЭКОЛОГИЧЕСКИ УСТОЙЧИВЫЕ ПОДХОДЫ К ИСПОЛЬЗОВАНИЮ ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ И РЕЦИКЛИНГУ ОТХОДОВ В РЕГИОНАХ, ПОДВЕРЖЕННЫХ ТЕХНОГЕННОМУ ВОЗДЕЙСТВИЮ**

### ***5.1. Экологически безопасные методы восстановления загрязненных нефтепродуктами грунтов***

Загрязнение почвенных экосистем нефтепродуктами - глобальная проблема, требующая срочных мер по ее решению, особенно загрязнение почв в субарктических и высокогорных регионах, подвергаемых техногенному воздействию горнодобывающей деятельности [428], [429]. Нефтяное загрязнение вызывает окислительный стресс, изменения в химическом составе почвы и низкую доступность питательных веществ. Нефтяные загрязнители снижают численность и метаболическую активность аэробных почвенных микроорганизмов и влияют на рост и прорастание растений, создавая непроницаемую мембрану, препятствующую циркуляции воды и кислорода. Особенно высокомолекулярные нефтяные углеводороды оказывают негативное влияние на почвенные организмы в течение длительного времени [430]. На участках в холодных климатических зонах наблюдаются временные колебания температуры, и эти колебания могут оказывать влияние на активность местных почвенных микроорганизмов [431]. Применение методов биоремедиации для ускорения естественной скорости биodeградации является экономически и экологически эффективным методом [432]. В настоящее время подходы к биоремедиации изучены многими исследователями в ходе многочисленных лабораторных и полевых экспериментов и одобрены как простые в обслуживании, применимые на больших территориях, экономически эффективные и экологически безопасные технологии восстановления нефтяных загрязнений [433], [434], [435]. Существуют методы *in-situ* и *ex-situ*, первые из которых предполагают обработку загрязненной почвы без проведения земляных работ, а вторые - без. По

данным Gomez F.: “Методы рекультивации почвы in-situ редко применяются во многих странах из-за неопределенности в отношении их эффективности и возможного негативного воздействия на окружающую среду, особенно в холодных регионах из-за отсутствия знаний” [436]. Подобные высокогорные экосистемы наиболее уязвимы к различным видам антропогенного воздействия, поэтому актуальность биоремедиации очевидна. Результаты исследований были опубликованы в статье [437]: “Исследование проводилось на руднике Кумтор, расположенный на северо-западном склоне хребта Ак-Шыйрак, примерно в 60 км к югу от оз.Иссык-Куль, на высоте от 3600 м. до 4400 м.н.у.м [438]. Район месторождения характеризуется суровыми климатическими условиями (среднегодовая температура равна  $-7,8^{\circ}\text{C}$ , снег круглый год, активные ледники и вечная мерзлота, простирающаяся на глубину до двух-трех сотен метров)”. ЗАО “Кумтор Голд Компани” работает с 1997 года и загрязняет почву нефтепродуктами при заправке, ремонте автомобилей, а также при утечках во время хранения нефти. Компания “Кумтор” Голд Компани использует в среднем 128 303 750 л нефти в год. Компания вынимает загрязненные нефтью почвы и перемещает их на полигон опасных отходов рядом с золотодобывающим предприятием, чтобы предотвратить просачивание нефти в более глубокие слои почвы [439]. Выбранная стратегия является дорогостоящей, а также приводит к вторичному загрязнению почвы. Учитывая эти недостатки, стратегии биоремедиации считаются наилучшими методами очистки загрязнений от нефтепродуктов [438]. Для использования в естественных условиях высокогорного региона были выбраны методы биостимуляции, биоаугментации и их комбинации. Эти методы позволяют использовать местные микроорганизмы, которые являются психрофильными, не инвазивными для места обработки и длительного воздействия холодных условий [440]. Биостимуляция предполагает оптимизацию условий, необходимых местным микроорганизмам для удаления загрязняющих веществ, или стимулирование деградиационных способностей

микроорганизмов путем внесения дополнительных питательных веществ, таких как азот, фосфор и калий [441]. Метод биостимуляции эффективен, если почва изначально содержит микроорганизмы со способностью к деградации нефти [442]. Биоаугментация предполагает добавление микроорганизмов, способных разлагать нефтяные углеводороды, или использование ранее выделенных и культивированных местных микроорганизмов [443]. Эффективность биоаугментации зависит от абиотических факторов, таких как химическая структура загрязняющих веществ, их концентрация и биодоступность, а также температура, рН и уровень питательных веществ, и биотических факторов, таких как взаимодействие между автохтонными и добавленными микроорганизмами [444]. Целью данного исследования было изыскание наиболее эффективного метода биоремедиации для восстановления нефтезагрязненных почв, применимых в условиях вечной мерзлоты рудника Кумтор, результаты которых опубликованы [437].

Результаты физико-химических характеристик почвенного образца до и после обработки представлены в табл. 5.1.1. рН для всех вариантов обработки варьировался между 6,0 и 7,5. Этот диапазон рН находится в пределах оптимума, необходимого для эффективного процесса биоремедиации [443].

Таблица 5.1.1 - Физико-химические характеристики пробы почвы

	рН	Общий азот (%)	Подвиж. форма фосфора	Обмен. калий	Орг.углерод почвы (%)
			(mg/kg)		
Первоначальное содержание	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

Исследуемая проба почвы была малофосфорной. 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 [444]. 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. Отмечается, что при биоремедиации увеличение органического углерода почвы определяется микробной активностью и его минерализацией [445].

Исходное содержание нефтепродуктов в исследуемой почве составляло 2 633 мг/кг (рисунок 5.1.1).

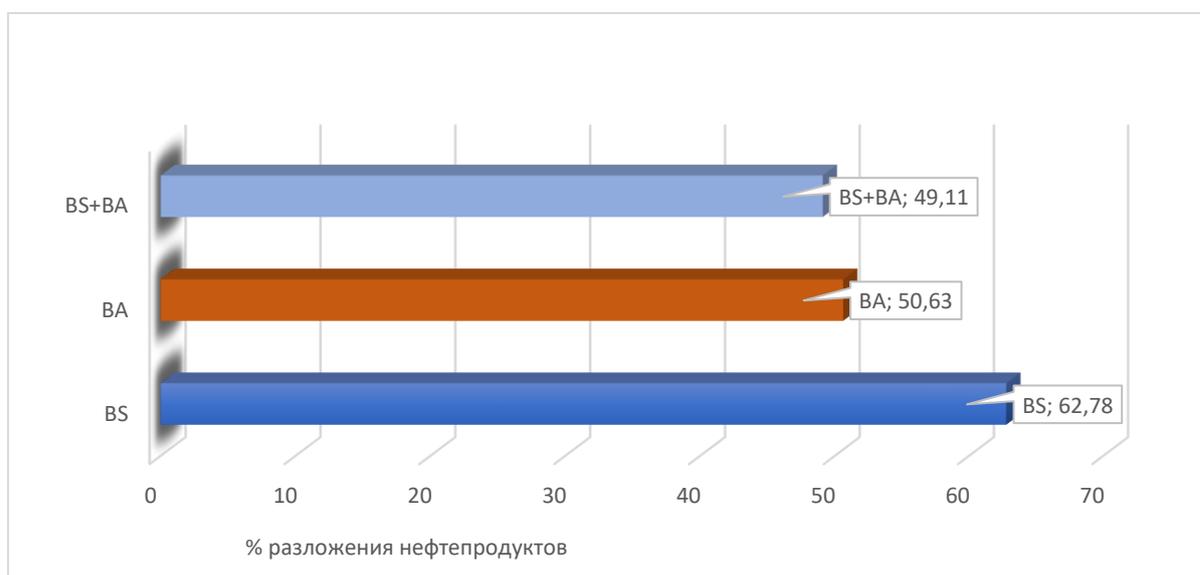


Рисунок 5.1.1 Рисунок 1. Разложение нефтепродуктов после 90 дней опыта, %. BS - биостимуляция; BA – биоаугментация

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 биостимуляцией + биоаугментацией (рисунок 5.1.1). При использовании только BS (биостимуляция) и ВА (биоаугментация) через 90 дней процент деградации загрязняющих веществ достиг 62,78% и 50,63%, соответственно. 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 [273].

На исходном этапе эксперимента исследована динамика изменения общего количества бактерий в различных опытах биоремедиации почвы в течение 30 дней. Исходное количество бактерий составляло  $6,4 \times 10^6$  КОЕ/г, через 14 и 30 дней биостимуляции общее количество бактерий увеличилось до  $19 \times 10^6$  КОЕ/г и  $54 \times 10^6$ , соответственно. При биостимуляции также прослеживалась тенденция к увеличению общей численности бактерий, но она оказалась значительно меньше, чем при биостимуляции, составив  $26 \times 10^6$  КОЕ/г к 30-му дню экспозиции. Однако при комбинированной обработке (BS+ВА) общее количество бактерий на 30-й день снизилось до  $2,9 \times 10^6$  КОЕ/г с исходных  $6,4 \times 10^6$  КОЕ/г (рисунок 5.1.2; 5.1.3).

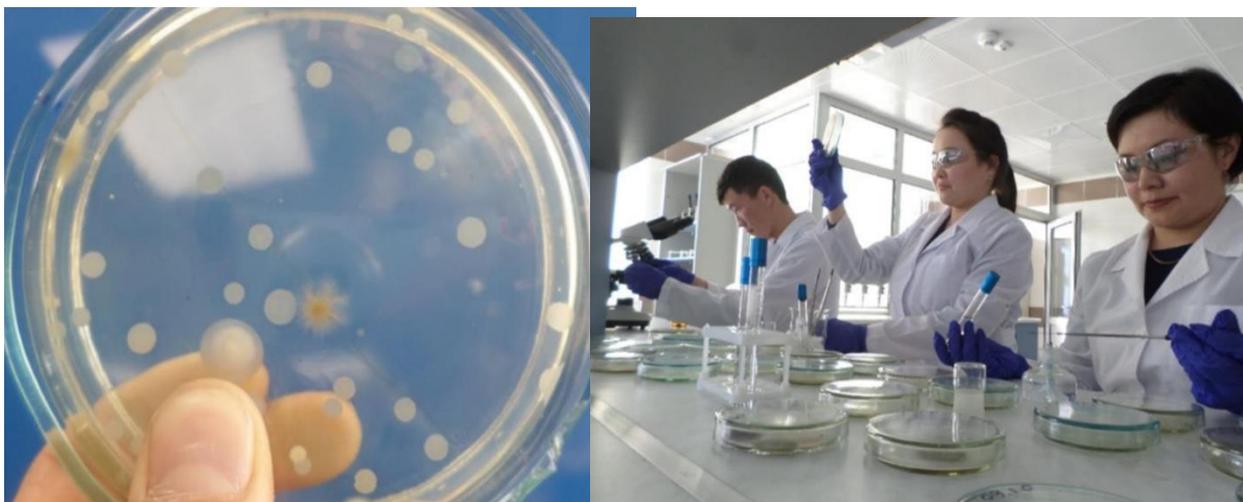


Рисунок 5.1.2 Процесс микробиологического исследования в лаборатории КТУМ

Метод биостимуляции или внесение минеральных компонентов в загрязненный грунт, для стимулирования автохтонной микрофлоры ускорила процесс разложения углеводов: содержание нефтепродуктов 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. Была подобрана оптимальная питательная среда для культивирования углеводородокисляющих бактерий, в условиях высокогорья, результаты которого были опубликованы [446]. 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. Хотя мы ожидали высокого процента деградации нефтепродуктов при обработке биостимуляцией + биоаугментацией, подобные схемы использовались [447]. Однако наши результаты показали, что биодegradация была ниже при обработке BS + BA по сравнению с биостимуляцией или биоулучшением в отдельности. Это может быть связано с конкуренцией за использование питательных веществ между местными и экзогенными бактериями [448]. 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, как утверждают Gutiérrez et al. [449]. Принимая во внимание дорогостоящие методы обогащения разлагаемых растений и их инокуляции, мы считаем, что

использование биостимуляции в таких сложных климатических условиях является наиболее целесообразным.

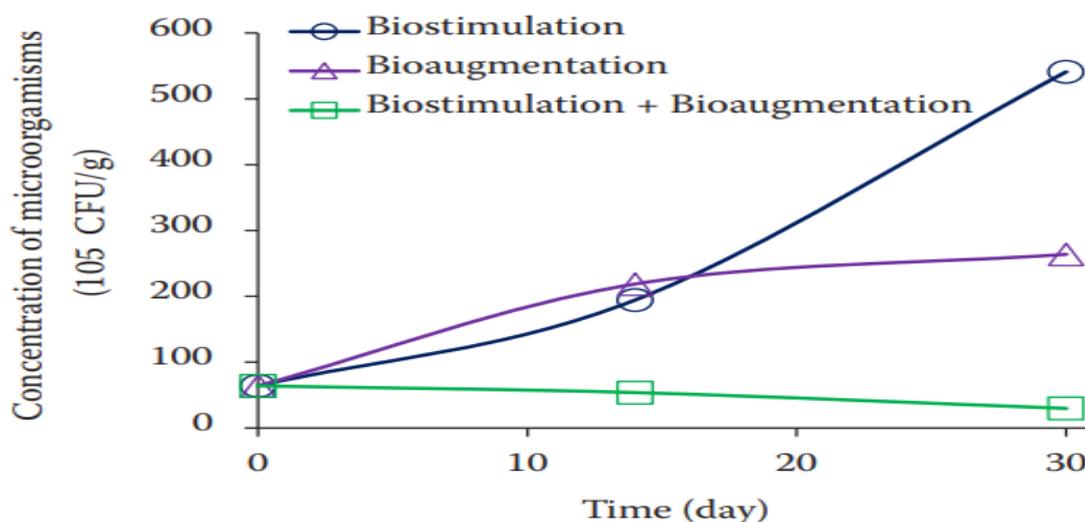


Рисунок 5.1.3. Изменение общего количества бактерий в загрязненной почве при проведении биоремедиации

Проведенные исследования продемонстрировали возможность использования методов биологической обработки почвы в климатически холодных условиях высокогорья [437]. Во всех вариантах биоремедиационных обработок наблюдалось снижение содержания нефтепродуктов в почве. Наилучший результат по снижению содержания нефтепродуктов в почве показал метод биостимуляции. На 5.1.4 приводятся ход полевых исследований на руднике “Кумтор”, реализованный в рамках проекта “Биоремедиация нефтезагрязненного грунта полигона промышленных отходов рудника “Кумтор”, с применением консорциума бактерий», 2018/С-6123.

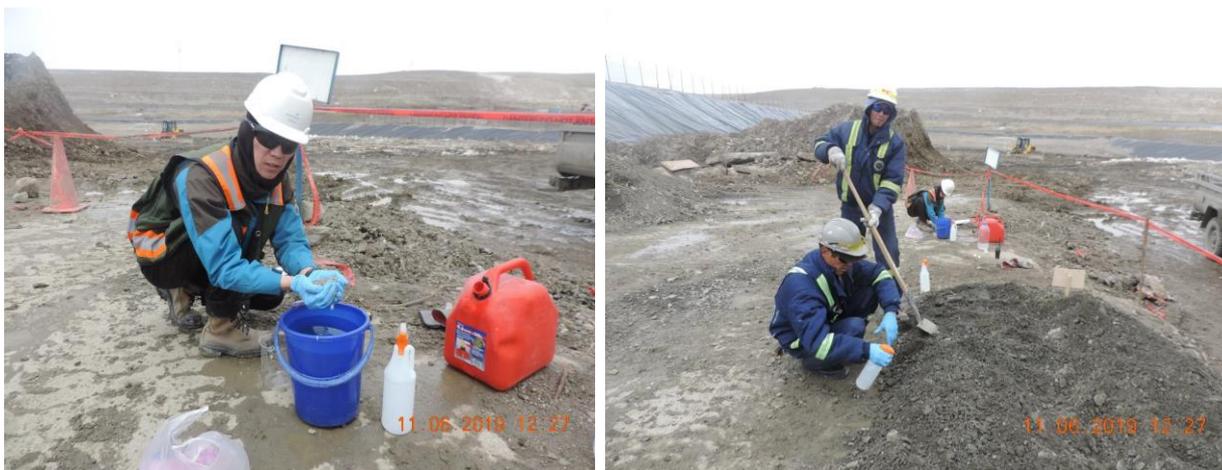


Рисунок 5.1.4 Ход реализации полевых экспериментов, 2019г.

**Заключение.** В результате проведенных экспериментов и полученных результатов, было рекомендовано нижеследующее: “Загрязненный нефтепродуктами грунт рекомендуется очищать методом биоремедиации, что имеет два преимущества, первое: очищенный грунт может быть использован в качестве изолирующего и рекультивационного слоя и второе обеспечивает снижение объема полигона, изъятием из него грунта, подлежащего очищению. Рекомендуем на полигоне создать отдельную площадку для рекультивации грунта, загрязненного нефтепродуктами. Площадку необходимо расположить на подветриваемой зоне, гидроизолировать, бетонировать основание или же покрыть водонепроницаемой пленкой. На первом этапе необходимо произвести рыхление грунта (в зависимости от объема загрязненного грунта, при больших – рыхлить можно тракторами, с подвесными орудиями (плуги, культиваторы), при небольших объемах - можно использовать подручные средства (лопаты, грабли и т.д.). Рыхление обеспечит аэрацию почвы, а также физическое выветривание легких фракций, что приведет к уменьшению токсичности нефтяных загрязнений по отношению к аборигенной микрофлоре. В то же время рыхление обеспечит равномерное распределение компонентов нефти в почве, разрушит смолисто-асфальтовую корочку, увеличит поверхность контакта с микрофлорой, почвенной влагой и воздухом. В процессе ремедиации необходимо проводить регулярное рыхление грунта (1 раз в 3-4 недели) и обеспечить увлажнение грунта. Также можно применить

покрытие площадки темной полиэтиленовой пленкой, при условии достаточного воздухообмена под пленкой. Затем после проведения пропашных работ и внесения мелиорантов необходимо ввести минеральный компле. После подготовительных работ биопрепарат вносят на загрязненный грунт из расчета 6-10л суспензии на 1 м<sup>2</sup> очищаемой поверхности. Обработку рабочими суспензиями небольших площадей можно проводить ручным методом. Биобработку необходимо проводить в утреннее или вечернее время, или в пасмурную погоду. При концентрации нефтезагрязнений в грунте более 5% для полной очистки методом биоаугментации, требуется 2-3 сезона. Для ускорения процесса ремедиации необходимо внести структураторы до 5%, что позволит провести биоремедиацию в более короткие сроки – за 1-2 сезона. Очищенный материал может быть приравнен к категории инертных промышленных отходов, относящихся к IV классу опасности. С площадки рекультивации он может быть использован при послойной засыпке в качестве изолирующего и рекультивационного слоя полигона рудника”.

## ***5.2 Возможности использования высокогорных растений для фиторемедиации нефтезагрязненных грунтов***

Продолжая начатые работы и имея положительный опыт биоремедиации нефтезагрязненных грунтов высокогорных условий с применением биологических методов были продолжены работы по реабилитации и восстановлению максимально первоначальной структуры изучаемых грунтов загрязненных нефтепродуктами [437]. Согласно данным опубликованным в статье [451]: “Одним из эффективных приемов реабилитации таких почв признаны методы фиторемедиации. При высеве растений, обладающих устойчивостью к росту на грунтах, загрязненных нефтепродуктами, они используют углеводороды нефти в качестве дополнительного питания, при этом они содействуют улучшению газовой воздушного режима нефтезагрязненной почвы, обогащая ее при этом различными активными

соединениями, в итоге стимулируя рост числа микроорганизмов и ускоряя разложение нефти и нефтепродуктов [452]. Существенным недостатком реабилитации загрязненных почв при помощи растений является их уязвимость при высоких концентрациях нефтепродуктов, что ограничивает их применение [453]. Поэтому приемы фиторемедиации целесообразно применять в качестве завершающего этапа реабилитационных мероприятий. Применение метода фиторемедиации при реабилитации нефтезагрязненных грунтов в условиях высокогорья, на высоте более чем 3000 м.н.у.м. также сопредельно лимитирующими факторами природной среды, такими как тепло, свет. Однако подбор и оптимизация метода фиторемедиации грунтов загрязненных нефтепродуктами актуально при завершении реабилитационных мероприятий и имеет большое практическое и экологическое значение, так как позволяет изымать из тела полигона и возвращать загрязненные нефтепродуктами грунты для их последующего использования, тем самым внося вклад в рациональное использование природных ресурсов высокогорья [454]. Таким образом, данный подход позволит улучшить самоочищающую способность загрязненных грунтов, использовать очищенные экологически безвредными способами грунты, которые могут быть возвращены на место выемки или использоваться в качестве изолирующего и рекультивационного материала, а также позволят уменьшить объем полигонов опасных отходов рудника Кумтор изъятием из его тела очищенных грунтов. Целью данного исследования был подбор местных видов высокогорных растений, для фиторемедиации грунтов, загрязненных нефтепродуктами, предварительно очищенных методом биоремедиации” [437], [455].

Как было изложено в предыдущем параграфе: “первый этап исследований, проведенный в 2018-2019 гг. включал в себя изучение биоразнообразия аборигенных штаммов микроорганизмов выделенных из нефтезагрязненных грунтов и изучение их биотехнологического потенциала [273]. Содержание

нефтепродуктов в полевых условиях, при проведенных биоремедиационных работ снизилось с 2320 мг/кг до 980 мг/кг. Применение метода биоремедиации, значительно снизивший содержание нефтепродуктов в изучаемых пробах, позволила перейти к следующему этапу реабилитации изучаемых грунтов методом фиторемедиации. Основной задачей фиторемедиации является подбор растений, обладающих способностью давать всходы и произрастать при заданных условиях [456], [457]. Лабораторные эксперименты показали, что при высоких концентрациях нефтепродукты оказывают токсическое действие на рост и развитие растений и, наоборот, обладают легким стимулирующим рост свойством - при низких концентрациях. Анализ всхожести семян показал, что при различных концентрациях нефтепродуктов в почве, они оказывают как токсическое действие, так обладают и стимулирующим свойством, что было подтверждено и другими исследователями [458], [459]. На втором этапе исследований, определялись всхожесть, энергия прорастания изучаемых растений, при выращивании на образцах почв, после проведения биоремедиационных работ, с концентрацией нефтепродуктов 980 мг/кг и на фоновой, не загрязненной нефтепродуктами почве”. Результаты изучения влияния нефтепродуктов на дальнейший рост и развитие проростков приведены в табл. 5.2.1.

Таблица 5.2.1 - Параметры семян овсяницы валлисской (*Festuca valesiaca* Gaudin) и плевела многолетнего (*Lolium perenne*): источник Н. Тотубаева [451].

Тест-культуры	Длина корня, см		Длина стебля, см	
	Фон	№2	Фон	№2
20-е сутки				
Овсяница валлисская ( <i>Festuca valesiaca</i> Gaudin)	1,1±0,05	1,7±0,05	3,0±0,05	4,4±0,05
Плевел многолетний ( <i>Lolium perenne</i> )	3,7±0,05	2,4±0,1	8,9±0,05	8,8±0,05
30 сутки				
Овсяница валлисская ( <i>Festuca valesiaca</i> Gaudin)	2,3±0,05	2,9±0,05	3,8±0,05	4,3±0,05

Плевел многолетний ( <i>Lolium perenne</i> )	6,3±0,05	3,2±0,1	10,8±0,1	9,6±0,05
40-е сутки				
Овсяница валлисская ( <i>Festuca valesiaca</i> Gaudin)	1,9±0,05	1,1±0,05	4,5±0,05	4,6±0,05
Плевел многолетний ( <i>Lolium perenne</i> )	13,3±0,15	3,5±0,1	13,5±0,05	12,7±0,1

Согласно полученным данным: “Высокая всхожесть прорастания была отмечена у плевела многолетнего (*Lolium perenne*), в исследуемой почве его всхожесть составила - 86,7%, а на фоновой почве - 70%. У овсяницы валлисской (*Festuca valesiaca* Gaudin) всхожесть в загрязненном грунте составила составила - 73,3%, в то время как на фоновом образце - 60%. Таким образом, плевел многолетний (*Lolium perenne*) показал высокую способность произрастать и давать высокую всхожесть при загрязнении почв нефтепродуктами, где всхожесть составила 86,7%, при 70% всхожести в фоновом варианте. Проведенные исследования также показали, что при высокой всхожести семян, корневая система плевела многолетнего (*Lolium perenne*) наиболее чувствительна к нефтяному загрязнению почв. В нефтезагрязненной почве длина корня плевела многолетнего (*Lolium perenne*) к 40-м суткам произрастания в нефтезагрязненной почве составила 3,5±0,1 см, в то время как в фоновой почве его длина составила 13,3±0,15 см, что короче на 9,8 раз по сравнению с фоновым вариантом. Отмечен стимулирующий эффект нефтяного загрязнения почв на рост надземной части овсяницы луговой, длина которого на 20-е сутки составил 4,4±0,05 см, однако на 40-е сутки длина фонового образца сравнялась и составила 4,6±0,05 см. при 4,5±0,05 см в фоновом образце” (табл. 5.2.1). Для визуализации, значения таблицы приведены на рисунках 5.2.1.; 5.2.2; 5.2.3.

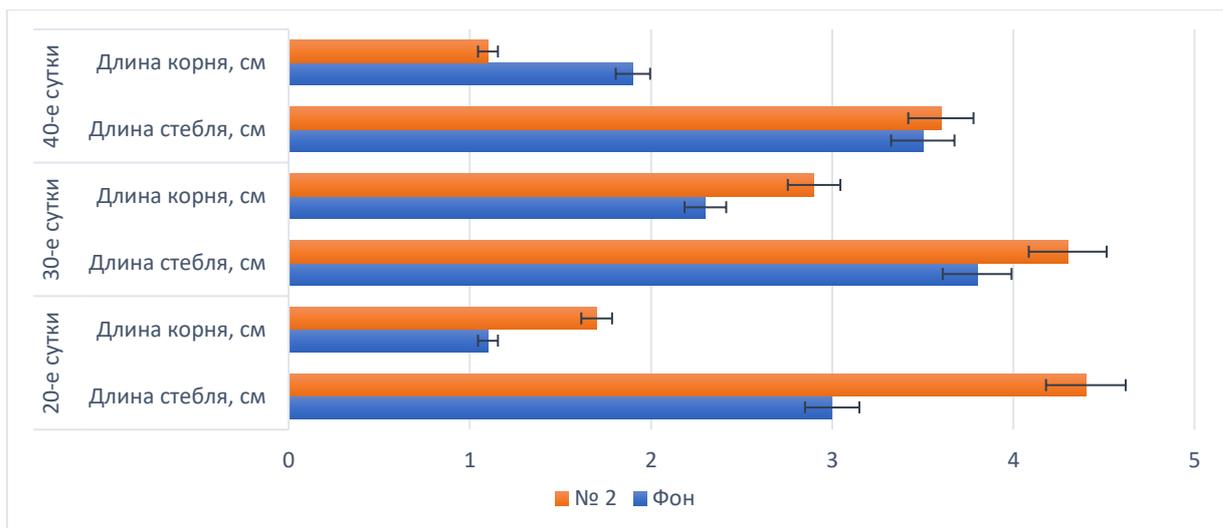


Рисунок 5.2.1 Динамика роста овсяницы валлисской (*Festuca valesiaca* Gaudin): источник Н. Тотубаева [451].

По данным [451]: “Несмотря на стимулирующий эффект образцов с нефтяным загрязнением на всхожесть плевела многолетнего (*Lolium perenne*) на раннем этапе, к 40-м суткам преобладало его токсическое действие на рост корневой системы (рисунок 5.2.2).

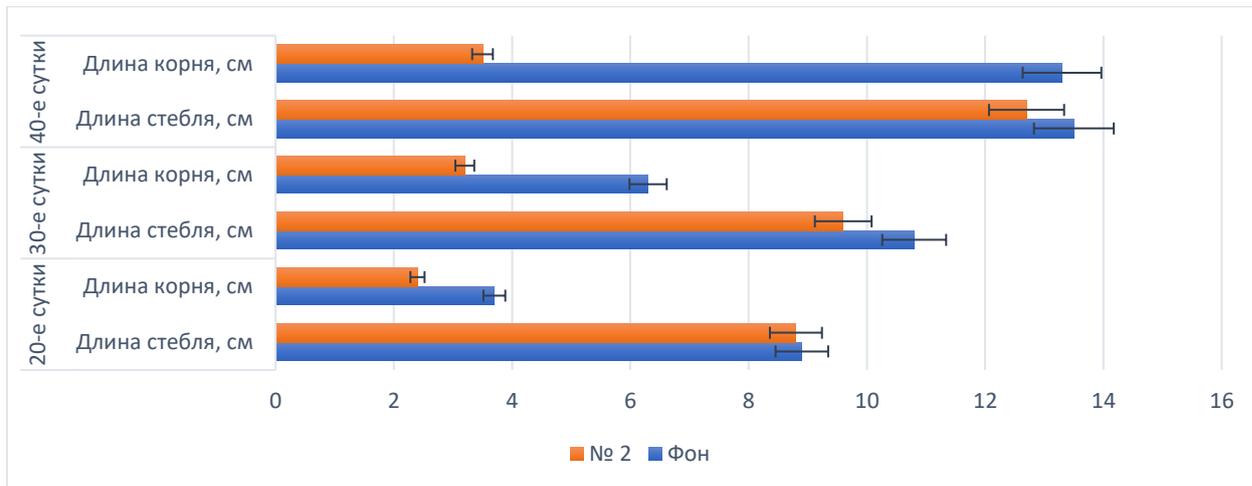


Рисунок 5.2.2 Динамика роста плевела многолетнего (*Lolium perenne*): источник Н. Тотубаева [451].

Так, на 40-е сутки эксперимента длина корня у плевела многолетнего (*Lolium perenne*) была длинее в 2,4 раза, а длина стебля - в 8,1 раз, чем у овсяницы валлиской (*Festuca valesiaca* Gaudin). Однако на 40-е сутки рост фоновых растений по всем параметрам преобладал по сравнению с загрязненными образцами, что подтверждает о фитотоксическом действии нефтепродуктов. Но, несмотря на то, что длина корня в фоновом образце была на 9,8 раз длинее по сравнению с изучаемым вариантом, испытываемые растения и на нефтезагрязненной почве были устойчивы и проявляли способность произрастать (рисунок 5.2.3).

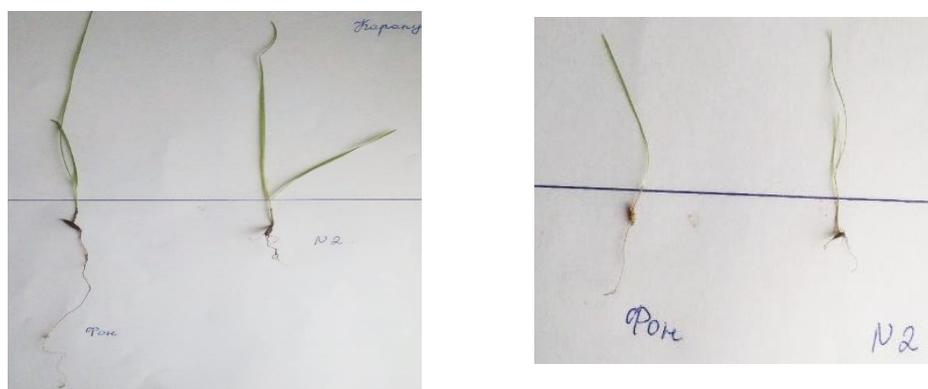


Рисунок 5.2.3 Рост тест-объектов на изучаемых образцах: источник Н. Тотубаева [451].

Возможно испытываемые растения, уже произрастая в суровых климатических зонах высокогорья, выработали стрессоустойчивые способности, которые успешно могут быть использованы в фиторемедиации нефтезагрязненных грунтов. Биологическое разнообразие растительного покрова также способствует способности поддерживать устойчивую экосистему в почве, что усиливает её регенеративные свойства и стрессоустойчивость к неблагоприятным условиям, таким как засуха, резкие температурные колебания или воздействие антропогенных факторов. В рамках исследования были также проведены эксперименты, направленные на улучшение свойств высокогорных пастбищ, подвергшихся деградации вследствие перевыпаса скота. Результаты показали, что применение методов растительного восстановления способствовало укреплению почвенного покрова, улучшению

его физико-химических свойств и повышению устойчивости к эрозии. Восстановление растительности не только обеспечило повышение продуктивности пастбищ, но и создало предпосылки для их долгосрочной устойчивости и рационального использования” [460].

**Заключение.** Согласно [451]: “Организация мероприятий по реабилитации грунтов загрязненных нефтепродуктами в высокогорных золотодобывающих предприятиях позволяет снизить объемы полигона опасных отходов изъятием из него нефтегаззагрязненных грунтов, что может внести существенный вклад в устойчивое развитие высокогорного региона. Использование метода фиторемедиации на завершающем этапе очистки грунтов загрязненных 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 нефтяного загрязнения почв на рост и произрастание растений. Однако, на 20-е сутки произрастания отмечался стимулирующий эффект нефтяного загрязнения 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, высокогорные растения, такие как овсяница валлисская (*Festuca valesiaca* Gaudin) и плевел многолетний (*Lolium perenne*) проявляли способность произрастать на загрязненном нефтепродуктами грунте, что важно для улучшения газовой воздушной среды нефтезагрязненного грунта и улучшения его самоочищающей способности. Таким образом, метод фиторемедиации с использованием плевела многолетнего (*Lolium perenne*) и овсяницы валлисской (*Festuca valesiaca* Gaudin), типичных представителей высокогорья, способных произрастать на высоте 3000-4200 м.н.у.м и проявившие устойчивость произрастать при определенном уровне нефтяного загрязнения могут быть использованы для реабилитации нефтезагрязненных грунтов на завершающем этапе их очистки

и требует продолжения исследований по изучению изменения физиологических свойств этих высокогорных растений”.

### ***5.3 Метод фитотестирования для оценки снижения фитотоксичности слабозасоленных почв при добавлении компоста***

По данным опубликованным в статье [461]: “Кыргызская Республика горная страна, окруженная пустынями, с резким континентальным климатом, обладающая значительными площадями засоленных почв, характеризующихся от слабощелочных до щелочных значениями рН (7,2 – 8,9). В земледельческой зоне насчитывается более 500 тыс. га засоленных и около 450 тыс. га солонцеватых почв, значительная часть которых приходится на орошаемую пашню [462]. Засоленные почвы приводят к значительному снижению урожайности сельскохозяйственных культур, что отражается на благополучии местного населения, 50% которого занято в сельском хозяйстве и всего лишь 7% или около 1,2 млн.га земель считаются пахотными [463], однако имеется тенденция сокращения земель сельскохозяйственного назначения [464]. Предложены различные методы мелиорации слабозасоленных почв, в частности используются азотные и фосфорные удобрения, которые зачастую плохо усваиваются и отрицательно влияют на окружающую среду [465]. Ученые всего мира столкнулись с этой тревожной ситуацией и пытаются преодолеть ее путем поиска альтернативных источников, которые являются экономически эффективными и не будут обладать негативным влиянием на окружающую среду [466]. Проблема остается весьма актуальной, требует дополнительных исследований и предложения новых методов улучшения состояния почв, прежде всего для снижения их фитотоксичности”.

Согласно опубликованным данным в статье [466]: “Материалом для исследований токсичности послужили почвы Чуйской области, которые

относятся к Северо-Кыргызской провинции - одному из наиболее засоленных регионов страны. Изучаемые почвы относятся к слабозасоленным, с низким содержанием гумуса (1,30%)”. Агрохимические показатели изучаемых почв приведены в табл. 5.3.1.

Таблица 5.3.1 - Агрохимические показатели изучаемых почв: источник Н. Тотубаева [468].

рН	8,20
Гумус (%)	1,30
Азот общий (%)	0,062
Фосфор общий (%)	0,131
Калий общий (%)	1,56
Емкость поглощения (мг-экв)	14,0
Поглощенный Na (мг-экв)	0,17

Согласно данным опубликованным в статье [468]: “Цель данного эксперимента заключалась в оценке улучшения агрохимических показателей слабозасоленных почв по развитию тест-растений методом экспрессного фитотестирования. В качестве почвоулучшителя использовали компост, полученный из твердых бытовых отходов (ТБО), который был инициирован и реализован проектом “Үч чака” [467], в ходе работы которого был организован сбор и компостирование ТБО, в качестве модельного объекта был взят многоэтажный дом в мкр.”Жал”, в эксперименте участвовало 12 квартир. За 6 месяцев проведенного эксперимента было накоплено 2430,8 кг пищевых отходов и получено 200 кг биокомпоста, было подсчитано, что из 12 кг пищевых отходов можно получить 1 кг чистого биокомпоста. Следовательно, организовав рециклинг до попадания органических пищевых отходов в мусорный полигон возможно уменьшить объем выбрасываемых пищевых отходов в полигон ТБО города Бишкек и получать ценный биокомпост”.

Для эксперимента использовали сухой компост в дозе 30т/га; 45 т/га и 75 т/га и водный экстракт компоста [468]. В качестве стандартных тест-культур применяли кормовую репу (*Brassica rapa* L.) и овес посевной (*Avena sativa* L.). При выращивании тест-культур с добавлением сухого компоста в соотношении почвы на сухой компост 9:1; 6:1; 3:1. Использование сухого компоста в разных соотношениях не дали существенного улучшения ситуации (рисунок 5.3.1) .

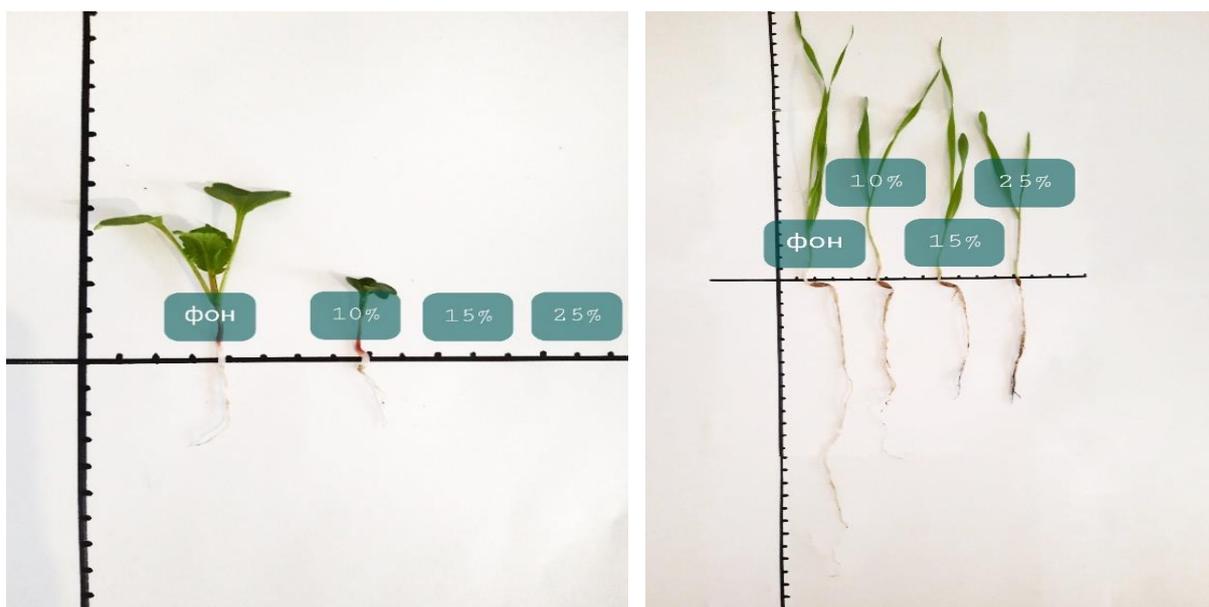


Рисунок 5.3.1 Рост тест-культур в слабозасоленной почве (Чуйская обл., Кыргызстан) с добавлением сухого компоста на 25-е сутки: а-кормовая репа *B. rapa*, б-овес посевной *A. Sativa*: источник Н. Тотубаева [468].

В образцах с сухим компостом семена *B. rapa* не дали всходов, а рост культуры *A. sativa* был заметно угнетен по сравнению с контролем. Таким образом, не было отмечено положительного влияния сухого компоста. В то же время водные экстракты компоста заметно стимулировали развитие тест- культур (рисунок 5.3.2).



Рисунок 5.3.2 Рост тест-культур в слабозасоленной почве (Чуйская обл., Кыргызстан) с добавлением водного экстракта компоста на 25-е сутки: а- кормовая репа *V. rapa*, б-овес посевной *A. sativa*: источник Н. Тотубаева [468].

Положительный фитозэффект экстрактов наблюдался во всех вариантах, однако, наилучшее развитие растений отмечено при добавлении 20% водного экстракта компоста.

Таким образом, согласно полученным данным [468]: “...с помощью фитотестирования удалось сравнить фитозэффекты двух вариантов добавок к слабозасоленным почвам. Выявлено оптимальное воздействие при добавлении 20% водного экстракта компоста, которое было выражено в увеличением 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:** В главе 5 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. Проведенные исследования и полученные результаты показали, что нефтезагрязненный грунт 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 для покрытия. Организация компостирования твердых бытовых отходов (ТБО) также способствует уменьшению объема полигона и позволяет получить качественный мелиорант для засоленных почв.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Проведенное исследование выявило необходимость смены парадигмы ПДК и дополнение ее более информативными, интегрированными, комплексными методами и индикаторами оценки экологического состояния почвенных и водных экосистем. Это позволит определить экологические критерии состояния данных экосистем и установить приоритеты для управления и восстановления почвенных ресурсов с учетом местных особенностей и экологических потребностей.
2. Используемые в данном исследовании индексы, такие как коэффициент обогащения (EF), индекс геоаккумуляции (Igeo), коэффициент загрязнения (CF), степень загрязнения (Cd), индекс потенциального экологического риска (PER) и индекс экологического риска (RI), позволяют не только выявить загрязнение почв тяжелыми металлами, но и предоставляют информацию для разработки стратегий устойчивого развития и охраны окружающей среды.
3. Проведенные исследования позволили определить, что наиболее толерантными к загрязнению почвы нефтепродуктами оказались такие культуры как кукуруза сахарная (*Zéa máys*), овес посевной (*Avéna satíva*), горох посевной (*Lathyrus oleraceus*) и эспарцет посевной (*Onobrychis viciifolia*). Их всхожесть составила 88,3%, 85%, 67,86%, 55% соответственно. Это свидетельствует о том, что указанные виды могут быть использованы в фитоиндикации нефтезагрязненных почв и фиторекультивации супесчаной почвы при условии умеренного загрязнения нефтепродуктами.
4. Фитоиндикационные показатели облепихи крушиновидной (*Hipporhae rhamnoides* L.) могут быть использованы в качестве оперативных индикаторов степени нагрузки прибрежных экосистем. Они могут успешно использоваться для оценки экологического состояния прибрежных зон и разработки интегрального плана управления и использования таких экосистем. Определение указанных фитоиндикационных показателей является

оперативным, достоверным, относительно недорогим и может проводиться инспекторами экологических служб на месте в полевых условиях.

5. Предлагается внести изменения в национальную программу экологического мониторинга оз.Иссык-Куль, включая в ее состав определение показателя “*хлорофилл-а*” и индекса TLI. Кроме того, необходимо изменить тактику управления прибрежными экосистемами, установив неприкасаемые буферные зоны для сохранения качества и баланса саморегуляции озера Иссык-Куль, что обеспечит его устойчивое развитие.

6. Результаты исследования подчеркивают важность оценки уязвимости прибрежных экосистем с учетом специфических природно-климатических и социально-экономических условий каждой территории. Использование интегрального индекса уязвимости (ICVI) и позволяет учесть широкий спектр возможных негативных воздействий на прибрежные зоны. Основные направления экологически ориентированного планирования землепользования на проектируемой прибрежной территории предполагают создание пространственной взаимосвязи между параметрами социально-экономического развития территории и экологическим потенциалом, что является ключевым для достижения долгосрочного устойчивого развития.

7. Организация мероприятий по реабилитации грунтов, загрязненных нефтепродуктами, на высокогорных золотодобывающих предприятиях способствует снижению объемов полигона опасных отходов за счет извлечения нефтезагрязненных грунтов. Это может значительно способствовать устойчивому развитию высокогорного региона. В условиях, холодных климатических зон, при котором функционирует Кумтор Голд Компани метод биостимулирования оказался наиболее эффективным. Очищенные грунты могут быть классифицированы как инертные промышленные отходы IV класса опасности. После рекультивации эти грунты могут быть использованы при послойной засыпке в качестве изолирующего и рекультивационного слоя на территории рудника.

8. Метод фиторемедиации с использованием плевела многолетнего (*Lolium perenne*) и овсяницы валлисской (*Festuca valesiaca* Gaudin), типичных представителей высокогорья, способных произрастать на высоте 3000-4200 м.н.у.м и проявляющих устойчивость к определенному уровню нефтяного загрязнения, может быть эффективно применен для реабилитации нефтезагрязненных грунтов на завершающем этапе их очистки. Использование данного метода в условиях высокогорья, на высоте свыше 3500 м.н.у.м., является актуальным как с экологической, так и с экономической точек зрения. Он не только способствует восстановлению экосистемы, но и позволяет снизить ремедиационные затраты.

## **ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ**

Предложено внести изменения в национальную программу экологического мониторинга озера Иссык-Куль, включая в ее состав определение показателя "хлорофилл-а" и индекса TLI.

Разработана информационная система экологического мониторинга (ИСЭМ) озера Иссык-Куль, которая применяется региональным органом управления в сфере охраны окружающей среды.

Созданы интегрированные эколого-экономические показатели для оценочно-картографических моделей территорий, подвергающихся высокой антропогенной нагрузке. Предлагается использовать интегральный индекс уязвимости (ICVI), который позволяет учесть широкий спектр возможных негативных воздействий на прибрежные зоны.

Разработан метод ремедиации грунтов, загрязненных нефтепродуктами, для условий высокогорья и холодных климатических зон рудника Кумтор. Метод биостимулирования оказался наиболее эффективным и целесообразным. После рекультивации данные грунты рекомендованы для использования в качестве изолирующего и рекультивационного слоя при послойной засыпке на территории рудника.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Доклад конференции Организации объединенных наций по проблемам окружающей человека среды/ Стокгольм, 5-16 июня 1972 года.-91с.-1972.
- [2] Наше общее будущее: доклад Всемирной комиссии по вопросам окружающей среды и развития // Развитие и международное экономическое сотрудничество: проблемы окружающей среды / Г.Х. Брундтланд [и др.]; Организация Объединенных Наций. 04.08.1987. URL: <https://www.un.org/ru/ga/pdf/brundtland.pdf>
- [3] Hush E. R. The Valuation of Ecosystem Services in International Investment Arbitration //Environmental Claims Journal. – 2018. – Т. 30. – №. 4. – С. 273-301.
- [4] Fischer M. et al. Sustainable business: managing the challenges of the 21st century. – Springer Nature, 2023. – С. 142.
- [5] United Nations Department of Economic and Social Affairs (UN DESA). 2022i. The Sustainable Development Goals Report 2022 New York, UN DESA
- [6] Черданцев П. В., Зотов А. В., Медведев А. А. Устойчивое развитие агропромышленного комплекса в условиях цифровизации //Московский экономический журнал. – 2022. – №. 12. – С. 239-249.
- [7] Walsh P. P., Banerjee A., Murphy E. The UN 2030 agenda for sustainable development //Partnerships and the Sustainable Development Goals. – Cham : Springer International Publishing, 2022. – С. 1-12.
- [8] Steffen W. et al. The trajectory of the Anthropocene: the great acceleration //The anthropocene review. – 2015. – Т. 2. – №. 1. – С. 81-98.
- [9] United Nations (UN), Sustainable Development Goals (SDGs). [www.un.org/sustainabledevelopment/sustainable-development-goals/](http://www.un.org/sustainabledevelopment/sustainable-development-goals/). Accessed on: 28 Jul. 2019.
- [10] Sachs S. D. G. I. et al. Transforming Food and Land systems to achieve the SDGs. – 2024.
- [11] Economic and Social Council. Committee on Economic, Social and Cultural rights report on the thirty-sixth and thirty-seventh sessions, 1-19 May 2006, 6-24 November 2006.-156p.-2006
- [12] Limon M. United Nations recognition of the universal right to a clean, healthy and sustainable environment: An eyewitness account //Review of European, Comparative & International Environmental Law. – 2022. – Т. 31. – №. 2. – С. 155-170.
- [13] Desai B. H. The 2022 Stockholm+ 50 Moment in the Era of a Planetary Crisis: Some Lessons for the Scholars and the Decision-makers //Environmental Policy and Law. – 2023. – Т. 53. – №. 1. – С. 3-18.
- [14] Hayden A., Gaudet C., Wilson J. (ed.). Towards Sustainable Well-being: Moving Beyond GDP in Canada and the World. – University of Toronto Press, 2022.
- [15] van Vuuren D. P. et al. Defining a sustainable development target space for 2030 and 2050 //One Earth. – 2022. – Т. 5. – №. 2. – С. 142-156.
- [16] Liu J. et al. Sustainability. Systems integration for global sustainability

- //Science (New York, NY). – 2015. – T. 347. – №. 6225. – C. 1258832-1258832.
- [17] Andrijevic M. et al. Governance in socioeconomic pathways and its role for future adaptive capacity //Nature Sustainability. – 2020. – T. 3. – №. 1. – C. 35-41.
- [18] O’Neill D. W. et al. A good life for all within planetary boundaries //Nature sustainability. – 2018. – T. 1. – №. 2. – C. 88-95.
- [19] Persson L. et al. Outside the safe operating space of the planetary boundary for novel entities //Environmental science & technology. – 2022. – T. 56. – №. 3. – C. 1510-1521.
- [20] Teurlincx S. et al. A perspective on water quality in connected systems: modelling feedback between upstream and downstream transport and local ecological processes //Current Opinion in Environmental Sustainability. – 2019. – T. 40. – C. 21-29.
- [21] Vallecillo S. et al. Ecosystem services accounts: Valuing the actual flow of nature-based recreation from ecosystems to people //Ecological Modelling. – 2019. – T. 392. – C. 196-211.
- [22] Sureth M. et al. A welfare economic approach to planetary boundaries //Jahrbücher für Nationalökonomie und Statistik. – 2023. – T. 243. – №. 5. – C. 477-542.
- [23] Kroeze C. et al. The links between global carbon, water and nutrient cycles in an urbanizing world—the case of coastal eutrophication //Current Opinion in Environmental Sustainability. – 2013. – T. 5. – №. 6. – C. 566-572.
- [24] Caspersen O. H., Konijnendijk C. C., Olafsson A. S. Green space planning and land use: An assessment of urban regional and green structure planning in Greater Copenhagen //Geografisk Tidsskrift-Danish Journal of Geography. – 2006. – T. 106. – №. 2. – C. 7-20.
- [25] Granek E. F. et al. Ecosystem services as a common language for coastal ecosystem-based management //Conservation Biology. – 2010. – T. 24. – №. 1. – C. 207-216.
- [26] Rockström J. et al. Planetary boundaries: exploring the safe operating space for humanity //Ecology and society. – 2009. – T. 14. – №. 2.
- [27] Steffen W. et al. Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet //science. – 2015. – T. 347. – №. 6223. – C. 1259855.
- [28] Chen S. et al. Knowledge mapping of planetary boundaries based on bibliometrics analysis //Environmental Science and Pollution Research. – 2022. – T. 29. – №. 45. – C. 67728-67750.
- [29] Zhang S., Zhu D. Incorporating “relative” ecological impacts into human development evaluation: Planetary Boundaries–adjusted HDI //Ecological Indicators. – 2022. – T. 137. – C. 108786.
- [30] Zhang M. et al. Index system of urban resource and environment carrying capacity based on ecological civilization //Environmental Impact Assessment Review. – 2018. – T. 68. – C. 90-97.
- [31] Zambrano-Monserrate M. A. et al. Global ecological footprint and spatial

- dependence between countries //Journal of environmental management. – 2020. – Т. 272. – С. 111069.
- [32] Lade S. J. et al. Human impacts on planetary boundaries amplified by Earth system interactions //Nature sustainability. – 2020. – Т. 3. – №. 2. – С. 119-128.
- [33] Johnson M. P., Schaltegger S. Two decades of sustainability management tools for SMEs: How far have we come? //Journal of small business management. – 2016. – Т. 54. – №. 2. – С. 481-505.
- [34] Dupont V. et al. The Role of Quota Systems in Realising Planetary Boundaries //Journal of Environmental Law. – 2024. – С. eqae014.
- [35] Whiteman G., Walker B., Perego P. Planetary boundaries: Ecological foundations for corporate sustainability //Journal of management studies. – 2013. – Т. 50. – №. 2. – С. 307-336.
- [36] Çelik M. A. Ekolojik Sorunların Analizinde Yeni Bir Yaklaşım: Planeter Sınırlar //Coğrafya Dergisi. – 2022. – №. 45. – С. 85-95.
- [37] Осипов В.И. Устойчивое развитие. Экологический аспект // Вестник Российской академии наук. 2019. Т. 89, № 7. С. 718–727. DOI: 10.31857/S0869-5873897718-727
- [38] Jabot R. For an accounting translation of the Anthropocene: fuelling the debate on planetary boundaries //Sustainability Accounting, Management and Policy Journal. – 2023. – Т. 14. – №. 1. – С. 21-48.
- [39] Downing A. S. et al. Matching scope, purpose and uses of planetary boundaries science //Environmental Research Letters. – 2019. – Т. 14. – №. 7. – С. 073005.
- [40] Рожков М. Индексы и индикаторы устойчивого развития как элемента качества жизни населения Российской Федерации // Статистика и экономика. №2.- с.113-117.-2015
- [41] Nations U. Agenda 21 Unit-ed Nations Conference on Environ-ment & Development Rio de Janeiro. – 1992.
- [42] Тарасова Н. П., Кручина Е. Б. Индексы и Индикаторы Устойчивого Развития/ Устойчивое развитие: ресурсы России. Под общей редакцией академика РАН Н.П. Лаверова. М.-с 43–76.-2004
- [43] ООН. Резолюция 68/261. Система глобальных показателей достижения целей в области устойчивого развития и выполнения задач Повестки дня в области устойчивого развития на период до 2030 года.- 2024
- [44] ООН. Генеральная Ассамблея. A/RES/71/313. Работа Статистической комиссии, связанная с деятельностью по осуществлению Повестки дня в области устойчивого развития на период до 2030 года от 6 июля 2017г.-2017.
- [45] Независимая группа ученых, назначенных Генеральным секретарем. Будущее уже наступило: наука на службе устойчивого развития. Доклад об устойчивом развитии в мире, 2019 год (Организация Объ- единенных Наций, Нью-Йорк, 2020).
- [46] Verteramo S., Raffaele D., Corvello V. Organizing an Innovation Ecosystem by Integrating Customers and Start-Ups: The NTT-Data Open Innovation Contest Case //The International Research & Innovation Forum. – Cham :

- Springer International Publishing, 2023. – С. 85-94.
- [47] Clapp J. Global environmental governance for corporate responsibility and accountability //Global Environmental Politics. – 2005. – Т. 5. – №. 3. – С. 23-34.
- [48] The World in 2005. The Economist Intelligence Unit's quality-of-life index. Quality-of-life index.-2005
- [49] Westveer J. et al. A deep dive into the living planet index: A technical report. – 2022.
- [50] Collins A., Flynn A. The ecological footprint: New developments in policy and practice. – Edward Elgar Publishing, 2015.
- [51] Charfeddine L., Umlai M. ICT sector, digitization and environmental sustainability: A systematic review of the literature from 2000 to 2022 //Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2023. – Т. 184. – С. 113482.
- [52] Rosli N. S., Zulkifly S. Application of Index of Atmospheric Purity (IAP) along elevation gradients in Gunung Jerai, Kedah, Malaysia //Environmental Monitoring and Assessment. – 2022. – Т. 194. – №. 7. – С. 496.
- [53] Conti M. E., Cecchetti G. Biological monitoring: lichens as bioindicators of air pollution assessment—a review //Environmental pollution. – 2001. – Т. 114. – №. 3. – С. 471-492.
- [54] Byrne L. B., Szlavecz K. Multidimensionality of Biodiversity in Urban Social-Ecological Soil Systems //Routledge Handbook of Urban Biodiversity. – Routledge, 2023. – С. 154-171.
- [55] Sol V. M. et al. Integrated environmental index for application in land-use zoning //Environmental Management. – 1995. – Т. 19. – С. 457-467.
- [56] Pineo H. et al. Urban health indicator tools of the physical environment: a systematic review //Journal of urban health. – 2018. – Т. 95. – С. 613-646.
- [57] Shen L., Kyllö J. M., Guo X. An integrated model based on a hierarchical indices system for monitoring and evaluating urban sustainability //Sustainability. – 2013. – Т. 5. – №. 2. – С. 524-559.
- [58] Экологическое нормирование и управление качеством почв и земель / Под общ. ред. С.А. Шобы, А.С. Яковлева, Н.Г. Рыбальского. – М.: НИИ-Природа, 2013. – 310 с.
- [59] Hermens J., Leeuwangh P. Joint toxicity of mixtures of 8 and 24 chemicals to the guppy (*Poecilia reticulata*) //Ecotoxicology and environmental safety. – 1982. – Т. 6. – №. 3. – С. 302-310.
- [60] Приходько В. Ю. Комплексная оценка состояния окружающей природной среды и экологической ситуации на основе экоиндикаторов //География и водные ресурсы. – 2015. – №. 3. – С. 29-37.
- [61] Chu L. K. The role of technological innovation and population aging in environmental degradation in the Organization for Economic Co-operation and Development countries //Environment, Development and Sustainability. – 2024. – Т. 26. – №. 1. – С. 735-773.
- [62] Braathen G. The greenhouse effect and climate change. – 2015.
- [63] Fan L. Q. et al. Improvement of grey clustering model for comprehensive assessment of environmental quality: A case study in water environment //Advanced Materials Research. – 2012. – Т. 356. – С. 2222-2227.

- [64] Zhang C., Sihui D. A new water quality assessment model based on projection pursuit technique //Journal of Environmental Sciences. – 2009. – Т. 21. – С. S154-S157.
- [65] Vanham D. et al. Environmental footprint family to address local to planetary sustainability and deliver on the SDGs //Science of the Total Environment. – 2019. – Т. 693. – С. 133642.
- [66] Milan M. et al. Can ecological history influence response to pollutants? Transcriptomic analysis of Manila clam collected in different Venice lagoon areas and exposed to heavy metal //Aquatic Toxicology. – 2016. – Т. 174. – С. 123-133.
- [67] Chandran K. S., Perumalsamy M. Effect of Environmental Pollutants on Taste Composition Based on Electroencephalography Signal Analysis in an Indoor Environment //Ekoloji Dergisi. – 2018. – №. 106.
- [68] Korosi J. B. et al. Paleo-ecotoxicology: what can lake sediments tell us about ecosystem responses to environmental pollutants? //Environmental Science & Technology. – 2017. – Т. 51. – №. 17. – С. 9446-9457.
- [69] Kok A. C. M. et al. How chronic anthropogenic noise can affect wildlife communities //Frontiers in Ecology and Evolution. – 2023. – Т. 11. – С. 1130075.
- [70] Кориневская В.Ю. Экологическая экспресс-оценка качества городской среды // Вісник Одеського державного екологічного університету. – 2010. – Вип. 9. – С. 41-48.
- [71] Guinée J. B. et al. Life cycle assessment: past, present, and future. – 2011.
- [72] Aven T. Risk assessment and risk management: Review of recent advances on their foundation //European journal of operational research. – 2016. – Т. 253. – №. 1. – С. 1-13.
- [73] Duarte C., Lorenzo T., Reboleira A. S. Environmental risk of diclofenac sodium in European groundwaters: implications for setting environmental quality standards. – 2024.
- [74] Baas J., Kooijman B. Chemical contamination and the ecological quality of surface water //Environmental pollution. – 2010. – Т. 158. – №. 5. – С. 1603-1607.
- [75] Kalf D. F., Crommentuijn T., van de Plassche E. J. Environmental quality objectives for 10 polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) //Ecotoxicology and environmental safety. – 1997. – Т. 36. – №. 1. – С. 89-97.
- [76] Vodyanitskii Y. N. Standards for the contents of heavy metals in soils of some states //Annals of agrarian science. – 2016. – Т. 14. – №. 3. – С. 257-263.
- [77] Critto A. et al. Development of a site-specific ecological risk assessment for contaminated sites: Part I. A multi-criteria based system for the selection of ecotoxicological tests and ecological observations //Science of the total environment. – 2007. – Т. 379. – №. 1. – С. 16-33.
- [78] Gladkov E. A., Gladkova O. V. Plants and maximum permissible concentrations of heavy metals in soil. – 2021.
- [79] Wagner C., Løkke H. Estimation of ecotoxicological protection levels from NOEC toxicity data //Water Research. – 1991. – Т. 25. – №. 10. – С. 1237-1242.

- [80] Crommentuijn T. et al. Maximum permissible and negligible concentrations for some organic substances and pesticides //Journal of Environmental Management. – 2000. – Т. 58. – №. 4. – С. 297-312.
- [81] Yang G. et al. Soil ecological risk assessment of ten industrial areas in China based on the TRIAD and VIKOR methods //Ecological Indicators. – 2024. – Т. 166. – С. 112270.
- [82] Gutiérrez L. et al. Application of ecological risk assessment based on a novel TRIAD-tiered approach to contaminated soil surrounding a closed non-sealed landfill //Science of the Total Environment. – 2015. – Т. 514. – С. 49-59.
- [83] Pukalchik M. A. et al. Comparison of eluate and direct soil bioassay methods of soil assessment in the case of contamination with heavy metals //Eurasian soil science. – 2019. – Т. 52. – С. 464-470.
- [84] Li M. S. et al. Comparisons of some common methods for water environmental quality assessment //Progress in Geography. – 2012. – Т. 31. – №. 5. – С. 617-624.
- [85] Yang J. et al. Hydrological modelling of the Chaohe Basin in China: Statistical model formulation and Bayesian inference //Journal of Hydrology. – 2007. – Т. 340. – №. 3-4. – С. 167-182.
- [86] Ji X., Dahlgren R. A., Zhang M. Comparison of seven water quality assessment methods for the characterization and management of highly impaired river systems //Environmental monitoring and assessment. – 2016. – Т. 188. – С. 1-16.
- [87] Boyacioglu H. Utilization of the water quality index method as a classification tool //Environmental monitoring and assessment. – 2010. – Т. 167. – С. 115-124.
- [88] Mukate S. et al. Development of new integrated water quality index (IWQI) model to evaluate the drinking suitability of water //Ecological indicators. – 2019. – Т. 101. – С. 348-354.
- [89] Gómez-Baggethun E. et al. The history of ecosystem services in economic theory and practice: From early notions to markets and payment schemes //Ecological economics. – 2010. – Т. 69. – №. 6. – С. 1209-1218.
- [90] Costanza R. et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital //nature. – 1997. – Т. 387. – №. 6630. – С. 253-260.
- [91] Конюшков Д. Е. Формирование и развитие концепции экосистемных услуг: обзор зарубежных публикаций //Бюллетень Почвенного института им. ВВ Докучаева. – 2015. – №. 80. – С. 26-49.
- [92] Cowling R. M. et al. An operational model for mainstreaming ecosystem services for implementation //Proceedings of the National Academy of Sciences. – 2008. – Т. 105. – №. 28. – С. 9483-9488.
- [93] De Groot R. S. et al. Challenges in integrating the concept of ecosystem services and values in landscape planning, management and decision making //Ecological complexity. – 2010. – Т. 7. – №. 3. – С. 260-272.
- [94] Dalin C., Rodríguez-Iturbe I. Environmental impacts of food trade via resource use and greenhouse gas emissions //Environmental Research Letters. – 2016. – Т. 11. – №. 3. – С. 035012.

- [95] Galli A. et al. Integrating ecological, carbon and water footprint into a “footprint family” of indicators: definition and role in tracking human pressure on the planet //Ecological indicators. – 2012. – T. 16. – C. 100-112.
- [96] Wiedmann T., Lenzen M. Environmental and social footprints of international trade //Nature geoscience. – 2018. – T. 11. – №. 5. – C. 314-321.
- [97] Mekonnen M. M., Gerbens-Leenes P. W., Hoekstra A. Y. Future electricity: The challenge of reducing both carbon and water footprint //Science of the total environment. – 2016. – T. 569. – C. 1282-1288.
- [98] Peña L. V. D. L. et al. Towards a comprehensive sustainability methodology to assess anthropogenic impacts on ecosystems: Review of the integration of Life Cycle Assessment, Environmental Risk Assessment and Ecosystem Services Assessment //Science of the Total Environment. – 2022. – T. 808. – C. 152125.
- [99] Abaza H., Bisset R., Sadler B. Environmental impact assessment and strategic environmental assessment: towards an integrated approach. – UNEP/Earthprint, 2004.
- [100] Glasson J., Salvador N. N. B. EIA in Brazil: a procedures–practice gap. A comparative study with reference to the European Union, and especially the UK //Environmental Impact Assessment Review. – 2000. – T. 20. – №. 2. – C. 191-225.
- [101] Bilgin A. Analysis of the Environmental Impact Assessment (EIA) Directive and the EIA decision in Turkey //Environmental Impact Assessment Review. – 2015. – T. 53. – C. 40-51.
- [102] Al Azri N., Al Busiadi R., Sulaiman H. Evaluation of environmental impact assessment (EIA) systems in GCC states through performance criteria //APCBEE procedia. – 2013. – T. 5. – C. 296-305.
- [103] Toro J., Requena I., Zamorano M. Environmental impact assessment in Colombia: Critical analysis and proposals for improvement //Environmental Impact Assessment Review. – 2010. – T. 30. – №. 4. – C. 247-261.
- [104] Toro J. et al. A qualitative method proposal to improve environmental impact assessment //Environmental Impact Assessment Review.– 2013.–T. 43.– C. 9-20.
- [105] Wood C. Environmental impact assessment in Victoria: Australian discretion rules EA! //Journal of Environmental Management. – 1993. – T. 39. – №. 4. – C. 281-295.
- [106] Foley M. M. et al. The challenges and opportunities in cumulative effects assessment //Environmental Impact Assessment Review. – 2017. – T. 62. – C. 122-134.
- [107] Contant C. K., Wiggins L. L. Defining and analyzing cumulative environmental impacts. – 1991.
- [108] Alshuwaikhat H. M. Strategic environmental assessment can help solve environmental impact assessment failures in developing countries //Environmental impact assessment review. – 2005. – T. 25. – №. 4. – C. 307-317.
- [109] Foley M. M. et al. Using ecological thresholds to inform resource management: current options and future possibilities //Frontiers in Marine Science. – 2015. – T. 2. – C. 95.

- [110] Dickert T. G., Tuttle A. E. Cumulative impact assessment in environmental planning: A coastal wetland watershed example //Environmental Impact Assessment Review. – 1985. – Т. 5. – №. 1. – С. 37-64.
- [111] Therivel R., Ross B. Cumulative effects assessment: does scale matter? //Environmental impact assessment review. – 2007. – Т. 27. – №. 5. – С. 365-385.
- [112] Willsted E. et al. Assessing the cumulative environmental effects of marine renewable energy developments: Establishing common ground //Science of the Total Environment. – 2017. – Т. 577. – С. 19-32.
- [113] Shammi M. et al. From environmental impact assessment to strategic environmental assessment in Bangladesh: Evolution, perspective, governance and challenges //Environmental Impact Assessment Review. – 2022. – Т. 97. – С. 106890.
- [114] González A. et al. Advancing practice relating to SEA alternatives //Environmental Impact Assessment Review. – 2015. – Т. 53. – С. 52-63.
- [115] Therivel R., González A. Is SEA worth it? Short-term costs v. long-term benefits of strategic environmental assessment //Environmental Impact Assessment Review. – 2020. – Т. 83. – С. 106411.
- [116] Lobos V., Partidario M. Theory versus practice in strategic environmental assessment (SEA) //Environmental Impact Assessment Review. – 2014. – Т. 48. – С. 34-46.
- [117] Chen Z., Xie G. ESG disclosure and financial performance: Moderating role of ESG investors //International Review of Financial Analysis. – 2022. – Т. 83. – С. 102291.
- [118] Egorova A. A., Grishunin S. V., Karminsky A. M. The Impact of ESG factors on the performance of Information Technology Companies //Procedia Computer Science. – 2022. – Т. 199. – С. 339-345.
- [119] Huang Q. et al. Can Confucianism improve ESG performance? //Finance Research Letters. – 2024. – Т. 64. – С. 105462.
- [120] Eskantar M. et al. Navigating ESG complexity: An in-depth analysis of sustainability criteria, frameworks, and impact assessment //International Review of Financial Analysis. – 2024. – С. 103380.
- [121] He W. et al. Message propagation in ad-hoc-based proximity mobile social networks //2010 8th IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications Workshops (PERCOM Workshops). – IEEE, 2010. – С. 141-146.
- [122] Luo T., Cheng Z., Ma H. Impact of Land-Use Intensification on the Development of Sustainable Agricultural Green Innovation Technology //Journal of the Knowledge Economy. – 2024. – С. 1-35.
- [123] OECD. Towards green growth. 2021. doi: 10.1787/4f97f5ed-en.
- [124] Toro-Troconis M., Inzolia Y., Ahmad N. Exploring attitudes towards embedding education for sustainable development in curriculum design //International Journal of Higher Education. – 2023. – Т. 12. – №. 4. – С. 42-54.
- [125] Глобальная стратегия безопасности ЕС 2016. Аналитический доклад [Сетевое издание] / Под ред. Н.К. Арбатовой, А.М. Кокеева – М.: ИМЭМО РАН, 2017.

- [126] МБТ: Skills for green jobs: A global view (Женева, 2011 г.); Европейский центр развития профессиональной подготовки (CEDEFOP): Skills for green jobs, Европейский сводный доклад (Фессалоники, 2010 г.); доступно по адресу [http://www.ilo.org/skills/projects/WCMS\\_140837/lang--en/index.htm](http://www.ilo.org/skills/projects/WCMS_140837/lang--en/index.htm).
- [127] ОБСЕ. На пути к справедливому энергетическому переходу в Центральной Азии Ключевая роль женщин в энергетике. 2024.
- [128] Bassen A. et al. Healthy living on a healthy planet. – 2023.
- [129] Pérez C. Technological change and opportunities for development as a moving target. – United Nations Conference on Trade and Development, 1999.
- [130] Keller W. International technology diffusion //Journal of economic literature. – 2004. – Т. 42. – №. 3. – С. 752-782.
- [131] Ruttan V. W., Hayami Y. Technology transfer and agricultural development //Technology and Culture. – 1973. – Т. 14. – №. 2. – С. 119-151.
- [132] House T. W. National bioeconomy blueprint, April 2012 //Industrial Biotechnology. – 2012. – Т. 8. – №. 3. – С. 97-102.
- [133] Speck S., Zoboli R. The green economy in Europe: In search for a successful transition //Green economy reader: lectures in ecological economics and sustainability. – 2017. – С. 141-160.
- [134] Growth within: a circular economy vision for a competitive Europe, report by the Ellen MacArthur Foundation, the McKinsey Centre for Business and Environment and the Stiftungsfonds für Umweltökonomie und Nachhaltigkeit (SUN), June 2015.
- [135] Murray A., Skene K., Haynes K. The circular economy: an interdisciplinary exploration of the concept and application in a global context //Journal of business ethics. – 2017. – Т. 140. – С. 369-380.
- [136] Kunapatarawong R., Martínez-Ros E. Towards green growth: how does green innovation affect employment? //Research policy. – 2016. – Т. 45. – №. 6. – С. 1218-1232.
- [137] Lukas E. N. Green economy for sustainable development and poverty eradication //European Center for Science Education and Research. – 2015. – Т. 11. – С. 403.
- [138] Loiseau E. et al. Green economy and related concepts: An overview //Journal of cleaner production. – 2016. – Т. 139. – С. 361-371.
- [139] D'amato D., Korhonen J. Integrating the green economy, circular economy and bioeconomy in a strategic sustainability framework //Ecological Economics. – 2021. – Т. 188. – С. 107143.
- [140] Broman G. I., Robèrt K. H. A framework for strategic sustainable development //Journal of cleaner production. – 2017. – Т. 140. – С. 17-31.
- [141] UNDESA, “Exploring Green Economy Principles,” *A Guideb. to Green Econ.*, no. 2, pp. 1–23, 2012.
- [142] Jänicke M. “Green growth”: From a growing eco-industry to economic sustainability //Energy policy. – 2012. – Т. 48. – С. 13-21.
- [143] Hekkert M. P. et al. Functions of innovation systems: A new approach for analysing technological change //Technological forecasting and social change.

- 2007. – Т. 74. – №. 4. – С. 413-432.
- [144] Boons F., Lüdeke-Freund F. Business models for sustainable innovation: state-of-the-art and steps towards a research agenda //Journal of Cleaner production. – 2013. – Т. 45. – С. 9-19.
- [145] Boons F. et al. Sustainable innovation, business models and economic performance: an overview //Journal of cleaner production. – 2013. – Т. 45. – С. 1-8.
- [146] Yang X. et al. Effect of government subsidies on renewable energy investments: The threshold effect //Energy Policy. – 2019. – Т. 132. – С. 156-166.
- [147] Wilson C. Disruptive low-carbon innovations //Energy Research & Social Science. – 2018. – Т. 37. – С. 216-223.
- [148] Sarason Y., Dean T., Dillard J. F. Entrepreneurship as the nexus of individual and opportunity: A structuration view //Journal of business venturing. – 2006. – Т. 21. – №. 3. – С. 286-305.
- [149] Hang C. C., Garnsey E., Ruan Y. Opportunities for disruption //Technovation. – 2015. – Т. 39. – С. 83-93.
- [150] Yu D., Hang C. C. Creating technology candidates for disruptive innovation: Generally applicable R&D strategies //Technovation. – 2011. – Т. 31. – №. 8. – С. 401-410.
- [151] ООН. Экономический и Социальный Совет. E/CN.16/2017/2. Новые инновационные подходы к поддержке процесса достижения целей в области устойчивого развития. 27 февраля 2017.
- [152] Pandey N., de Coninck H., Sagar A. D. Beyond technology transfer: Innovation cooperation to advance sustainable development in developing countries //Wiley Interdisciplinary Reviews: Energy and Environment. – 2022. – Т. 11. – №. 2. – С. e422.
- [153] Yuan Y. M. Greening Cities Experiences //4th International Conference on Innovation and Entrepreneurship (ICIE) Conference Location Toronto, Canada. – Acad conferences LTD Location NR READING, 2016. – С. 286-294.
- [154] Radhakrishnan S. Environmental implications of reuse and recycling of packaging //Environmental footprints of packaging. – 2016. – С. 165-192.
- [155] Lottermoser B. G. Recycling, reuse and rehabilitation of mine wastes //Elements. – 2011. – Т. 7. – №. 6. – С. 405-410.
- [156] Ait-khouia Y. et al. Moving towards sustainable mine waste rock management through automated mineral and geochemical analysis //Journal of Geochemical Exploration. – 2023. – Т. 248. – С. 107182.
- [157] Zine H. et al. Native plant diversity for ecological reclamation in Moroccan open-pit phosphate mines //Biodiversity Data Journal. – 2023. – Т. 11.
- [158] Moreno-González R. et al. Life cycle assessment of management/valorisation practices for metal-sludge from treatment of acid mine drainage //Environmental Impact Assessment Review. – 2023. – Т. 99. – С. 107038.
- [159] Maest A. S. Remining for renewable energy metals: a review of characterization needs, resource estimates, and potential environmental effects

- //Minerals. – 2023. – T. 13. – №. 11. – C. 1454.
- [160] Paleologos E. K. et al. Sustainability challenges of clean-energy critical minerals: copper and rare earths //Environmental Geotechnics. – 2024. – T. 40. – №. XXXX. – C. 1-13.
- [161] Lawrence J. E. et al. Recycled water for augmenting urban streams in mediterranean-climate regions: a potential approach for riparian ecosystem enhancement //Hydrological Sciences Journal. – 2014. – T. 59. – №. 3-4. – C. 488-501.
- [162] Brears R. C., Brears R. C. Developing the Circular Water Economy: Reuse and Recycle //Developing the Circular Water Economy. – 2020. – C. 65-83.
- [163] Mahayuddin S. A. et al. Assessment on the reuse and recycling of domestic solid waste in Malaysia //Geographia Technica. – 2020. – T. 15. – C. 74-82.
- [164] Finnveden G. et al. Recent developments in life cycle assessment //Journal of environmental management. – 2009. – T. 91. – №. 1. – C. 1-21.
- [165] Huang C. C., Ma H. W. A multidimensional environmental evaluation of packaging materials //Science of the Total Environment. – 2004. – T. 324. – №. 1-3. – C. 161-172.
- [166] Kleindorfer P. R., Singhal K., Van Wassenhove L. N. Sustainable operations management //Production and operations management. – 2005. – T. 14. – №. 4. – C. 482-492.
- [167] Neo H. F., Teo C. C., Goh J. X. 3R-IG: An Edutainment Approach to Reduce, Reuse and Recycle //Advanced Science Letters. – 2017. – T. 23. – №. 11. – C. 10492-10496.
- [168] Ekström K. M., Salomonson N. Reuse and recycling of clothing and textiles— A network approach //Journal of Macromarketing. – 2014. – T. 34. – №. 3. – C. 383-399.
- [169] Madsen J. et al. Mapping of Evidence on Sustainable Development Impacts that Occur in Life Cycles of Clothing: A Report to the Department for Environment, Food and Rural Affairs //Environmental Resources Management (ERM) Ltd. Defra, London. – 2007.
- [170] Morgan L. R., Birtwistle G. An investigation of young fashion consumers' disposal habits //International journal of consumer studies. – 2009. – T. 33. – №. 2. – C. 190-198.
- [171] Claudio L. Waste couture: Environmental impact of the clothing industry. – 2007.
- [172] Armstrong C. M. et al. Sustainable product-service systems for clothing: exploring consumer perceptions of consumption alternatives in Finland //Journal of Cleaner production. – 2015. – T. 97. – C. 30-39.
- [173] Fletcher K. Sustainable fashion and textiles: design journeys. – Routledge, 2013.
- [174] Debnath B., Roychowdhury P., Kundu R. Electronic Components (EC) reuse and recycling—a new approach towards WEEE management //Procedia Environmental Sciences. – 2016. – T. 35. – C. 656-668.
- [175] Kulińska E., Dendera–Gruszka M. Green cities—problems and solutions in Turkey //Transportation Research Procedia. – 2019. – T. 39. – C. 242-251.

- [176] Jim C. Y. Green-space preservation and allocation for sustainable greening of compact cities // *Cities*. – 2004. – Т. 21. – №. 4. – С. 311-320.
- [177] Chen Y. et al. Do larger cities enjoy better green space accessibility? Evidence from China // *Environmental Impact Assessment Review*. – 2024. – Т. 107. – С. 107544.
- [178] Aldous D. E. Challenges associated with green cities of the future // *III International Conference on Landscape and Urban Horticulture* 999. – 2011. – С. 27-36.
- [179] Chen W. Y., Wang D. T. Urban forest development in China: Natural endowment or socioeconomic product? // *Cities*. – 2013. – Т. 35. – С. 62-68.
- [180] Grzymała Z. Miasta ekologiczne—studia przypadków i perspektywy rozwoju // *Prace Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu*. – 2016. – №. 432. – С. 61-66.
- [181] Kumar S., Fullenkamp J. Analysis of European Union environmental directives and producer responsibility requirements // *International Journal of Services and Standards*. – 2005. – Т. 1. – №. 3. – С. 379-398.
- [182] Fei J. et al. Towards eco-city: the role of green innovation // *Energy Procedia*. – 2016. – Т. 104. – С. 165-170.
- [183] Debrah C. et al. Drivers for green cities development in developing countries: Ghanaian perspective // *International Journal of Construction Management*. – 2023. – Т. 23. – №. 6. – С. 1086-1096.
- [184] Chen C., Zhang H. Evaluation of green development level of Mianyang agriculture, based on the entropy weight method // *Sustainability*. – 2023. – Т. 15. – №. 9. – С. 7589.
- [185] Denisov M. N., Kavun K. P. Draft Russian classification for solid minerals: International format and national traditions // *resource*. – 2003. – Т. 2. – С. P3.
- [186] Millette K. Expert Input to the Post-2020 Global Biodiversity Framework: transformative actions on all drivers of biodiversity loss are urgently required to achieve the global goals by 2050. – CBD: Convention on Biological Diversity, 2022.
- [187] Кадомцева М. Е., Коростелев В. Г. Влияние глобальных климатических изменений на состояние мировых земельных ресурсов // *Устойчивое развитие мирового сельского хозяйства Сборник материалов Международной научно-практической конференции, посвященной*. – 2017. – С. 222-224.
- [188] Zucca C. et al. Toward an operational tool to integrate land degradation neutrality into land use planning: LUP4LDN // *Land Degradation & Development*. – 2024. – Т. 35. – №. 7. – С. 2489-2507.
- [189] Quillérou E. et al. Economics of land degradation (ELD) initiative: Broadening options for improved economic sustainability in Central Asia. Synthesis Report : дис. – Economics of Land Degradation (ELD) Initiative, 2016. [190] S. Bastidas Fegan, “The Sustainable Land Management Mainstreaming Tool-Decision Support for Mainstreaming and Scaling up Sustainable Land Management,” p. 48, 2019.

- [191] Harari N., Gavilano A., Liniger H. P. Where people and their land are safer: a compendium of good practices in disaster risk reduction. – 2017.
- [192] Thomas R. J., Quilléro E., Stewart N. The rewards of investing in sustainable land management : дис. – Economics of Land Degradation (ELD) Initiative, 2013.
- [193] Reed M. S. et al. Cross-scale monitoring and assessment of land degradation and sustainable land management: A methodological framework for knowledge management //Land Degradation & Development. – 2011. – Т. 22. – №. 2. – С. 261-271.
- [194] Lakatos E. S. et al. Conceptualizing core aspects on circular economy in cities //Sustainability. – 2021. – Т. 13. – №. 14. – С. 7549.
- [195] Sauvé S., Bernard S., Sloan P. Environmental sciences, sustainable development and circular economy: Alternative concepts for trans-disciplinary research //Environmental development. – 2016. – Т. 17. – С. 48-56.
- [196] MacArthur E. et al. Towards the circular economy //Journal of Industrial Ecology. – 2013. – Т. 2. – №. 1. – С. 23-44.
- [197] Frosch R. A., Gallopoulos N. E. Strategies for manufacturing //Scientific American. – 1989. – Т. 261. – №. 3. – С. 144-153.
- [198] Saidani M. et al. A taxonomy of circular economy indicators //Journal of Cleaner Production. – 2019. – Т. 207. – С. 542-559.
- [199] Bîrgovan A. L. et al. Enabling the circular economy transition in organizations: a moderated mediation model //International journal of environmental research and public health. – 2022. – Т. 19. – №. 2. – С. 677.
- [200] Camacho-Otero J., Boks C., Pettersen I. N. Consumption in the circular economy: A literature review //Sustainability. – 2018. – Т. 10. – №. 8. – С. 2758.
- [201] Kirchherr J. W. et al. Breaking the barriers to the circular economy. – 2017.
- [202] Morsetto P. Targets for a circular economy //Resources, conservation and recycling. – 2020. – Т. 153. – С. 104553.
- [203] Kunwar S. Circular Economy and Sustainable Development: A Systematic Literature Review. – 2023.
- [204] Bobylev S. N., Solovyeva S. V. Circular economy and its indicators for Russia //The world of new economy. – 2020. – Т. 14. – №. 2. – С. 63-72.
- [205] Моисеев Н. Н. Устойчивое развитие или стратегия переходного периода //ЭКОС-информ. – 1995. – Т. 3. – №. 4. – С. 45-56.
- [206] Kulišić B. et al. Positioning The Croatian Linear Bioeconomy Towards Sustainable And Circular Bioeconomy //2. međunarodna znanstvena konferencija Ekonomija razdvajanja= 2nd International Conference on the Economics of the Decoupling (ICED). – 2021. – С. 379-400.
- [207] Summit G. B. Expanding the Sustainable Bioeconomy–Vision and Way Forward //Communiqué of the Global Bioeconomy Summit 2020. – 2020. – С. 1-28.
- [208] FAO. Bioeconomy for sustainable food and agriculture// *Fao*. 2023 [Online]. Available: <https://www.fao.org/documents/card/en/c/cc6905en>
- [209] Endres H. J. Bioplastics //Biorefineries. – 2019. – С. 427-468.
- [210] Rohidi N. N., Othman S. A. Properties of irradiated bioplastic-a review //Proceedings of the 3rd International Conference on Green Environmental

- Engineering and Technology: IConGEET 2021, Penang, Malaysia. – Singapore : Springer Nature Singapore, 2022. – С. 161-169.
- [211] Neupane S. Improving Nursery Crop Production Using Sustainable Approaches for Disease Management : дис. – Tennessee State University, 2022.
- [212] Möller K., Schultheiß U. Chemical characterization of commercial organic fertilizers //Archives of Agronomy and Soil Science. – 2015. – Т. 61. – №. 7. – С. 989-1012.
- [213] Chew K. W. et al. Transformation of biomass waste into sustainable organic fertilizers //Sustainability. – 2019. – Т. 11. – №. 8. – С. 2266.
- [214] Osman A. I. et al. Reusing, recycling and up-cycling of biomass: A review of practical and kinetic modelling approaches //Fuel Processing Technology. – 2019. – Т. 192. – С. 179-202.
- [215] Bößner S., Johnson F. X., Shawoo Z. Governing the bioeconomy: What role for international institutions? //Sustainability. – 2020. – Т. 13. – №. 1. – С. 286.
- [216] MacKinnon K., Sobrevila C., Hickey V. Biodiversity, climate change, and adaptation: nature-based solutions from the World Bank portfolio. – The World Bank, 2008. – №. 46726. – С. 1-112.
- [217] Hilmi N. et al. Deep sea nature-based solutions to climate change //Frontiers in Climate. – 2023. – Т. 5. – С. 1169665.
- [218] Scheuer S., Haase D., Meyer V. Exploring multicriteria flood vulnerability by integrating economic, social and ecological dimensions of flood risk and coping capacity: from a starting point view towards an end point view of vulnerability //Natural hazards. – 2011. – Т. 58. – С. 731-751.
- [219] Tzoulas K. et al. A conceptual model of the social–ecological system of nature-based solutions in urban environments //Ambio. – 2021. – Т. 50. – С. 335-345.
- [220] Hilmi N. et al. Nature-based solutions, climate mitigation, biodiversity conservation //Frontiers in Climate. – 2023. – Т. 5. – С. 1308032.
- [221] Maes J., Jacobs S. Nature-based solutions for Europe's sustainable development //Conservation letters. – 2017. – Т. 10. – №. 1. – С. 121-124.
- [222] D'Amato D. et al. Green, circular, bio economy: A comparative analysis of sustainability avenues //Journal of cleaner production. – 2017. – Т. 168. – С. 716-734.
- [223] D'Amato D. Sustainability narratives as transformative solution pathways: Zooming in on the circular economy //Circular Economy and Sustainability. – 2021. – Т. 1. – №. 1. – С. 231-242.
- [224] Юргенс И. Ю., Ромов Р. Б. Зеленая» интеграция и формирование единого устойчивого пространства развития в формате ЕАЭС //Страховое право. – 2023. – №. 4-101. – С. 64-80.
- [225] PAGE. Инклюзивная «зеленая» экономика в КР: Обзорный отчет.-2017
- [226] ПРОГРАММА По переходу Кыргызской Республики к устойчивому развитию на 2013-2017 годы (Одобрена \_ постановлением Правительства КР от 30 апреля 2013 года № 218

- [227] Распоряжение Правительства КР от 19 февраля 2015 года № 48-р (Об утверждении Матрицы индикаторов мониторинга и оценки прогресса перехода КР к устойчивому развитию)
- [228] Национальный статистический комитет КР Институт статистических исследований и повышения квалификации 2019.
- [229] Постановление Правительства КР от 4 сентября 2015 года № 618" Об утверждении Программы продовольственной безопасности и питания в Кыргызской Республике на 2015-2017 годы"
- [230] КОНЦЕПЦИЯ зеленой экономики в Кыргызской Республике Кыргызстан - страна зеленой экономики (Утверждена постановлением Жогорку Кенеша КР от 28 июня 2018 года № 2532-VI
- [231] Постановление Жогорку Кенеша Кыргызской Республики от 28 июня 2018 года № 2532-VI Об утверждении Концепции Кыргызстан - страна зеленой экономики и мерах по внедрению принципов зеленой экономики в Кыргызской Республике
- [232] Указ Президента КР от 31 октября 2018 года УП № 221 О Национальной стратегии развития Кыргызской Республики на 2018-2040 годы
- [233] Национальная стратегия развития КР на 2018-2040 годы. Бишкек.-2018
- [234] Национальная стратегия устойчивого развития КР на период 2013-2017 годы (Утверждена Указом Президента КР от 21 января 2013 г. №11)
- [235] Статистика Целей устойчивого развития в КР. 2022.
- [236] FAO. 2022. Overview of land degradation neutrality (LDN) in Europe and Central Asia. Rome. <https://doi.org/10.4060/cb7986en>
- [237] КОНЦЕПЦИЯ зеленой экономики в Кыргызской Республике Кыргызстан - страна зеленой экономики (Утверждена постановлением Жогорку Кенеша КР от 28 июня 2018 года № 2532-VI)
- [238] Земельный кодекс Кыргызской Республики
- [239] Программа развития пастбищного хозяйства Кыргызской Республики на 2012-2015 годы (Утверждена постановлением Правительства КР от 10 февраля 2012 года №89)
- [240] Жеенбаева Ж. и С. Банерджи. Анализ политики в области миграции, окружающей среды и климата.-2022
- [241] Национальная программа развития Кыргызской Республики до 2026 года (Указ Президента Кыргызской Республики от 12 октября 2021 года № 435)
- [242] Khanamani A. et al. Assessing desertification by using soil indices //Arabian Journal of Geosciences. – 2017. – Т. 10. – С. 1-10.
- [243] Годовой отчет РЭЦЦА 2023.Бишкек.-2023
- [244] Государственное агентство охраны окружающей среды и лесного хозяйства при Правительстве Кыргызской Республики. НАЦИОНАЛЬНЫЙ ДОКЛАД КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКИ.-2020.
- [245] National Statistical Committee of the Kyrgyz Republic, Okruzhayushaya Sreda v Kyrgyzskoi Respublike 2016-2020: Statisticheskiy Sbornik (Environment in the Kyrgyz Republic 2018-2022: Statistical Compendium). 2023. [Online]. Available: <https://stat.gov.kg/ru/publications/sbornik->

okruzhayushaya-sreda-v-kyrgyzskoj-respublike/

- [246] Chisika S. N., Yeom C. Voluntary National Reviews on Implementation of Sustainable Development Goals: Key Lessons from East African Member States //SAGE Open. – 2024. – Т. 14. – №. 2. – С. 21582440241257319.
- [247] Lee B. X. et al. Transforming our world: implementing the 2030 agenda through sustainable development goal indicators //Journal of public health policy. – 2016. – Т. 37. – С. 13-31.
- [248] Соколин В. Л. Статистика СНГ: 30 лет общей работы //Вопросы статистики. – 2022. – Т. 29. – №. 1. – С. 5-16.
- [249] Токтоматова А. Ж. и др. Оценка достижения Целей устойчивого развития Республики Кыргызстан на основе социально-эколого-экономических показателей: выпускная бакалаврская работа по направлению подготовки: 05.03. 06-Экология и природопользование. – 2021.
- [250] Кулиев А. С. Значение листовых пластинок и таксационные показатели облепихи в естественных популяциях Кыргызстана //Universum: химия и биология. – 2017. – №. 2 (32). – С. 14-19.
- [251] Тотубаева Н. Э., Дуйшебекова С. Б., Кожобаев К. А. Водный режим зарослей облепихи крушиновидной (*Hippophae rhamnoides* L) побережья озера Иссык-Куль //Успехи современного естествознания. – 2021. – №. 4. – С. 77-83.
- [252] Тотубаева Н. Э., Эсиркепова М., Кожобаев К. А. Влияние антропогенных факторов побережья озера Иссык-Куль на состояние облепихи крушиновидной (*Hippophae rhamnoides* L) //Успехи современного естествознания. – 2021. – №. 5. – С. 110-116.
- [253] Li F. et al. Heavy metals in road dust from Xiandao District, Changsha City, China: characteristics, health risk assessment, and integrated source identification //Environmental Science and Pollution Research. – 2016. – Т. 23. – С. 13100-13113.
- [254] Li X., Feng L. Geostatistical analyses and fractionation of heavy metals in urban soil from industrial district in Weinan, NW China //Environmental Earth Sciences. – 2012. – Т. 67. – С. 2129-2140.
- [255] Hakanson L. An ecological risk index for aquatic pollution control. A sedimentological approach //Water research. – 1980. – Т. 14. – №. 8. – С. 975-1001.
- [256] Tomlinson D. L. et al. Problems in the assessment of heavy-metal levels in estuaries and the formation of a pollution index //Helgoländer meeresuntersuchungen. – 1980. – Т. 33. – С. 566-575.
- [257] Gesellschaft für UmweltGeowissenschaften (GUG) <http://www.gug.org> et al. Anthropogene Schwermetallbelastung von feinkörnigen Flußsedimenten //Ressourcen-Umwelt-Management: Wasser· Boden· Sedimente. – 1999. – С. 131-151.
- [258] Xu Z. Q. et al. Calculation of heavy metals' toxicity coefficient in the evaluation of potential ecological risk index //Environ Sci Technol. – 2008. – Т. 31. – №. 2. – С. 112-5.

- [259] Terekhova V. A., Pukalchik M. A., Yakovlev A. S. The triad approach to ecological assessment of urban soils //Eurasian Soil Science. – 2014. – Т. 47. – С. 952-958.
- [260] Dagnino A. et al. A weight-of-evidence approach for the integration of environmental “triad” data to assess ecological risk and biological vulnerability //Integrated Environmental Assessment and Management. – 2008. – Т. 4. – №. 3. – С. 314-326.
- [261] Terekhova V. A. Soil bioassay: problems and approaches //Eurasian soil science. – 2011. – Т. 44. – С. 173-179.
- [262] ГОСТ 31861—2012 ВОДА Общие требования к отбору проб
- [263] ГОСТ 33045—2014 Вода. Методы определения азотсодержащих веществ
- [264] Burns N. M., Rutherford J. C., Clayton J. S. A monitoring and classification system for New Zealand lakes and reservoirs //Lake and reservoir management. – 1999. – Т. 15. – №. 4. – С. 255-271.
- [265] Johnston K. et al. Using ArcGIS geostatistical analyst. – Redlands : Esri, 2001. – Т. 380.
- [266] Gia Pham T. et al. Application of ordinary kriging and regression kriging method for soil properties mapping in hilly region of Central Vietnam //ISPRS International Journal of Geo-Information. – 2019. – Т. 8. – №. 3. – С. 147.
- [267] FAO. Standard operating procedure for soil organic carbon// *Glob. Soil Lab. Netw.*, vol. 1, pp. 1–25, 2019.
- [268] Pansu M., Gautheyrou J. Cation exchange capacity //Handbook of Soil Analysis: Mineralogical, Organic and Inorganic Methods. – 2006. – С. 709-754.
- [269] World Health Organization et al. Towards a healthier Kyrgyz Republic: progress report 2020 on health and sustainable development. – World Health Organization. Regional Office for Europe, 2020. – №. WHO/EURO: 2020-1810-41561-56717.
- [270] McLaughlin S., McKenna J., Cooper J. A. G. Socio-economic data in coastal vulnerability indices: constraints and opportunities //Journal of coastal research. – 2002. – №. 36. – С. 487-497.
- [271] Tano R. A. et al. Development of an integrated coastal vulnerability index for the Ivorian coast in West Africa //Journal of Environmental Protection. – 2018. – Т. 9. – №. 11. – С. 1171-1184.
- [272] Государственное агентство охраны окружающей среды и лесного хозяйства при Правительстве Кыргызской Республики. Национальный доклад Кыргызской Республики.-2022.
- [273] Totubaeva N. et al. Microbiological Diversity and Biotechnological Potential of the Soil Ecosystem of a High-Mountainous Landfill //Polish Journal of Environmental Studies. – 2019. – Т. 28. – №. 6.
- [274] Концепция экологической безопасности Кыргызской Республики (Утверждена Указом Президента от 23 ноября 2007 года №506)
- [275] 2026-жылга чейин Кыргыз Республикасын өнүктүрүүнүн Улуттук

программасы (КР Президентинин 2021-жылдын 12-октябрындагы ПЖ № 435 Жарлыгына)

- [276] Сеитбурханов А. Г. Воды высокогорий-ресурс глобального значения //Территория науки. – 2015. – №. 6. – С. 99-105.
- [277] Программа развития пастбищного хозяйства Кыргызской Республики на 2012-2015 годы (Утверждена постановлением Правительства КР от 10 февраля 2012 года №89)
- [278] Гурский В. Л. Формирование промышленной политики Кыргызстана и реформирование его промышленного комплекса в период с 1991 по 2015 г. – 2016.
- [279] Кожобаев К. А. и др. Геоэкологические проблемы, связанные с деятельностью горнодобывающих предприятий Кыргызской Республики //Горный журнал. – 2016. – №. 8. – С. 32.
- [280] Азарова С. В. и др. Отходы горно-добывающих предприятий и комплексная оценка их опасности для окружающей среды (на примере объектов Республики Хакасия). – 2005.
- [281] Кыргызская Республика. Экологический обзор Кыргызской Республики.
- [282] Стома Г. В., Ахадова Е. В. Характеристика и экологическое состояние почв территории МГУ имени МВ Ломоносова //Вестник Московского университета. Серия 17. Почвоведение. – 2015. – №. 1. – С. 35-41.
- [283] Антонов В. П. и др. Оценка земельных ресурсов. – 1999.
- [284] Румянцев Ф. П. и др. Оценка земли //Нижний Новгород, о. – 2003.
- [285] Makarov O. A. et al. Main Areas of Scientific Research at the Department of Soil Erosion and Conservation: Current State and Prospects of Development //Moscow University Soil Science Bulletin. – 2023. – Т. 78. – №. 4. – С. 375-386.
- [286] Konovalov et al. A review of approaches to assessing the ecological conditions of soils and to setting standards of soil quality //Biosfera. – 2017. – Т. 9. – №. 3. – С. 214-229.
- [287] Яковлев А. С. Земли и почвы как самостоятельные компоненты окружающей среды, вопросы их оценки, нормирования и управления (обзор) //Вестник Московского университета. Серия 17. Почвоведение. – 2023. – №. 2. – С. 5-15.
- [288] Заболотских В. В. Концептуальные и технологические подходы к восстановлению устойчивости и плодородия почв //Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2014. – Т. 16. – №. 1-7. – С. 1833-1839.
- [289] Куленбеков Ж. Э. и др. Обзор и анализ эффективности международных нормативно-правовых актов и законов в сфере Интегрированного управления водными ресурсами в Центральной Азии //Проблемы постсоветского пространства. – 2022. – Т. 9. – №. 1. – С. 20-43.
- [290] Гигиенические нормативы. Предельно допустимые концентрации загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест (Утверждены постановлением Правительства Кыргызской Республики от

11 апреля 2016 года № 201)

- [291] Гигиенические нормативы. Предельно допустимые концентрации и ориентировочно допустимые количества химических веществ в почве (Утверждены постановлением Правительства Кыргызской Республики от 11 апреля 2016 года № 2.)
- [292] Кирпотин С. Н. и др. Ландшафтная экология с основами управления окружающей средой: Учебное пособие. – 2007.
- [293] Абанина Е. Н. Правовое обеспечение экологической безопасности в странах евразийского пространства: сравнительно-правовой анализ //Risks and safety in rapidly changing world. – 2019. – С. 8-12.
- [294] Totubaeva N. et al. A comparison of various ecological indexes for environmental assessment of vulnerable mountain ecosystems //Polish Journal of Environmental Studies. – 2020. – Т. 29. – №. 4. – С. 2879-2887.
- [295] Turkyilmaz A. et al. Changes in Heavy Metal Accumulation Depending on Traffic Density in Some Landscape Plants //Polish journal of environmental studies. – 2018. – Т. 27. – №. 5.
- [296] Monterroso C. et al. Heavy metal distribution in mine-soils and plants growing in a Pb/Zn-mining area in NW Spain //Applied geochemistry. – 2014. – Т. 44. – С. 3-11.
- [297] Sliti N., Abdelkrim C., Ayed L. Assessment of tailings stability and soil contamination of Kef Ettout (NW Tunisia) abandoned mine //Arabian Journal of Geosciences. – 2019. – Т. 12. – №. 3. – С. 73.
- [298] Zhang M. et al. Multipotential toxic metals accumulated in urban soil and street dust from Xining City, NW China: Spatial occurrences, sources, and health risks //Archives of Environmental Contamination and Toxicology. – 2019. – Т. 76. – С. 308-330.
- [299] Pacle Decena S. C., Sanita Arguelles M., Liporada Robel L. Assessing heavy metal contamination in surface sediments in an urban river in the Philippines //Polish Journal of Environmental Studies. – 2018. – Т. 27. – №. 5.
- [300] González-Terreros E. et al. Heavy metals in mine-tailing soil mixtures cultivated with *Ricinus communis* L //Polish Journal of Environmental Studies. – 2018. – Т. 27. – №. 5.
- [301] КР. Экологический обзор Кыргызской Республики.
- [302] Djenbaev B. et al. Radiobiogeochemical assessment of the soil near the Issyk-Kul region //Journal of Geological Resource and Engineering. – 2016. – Т. 4. – №. 1. – С. 39-44.
- [303] Babincev L. M. Heavy metals in soil and application of new plant materials in the process of phytoremediation //J. Bioremediat. Biodegrad. – 2017. – Т. 8. – С. 413.
- [304] Tang J. et al. Heavy Metals in Agricultural Soils from a Typical Mining City in China: Spatial Distribution, Source Apportionment, and Health Risk Assessment //Polish Journal of Environmental Studies. – 2020. – Т. 29. – №. 2.
- [305] Tang X. et al. Spatial distribution of soil nitrogen, phosphorus and potassium

stocks in Moso bamboo forests in subtropical China //Forests. – 2016. – Т. 7. – №. 11. – С. 267.

- [306] Аманов К. А. и др. На сколько сократилась продолжительность жизни людей, проживающих в Кичи-Кемин-ской долине из-за негативного воздействия рудника Ак-Тюз на окружающую среду в Кемине //Известия Национальной Академии Наук Кыргызской Республики. – 2023. – №. 4. – С. 50-58.
- [307] Солодухин В. П., Севериненко М. А. Радиационные и экологические риски в бассейне реки Кичи-Кемин на территории республики Казахстан //География и водные ресурсы. – 2020. – №. 1. – С. 73-80.
- [308] Ashrafi A., Zahedi M., Soleimani M. Effect of co-planted purslane (*Portulaca oleracea* L.) on Cd accumulation by sunflower in different levels of Cd contamination and salinity: A pot study //International Journal of Phytoremediation. – 2015. – Т. 17. – №. 9. – С. 853-860.
- [309] Hassaan M. A., El Nemr A., Madkour F. F. Environmental assessment of heavy metal pollution and human health risk //American Journal of Water Science and Engineering. – 2016. – Т. 2. – №. 3. – С. 14-19.
- [310] Дженбаев, Б.М., Калдыбаев Б.К., Жолболдиев Б.Т. Проблемы радиэкологии и радиационной безопасности бывших урановых производств в Кыргызстане // Радиационная биология. Радиэкология. 2013. Т.53. № 4. С.428-431.
- [311] Боконбаева С. Д. Экопатология детей Кыргызстана //С. Дж. Боконбаева. Бишкек. – 2008. – С. 214.
- [312] Lopera C. C. F. Opportunities for a research agenda on climate and disaster risk finance and insurance (CDRFI) in Uzbekistan. – 2024.
- [313] Richter E. et al. Assessing the ecological long-term impact of wastewater irrigation on soil and water based on bioassays and chemical analyses //Water research. – 2015. – Т. 84. – С. 33-42.
- [314] Shir Khanloo H. et al. The evaluation and determination of heavy metals pollution in edible vegetables, water and soil in the south of Tehran province by GIS //Archives of Environmental Protection. – 2015. – Т. 41. – №. 2.
- [315] Nikolaeva O. V., Terekhova V. A. Improvement of laboratory phytotest for the ecological evaluation of soils //Eurasian Soil Science. – 2017. – Т. 50. – С. 1105-1114.
- [316] Totubaeva N. et al. Ecological Assessment of Technogenically Disturbed Soils of the Mountain Ecosystems of Kyrgyz Republic based on the TRIAD method //Polish Journal of Environmental Studies. – 2022. – Т. 31. – №. 3.
- [317] United Nations Environment Programme. Waste Management Outlook for Central Asia. 2017. [Online]. Available: <http://www.zoinet.org/web/sites/default/files/publications/CA-waste-eng.pdf>
- [318] Mendoza-Hernández J. C. et al. Phytoremediation of mine tailings by *Brassica juncea* inoculated with plant growth-promoting bacteria //Microbiological research. – 2019. – Т. 228. – С. 126308.
- [319] Ashrafi A. et al. Neighbour effects of purslane (*Portulaca oleracea* L.) on Cd

- bioaccumulation by soybean in saline soil Original Paper //Plant, Soil and Environment. – 2014. – T. 60. – №. 10.
- [320] Gutiérrez-Ginés M. J., Pastor J., Hernández A. J. Integrated approach to assessing the effects of soils polluted with heavy metals on a plant population //Ecotoxicology. – 2012. – T. 21. – C. 1965-1978.
- [321] Sanusi M. S. M. et al. Investigation of geological and soil influence on natural gamma radiation exposure and assessment of radiation hazards in Western Region, Peninsular Malaysia //Environmental Earth Sciences. – 2016. – T. 75. – C. 1-12.
- [322] Zhang Y. et al. Mapping soil available copper content in the mine tailings pond with combined simulated annealing deep neural network and UAV hyperspectral images //Environmental Pollution. – 2023. – T. 320. – C. 120962.
- [323] Timofeev M. A., Terechova V. A., Kozhevnikov P. A. Biotesting for Cd pollution in soils //Moscow University soil science bulletin. – 2010. – T. 65. – №. 4. – C. 179-182.
- [324] Zafra G. et al. Isolation and selection of a highly tolerant microbial consortium with potential for PAH biodegradation from heavy crude oil-contaminated soils //Water, Air, & Soil Pollution. – 2014. – T. 225. – C. 1-18.
- [325] Gessler N. N., Egorova A. S., Belozerskaya T. A. Melanin pigments of fungi under extreme environmental conditions //Applied Biochemistry and Microbiology. – 2014. – T. 50. – C. 105-113.
- [326] Токпаева Ж.К., Акжигит уулу А., Тотубаева Н.Э. Микробиологическое разнообразие почвы полигона опасных отходов рудника Кумтор. Наука, новые технологии и инновации Кыргызстана. 2018. №. 1. С. 31-34
- [327] Chapman P. M., McDonald B. G., Lawrence G. S. Weight-of-evidence issues and frameworks for sediment quality (and other) assessments //Human and Ecological Risk Assessment. – 2002. – T. 8. – №. 7. – C. 1489-1515.
- [328] Totubaeva, N.E., Shalpykov, K.T. Dynamics of Microbiological Diversity of Soils in the Chu Valley during Land Use Change in Pastures. *Arid Ecosyst* **12**, 187–192 (2022). <https://doi.org/10.1134/S2079096122020135>
- [329] Totubaeva N. et al. Ecological aspects in the use of soil enzymes as indicators of anthropogenic soil pollution. – 2023.
- [330] Bartkowiak A., Lemanowicz J., Lamparski R. Assessment of selected heavy metals and enzyme activity in soils within the zone of influence of various tree species //Scientific Reports. – 2020. – T. 10. – №. 1. – C. 14077.
- [331] Alkorta I. et al. Soil enzyme activities as biological indicators of soil health //Reviews on environmental health. – 2003. – T. 18. – №. 1. – C. 65-73.
- [332] Jordan-Meille L. et al. An overview of fertilizer-P recommendations in Europe: soil testing, calibration and fertilizer recommendations //Soil Use and Management. – 2012. – T. 28. – №. 4. – C. 419-435.
- [333] Cui Y. et al. Evaluation methods of heavy metal pollution in soils based on enzyme activities: A review //Soil Ecology Letters. – 2021. – T. 3. – №. 3. – C. 169-177.
- [334] Doolotkeldieva T., Bobusheva S., Konurbaeva M. The improving conditions for the aerobic bacteria performing the degradation of obsolete pesticides in

- polluted soils //Air, Soil and Water Research. – 2021. – Т. 14. – С. 1178622120982590.
- [335] Cui Y. et al. Extracellular enzyme stoichiometry reveals the carbon and phosphorus limitations of microbial metabolisms in the rhizosphere and bulk soils in alpine ecosystems //Plant and Soil. – 2021. – Т. 458. – С. 7-20.
- [336] Lee S. H. et al. Use of soil enzymes as indicators for contaminated soil monitoring and sustainable management //Sustainability. – 2020. – Т. 12. – №. 19. – С. 8209.
- [337] Masikevych A. et al. Microbiological pollution of soils and surface waters of the Pokuttia-Bukovyna Carpathians //Journal of water and land development. – 2022. – С. 91-96-91-96.
- [338] Талайбекова Г. Т. и др. Фитотестирование нефтезагрязненных почв с помощью фитотолерантных растений //Проблемы региональной экологии. – 2019. – №. 2. – С. 20-24.
- [339] Абдыкадырова Р. Э., Тотубаева Н. Э. Фитотестирование почв загрязненных нефтепродуктами, в условиях длительного загрязнения: на примере города Балыкчы //Известия Национальной Академии наук Кыргызской Республики. – 2023. – №. 7. – С. 152-156.
- [340] Эсенжанова Г., Тотубаева Н., Токпаева Ж., Талайбекова Г., Кожобаев К. Изменения некоторых показателей почв и грунтов города Балыкчы, загрязненных нефтепродуктами после ремедиации //Проблемы региональной экологии.-2019.-№2.-с.38-43
- [341] Ahmad A. A. et al. Remediation methods of crude oil contaminated soil //World Journal of Agriculture and Soil Science. – 2020. – Т. 4. – №. 3. – С. 8.
- [342] Хазиев Ф. Х. Экологические связи ферментативной активности почв //Экобиотех. – 2018. – Т. 1. – №. 2. – С. 80-92.
- [343] Pikovskii Y. I. et al. The problem of diagnostics and standardization of the levels of soil pollution by oil and oil products //Eurasian soil science. – 2003. – Т. 36. – №. 9. – С. 1010-1017.
- [344] Киреева Н. А. и др. Комплексы почвенных микромицетов в условиях техногенеза. – 2005.
- [345] Asadpour R. et al. Application of Sorbent materials in Oil Spill management: A review //Caspian Journal of Applied Sciences Research. – 2013. – Т. 2. – №. 2.
- [346] Назаров А. В. Влияние нефтяного загрязнения почвы на растения //Вестник Пермского университета. Серия: Биология. – 2007. – №. 5. – С. 134-141.
- [347] Швец А. А. Фиторемедиация загрязненных нефтью почв в условиях Северо-Западного Кавказа //ВНИИБЗРР. Краснодар–2009.-23 с. – 2009.
- [348] Тотубаева Н. Э., Кожобаев К. А., Терехова В. А. Фитоиндикация рекреационной нагрузки на прибрежные экосистемы оз. Иссык-Куль //Э40 Экология речных бассейнов: Труды 10-й Междунар. науч.-. – 2021. – Т. 21. – С. 244.
- [349] Lhomme P. et al. The wild bees (Hymenoptera: apoidea) of Morocco

- //Zootaxa. – 2020. – Т. 4892. – №. 1.
- [350] Чубурова Ж. Т., Кочкорбаева М. Д. Индикаторы устойчивого развития туризма //Наука, новые технологии и инновации Кыргызстана. – 2019. – №. 11. – С. 97-104.
- [351] Тотубаева Н. Комплексное использование прибрежных экосистем озера Иссык-Куль-основа устойчивого развития //Исследование живой природы Кыргызстана. – 2021. – №. 1. – С. 72-75.
- [352] Dhyani D., Dhyani S., Maikhuri R. K. Assessing anthropogenic pressure and its impact on Hippophae salicifolia pockets in Central Himalaya, Uttarakhand //Journal of Mountain Science. – 2013. – Т. 10. – №. 3. – С. 464-471.
- [353] World Bank Group. Water for Prosperity and Development: Risks and Opportunities for the Gulf Cooperation Council Countries. – World Bank, 2017.
- [354] Сидорова Л. Государства Центральной Азии: проблемы совместного использования трансграничных водных ресурсов //Центральная Азия и Кавказ. – 2008. – №. 1 (55). – С. 92-103.
- [355] Trærup S. L. M., Bakkegaard R. K. Оценка и приоритезация технологий для адаптации к изменению климата: Практическое руководство для анализа по множеству критериев (МСА) и идентификации и оценки родственных критериев. – 2015.
- [356] Хубларян М. Г., Моисеенко Т. И. Качество воды //Вестник Российской академии наук. – 2009. – Т. 79. – №. 5. – С. 403-410.
- [357] Национальная водная стратегия Кыргызской Республики до 2040 года (к Указу Президента Кыргызской Республики от 10 февраля 2023 года № 23).
- [358] Woolway R. I. et al. Global lake responses to climate change //Nature Reviews Earth & Environment. – 2020. – Т. 1. – №. 8. – С. 388-403.
- [359] Oboldina G. A., Samburskiy G. A., Popov A. N. Assessment of the Water Bodies' Ecological Status: Unificated Approaches to Attaining of the «Ecology» National Project. – 2019.
- [360] Кожобаев К. А. и др. О некоторых физико-химических показателях грунтовых вод села Ат-Башы //Наука, новые технологии и инновации Кыргызстана. – 2019. – №. 4. – С. 223-226.
- [361] Оторова С. Т., Тотубаева Н. Э., Кожобаев К. А. Микроэлементы в водах реки Нарын и ее крупных притоках //Проблемы региональной экологии. – 2019. – №. 5. – С. 18-24.
- [362] Оторова С. Т. и др. Влияние города Нарын на некоторые показатели вод реки Нарын //Экология урбанизированных территорий. – 2021. – №. 2. – С. 33-39.
- [363] Asanov B., Otorova S., Totubaeva N., Kozhobaev K. Assessment of the impact of anthropogenic facilities on physical indicators of water in the Naryn river/ // Advances in Current Natural Sciences. -2021.-№6.-p.56-61
- [364] Кожобаев К., Тотубаева Н., Шайкиева Н., Оторова С. Влияние разработки Кара-Кечинского бурогоугольного месторождения на состав и свойства вод реки Кара-Кече// Горный Журнал.-2022.-№12.-с.68-72.

- [364] Асанкулов Т. и др. Многолетняя динамика и сезонные изменения гидрохимии бассейна оз. Иссык-Куль (Кыргызстан) //Аридные экосистемы. – 2019. – Т. 25. – №. 1 (78). – С. 79-87.
- [365] Алияскаров М., Сариева М., Дженбаев Б. М. Современное состояние физико-химических и биологических параметров озера Иссык-Куль //Наука, новые технологии и инновации Кыргызстана.– 2019.– №.3.– С. 78-84.
- [366] Алияскаров М. и др. Многомерный анализ параметров качества воды озера Иссык-Куль //Международный научно-исследовательский журнал. – 2019. – №. 5-1 (83). – С. 62-66.
- [367] Исанова Г., Асанкулов Т., Темирбаева К. Многолетняя динамика гидрохимии озера Иссык-Куль //Вестник КазНУ. Серия географическая. – 2017. – Т. 45. – №. 2. – С. 86-91.
- [368] Асанова А. К. и др. Анализ состояния озера Иссык-Куль по гидрохимическим показателям //Наука, новые технологии и инновации Кыргызстана. – 2017. – №. 3. – С. 108-111.
- [369] Podrezov A. O., Mäkelä A. J., Mischke S. Lake Issyk-Kul: Its history and present state //Large Asian Lakes in a Changing World: Natural State and Human Impact. – 2020. – С. 177-206.
- [370] Асанова А., Тотубаева Н., Кожобаев К. Экогеохимический мониторинг вод озера Иссык-Куль за 2016-2018 гг// Известия Национальной Академии наук Кыргызской Республики. – 2024. – №. 5. – С. 48-58.
- [371] Asanova A.K., Totubaeva N.E., Kojobaev K.A. 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 // Известия Национальной Академии наук Кыргызской Республики. – 2024. – №. 5. – С. 122-134.
- [372] Тыныбеков А. К. Исследование фотосинтетической активности фитопланктона в озере Иссык-Куль //Исследование живой природы Кыргызстана. – 2021. – №. 2. – С. 144-150.
- [373] Woolway R. I. et al. Global lake responses to climate change //Nature Reviews Earth & Environment. – 2020. – Т. 1. – №. 8. – С. 388-403.
- [374] Brown K. P. et al. Human impact and ecosystemic health at Lake Baikal //Wiley Interdisciplinary Reviews: Water. – 2021. – Т. 8. – №. 4. – С. e1528.
- [375] Zhou J. et al. Anthropogenic eutrophication of shallow lakes: is it occasional? //Water Research. – 2022. – Т. 221. – С. 118728.
- [376] Takhteev V. V. et al. Water chemistry in small tributaries and the coastal zone of Lake Baikal in the period of environmental crisis //Water Resources. – 2020. – Т. 47. – С. 448-458.
- [377] May L. et al. Eutrophication and restoration in temperate lakes //IOP conference series: Earth and environmental science. – IOP Publishing, 2020. – Т. 535. – №. 1. – С. 012001.
- [378] United Nations Environment Programme. Mediterranean Action Plan. Eutrophication in the Mediterranean Sea: Receiving Capacity and Monitoring of Long Term Effects. – UNEP, 1988. – №. 21.
- [379] Carlough L. A. Integrating Ecology and Environmental Policy. – 1993.

- [380] Frumin G. T., Gildeeva I. M. Eutrophication of water bodies—A global environmental problem //Russian Journal of General Chemistry. – 2014. – Т. 84. – С. 2483-2488.
- [381] He J. et al. Management of water quality targets based on river-lake water quality response relationships for lake basins—a case study of Dianchi Lake //Environmental research. – 2020. – Т. 186. – С. 109479.
- [382] Абдыралиева А. А., Тотубаева Н. Э. Оценка экологического состояния воды озера Иссык-Куль по индексу трофического состояния (TSI) //Известия Национальной Академии наук Кыргызской Республики. – 2023. – №. 7. – С. 185-194.
- [383] Liu J. et al. Evaluation of lake eutrophication under different hydrological connectivity conditions //Journal of Freshwater Ecology. – 2024. – Т. 39. – №. 1. – С. 2394675.
- [384] Totubaeva, N., Usubalieva, A. and Abdykadyrova, R. Potential of Sea Buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) Thickets in Preserving Endangered Ecosystems in Kyrgyz Republic. Grassroots Journal of Natural Resources.- 2024.-V. 7.- #2.-p. 96-118
- [385] Martinetto P. et al. High abundance and diversity of consumers associated with eutrophic areas in a semi-desert macrotidal coastal ecosystem in Patagonia, Argentina //Estuarine, Coastal and Shelf Science. – 2010. – Т. 88. – №. 3. – С. 357-364.
- [386] Schou J. S. et al. Economic and environmental analysis of buffer zones as an instrument to reduce ammonia loads to nature areas //Land use policy. – 2006. – Т. 23. – №. 4. – С. 533-541.
- [387] Tiwari T. et al. Cost of riparian buffer zones: A comparison of hydrologically adapted site-specific riparian buffers with traditional fixed widths //Water Resources Research. – 2016. – Т. 52. – №. 2. – С. 1056-1069.
- [388] Ebregt A., Greve P. D. Buffer zones and their management //Policy and best practices for terrestrial ecosystems in developing countries. Theme Studies Series. – 2000. – Т. 5.
- [389] Phillips J. D. Nonpoint source pollution control effectiveness of riparian forests along a coastal plain river //Journal of Hydrology. – 1989. – Т. 110. – №. 3-4. – С. 221-237.
- [390] Syversen N., Borch H. Retention of soil particle fractions and phosphorus in cold-climate buffer zones //Ecological Engineering. – 2005. – Т. 25. – №. 4. – С. 382-394.
- [391] Jiang F. et al. Riparian buffer effectiveness as a function of buffer design and input loads. – 2020. – Т. 49. – №. 6. – С. 1599-1611.
- [392] Abdyralieva A. and Totubaeva N., “Challenges of Transforming Coastal Buffer Zones into Urban Systems and their Sustainable Development Management: Case of Lake Issyk-Kul// Grassroots J. Nat. Resour.- V.7.-# 2.- 2024.- pp. 160–178
- [393] Закон КР от 13 августа 2004 года № 115 Об устойчивом развитии эколого-экономической системы Иссык-Куль

- [394] Halls A. J. E. Wetlands, biodiversity and the Ramsar convention: the role of the convention on wetlands in the conservation and wise use of biodiversity //Ramsar Convention Bureau, Gland, Switzerland. – 1997. – Т. 13.
- [395] Alaibakhsh M. et al. Large-scale regional delineation of riparian vegetation in the arid and semi-arid Pilbara region, WA //Hydrological Processes. – 2017. – Т. 31. – №. 24. – С. 4269-4281.
- [396] Тотубаева Н.Э., Дуйшебекова С.Б., Кожобаев К.А. Динамика изменения площадей зарослей облепихи крушиновидной (*Hippophae rhamnoides* L.) на побережье оз.Иссык-Куль/ Актуальные проблемы геологии и географии Тянь-Шаня и сопредельных территорий: Материалы международной конференции.-Бишкек, 2020.-с.-400-410с.
- [397] Blais B. R., Johnson S. L., Koprowski J. L. Effects of disturbances and environmental changes on an aridland riparian generalist //PeerJ. – 2023. – Т. 11. – С. e15563.
- [398] Roby M. C., Scott R. L., Moore D. J. P. High vapor pressure deficit decreases the productivity and water use efficiency of rain-induced pulses in semiarid ecosystems //Journal of Geophysical Research: Biogeosciences. – 2020. – Т. 125. – №. 10. – С. e2020JG005665.
- [399] Anbumozhi V., Radhakrishnan J., Yamaji E. Impact of riparian buffer zones on water quality and associated management considerations //Ecological Engineering. – 2005. – Т. 24. – №. 5. – С. 517-523.
- [400] Weissteiner C. J. et al. An indicator to map diffuse chemical river pollution considering buffer capacity of riparian vegetation—A pan-European case study on pesticides //Science of the total environment. – 2014. – Т. 484. – С. 64-73.
- [401] Ma L. et al. Wetlands restoration engineering in the metropolitan area //Ecological Wisdom Inspired Restoration Engineering. – 2019. – С. 197-221.
- [402] Buczko U., Totubaeva N., Kuchenbuch R. O. Comparison of the Machigin and CAL Methods for Extraction of Plant Available P in Soils //Communications in Soil Science and Plant Analysis. – 2024. – Т. 55. – №. 15. – С. 2217-2231.
- [403] Xie X. et al. Linkage between soil salinization indicators and physicochemical properties in a long-term intensive agricultural coastal reclamation area, Eastern China //Journal of Soils and Sediments. – 2019. – Т. 19. – С. 3699-3707.
- [404] Arthur A., Okae-Anti D. Variations in Soil Physico-Chemical Properties as Influenced by Landuse in a Toposequence //Journal of Geoscience and Environment Protection. – 2022. – Т. 10. – №. 8. – С. 98-121.
- [405] Thevs N. et al. Evapotranspiration of riparian ecosystems and irrigated cotton agriculture at the middle reaches of the Tarim River, Xinjiang, China //Central Asian Journal of Water Research. – 2017. – Т. 3. – №. 4. – С. 1-15.
- [406] Andretta A. et al. Environmental and pedological factors influencing organic carbon storage in Italian forest soils //Geoderma Regional. – 2023. – Т. 32. – С. e00605.
- [407] Fierer N., Wood S. A., de Mesquita C. P. B. How microbes can, and cannot,

- be used to assess soil health //Soil Biology and Biochemistry. – 2021. – T. 153. – C. 108111.
- [408] Reece S. M., Sinha A., Grieshop A. P. Primary and photochemically aged aerosol emissions from biomass cookstoves: chemical and physical characterization //Environmental science & technology. – 2017. – T. 51. – №. 16. – C. 9379-9390.
- [409] Baldock J. A., Skjemstad J. O. Role of the soil matrix and minerals in protecting natural organic materials against biological attack //Organic geochemistry. – 2000. – T. 31. – №. 7-8. – C. 697-710.
- [410] Sadiq F. K. et al. Environmental and Sustainability Indicators.
- [411] Rastogi R. P., Madamwar D., Incharoensakdi A. Bloom dynamics of cyanobacteria and their toxins: environmental health impacts and mitigation strategies //Frontiers in microbiology. – 2015. – T. 6. – C. 1254.
- [412] Munishi L. K. et al. Soil fertility and land sustainability in Usangu Basin-Tanzania //Heliyon. – 2021. – T. 7. – №. 8.
- [413] Shao J. et al. Evaluation of soil fertility and heavy metal contamination in abandoned regions of tin mine, China //2015 International Forum on Energy, Environment Science and Materials. – Atlantis Press, 2015. – C. 1298-1306.
- [414] Seifu W., Elias E., Gebresamuel G. The effects of land use and landscape position on soil physicochemical properties in a semiarid watershed, northern Ethiopia //Applied and Environmental Soil Science. – 2020. – T. 2020. – №. 1. – C. 8816248.
- [415] Souliyavongsa X. et al. Phosphorus-sorption characteristics and phosphorus buffer coefficients of some important soils in Lao PDR //Communications in soil science and plant analysis. – 2015. – T. 46. – №. 5. – C. 666-681.
- [416] Dunne E. J. et al. Phosphorus in agricultural ditch soil and potential implications for water quality //Journal of Soil and Water Conservation. – 2007. – T. 62. – №. 4. – C. 244-252.
- [417] Malcher J. et al. How wide, how much? A framework for quantifying the economic and ecological outcomes of altering riparian width on agricultural land //Science of The Total Environment. – 2023. – T. 897. – C. 165342.
- [418] Laurén A. et al. Water protection and buffer zones: How much does it cost to reduce nitrogen load in a forest cutting? //Scandinavian Journal of Forest Research. – 2007. – T. 22. – №. 6. – C. 537-544.
- [419] Wang Y. et al. Retention of nitrogen and phosphorus in Lake Chaohu, China: implications for eutrophication management //Environmental Science and Pollution Research. – 2020. – T. 27. – C. 41488-41502.
- [420] Wang M. et al. Determining the width of lake riparian buffer zones for improving water quality base on adjustment of land use structure //Ecological Engineering. – 2020. – T. 158. – C. 106001.
- [421] Totubaeva, N., Tokpaeva, Z., Izakov, J., & Abdykadyrova, R. (2024). An integrated coastal vulnerability index for sustainable development of coastal ecosystems: a case study of Issyk-Kul lake. *Scientia Iranica*, (), -. doi: 10.24200/sci.2024.64429.8936

- [422] Kozhokulov S. et al. Assessment of tourism impact on the socio-economic spheres of the Issyk-Kul Region (Kyrgyzstan) //Sustainability. – 2019. – Т. 11. – №. 14. – С. 3886.
- [423] Kochkorbaeva M. Туризм как объект научного исследования: отрасль экономики или межотраслевой комплекс? //Reforma. – 2022. – Т. 4. – №. 92. – С. 49-57.
- [424] Кожобаев К. А. и др. К методике оценки степени защищенности подземных вод в условиях Кыргызской Республики //Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геокриология. – 2008. – №. 4. – С. 373-376.
- [425] Moldogazieva G., Totubaeva N., Abdykadirova R., Kojobaev K. Groundwater protection zoning for sustainable water resources management in semi-arid conditions/ 6th International Black Sea Modern Scientific Research Congress, Trabzon Turkiye, August 23-25, 2024 p.1995-2005
- [426] Alcántara-Carrió J., García Echavarría L. M., Jaramillo-Vélez A. Is the coastal vulnerability index a suitable index? Review and proposal of alternative indices for coastal vulnerability to sea level rise //Geo-Marine Letters. – 2024. – Т. 44. – №. 2. – С. 8.
- [427] Filler D. M., Van Stempvoort D. R., Leigh M. B. Remediation of frozen ground contaminated with petroleum hydrocarbons: feasibility and limits //Permafrost soils.– Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2009.– С. 279-301.
- [428] McDonald R., Knox O. G. G. Cold region bioremediation of hydrocarbon contaminated soils: do we know enough?. – 2014.
- [429] Adipah S. Introduction of petroleum hydrocarbons contaminants and its human effects //Journal of Environmental Science and Public Health. – 2019. – Т. 3. – №. 1. – С. 1-9.
- [430] Chen S., Zhong M. Bioremediation of petroleum-contaminated soil //Environmental Chemistry and Recent Pollution Control Approaches. – 2019. – Т. 34. – С. 1-12.
- [431] Chang W., Whyte L., Ghoshal S. Comparison of the effects of variable site temperatures and constant incubation temperatures on the biodegradation of petroleum hydrocarbons in pilot-scale experiments with field-aged contaminated soils from a cold regions site //Chemosphere. – 2011. – Т. 82. – №. 6. – С. 872-878.
- [432] Kumar R., Kumar P., Giri A. Regional impact of psychrophilic bacteria on bioremediation//Smart bioremediation technologies.-Acad.Press 2019.-С.119-135
- [433] Adams G. O. et al. Bioremediation, biostimulation and bioaugmentation: a review //International Journal of Environmental Bioremediation & Biodegradation. – 2015. – Т. 3. – №. 1. – С. 28-39.
- [434] Koshlaf E., Ball A. S. Soil bioremediation approaches for petroleum hydrocarbon polluted environments//AIMS microbiology.-2017.-Т.3.-№1.- С.25
- [435] Wu M. et al. Effect of bioaugmentation and biostimulation on hydrocarbon degradation and microbial community composition in petroleum-contaminated loessal soil //Chemosphere. – 2019. – Т. 237. – С. 124456.

- [436] Gomez F., Sartaj M. Field scale ex-situ bioremediation of petroleum contaminated soil under cold climate conditions //International biodeterioration & biodegradation. – 2013. – Т. 85. – С. 375-382.
- [437] Totubaeva N. et al. Bioremediation approaches for oil contaminated soils in extremely high-mountainous conditions //Plant, Soil & Environment. – 2023. – Т. 69. – №. 4.
- [438] КГК. Годовой отчет компании «Кумтор» по охране окружающей среды и устойчивому развитию за 2012 финансовый год.-2012
- [439] Yarp H. S. et al. Bibliometric analysis of hydrocarbon bioremediation in cold regions and a review on enhanced soil bioremediation //Biology. – 2021. – Т. 10. – №. 5. – С. 354.
- [440] Goswami M. et al. Bioaugmentation and biostimulation: a potential strategy for environmental remediation //J Microbiol Exp. – 2018. – Т. 6. – №. 5. – С. 223-231.
- [441] Okoh E. et al. Clean-up of crude oil-contaminated soils: bioremediation option //International Journal of Environmental Science and Technology. – 2020. – Т. 17. – №. 2. – С. 1185-1198.
- [442] Goswami M. et al. Bioaugmentation and biostimulation: a potential strategy for environmental remediation//J Microbiol Exp.-2018.-Т. 6.-№. 5.-С.223-231.
- [443] Mrozik A. Microorganisms in bioaugmentation of polluted environments //Postepy Mikrobiologii. – 2016. – Т. 55. – С. 147-156.
- [444] Abdulsalam S., Omale A. B. Comparison of biostimulation and bioaugmentation techniques for the remediation of used motor oil contaminated soil //Brazilian Archives of biology and technology.-2009.-Т. 52. – С. 747-754.
- [445] Sahu S. N., Jana B. B. Enhancement of the fertilizer value of rock phosphate engineered through phosphate-solubilizing bacteria //Ecological Engineering. – 2000. – Т. 15. – №. 1-2. – С. 27-39.
- [446] Kisić I. et al. Bioremediation of agriculture soil contaminated by organic pollutants //Energies. – 2022. – Т. 15. – №. 4. – С. 1561.
- [447] Токпаева Ж., Тотубаева Н. Подбор оптимальной питательной среды для культивирования углеводородокисляющих бактерий// Наука, новые технологии и инновации Кыргызстана. – 2019. – № 12. – С. 123-125. – EDN JUWFJV.
- [448] Cui J. Q. et al. Comparative study on different remediation strategies applied in petroleum-contaminated soils //International journal of environmental research and public health. – 2020. – Т. 17. – №. 5. – С. 1606.
- [449] Abdulsalam S., Omale A. B. Comparison of biostimulation and bioaugmentation techniques for the remediation of used motor oil contaminated soil //Brazilian Archives of biology and technology.-2009.-Т. 52. – С. 747-754.
- [450] Gutiérrez E. J. et al. Pseudomonas fluorescens: a bioaugmentation strategy for oil-contaminated and nutrient-poor soil //International Journal of Environmental Research and Public Health. – 2020. – Т. 17. – №. 19. – С. 6959.
- [451] Тотубаева Н. Э., Жумабаева М. Б., Кожобаев К. А. Возможности использования высокогорных растений для фиторемедиации

- нефтезагрязненных грунтов//Успехи современного естествознания. – 2020. – №. 5. – С. 96-100.
- [452] Saif S. et al. Metal toxicity to certain vegetables and bioremediation of metal-polluted soils //Microbial Strategies for Vegetable Production.-2017.-С. 167-196.
- [453] Назаров А. В. Использование микробно-растительных ассоциаций для очистки почвы от нефтяного загрязнения //Известия Самарского научного центра Российской академии наук.-2013.-Т. 15.-№. 3-5.-С. 1673-1675.
- [454] Komives T. et al. Phytoremediation of persistent organic pollutants //Cereal Research Communications. – 2009. – Т. 37. – С. 537-540.
- [455] Nemati B. et al. Phytoremediation of pollutants in oil-contaminated soils by *Alhagi camelorum*: evaluation and modeling //Scientific Reports. – 2024. – Т. 14. – №. 1. – С. 5502.
- [456] Verstraete W. Environmental biotechnology ESEB 2004.-CRC Press, 2004.
- [457] Joner E. J., Leyval C. Phytoremediation of organic pollutants using mycorrhizal plants: a new aspect of rhizosphere interactions //Sustainable agriculture. – 2009. – С. 885-894.
- [458] Hussein Z. S. et al. Phytoremediation of crude petroleum oil pollution: a review //Egyptian Journal of Botany. – 2022. – Т. 62. – №. 3. – С. 611-640.
- [459] Nwaichi E. O. et al. Phytoremediation of crude oil impacted soil using purple nutsedge //Journal of Applied Sciences and Environmental Management. – 2021. – Т. 25. – №. 3. – С. 475-479.
- [460] Dadrasnia A., Pariatamy A. Phyto-enhanced remediation of soil co-contaminated with lead and diesel fuel using biowaste and *Dracaena reflexa*: A laboratory study //Waste Management & Research. – 2016. – Т. 34. – №. 3. – С. 246-253.
- [461] Totubaeva N.E., Shalpykov K.T. Changes in agrochemical indicators of soils under the rotational technique of pasture use in the conditions of the Kyrgyz Republic// International Conferences on Science and Technology; Engineering Science and Technology (ICONST–EST–2021), Budva, MONTENEGRO, September 8 -10 2021, p.132
- [462] Рубцова И. Г. Мелиорации почв в Кыргызстане–должное внимание //Исследование живой природы Кыргызстана. – 2018. – №. 1-2. – С. 61-65.
- [463] Жумабеков Э. Ж. и др. Засоленные почвы Кыргызстана и пути их мелиорации//Вестник Кыргызского национального аграрного университета им. КИ Скрябина. – 2018. – №. 2. – С. 114-121.
- [464] Беловолова А. А., Безгина Ю. А., Громова Н. В. Солеустойчивость сельскохозяйственных культур и их урожайность на солонцеватых слитых черноземах //Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2011. – №. 74. – С. 676-686.
- [465] Тотубаева, Н. Анализ изменения земельного фонда Чуйской области с использованием ГИС-технологий/ Максатбекова А. М. //Успехи современного естествознания. –№6.- 2022.-с.96-102

- [466] Abd-Alla M. H. et al. Synergistic interaction of *Rhizobium leguminosarum* bv. *viciae* and arbuscular mycorrhizal fungi as a plant growth promoting biofertilizers for faba bean (*Vicia faba* L.) in alkaline soil //Microbiological research. – 2014. – Т. 169. – №. 1. – С. 49-58.
- [467] Төлөгөнова А., Тотубаева Н., Маймеков З. Оценка возможности переработки твердых бытовых отходов с получением биокомпоста //Наука, новые технологии и инновации Кыргызстана. – 2019. – №. 11. – С. 55-61.
- [468] Тотубаева Н., Максатбекова А., Терехова В. Снижение фитотоксичности слабозасоленных почв органическими добавками // Экологический мониторинг: методы и подходы: материалы Междун.конф. "Экологический мониторинг: методы и подходы" и XX Междун. симпозиума "Сложные системы экстремальных условиях". Красноярск, 20-24 сентября 2021 г.-с.218-221

## **ПРИЛОЖЕНИЯ**

**“УТВЕРЖДАЮ”**

Первый проректор Кыргызско-Турецкого университета “Манас”, канд.полит.наук,  
доцент, Ибраев А.О.

«02» декабря 2024 г.

**Акт внедрения результатов научно-исследовательских работ**

1. **Автор внедрения:** к.б.н, доцент Тотубаева Нурзат Эрмековна
2. **Наименование научно-исследовательских работ:** Разработка цифровой модели экологического мониторинга водоемов и водных объектов.
3. **Краткая аннотация:** Целью работы является интеграция в образовательный процесс студентов и магистрантов, обучающихся по направлению «Экология и природопользование» по разработанной цифровой модели системы экологического мониторинга водоемов и водных объектов страны. Разработанная модель позволит студентам изучать экологические процессы в водной среде, изменяя параметры мониторинга и анализируя, как эти изменения влияют на состояние окружающей среды. Благодаря предложенной модели учащиеся смогут глубже понять взаимосвязь различных факторов экологического мониторинга, развивать навыки анализа данных и прогнозирования последствий своих решений. Это позволит им на практике уверенно принимать обоснованные решения и быть осведомленными о возможных экологических последствиях, что является ключевым аспектом профессиональной подготовки в области экологической инженерии.
4. **Эффект от внедрения:** Предложенная новая модель предоставит студентам выпускных курсов и магистрантов обучающихся по направлению “Экология и природопользование” возможность модифицировать исходные данные и компонентные параметры, что позволит наглядно оценивать влияние изменений тех или иных показателей на экологическое состояние водных объектов. Такой подход способствует более глубокому пониманию процессов экологического мониторинга и их взаимосвязи с качеством водных ресурсов.
5. **Место и время внедрения:** Отделение “Экологическая инженерия” Инженерного факультета Кыргызско-Турецкого университета “Манас” (КТУМ)
6. **Форма внедрения:** Результаты диссертационного исследования внедрены в образовательный процесс по направлению “Экология и природопользование” КТУМ в цифровом формате, и размещены на сайте <https://web-isem-of-ik.manas.edu.kg/>

**Представитель организации, в которую внедрена разработка**

*Заведующий кафедрой отделения “Экологическая Инженерия” КТУМ, академик  
ИА КР, д.т.н., профессор Маймеков З.К.*

**Представитель организации, из которого исходит внедрение:**

*Тотубаева Н.Э. – к.б.н., доцент отделения  
“Экологическая инженерия”,*



“УТВЕРЖДАЮ”  
 Директор Департамента сохранения  
 биоразнообразия и особо охраняемых  
 природных территорий при Министерстве  
 природных ресурсов, экологии и  
 технического надзора Кыргызской  
 Республики  
 Кенжебаев А.А.   
 «13» августа 2024 г.

**Акт внедрения результатов научно-исследовательских, научно-технических работ, результатов научной и научно-технической деятельности**

1. **Автор внедрения:** соискатель Тотубаева Нурзат Эрмековна
2. **Наименование научно-исследовательских, научно-технических работ, результатов научной и научно-технической деятельности:** рекомендация по оптимизации системы экологического мониторинга оз.Иссык-Куль и Информационная система экологического Мониторинга (ИСЭМ) озера Иссык-Куль
3. **Краткая аннотация:** целью является разработка современной модели цифровизированной системы экологического мониторинга оз.Иссык-Куль, основанной на интегрированных показателях качества воды озера Иссык-Куль, в отличие от предыдущей программы экологического мониторинга озера Иссык-Куль, учитывающая Индекс трофического состояния озера Иссык-Куль и включающая в себя формулы, позволяющие автоматически рассчитывать текущий трофический уровень воды озера и требуемую ширину прибрежной буферной зоны каждого района Иссык-Кульской области, граничащий с побережьем.
4. **Эффект от внедрения:** предложенная новая модель экологического мониторинга оз.Иссык-Куль позволяет достоверно оценить текущее экологическое состояние воды озера, определить степень трансформированности прибрежных буферных зон каждого района и определять необходимую для обеспечения качества воды озера ширину прибрежной буферной зоны в разрезе районов области.
5. **Место и время внедрения:** Департамент сохранения биоразнообразия и особо охраняемых природных территорий при Министерстве природных ресурсов, экологии и технического надзора Кыргызской Республики от 13.08.2024г.
6. **Форма внедрения:** результаты диссертационного исследования внедрены в национальную программу экологического мониторинга оз.Иссык-Куль в цифровом формате и размещены на сайте <https://web-iseem-of-ik.manas.edu.kg/>

**Представитель организации, в которую внедрена разработка**

*Умаралиев Э.Б. Заведующий отделом мониторинга  
и координации научной деятельности ДСБ ООПТ*

  
\_\_\_\_\_

**Представитель организации, из которого исходит внедрение:**

*Тотубаева Н.Э. – к.б.н., доцент отделения  
“Экологическая инженерия”,  
декан Инженерного факультета*

  
\_\_\_\_\_



“УТВЕРЖДАЮ”  
 Директор Дирекции Биосферной территории  
 «Ысык-Кель» при Министерстве природных  
 ресурсов, экологии и технического надзора  
 Кыргызской Республики  
 Мамбетов А.С.  
 «20» августа 2024 г.

**Акт внедрения результатов научно-исследовательских, научно-технических работ, результатов научной и научно-технической деятельности**

1. **Автор внедрения:** соискатель Тотубаева Нурзат Эрмековна
2. **Наименование научно-исследовательских, научно-технических работ, результатов научной и научно-технической деятельности:** рекомендация по оптимизации системы экологического мониторинга оз.Иссык-Куль и Информационная система экологического Мониторинга (ИСЭМ) озера Иссык-Куль
3. **Краткая аннотация:** целью является разработка современной модели цифровизированной системы экологического мониторинга оз.Иссык-Куль, основанной на интегрированных показателях качества воды озера Иссык-Куль, в отличие от предыдущей программы экологического мониторинга озера Иссык-Куль, учитывающая Индекс трофического состояния озера Иссык-Куль и включающая в себя формулы, позволяющие автоматически рассчитывать текущий трофический уровень воды озера и требуемую ширину прибрежной буферной зоны каждого района Иссык-Кульской области, граничащий с побережьем.
4. **Эффект от внедрения:** предложенная новая модель экологического мониторинга оз.Иссык-Куль позволяет достоверно оценить текущее экологическое состояние воды озера, определить степень трансформированности прибрежных буферных зон каждого района и определять необходимую для обеспечения качества воды озера ширину прибрежной буферной зоны в разрезе районов области.
5. **Место и время внедрения:** Дирекция Биосферной территории «Ысык-Кель» при Министерстве природных ресурсов, экологии и технического надзора Кыргызской Республики от 20.08.2024г.
6. **Форма внедрения:** результаты диссертационного исследования внедрены в национальную программу экологического мониторинга оз.Иссык-Куль в цифровом формате, и размещены на сайте <https://web-iseem-of-ik.manas.edu.kg/>

**Представитель организации, в которую внедрена разработка**

*Суйундуков К.Б. зам.директора Дирекции  
 Биосферной территории «Ысык-Кель»*



**Представитель организации, из которого исходит внедрение:**

*Тотубаева Н.Э. – к.б.н., доцент отделения  
 “Экологическая инженерия”,  
 декан Инженерного факультета*



КЫРГЫЗ РЕСПУБЛИКАСЫНЫН  
ЖАРАТЫЛЫШ РЕСУРСТАРЫ  
ЭКОЛОГИЯ ЖАНА  
ТЕХНИКАЛЫК КӨЗӨМӨЛ  
МИНИСТРЛИГИ



МИНИСТЕРСТВО  
ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ,  
ЭКОЛОГИИ  
И ТЕХНИЧЕСКОГО НАДЗОРА  
КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКИ

«ЫСЫК-КӨЛ»  
БИОСФЕРАЛЫК АЙМАГЫНЫН  
ДИРЕКЦИЯСЫ

ДИРЕКЦИЯ БИОСФЕРНОЙ  
ТЕРРИТОРИИ  
«ЫСЫК-КЕЛЬ»

721900, Балыкчы ш, Нарынское шоссе коч.10  
тел.-факс 03944 7 04 01  
issyk-kul-biosfera@fauna.kg  
biosfera\_ik@rambler.ru  
p/c4404061101011101  
Балыкчы филиалы  
ОАО «Керемет Банк»  
БИК (МФО) 440001  
ОКПО440406  
ИНН 00512200110090

721900, г.Балыкчы, ул.Нарынское шоссе 10  
тел.-факс 3944 7 04 01  
issyk-kul-biosfera@fauna.kg  
biosfera\_ik@rambler.ru  
p/c4404061101011101  
Балыкчинский филиал  
ОАО «Керемет Банк»  
БИК (МФО) 440001  
ОКПО440406  
ИНН 00512200110090



05.12.2024 № 01-16/123

Государственное агентство интеллектуальной  
собственности и инноваций при Кабинете  
Министров Кыргызской Республики

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рекреационная привлекательность озера Иссык-Куль ежегодно приводит к увеличению антропогенной нагрузки на прибрежные экосистемы, что создает значительные экологические риски. Одним из ключевых инструментов их защиты является формирование прибрежных буферных зон, которые представляют собой полосы земли, отделяющие возвышенности, холмы, озера или водно-болотные угодья. Прибрежные буферные зоны рассматриваются как эффективное и устойчивое средство предотвращения поступления избыточных питательных веществ, таких как азот (N) и фосфор (P), в водоемы. Эти зоны выполняют функцию барьера, снижая нагрузку за счет процессов адсорбции питательных веществ почвой, их иммобилизации микроорганизмами и поглощения растениями. Для обеспечения эффективного управления прибрежными зонами озера Иссык-Куль требуется разработка научно обоснованных подходов к определению оптимальной ширины буферных зон.

Предложенный Тотубаевой Нурзат Эрмековной метод «соотношение цены – выгоды», основанный на расчете оптимальной ширины буферной зоны с учетом экономико-экологических выгод и стоимости инвестиций в восстановление преобразованных ландшафтов, является эффективным инструментом планирования устойчивого управления прибрежными экосистемами. Данный подход позволяет достичь баланса между экологическими и экономическими интересами, что имеет важное значение для сохранения экосистемы озера Иссык-Куль.

На основании вышеизложенного считаем предложенный метод рациональным и высокоэффективным для научного обоснования мер по сохранению и устойчивому управлению природными ресурсами озера Иссык-Куль.

Директор

А. Мамбетов

КЫРГЫЗ РЕСПУБЛИКАСЫНЫН  
ЖАРАТЫЛЫШ РЕСУРСТАРЫ  
ЭКОЛОГИЯ ЖАНА  
ТЕХНИКАЛЫК КӨЗӨМӨЛ  
МИНИСТРЛИГИ



МИНИСТЕРСТВО  
ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ,  
ЭКОЛОГИИ  
И ТЕХНИЧЕСКОГО НАДЗОРА  
КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКИ

«ЫСЫК-КӨЛ»  
БИОСФЕРАЛЫК АЙМАГЫНЫН  
ДИРЕКЦИЯСЫ

721900, Балыкчы ш, Нарынское шоссе хоч.10  
тел.-факс 03944 7 04 01  
[issyk-kul-biosfera@fauna.kg](mailto:issyk-kul-biosfera@fauna.kg)  
[biosfera.ik@rambler.ru](mailto:biosfera.ik@rambler.ru)  
p/c4404061101011101  
Балыкчы филиалы  
ОАО «Керемет Банк»  
БИК (МФО) 440001  
ОКПО440406  
ИНН 00512200110090

ДИРЕКЦИЯ БИОСФЕРНОЙ  
ТЕРРИТОРИИ  
«ЫСЫК-КӨЛ»

721900, г.Балыкчы, ул.Нарынское шоссе 10  
тел.-факс 3944 7 04 01  
[issyk-kul-biosfera@fauna.kg](mailto:issyk-kul-biosfera@fauna.kg)  
[biosfera.ik@rambler.ru](mailto:biosfera.ik@rambler.ru)  
p/c4404061101011101  
Балыкчинский филиал  
ОАО «Керемет Банк»  
БИК (МФО) 440001  
ОКПО440406  
ИНН 00512200110090



05.12.2024 № 08-16/122

Государственное агентство интеллектуальной  
собственности и инноваций при Кабинете  
Министров Кыргызской Республики

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В рамках системы экологического мониторинга Республики при оценке качества воды озера Иссык-Куль традиционно используются базовые аналитические маркеры, отражающие основные негативные воздействия на водную среду. К таким показателям относятся уровень кислотности (рН), содержание взвешенных веществ, химическое потребление кислорода (ХПК), биохимическое потребление кислорода (БПК), концентрации аммонийного азота, нитритного и нитратного азота, а также фосфора в форме фосфатов.

Предложенная Тотубаевой Нурзат Эрмековной оптимизированная система оценки качества воды, включающая дополнение программы экологического мониторинга озера Иссык-Куль индексом трофического уровня, обеспечивает более достоверную и всестороннюю оценку состояния водной среды озера облегчая работу нашего ведомства. Интеграция индекса трофического уровня позволяет не только зафиксировать текущее состояние экосистемы, но и повысить точность прогнозирования возможных изменений в условиях антропогенного воздействия.

На основании вышеизложенного считаем, что данная оптимизация программы экологического мониторинга озера Иссык-Куль является важным рационализаторским шагом, направленным на совершенствование подходов к управлению экологической безопасностью экосистемы оз.Иссык-Куль.

Директор

А.С. Мамбетов

5983



**АКТ выполненных работ (услуг)**

ACT of rendered work (services provided)

*C-6123 от 13.11.2018*

Дата / Date: 24 декабря 2019 г.

В соответствии с договором на оказание услуг, от / In accordance with Service contract dated «13» ноября 2018г.

Исполнитель в лице / Contractor as represented by

Нурзан Тогубаевой

сдаст, а / provides and

ЗАО «Кумтор Голд Компани», именуемая в дальнейшем «Заказчик», в лице / JSC «Kumtor Gold Company», hereinafter referred to as «Customer», as represented by

Ольги Медоевой

принимает следующие работы (услуги, продукцию): / accepts the following works (services, goods):

Биоремедиация нефтезагрязненного грунта на полигоне промышленных отходов рудника «Кумтор», с применением консорциума бактерий

1. Качество работы (продукции, услуг) проверено полномочным представителем Заказчика в присутствии Исполнителя и соответствует требованиям. / Quality of work (services, goods) has been verified by authorized representative of Client in presence of Provider and conforms to the requirements of

Согласно договора выполнен весь объем.

*(договора, технических условий, стандарта и пр.) (contract, technical specifications, standards etc.)*

2. Выполненные Исполнителем работы выполнены надлежащим образом и приняты полностью. / The work rendered by Provider has been carried out in a due manner and has been accepted completely

Сдан / Delivered:	Принят / Accepted:
<i>Тогубаева Нурзан</i>	<i>Олегу</i>
 <p>КЕҢСЕ Тверждено</p>	 <p>М.П. КУМТОР</p>
Уполномоченным представителем подразделения / Approved by department manager	
<i>Олегу 27.12.2019г</i>	