

**ОШСКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
им. М. М. АДЫШЕВА**

ОШСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

**КЫРГЫЗСКО-УЗБЕКСКИЙ МЕЖДУНАРОДНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
им. Б. СЫДЫКОВА**

Диссертационный совет Д 06.23.663

**На правах рукописи
УДК 504. (575.2) (043)**

ПРОХОРЕНКО ВИКТОР АЛЕКСАНДРОВИЧ

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ОБЪЕКТОВ
ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ТЕХНОГЕННЫХ ЗОН КЫРГЫЗСКОЙ
РЕСПУБЛИКИ**

03.02.08-экология

**Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
доктора биологических наук**

Ош-2024

Работа выполнена в Институте химии и фитотехнологии Национальной академии наук Кыргызской Республики.

Научный консультант: Жоробекова Шарипа Жоробековна
доктор химических наук, академик НАН КР,
заведующая лабораторией химии угля и природных полимеров института химии и фитотехнологии НАН КР

Официальные оппоненты: Сакбаева Зулфия Исраиловна
доктор биологических наук, доцент
начальник учебного отдела Жалал-Абадского государственного университета имени Б. Осмонова

Калдыбаев Бакыт Кадырбекович
доктор биологических наук, профессор кафедры туризма и охраны окружающей среды Иссык-Кульского государственного университета имени К. Тыныстанова

Минкина Татьяна Михайловна
доктор биологических наук, профессор, зав. кафедрой почвоведения и оценки земельных ресурсов Южного федерального университета, Ростов-на-Дону, Россия

Ведущая организация: Казахский национальный университет им. Аль-Фараби, факультет биологии и биотехнологии, кафедра биоразнообразия и биоресурсов (050040, Республика Казахстан, г. Алматы, пр. аль-Фараби, 71)

Защита диссертации состоится «09» февраля 2024 года в 13-00 часов на заседании диссертационного совета Д 06.23.663 по защите диссертаций на соискание ученой степени доктора (кандидата) биологических наук при Ошском технологическом университете им. М. М. Адышева, соучредители Ошский государственный университет и Кыргызско-Узбекский международный университет им. Б. Сыдыкова по адресу: 723503, г. Ош, ул. Н. Исанова, 81, зал заседаний. Ссылка доступа к видеоконференции защиты диссертации: <https://vc.vak.kg/h/062-ohd-b05-rvb>

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеках Ошского технологического университета им. М. М. Адышева (723503, г. Ош, ул. Н. Исанова, 81), Ошского государственного университета (723500, г. Ош, ул. Ленина, 331), Кыргызско-Узбекского международного университета им. Б. Сыдыкова (723500, г. Ош, ул. Г. Айтиева, 27) и на сайте: <https://vak.kg/wp-content/uploads/2023/06/DISSERTACIYA-FINISH-4.pdf>

Автореферат разослан «08» января 2024 года.

Ученый секретарь диссертационного совета,
кандидат биологических наук, доцент

З. А. Тешебаева

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы диссертации. В современном мире в результате действия многих факторов сформировалась экологическая ситуация, обусловившая резкое повышение уровня техногенной нагрузки на окружающую среду и породившая сложные проблемы охраны и воспроизводства биологических ресурсов. Эти проблемы чрезвычайно важны для всего мира, в том числе и для Кыргызской Республики, на территории которой имеются техногенные зоны, характеризующиеся огромным накоплением радиоактивных элементов и тяжелых металлов и представляющие огромную опасность для жизни людей. Среди компонентов окружающей среды особое место занимает почва. Как известно, почва является особым связующим звеном между биотическими и абиотическими компонентами наземных экосистем. Загрязнение почвы препятствует выполнению ее экологической роли, сокращает почвенное биоразнообразие, снижает запасы органического вещества и нарушает баланс питательных веществ в биосфере. К числу наиболее распространенных поллютантов почвы относятся тяжелые металлы, нефть и нефтепродукты, стойкие органические загрязнители (СОЗ), представляющие собой первичные и побочные продукты промышленности, а также неиспользованные остатки средств защиты растений (пестицидов, гербицидов, фунгицидов). Естественные радиоактивные изотопы, присутствующие в почвообразующих породах, а также поступающие извне искусственные радиоактивные изотопы вызывают радиоактивное загрязнение почв. Несмотря на множество научных работ, выполненных в области загрязнения окружающей среды, результаты их, как правило, не содержат оценку экологического риска. В большинстве исследований анализируются отдельные аспекты накопления в почвах вредных веществ, а также рассматриваются последствия их загрязнения. При этом, абсолютная мера вероятности риска заменяется на его ориентировочную оценку, которая включает соотношение между реальной техногенной нагрузкой на окружающую среду и критической. Однако, оценка экологического риска в целом, это выявление и оценка вероятности возникновения в окружающей среде негативных изменений или отдаленных неблагоприятных последствий этих изменений. Важное значение имеет определение этой величины с применением современных методов, основанных на использовании совокупности результатов химических, биондикационных и токсикологических анализов. Для решения проблем экологии огромную значимость представляют также исследования по управлению рисками загрязнения, которые предполагают восстановление нарушенных территорий. Одной из ключевых проблем ремедиации нарушенных территорий являются создание и технология использования новых высокоэффективных материалов специфического назначения, полученных предпочтительно на основе доступного и нетоксичного природного сырья. В связи

с вышеуказанным поставленные в настоящей работе проблемы эколого-токсикологической оценки риска загрязнения почвы на основе современных подходов, а также управление этими рисками путем использования новых материалов специфического действия являются весьма актуальными.

Связь темы диссертации с приоритетными научными направлениями, крупными научными программами (проектами), основными научно-исследовательскими работами, проводимыми образовательными и научными учреждениями. Диссертационная работа выполнена в соответствии с планом НИР Института химии и фитотехнологий НАН КР, а также в рамках проекта Международного Научно-Технического Центра (МНТЦ) № КР 2092 и 2093 с 2014-2022 годы.

Цель исследования. Эколого-токсикологическая оценка рисков загрязнения почв в техногенных зонах Кыргызской Республики (Каджи-Сайская биогеохимическая провинция; территория Термоэлектрической станции г. Бишкек) с использованием современных методов и управление этими рисками путем применения новых материалов специфического назначения.

Задачи исследования:

1. Определение содержания и распределения радиоактивных элементов и тяжелых металлов в почвах техногенных зон;
2. Исследование радиационного состояния Каджи-Сайской биогеохимической провинции;
3. Изучение биоиндикационных и токсикологических показателей загрязнения почв на территориях Каджи – Сайской провинции и Термоэлектрической станции г. Бишкек;
4. Оценка риска загрязнения рассматриваемых объектов с применением методов многокритериального анализа;
5. Разработка и применение новых материалов для очистки и ремедиации нарушенных объектов окружающей среды с целью управления рисками загрязнения почв.

Научная новизна работы. Впервые представлено полное описание химических, радиационных, биоиндикационных и токсикологических показателей загрязнения почв в техногенных зонах Кыргызской Республики (Каджи-Сайской биогеохимической провинции и Территории ТЭЦ г. Бишкек).

Впервые определены и описаны состав и структура сообщества микроскопических грибов, а также таксономическое строение сапротрофного бактериального комплекса в почвах указанных техногенных зон.

Впервые проведена оценка экологического риска загрязнения почв в техногенных зонах с использованием модели распределения концентрации воздействия (Exposure Concentration Distribution – ECD), «доза-эффект».

Впервые представлена оценка экологического риска загрязнения почв в техногенных зонах на основе моделирования распределения видовой чувствительности (Species Sensitivity Distribution - SSD) почвенных ценозов.

Впервые рассчитан интегральный индекс загрязнения почв в техногенных зонах методом Триад, основанном на использовании массива доказательств, полученных химическими, токсикологическими и биоиндикационными анализами.

Для управления рисками загрязнения почв разработаны новые материалы и описаны технологии их практического использования.

Практическая значимость полученных результатов.

Оценка экологического риска дает возможность выявить и определить возникновение в окружающей среде негативных изменений или отдаленных неблагоприятных последствий этих изменений. Как показано в настоящей работе, важное значение имеет оценка экологического риска с применением современных методов, основанных на использовании совокупности результатов химических, биоиндикационных и токсикологических анализов. В качестве стратегии управления рисками загрязнения предлагается принимать очистку и восстановление (ремедиацию) нарушенных территорий с использованием специфических материалов и технологий.

Описанные в работе методы применяются в определении степени загрязнения техногенных и природоохранных территорий Кыргызской Республики. Имеется подтверждение Департамента экологического мониторинга при Министерстве природных ресурсов, экологии и технадзора КР. Методы многокритериального анализа загрязнения окружающей среды и оценки экологического риска введены в учебный процесс при чтении лекций и в плановые научные исследования Медицинской академии имени И.К.Ахунбаева. Использование материалов диссертации в учебном процессе в ВУЗах способствует повышению уровня подготовки специалистов.

Основные положения диссертации, выносимые на защиту:

1. Результаты химических, радиационных, биоиндикационных и токсикологических исследований почв техногенных зон КР.
2. Оценка экологического риска загрязнения почв в техногенных зонах с использованием модели распределения концентрации воздействия (Exposure Concentration Distribution – ECD) «доза-эффект»
3. Оценка экологического риска загрязнения почв в техногенных зонах на основе моделирования распределения видовой чувствительности (Species Sensitivity Distribution - SSD) почвенных ценозов.
4. Определение интегрального индекса загрязнения почв методом Триад, основанном на использовании массива доказательств.
5. Получение и технологии использования новых материалов со специфическими свойствами для управления рисками загрязнения почв.

Личный вклад соискателя. Включенные в диссертацию результаты получены лично автором и при его непосредственном участии. Соискатель самостоятельно планировал, получал и анализировал экспериментальные данные, выполнял теоретические расчеты, интерпретировал результаты исследования, принимал активное участие в подготовке и написании научных статей и докладов, опубликовал монографию.

Степень достоверности результатов. Достоверность и надежность результатов основаны на применении современных научных методов и приборов для анализа почв, использовании классических и современных методов эколого-токсикологической оценки риска загрязнения почв, экспериментальном доказательстве эффективности использования новых материалов для очистки и ремедиации загрязненных объектов с целью управления экологическими рисками.

Апробации результатов работы диссертации. Материалы исследований по теме диссертации докладывались и обсуждались на международных научных форумах и конференциях: SETAC Europe 25th Annual Meeting, May 03 – 07, 2015 Barcelona, Spain; Aqua Con Soil, 2015. Copenhagen, Denmark; Russian Research and Practic Conference «Actual problems of regional politics and biodiagnostic of living systems», December 1-2, 2015, Kirov; Russia, International scientific-technical Conference Natural Disasters and human life safety December 04-06, 2017, Baku, Azerbaijan; VI. Всероссийский симпозиум с международным участием «Органическое вещество и биогенные элементы», Москва, 28 августа 2017. ESSE 2021; Международная научно – практическая конференция по актуальным исследованиям в области окружающей среды, устойчивости и социально - экономического развития ZOOM – конференция, 1 июня 2021; International Conference on Environmental Science and Development, Italy. 20–12–2022.

Полнота отражения результатов диссертации в публикациях. По теме диссертации опубликованы 1 монография, 20 научных статей, из них 10 в журналах, индексируемых системой РИНЦ, 3 статьи в зарубежных журналах, индексируемых в Scopus, 2 статьи в журналах –Web of Science.

Структура и объем диссертации. Диссертация изложена на 218 страницах текста, содержит 45 таблицу, 55 рисунка и состоит из введения, четырех глав, выводов, списка использованной литературы

Благодарности. Автор выражает искреннюю признательность профессору Игорю Липкову (Центр инженерных исследований и разработок армии США), проф. Дайане Хеншель (Университет Индианы, США), профессору Виктору Ф. Медина (Центр военных инженерных исследований США) за научные консультации в рамках коллабораторства при выполнении международных проектов МНТЦ №КР 2092 и №КР 2093, благодарит проф. В. А. Терехову (МГУ им. М.В. Ломоносова), проф. К.А. Кыдралиеву (Институт прикладной биохимии и машиностроения, г. Москва), проф. Б.М. Худайбергенову (Институт биотехнологии

НАН. КР) за помощь в постановке экспериментов и обсуждении полученных экспериментальных данных.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы исследования, изложены цель и задачи, научная новизна, практическая значимость работы и основные положения диссертации, выносимые на защиту.

Глава 1: Обзор литературы. Проведен обзор современных исследований в области сложившейся экологической ситуации в мире, характеристике наиболее значимых компонентов окружающей среды, загрязнение которых играет определяющую роль в развитии наземных экосистем. Обозначена важнейшая роль почвы, как особого связующего звена между биотическими и абиотическими компонентами наземных экосистем, в решении проблем экологии. Особое внимание уделено детерминированию понятия экологический риск и современным методам его оценки. Рассмотрены основные подходы к решению проблем реанимирования (восстановления) загрязненных почв. Описаны результаты работ по разработке и практическому применению технологий ремедиации загрязненных объектов.

Глава 2. МЕТОДОЛОГИЯ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ.

2.1 Материалы и методы исследования.

Исследования проводились на территории двух техногенных зон Кыргызской Республики: Биогеохимической урановой провинции Каджи - Сай и Территории термоэлектрического центра (ТЭЦ) г. Бишкек. Высокая значимость научных работ по изучению процессов загрязнения почв в техногенных зонах определяется еще и тем, что экологические риски имеют отдаленные последствия, которые могут проявляться и после рекультивации загрязненных территорий.

Измерение экспозиционной дозы производилось с помощью гамма-дозиметра-радиометра. Измерения проводились в соответствии с инструкциями МАГАТЭ по наземному обследованию радиационной обстановки на высоте 0,1 и 1 метр от поверхности земли. Согласно технической инструкции к дозиметрам, было проведено не менее трех измерений, определено среднее значение.

Активности радионуклидов измерены на гамма-спектрометре Canberra США, состоящий из германиевого детектора HPGe. Детектор изготовлен из особого чистого германия фирмы «Canberra» модель GX4019. Он осуществляет управление работой гамма-спектрометрического тракта, обработку аппаратурных гамма-спектров с программным обеспечением Genie-2000.

Элементный состав почвы исследован с использованием XRF спектрометра DELTA Classic (USA). В аналитических режимах использована библиотека заводских оценок, состоящая из набора минимальных и максимальных значений

для каждого элемента в датчике. Для точности полученных результатов каждый образец был измерен 3 раза, а затем было создано среднее значение трех измерений.

Видовое разнообразие изолированных грибных сообществ оценено по численности видов и на основе расчета индекса разнообразия Шеннона. Кластерный и факторный анализ проведен с помощью программы Statistica 7.0. Количественный подсчет бактерий проводили на флуоресцентном микроскопе MS300FS. Биондикационные показатели определены измерением интенсивности дыхания почвы и базального микробиологического дыхания. Токсикологические испытания образцов почвы проводились в системе Фитоскан, а также с использованием *Allium*-теста.

Глава 3. РЕЗУЛЬТАТЫ СОБСТВЕННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ.

3.1. Общая характеристика загрязненных территорий. Радиационное состояние.

Геохимические условия Кыргызстана служат основой для возникновения биогеохимических урановых провинций. Одной из таких провинций является Каджи – Сай, где в течение долгого времени добывался подземным способом ураноносный бурый уголь, из которой в последующем выделяли оксид урана. На территориях по добыче и переработке урановой руды были сформированы зоны с повышенным фоновым уровнем радионуклидов. Захоронения расположены в 2,5 км к северо-востоку от жилого поселка и в 1,5 км от озера Иссык-Куль с образованием урановых хвостохранилищ объемом 400 000 кубометров и площадью 10800 м². На поверхности закрытых отвалов золы экспозиционная доза γ -излучения составляет в среднем 30-60 мкР / ч. Имеются районы с аномально высокими дозами облучения от 600 до 1500 мкР / ч.

Почва в районе Каджи-Сая относится к горно – доливному светлокоричневому типу. Текстура в основном среднесуглинистая с преобладанием крупнозернистой фракции, реже суглинистая.

Как видно из результатов гамма-спектрометрических измерений образцов (табл.1), в почвах удельная активность U-238 варьирует в пределах 42,3 - 144,9 Бк/кг, удельная активность Ra-226 – в пределах 39,2 - 183,5 Бк/кг, удельная активность Pb-210 – в пределах 62,7 – 310,9 Бк/кг.

Таблица 1. – Результаты гамма-спектрометрических измерений образцов почвы (0-20 см)

Точка	U-238	+/-	Ra-226	+/-	Pb-210	+/-
	[Бк/кг]	[Бк/кг]	[Бк/кг]	[Бк/кг]	[Бк/кг]	[Бк/кг]
0	127.6	17	183.5	19	310.9	44
1-1	92.18	18	109.43	22	141.12	28
1-2	144.94	29	100.53	20	142.94	29

Продолжение табл. 1.

2-1	144.94	29	87.31	17	155.32	31
3-1	118.45	24	133.82	27	237.41	47
3-2	1670.58	334	107.10	21	91.02	18
4-1	33.6	4	41.8	4	82.8	11
5-1	55.3	11	42.7	9	78.2	16
5-2	128	17	184	19	311	44
5-3	63.1	7	58.0	15	142.6	19
6-1	42.5	8	58.2	12	69.3	14
6-2	50.1	5	49.1	5	62.7	8
6-3	46.0	7	41.1	7	64.1	11
7	52.4	6	39.2	4	88.1	9
9	41.8	8	49.8	10	77.3	15
(вдоль дороги)						
10	43	19	36	11	52	17

Составляющая внешнего радиационного фона создается почти исключительно за счет естественных радионуклидов, входящих в ряды распада урана и тория. Вышеприведенные данные отражены в пространственной интерполяции геохимических и радиологических показателей для U-238, Ra-226 и Pb-210.

Закключение. Каджи-Сайская техногенная зона характеризуется высоким радиационным фоном. Составляющая внешнего радиационного фона создается за счет естественных радионуклидов, входящих в ряды распада урана и тория. Содержание радионуклидов U-238, Ra-226, Pb-210 в почвах и грунтах Каджи-Сайской техногенной зоны превышает их кларковое содержание в земной коре во много раз.

3.2. Элементный состав почвы исследован с использованием XRF спектрометра DELTA Classic (USA). Почвы провинции Каджи-Сай анализированы на содержание химических элементов Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Lu, Zn, W, Hf, Ta, Ro, Pb, Be, Zn, Nb, Mo, Sn, Sb). Анализы проведены с условием предписаний для измерения максимально допустимых (MAC) и ориентировочно допустимых (AAC) концентраций. Анализ распределения химических элементов на местах представлен на рисунке 1. Наиболее загрязненные участки расположены на участках промышленной зоны. Концентрация токсичных веществ S, Cr, Mn, Co, Ni, Cu, Zn, Sb, Hg, Pb превышает значение ПДК от 10 до 1000 раз. В жилой зоне имеет место превышение ПДК по Cr, Cu, Pb, Co, Sb до 10 раз. Особенностью загрязнения почв в исследуемой техногенной зоне является неоднородность пространственного распределения концентраций химических элементов.

Анализ загрязнения территории, прилегающей к Бишкекской ТЭЦ, показал, что в большинстве случаев содержание ТМ в почвах не превышает нормы – ОДК. Сравнение полученных данных по содержанию тяжелых металлов (ТМ) в почвах на территории ТЭЦ с существующими нормативами ОДК показало, что исследуемые образцы в целом не относятся к разряду почв, представляющих опасность от загрязнения тяжелыми металлами.

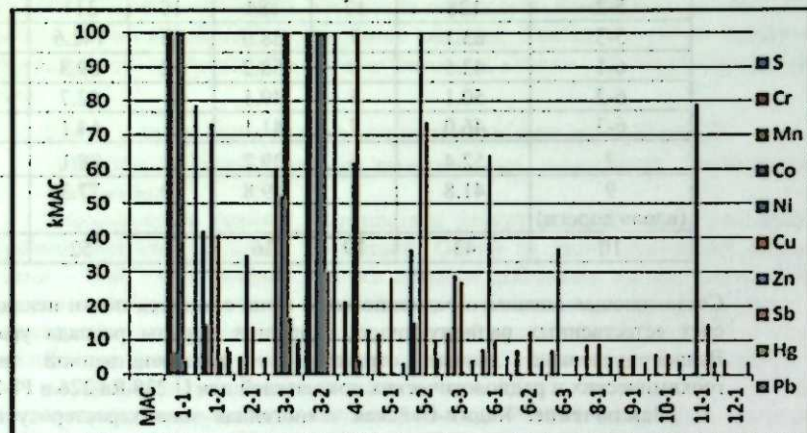


Рисунок 1. - Диаграмма распределения химических загрязнителей по участкам. КМАС – максимальный допустимый уровень содержания элемента.

По результатам исследований выявлено, что по содержанию тяжелых металлов почвы Каджи-Сайской провинции являются высоко токсичными. Почвы на территории ТЭЦ не представляют опасность по загрязнению тяжелыми металлами. Особенностью загрязнения почв в исследуемых техногенных зонах является неоднородность пространственного распределения концентраций химических элементов.

Заключение. По содержанию тяжелых металлов почвы Каджи-Сайской провинции являются высоко токсичными. Почвы на территории ТЭЦ не представляют опасность по загрязнению тяжелыми металлами. Особенностью загрязнения почв в исследуемых техногенных зонах является неоднородность пространственного распределения концентраций химических элементов. Вариабельность фиксируется на общем высоком уровне валовых содержаний последних.

3.3. Биоиндикационные и токсикологические показатели. Для биоиндикационных и токсикологических испытаний были использованы 22 образца почвы. Анализ содержания грибов в образцах почвы показал относительно низкие показатели общего количества микромицетов (от 22,0* до 25,7* тыс. КОЕ на 1 г почвы). Идентифицирован 21 вид микромицетов. Видовое разнообразие во всех пробах было низким - от 4 до 7 видов микромицетов. Обычные виды в пробах представлены группами грибов *Mycelia sterilia* (частота 100%). Многие из них представляют группу потенциальных патогенов растений со спорами темного цвета *Dematiaceae* (100%). Колонии нитчатых грибов со спорами пигмента принадлежат к *Moniliaceae* (80%). Микромицет *Gliocladium roseum*, известный как гиперпаразит, был обнаружен в 80% проб. Для анализа состава и структуры почвенных грибных сообществ было представлено 7 образцов из нарушенных и контрольных местообитаний. В пробах с нарушенных участков количество грибных сообществ обычно было выше, чем в контрольной почве. Индекс разнообразия Шеннона на контрольных участках мониторинга почв составил всего 1,28–2,07. В образцах почвы полигона 2,24 - 2,60.

Доминируют виды, среди которых преобладают представители типичных почвенных родов - *Penicillium*, *Aspergillus* (рис.2.).

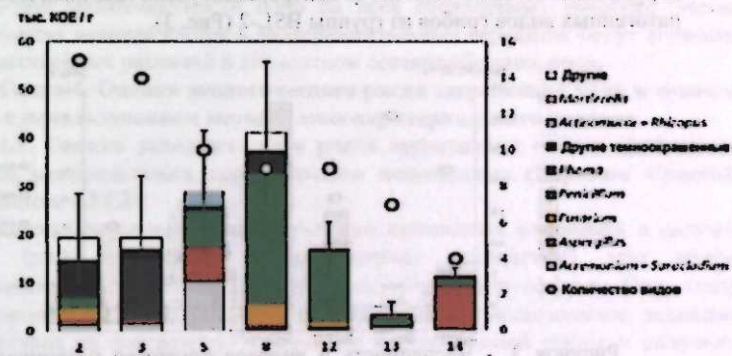


Рисунок 2. - Численность, видовое богатство и представленность основных родов и групп микроскопических грибов в составе почвенных грибных сообществ, выделенных из исследованных образцов.

Различия грибных сообществ исследуемых образцов почвы подтверждаются низким уровнем сходства по индексу Серенсена-Чекановского (табл.2.), который составляет менее 29% между образцами нарушенных местообитаний и контрольных почв.

Таблица 2. - Индекс подобия индекса Серенсен-Чекановского для сообществ грибов в исследованных образцах почвы

	14	13	12	8	5	3	2
2	0,06	0,17	0,29	0,14	0,12	0,28	
3	0,06	0,11	0,14	0,24	0,16		
5	0,13	0,23	0,20	0,24			
8	0,17	0,30	0,42				
12	0,17	0,46					
13	0,35						
14							

В почвах нарушенных местообитаний наблюдается увеличение разнообразия потенциально патогенных видов грибов, что является важным показателем, отражающим наличие и интенсивность антропогенной нагрузки на почву. На всех нарушенных почвах в отличие от контрольных увеличено количество потенциально патогенных видов грибов из группы BSL-2 (Рис. 3).

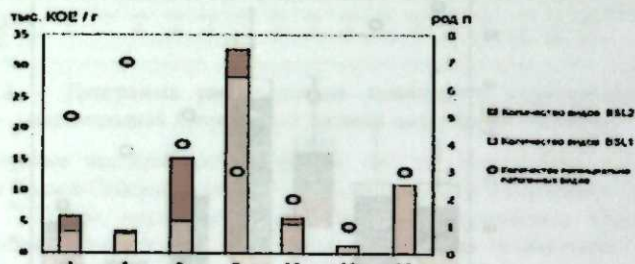


Рисунок 3. - Численность и видовое богатство потенциально патогенных грибов в составе почвенных грибных сообществ изученных местообитаний

Проведены токсикологические испытания образцов почвы с. Каджи-Сай с использованием горчицы белой (*Sinapis Alba*) в качестве тест-объекта. Результаты расчета коэффициента корреляции между наблюдаемыми концентрациями химических элементов и исследуемой реакцией горчицы показали, что длина корней горчицы определяется концентрацией 7 тяжелых металлов: Са, Сu, Zn > Cr, Cd, > As > Pb. Можно утверждать, что интегральную токсичность образцов определяет совокупный эффект этих 7 тяжелых металлов.

Токсичность почвенных культур определялась также с использованием *Allium*-теста на примере репчатого лука сорта Штуттгартен. Препараты для цитогенетического анализа готовили из апикальной меристемы корешков и окрашивали ацеоорсеином. В каждом препарате анализировали все анаелофазные клетки. Учитывали хроматидные и хромосомные мосты и фрагменты, а также отставание хромосом и трехполюсные митозы. Данные по частоте aberrантных клеток в апикальных меристемах лука свидетельствуют о высокой цитотоксичности почв на всех исследуемых участках.

Заключение. Изучена динамика биотических показателей в различающихся по радиоактивности пробах почвы в техногенной зоне Каджи-Сай. Установлены относительно низкие показатели общего количества микромицетов. Сообщества грибов исследованных почв незначительно различаются по составу. Доминируют виды, среди которых преобладают представители типичных почвенных родов - *Penicillium*, *Aspergillus*. В сообществах почвенных грибов нарушенных территорий имеют место изменения состава и численности доминирующего вида. Изучено влияние образцов почвы Каджи-Сайской провинции на морфологические признаки высших растений. Данные токсикологических испытаний с использованием горчицы белой (*Sinapis Alba*) и репчатого лука сорта Штуттгартен свидетельствуют о высокой цитотоксичности почв на всех исследуемых участках. Механизмы торможения деления клеток в экспериментальных вариантах могут отличаться из-за существенных различий в элементном составе образцов почв.

Глава 4. Оценка экологического риска загрязнения почв в техногенных зонах с использованием методов многокритериального анализа.

4.1. Оценка экологического риска загрязнения почв с использованием модели распределения концентрации воздействия (Exposure Concentration Distribution - ECD).

Оценка вероятности возникновения негативных изменений в окружающей среде (или отдаленных неблагоприятных последствий этих изменений) заключается в выявлении критических точек доза-эффект. Под «дозой» x подразумевается любое (химическое, термическое, биологическое, радиационное) воздействие на экосистему, измеряемое в непрерывной шкале и количественно выраженное в произвольных единицах. «Отклик» ϕ это количественная реакция экосистемы на воздействие определенного уровня. Статистическую зависимость эффекта ϕ от уровня воздействия x обычно описывают, как:

$$\phi(x; b, c, d, e) = c + (d - c) \psi(x; b, e),$$

где параметры c и d , представляют собой нижний и верхний пределы отклика, а ψ - определяют некоторой нелинейной функцией параметров b и e . Для аппроксимации зависимостей «доза - эффект» по результатам экотоксикологических исследований используют модели нелинейной регрессии.

Список моделей, протестированных в настоящей работе, приведен в таблице 3. Таблица 3. – Математические формулы функций моделей нелинейной регрессии, используемых для аппроксимации доза-эффект.

Описание модели	Вид функции регрессии	Код
Log-логистическая модель с 4 параметрами (b, c, d, e)	$\varphi(x) = c + \frac{d-c}{1 + \exp\{b(\log(x) - \log(e))\}}$	LL.4
Log-Логистическая модель с 3 параметрами (b, d, e)	$\varphi(x) = \frac{d}{1 + \exp\{b(\log(x) - \log(e))\}}$	LL.3
логистическая модель с 4 параметрами (b, c, d, e)	$\varphi(x) = c + \frac{d-c}{1 + \exp\{b(x-e)\}}$	*)
Логнормальная модель (probit) с 4 параметрами (b, c, d, e)	$\varphi(x) = c + (d-c)\Phi\{b(\log(x) - \log(e))\}$, где Φ - кумулятивная функция плотности для стандартного нормального распределения	*)
Модель Brain-Cousens (1989) с 5 параметрами (b, c, d, e, f)	$\varphi(x) = c + \frac{d-c + fx}{1 + \exp\{b(\log(x) - \log(e))\}}$	BC.5
Модель Cedergreen-RitzStreibig (2005) с 4 параметрами (a, b, d, e)	$\varphi(x) = \frac{d + f \exp(-1/x^a)}{1 + \exp\{b(\log(x) - \log(e))\}}$	CRSc.4
Модель Гомперца	$\varphi(x) = c + (d-c)\{\exp[\exp(b(x-e))]\}$	*)
Weibull - 1 модель	$\varphi(x) = c + (d-c)(\exp[\exp(b(\log(x) - \log(e)))]$	W1.4
Weibull - 2 модель	$\varphi(x) = c + (d-c)(1 - \exp[\exp(b(\log(x) - \log(e)))]$	W2.4
Экспоненциальная модель с 3 параметрами (c, d, e)	$\varphi(x) = c + (d-c)(\exp(-x/e))$	EXP.3
Экспоненциальная модель с 2 параметрами (d, e)	$\varphi(x) = d(\exp(-x/e))$	EXP.2
Модель Михаэлиса-Ментен с 3 параметрами (c, d, e)	$\varphi(x) = c + \frac{d-c}{1 + (e/x)}$	MM.3

Оценочные параметры моделей имеют определенный физический смысл. Разница (d - c) параметров модели «доза-эффект» фактически определяет величину максимального отклика, а затем легко определяет местонахождение любой дозы ED₅₀, что приводит к (100 - y) % доле (d - c). Например, в той же модели LL.4 любая изоэффективная доза выражается через параметры b и c: ED₅₀ = e (y / (100 - y))^{1/b}.

Для оценки реакции экосистемы были использованы результаты биоиндикационных исследований сообществ почвенных микроорганизмов для образцов почв, взятых из четырех пилотных участков нарушенных местообитаний и трех участков в контрольных зонах. Выделены чистые культуры для их последующей идентификации. Таксономическая принадлежность выделенных грибов определялась как на основании культурально-морфологических особенностей с текущими детерминантами для соответствующих групп и видов, так и на основании молекулярных свойств стерильных изолятов. Для построения моделей показателей «доза-реакция» использованы показатели численности КОЕ отдельных организмов в 1 г. воздушно-сухой почвы для следующих таксономических групп: всех бактерий (млн. КОЕ/г. почвы); отдельных групп бактерий, выбранных в зависимости от различных форм использованного азота, выращенных на трех питательных средах - МРА, КАА и бульон Чапек; актиномицетов (тыс. КОЕ/г. почвы); всего сообщества микроскопических грибов (тыс. КОЕ / г. почвы) и отдельно для родов *Penicillium* и *Aspergillus*. В ходе статистической обработки было проанализировано множество зависимостей различных показателей отклика. При этом в каждом случае осуществлялся перебор целого ряда возможных моделей – претендентов из числа представленных в таблице 3. Как показали опыты, модели зависимости количества КОЕ актиномицетов в образцах почвы от активности радионуклидов Ra-226 имеют характерную сигмовидную форму с четко выраженной зоной перегиба (рис.4).

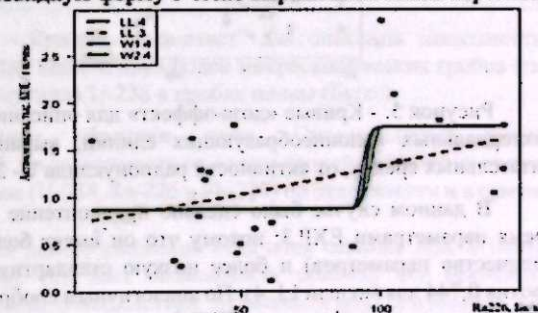


Рисунок 4. - Кривые "доза-реакция" для описания зависимостей количества колониеобразующих единиц актиномицетов (тыс. КОЕ / г) от активности

радионуклида Ra-226 в пробах почвы (Бк/кг) с использованием четырех различных моделей.

Log-логистическая модель LL.4 симметрична относительно центральной точки, и ее параметр c численно равен значению «полуэффекта» ED50. Уменьшение количества параметров log-логистической модели до 3 (т.е. нижний предел $c=0$) разрушает сигмовидную кривую, и она фактически становится линейной зависимостью, где численность актиномицетов увеличивается с активностью Ra-226 в образцах. Модели W1.4 и W2.4 с четырьмя параметрами, приведенными в примере, очень похожи по результатам. Очевидно, что в данном исследовании этот класс почвенных организмов является четким индикатором антропогенного загрязнения. Проводилось сравнение количества бактерий, использующих две минеральные формы азота и выращиваемых на крахмально-аммиачном агаре (КАА), от активности радионуклида U-238 в образцах почвы с использованием двух моделей LL.4 и EXP.3. Отметим, что модель LL.4 представлена не всей сигмовидной кривой в целом, а только ее верхней ветвью (Рис.5).

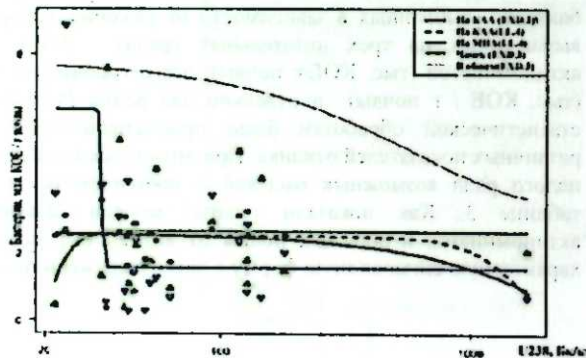


Рисунок 5. - Кривые «доза-эффект» для описания зависимостей численности бактериальных колониеобразующих единиц, выращенных на трех различных питательных средах, от активности радионуклида U-238 в образцах почвы.

В данном случае было сделано предпочтение экспоненциальной модели с тремя параметрами EXP.3: потому что он имеет более сжатую форму (меньшее количество параметров) и более низкую стандартную ошибку регрессии (0,733 против 0,744 для модели LL.4). По аналогичным соображениям можно предпочесть экспоненциальную функцию EXP.3 модели Михаэлиса – Ментен MM.3 для численности бактерий, выращенных на питательной среде Чапека. В противоположность этому модель LL.4 для количества бактерий, использующих

органические формы азота и выращиваемых на мясопептонном агаре (МПА), имеет характерную сигмовидную форму параметров оценки и может быть достоверно использована для оценки экологического риска. Там же для сравнения приведены аналогичные результаты по модели, построенной для суммарной численности бактерий, выращенных на всех трех питательных средах (МРА+КАА+Чапека).

Анализ микроскопических грибов в образцах почвы (КОЕ/г почвы) с различной активностью радионуклидов U-238 не привел к созданию достаточного потенциала для выполнения моделей оценки экологического риска. Модель BC.5 с минимальной ошибкой аппроксимации, построенная для видов рода *Aspergillus*, приняла форму U-образной кривой, плавно стремящейся к 0 с увеличением радиоактивности. Для зависимости численности колоний грибов рода *Penicillium* проверка адекватности модели вообще не требуется, поскольку их тренд совпадает со средним значением численности (рис.6).

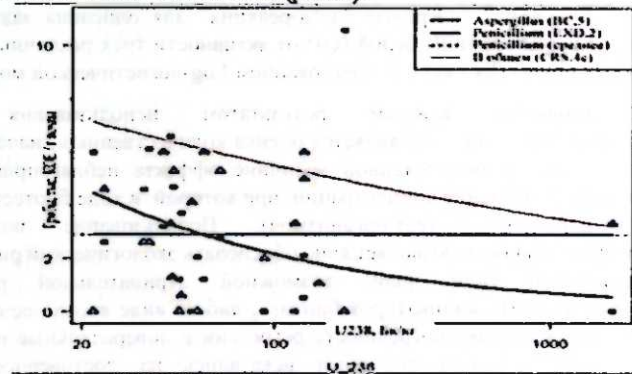


Рисунок 6. - Кривые "доза-ответ" для описания зависимости количества колониеобразующих единиц двух родов микроскопических грибов (тыс. КОЕ/г) от активности радионуклида U-238 в пробах почвы (Бк/кг).

Биотестирование образцов почв. Сравнительный анализ моделей аппроксимации LL.4 в зависимости от длины корней проростков от активности всех трех радионуклидов (U-238, Ra-226 и Pb-210) по отдельности и в сумме представлен на рисунке 7.

Наблюдается резкое снижение величины отклика при активности изотопа радия около 30Бк, что дает возможность принять эту величину в качестве норматива техногенного воздействия. Активность других изотопов также вызывает уменьшение длины корневых побегов, но взаимосвязь носит более умеренный и монотонный характер, поэтому порог их локализации связан со значительной неопределенностью.

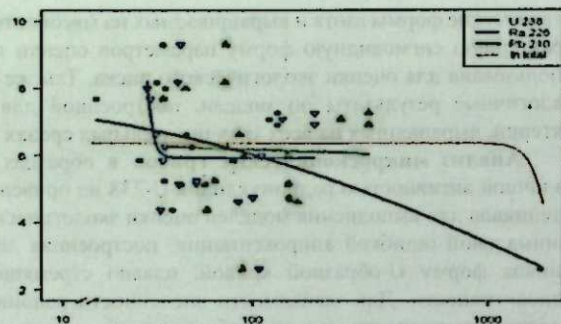


Рисунок 7. - Кривые "доза-реакция" для описания зависимостей средней длины корня горчицы белой (см) от активности трех различных радионуклидов в пробах почвы (Бк / кг) с использованием Log-логистической модели.

Наиболее важным результатом использования представленных регрессионных моделей является оценка количественных значений переменных x , приводящих к определенной величине эффекта неблагоприятных действий Y (например, значение концентрации, при которой в ходе биотеста умерло 5, 16, 50, 86 или 95% тест-организмов). Использование полученной шкалы изозффективности позволяет явно обосновать экологический риск (ЭР) либо в виде вероятности (или доли) возможной отрицательной реакции наиболее чувствительных индикаторов биотика, либо в виде соотношения ЭР = ЕС/ДС. В некоторых случаях погрешность регрессии и доверительные интервалы, которые оказались слишком высокими, исказились на достоверности значений доз изозффективности (табл.4.).

Таблица 4. - Эффекты изозффективности радионуклидов, полученных в биотесте, для разных уровней проявления эффекта y .

Радионуклид	Используемый ответ	Эффект %	Оценка влияния, Бк	Стандартная ошибка	Пределы достоверности	
					Нижний	Верхний
U-238	уменьшение количества бактерий на МРА	5	32.0	1.30	28.7	36.4
		10	32.8	1.19	30.8	35.1
		16	33.0	0.78	31.4	34.9
		50	33.7	0.44	32.6	37.3
		84	34.0	0.89	32.3	35.86

Продолжение таблицы 4.

U-238	Бактерий на всех средах	5	33.9	108.6	-155	207
		10	44.3	206.	-260	387
		16	87.5	235	-396	706
		50	200	900	-1971	2097
U-238	уменьшение количества <i>Aspergillus fungi</i>	5	31.3	178	-162	304
		10	49.8	245	-432	626
		16	82.6	660	-900	986
		50	188	1590	-4541	5118
Ra-226	увеличение количества actinomycetes	5	79.6	41.5	65.3	574
		10	80.5	18.2	68.9	447
		16	94.4	19.8	69.4	210
		50	95.7	110	71.2	115
Ra-226	уменьшение корневой рассады белой горчицы	5	25.5	9.4	18.3	30.7
		10	27.6	7.8	9.8	36.1
		16	30.4	23.2	-0.40	49.5
		50	31.6	29.9	-19	79.0
		84	32.9	45.1	-23.8	100.2

Заключение. С использованием регрессионного анализа распределения воздействия концентрации загрязнителя, методов отбора и конкурентоспособности, а также с учетом особенностей интерпретации полученных данных проведена оценка экологических рисков радиационного загрязнения почвы в Каджи-Сайской биогеохимической провинции. Показана эффективность моделирования реакции экосистемы на внешнее возмущение в зависимости от уровня логарифма радиоактивности. На значимость статистических оценок экологического риска оказывает влияние пространственная неоднородность техногенного загрязнения почвы, с которым связан разброс эмпирических точек относительно моделируемых кривых.

4.2. Оценка экологического риска загрязнения почв на основе моделирования распределения видовой чувствительности ценозов (Species Sensitivity Distribution - SSD).

Эффективным методом оценки экологического риска является определение изменчивости видовой разнообразия (n / или структуры доминирующих групп) почвенных ценозов. В расчетах можно использовать моделирование распределения видовой чувствительности (Species Sensitivity Distribution - SSD). Самый простой

способ обработки матрицы встречаемости видов, это построение статистического распределения (SSD), описывающего уменьшение видового богатства исследуемого ценоза за счет увеличения концентрации токсичного ингредиента или его смесей. Кривая SSD оценивается на основе выборки изученных данных и представляется как кумулятивная функция распределения плотности вероятности. Результатом моделирования является возможность определения экологического риска как вероятности, обеспечивающей исчезновение в почве более $p\%$ чувствительных видов. Например, если предельная концентрация – ЕС 5 опасна для 5% видов и неэффективна для других, в этом случае гипотеза об отсутствии риска находится на уровне 95%. Для качественной аппроксимации необходима определенная репрезентативность исходной матрицы появления видов. Во-первых, для доступной оценки предельных концентраций общее количество анализируемых таксонов должно быть более 20. Во-вторых, для каждого из видов следует оценивать максимальную нерабочую эффективную концентрацию (NOEC).

В данной части настоящей работы использован метод расчета максимальной нерабочей эффективной концентрации NOEC. Статистическая обработка для оценки критических уровней воздействия и экологического риска проводилась в два этапа: (1) расчет значений факторов загрязнения, соответствующих максимальной численности каждого вида грибов с использованием методов ординации, (2) построение аппроксимирующей кривой теоретического распределения вероятности появления видов. Ординация сообществ микромицетов проводилась методами оптимальной проекции исследуемых местообитаний на плоскость со скрытыми осями S_1 и S_2 . Расчеты проводились с использованием скрипта для моделирования SSD, разработанного в университете города Кобленц (edild.github.io/blog/2014/12/30/ssd). На диаграмме расположения (диаграмма ординации) (рис.8) довольно четко видны различающиеся опытные участки по видовому составу грибов: пробы грунтов от свалок урановых рудников (2-1 и 3-1) и Боомского ущелья (14-1) заняли крайнее положение по главной оси S_1 неметрической проекции. Вторая ось координации S_2 определяет различия в структуре микозов других местообитаний с промежуточным уровнем загрязнения.

Если рассчитать коэффициенты корреляции между показателями грунта и проективными координатами S_1 и S_2 , то можно использовать больше градиентов физических осей, отражающих характер и силу воздействия каждого фактора.

Как показано на рисунке 8 стрелками факторных нагрузок, близких по направлению и длине, компоненты техногенного загрязнения в изучаемом регионе взаимосвязаны комплексом мультиколлинеарности. Наибольшая корреляция ($R^2 = 0,83$, $p = 0,022$) с микромицетами конкретной структуры имеется с содержанием кобальта в почве (мг/кг).

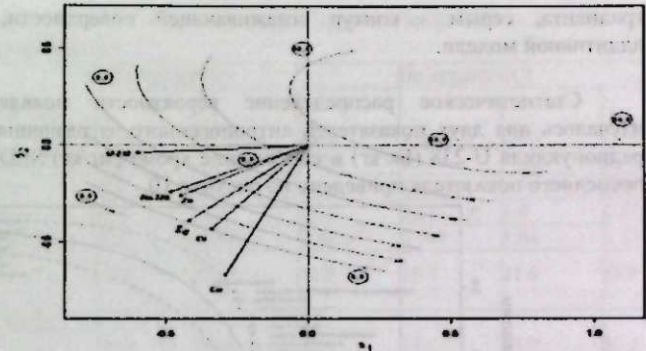


Рисунок 8. - Ординация тестовых участков методом неметрической многомерной шкалы (пробы 2, 3, 5 - территория полигона, 8 - жилой массив села Каджи-Сай, 12, 13 - пляж озера Иссык-Куль, Боомское ущелье 14). Стрелки - дополнительная ось физического градиента: индекс Zn по Саеу, активность радионуклидов U-238 и Ra-226 в почве, содержание Co, Cr и Zn. Серым цветом показаны контуры содержания кобальта, измеренные с помощью аддитивной модели.

С ординацией местообитаний тесно связано распределение сообществ микромицетов. Если построить трехмерную сглаживающую поверхность для любого из анализируемых показателей загрязнения почвы, то для каждого вида несложно рассчитать «экологический оптимум» (точнее - значение фактора, при котором появление видов наиболее вероятно). Например, на рисунке 9 координаты *Trichoderma harzianum* Rifai (TriHa) близки к контуру со значением индекса Zn по Саеу = 12.

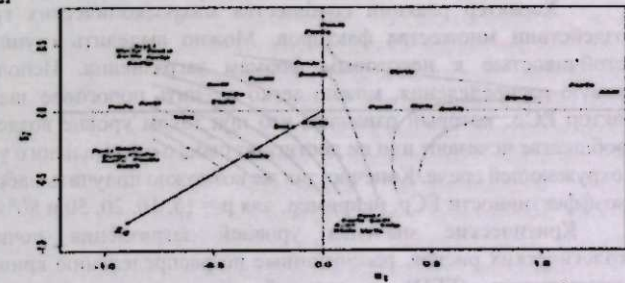


Рисунок 9. - Распределение видов микроскопических грибов неметрической многомерной шкалой. Для индекса Zc по Саеу стрелкой показано направление

градиента, серым - контур сглаживающей поверхности, рассчитанный по аддитивной модели.

Статистическое распределение вероятности появления видов (SED) изучалось для двух показателей антропогенного загрязнения почвы (активность радионуклида U-238 (Бк/кг) и содержание хрома (мг/кг) SED. Распределение для последнего показателя приведено на рисунке 10.

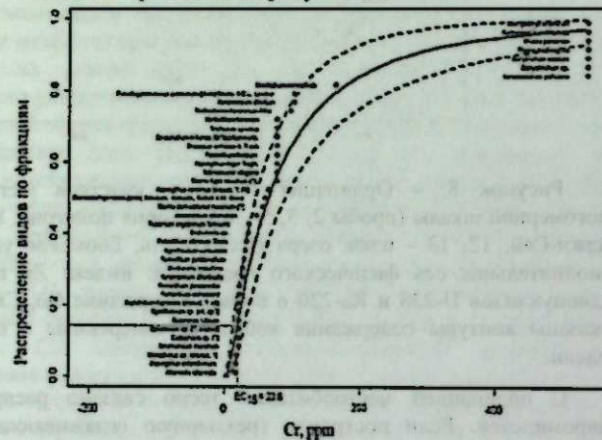


Рисунок 10. - Кривые логнормального распределения вероятностей встречаемости видов микромицетов (SED) по шкале показателей загрязнения почв (содержание хрома в мг/кг). Пунктирная линия показывает верхнюю (HCL) и нижнюю линии для 95% достоверности.

Характер реакции сообщества микроскопических грибов различен при воздействии множества факторов. Можно выделить группы видов с высокой устойчивостью к некоторым формам загрязнения. Используя кумулятивную кривую распределения, можно легко оценить пороговое значение, влияющее на фактор $ЕС_{16}$, который означает, что при таком уровне воздействия 16% видов в сообществе исчезают или не достигают своего оптимального уровня встречаемости в окружающей среде. Конечно, так же возможно получить набор значений из любой изоэффективности $ЕС_p$, например, для $p = \{5, 10, 20, 50 \text{ и } 80\}$.

Критические значения уровней загрязнения почвы для различных экологических рисков, рассчитанные по распределению кривых реакции видовых микромицетов (SED) и верхней границе доверительных областей (HCL) представлены в таблице 5.

Таблица 5.- Критические значения уровней загрязнения почв при разном экологическом риске.

Параметры загрязнения почвы	по кривой SED			По кривой HCL		
	5%	10%	16%	5%	10%	16%
Кобальт Co, мг/кг	101.9	116.9	130.3	87.1	101.6	114.3
Хром Cr, мг/кг	9.8	14.8	20.6	5.9	9.7	13.8
Цинк Zn, мг/кг	4.12	7.24	11.3	2.11	4.0	6.55
Индекс Саста	1.07	1.49	1.94	0.707	1.04	1.42
Активность U-238, Бк/кг	22.0	28.4	34.8	16.2	21.6	26.8
Активность Ra-226, Бк/кг	23.3	29.0	34.4	17.6	22.7	27.5

Заключение. Оценка экологического риска с использованием метода определения изменчивости видового разнообразия (и / или структуры доминирующих групп) почвенных ценозов выявила тесную связь распределения грибных сообществ с ординацией местообитаний, что позволяет рассчитать «экологический оптимум» (точнее - значение фактора, при котором появление видов наиболее вероятно) для каждого вида на основе трехмерной сглаживающей поверхности и для любого из анализируемых показателей загрязнения почвы. Использование кумулятивной кривой распределения, дает возможность легко оценить пороговое значение загрязнения, влияющее на фактор любой изоэффективности $ЕС_p$, например, для $p = \{5, 10, 20, 50 \text{ и } 80\}$.

4.3. Экологическая оценка состояния почв на территории ТЭЦ с использованием «Триадного» подхода.

Сушность Триадного подхода заключается в оценке качества почв по нескольким группам показателей: химических, токсикологических, экологических. Выше, в главе 2, была представлена характеристика экологического состояния почв в индустриальном районе города Бишкека на основе данных химических анализов. Для фитотестирования на высших растениях использовали семена горчицы белой *Sinapis alba* и овса *Avena sp.* В качестве тест-функций рассматривали изменение пророста корней и ростков проростков в исследуемых образцах относительно контрольных. Исследование изменения интенсивности бактериальной биолюминесценции показало, что в соответствии с критериями, установленными стандартной методикой определения индекса бактериальной токсичности, все образцы обладают допустимой степенью токсичности, поскольку отклонения от контрольной пробы не превышали 20%. Биоиндикационные исследования включали определение интенсивности почвенного дыхания по величине субстрат

индуцированного дыхания и интенсивности базального микробного дыхания. Интенсивность как базального, так и субстрат-индуцированного дыхания, была наибольшей в почвах, удаленных на 150 м от ТЭЦ. По методу Триад интегральный индекс состояния почв (ИС) определяется на интервале от нуля до единицы, причем единице придается значение максимальной степени напряженности экологического состояния, а нулю – минимальной, соответствующей, например, фоновому состоянию. Интегральный индекс состояния почв, рассчитанный по методу Триад, отражает изменение содержания загрязняющих веществ, интегральной токсичности и биоиндикационных параметров почв. Рассчитанный интегральный индекс состояния (ИС) исследованных площадок находится в диапазоне от 0,12 до 0,65 единиц. Результаты исследований показали, что в оценку «напряженности» экологического состояния из спектра исследованных показателей наибольший вклад вносят биологические (биоиндикационные) параметры (Табл. 6).

Таблица 6. - Индексы состояния почвенных образцов исследованных пробных площадок г. Бишкек.

Расстояние, м	ИС _{ЗВ}	ИС _Т	ИС _б	ИС
Поверхностный горизонт (5-7 см)				
50	0,51	0,12	1	0,60
150	0,59	0,21	1	0,65
500	0,50	0,27	1	0,65
Подповерхностный горизонт (20-25 см)				
50	0,51	0,03	0	0,12
150	0,57	0,02	1	0,58
500	0,54	0,04	1	0,58

Графическое изображение усредненных по двум горизонтам результатов исследования почв пробных площадок г. Бишкек на основе триадного подхода позволило отобразить экологическое состояние почв в графическом виде (рис. 1).

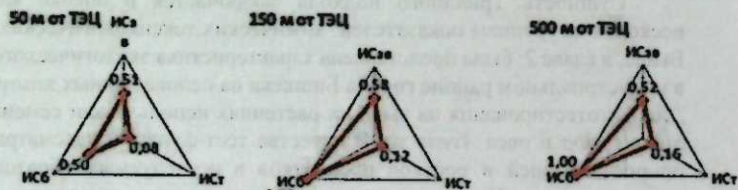


Рисунок 11. - Оценка экологического состояния почв по двум горизонтам почв.

Из графиков экологического состояния почв видно, что в оценку «напряженности» экологического состояния из спектра исследованных показателей наибольший вклад вносят биоиндикационные параметры, в частности, интенсивность

почвенного дыхания. Именно этим параметрам следует уделять особое внимание при мониторинге загрязнения объектов окружающей среды.

Сопоставляя известные в литературе градации экологического качества с рассчитанными нами интегральными индексами экологического состояния, учитываемыми данные не только химического, но и биологического анализов, можно сделать следующее заключение:

Заключение. Установлена градация образцов почв, отобранных на территории ТЭЦ, по экологическому состоянию. Образцы почв, прилегающих к станции на расстоянии 150 и 500 м, относятся к IV категории качества с высокой степенью нагрузки и охарактеризуются как «сильно загрязненные». Почвы, находящиеся на удалении 50 м от ТЭЦ, характеризуются средней степенью нагрузки и относятся к категории «загрязненные».

Глава 5. Управление рисками загрязнения почв с использованием новых материалов и технологий очистки и ремедиации нарушенных территорий.

Экологический риск в целом предполагает вероятность возникновения в окружающей среде негативных изменений или отдаленных неблагоприятных последствий этих изменений. Существует возможность управления экологическими рисками с использованием процессов очистки и ремедиации нарушенных объектов, восстановления их первоначальных свойств и биологических функций, что предусматривает необходимость создания и использования новых высокоэффективных детоксицирующих и восстанавливающих средств.

Особое внимание привлекает применение для этих целей так называемых продуктов «зеленой» химии – материалов, полученных на основе природных веществ, к которым относятся – гуминовые вещества (ГВ), это макролиганды, образующие прочные комплексы с ионами металлов, что имеет практическое значение для концентрирования и разделения следовых количеств металлов. Гуминовые вещества стимулируют рост растений и могут использоваться в качестве удобрений. Устойчивый характер ГВ делает их невосприимчивыми к биоразложению, следовательно, гуминовые добавки не будут мешать целевому процессу биоразложения. Ростостимулирующие и адаптогенные свойства ГВ имеют важное значение для применения в технологиях фиторемедиации. В данной главе представлены результаты исследований по получению и использованию новых материалов для управления рисками загрязнения почв путем их очистки, детоксикации и восстановления. В вышеуказанных целях созданы и испытаны два вида новых материалов, обладающих специфическими свойствами, позволяющими использовать их для снижения экологического риска загрязнения почв.

5.1. Нестехиометрические интерполиэлектrolитные комплексы, предназначенные для предотвращения эрозии и очистки загрязненных почв.

Одной из самых критических форм деградации почвы является эрозия. Среди различных методов борьбы с эрозией особый интерес вызывает стабилизация грунта почвы полимерными составами, которые являются относительно дешевыми, крупнотоннажными и простыми в использовании. Данные фундаментальных и прикладных исследований показывают, что оптимальный результат для защиты от эрозии может быть достигнут, когда вяжущее состоит как из гидрофильных, так и из гидрофобных фрагментов (блоков). Таким требованиям отвечают интерполиэлектродитные комплексы (ИПЕС). ИПЕС получают взаимодействием разноименнозаряженных линейных полиэлектролитов. При избытке одного ионного полимера комплексообразование приводит к образованию нестехиометрического интерполиэлектродитного комплекса (НИПЕС). Отрицательный заряд придает коллоидную стабильность частицам НИПЕС в водных растворах, обеспечивая при этом их связывание с ионами тяжелых металлов и положительными дисперсными частицами. При нанесении водного раствора НИПЕС почвы с размером агрегата 0,2 мм и менее образуется защитный слой почвы (корка) за счет электростатических и гидрофобных взаимодействий частиц НИПЕС с агрегатами почвы. Прочность корки более чем в 40 раз превышает прочность исходного (необработанного) грунта, при этом корочка не препятствует проникновению воды. Эти результаты делают составы НИПЕС перспективными связующими для стабилизации грунта, кроме того, они демонстрируют большую способность к сорбции ионов тяжелых металлов. Особый интерес вызывает возможность получения НИПЕС с использованием природных полимеров. В этой связи нами изучено комплексообразование катионного полимера полидиаллилдиметиламмонийхлорида (РДАДМАС) с анионными природными полимерами - калиевыми солями гуминовых кислот (КНум), выделенных из бурого угля. Изучены: состав отрицательно заряженных НИПЕС и их стабильность против агрегации в водных растворах; комплексообразование НИПЕС с дисперсными частицами и ионами тяжелых металлов; а также морфология корок НИПЕС - почва. На рисунке 12 показана морфология исходного грунта и грунта, обработанного составом НИПЕС (полимер-почвенная корка). До обработки, на рисунке 12 а видны мелкие частицы почвы с резко очерченными краями, которые стали закругленными после покрытия тонким слоем НИПЕС (Рис. 12 б). После дальнейшей обработки частицы увеличиваются и склеиваются полимерными мостиками (Рис. 12 с и Рис. 12 д), а в коре отчетливо проглядываются пустоты между отдельными частицами. Прочность корки более чем в 40 раз превышает прочность исходного (необработанного) грунта, при этом корочка не препятствует проникновению воды. Эти результаты делают составы НИПЕС перспективными связующими для стабилизации грунта. НИПЕС формируются при наличии минимальной концентрации соли, практически не влияющей на водно-солевой баланс почвы. При механическом повреждении корки «НИПЕС- почва» было обнаружено, что

повторный полив привел к восстановлению защитных свойств НИПЕС - почвенного покрытия. Образцы почвы, обработанные растворами индивидуальных полимеров КНум и РДАДМАС показали слабые защитные свойства. Восстанавливающее действие НИПЕС на загрязненные почвы обусловило их ростостимулирующие свойства.

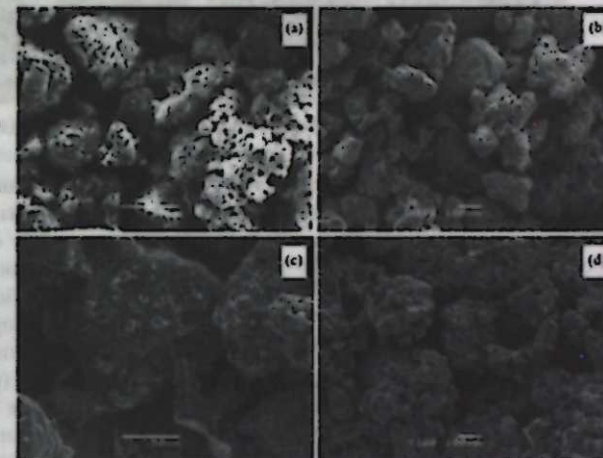


Рисунок 12. - Морфология исходного грунта и грунта, обработанного НИПЕС.

Для экспериментального подтверждения этому четыре пластиковых ящика были заполнены землей; после этого примерно 100 семян кресс-салатов были равномерно распределены в каждом ящике и засыпаны 1-сантиметровым слоем почвы. 63 мл деионизированной воды был внесены в первый ящик, 63 мл препарата Q = 0,2 НИПЕС - во второй, 63 мл 1% раствора КНум - в третий и 63 мл 1% масс. РДАДМАС - в четвертый. Следующие 3 дня почву в двух ящиках поливали по 150 мл. На фотографиях, сделанных через 7 дней после посадки семян показано развитие растения во всех четырех ящиках: обработанных водой (Рис.13а), НИПЕС (Рис.13 б) и отдельными полимерами (Рис. 13 с, д). Видно, что полимерно-почвенная корка во втором ящике не помешала прорастанию семян и развитию растений, очевидно, из-за воздушно-водной проницаемости корки полимер-почва.

Отрицательно заряженные НИПЕС представляют наибольший интерес, потому что они могут связывать катионы тяжелых металлов и ограничивать миграцию последних в почве. С находящимися в водном растворе катионами Cu^{2+} могут взаимодействовать также НИПЕС и свободные КНум.

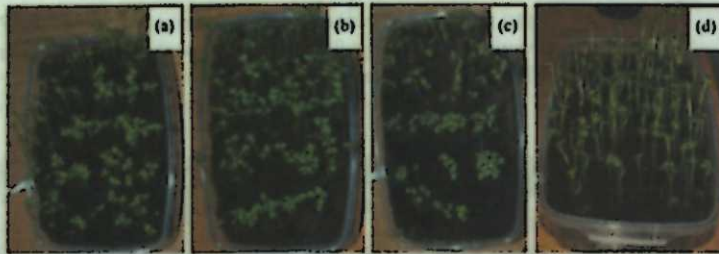


Рисунок 13. - Развитие кресс-салата в ящиках с водой (а), с $Q = 0,2$ NIPEC (b), KHum (c) и PDADMAC (d).

NIPEC оказывают детоксицирующее воздействие на прорастание семян кресс-салата в присутствии ионов Cu^{2+} , которые необходимы для роста и развития растений в следовых количествах, но в избытке оказывают сильный токсический эффект. Были протестированы разные комбинации семян кресс-салата, воды, водного полимерного состава и $0,03 \text{ M}$ водного раствора CuSO_4 . На третьи сутки после начала эксперимента установлено стимулирование прорастания семян водой (рис. 14 а), отсутствие подавления прорастания семян под влиянием NIPEC (рис. 14 б). Раствор CuSO_4 полностью остановил прорастание семян (рис. 14 с). PDADMAC не оказывал никакого влияния на процесс (рис. 14 d). В то же время, как KHum, так и отрицательный NIPEC подавляли токсическое действие ионов Cu^{2+} и обеспечили нормальное прорастание семян (рис. 14 е, f) за счет связывания ионов Cu^{2+} анионными карбоксильными группами KHum и NIPEC. Обработка NIPEC сохраняет пористую структуру почвы, которая способствует прорастанию семян и развитию растений.

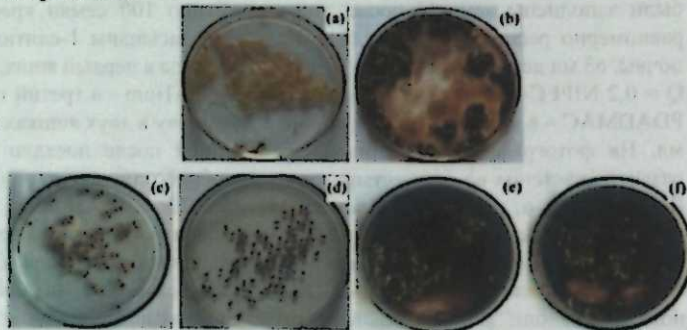


Рисунок 14. - Почва с семенами кресс-салата, обработанными: деионизированной водой (а); $Q = 0,2$ NIPEC (б); $0,03 \text{ M}$ водным раствором CuSO_4 (с);

комбинацией $0,03 \text{ M}$ водного раствора CuSO_4 и 1% раствора PDADMA (d) ; 1% раствором KHum (e) и NIPEC $Q = 0,2$ (f).

Заключение. Получены и предложены для практического использования гуминсодержащие интерполиэлектrolитные комплексы, проявляющие эффективную защиту почв против водной и ветровой эрозии, обладающие детоксицирующими свойствами, а также являющиеся стимуляторами роста растений. Применение этих материалов на практике представляет большую перспективу для управления рисками загрязнения почв.

5.2. Наногибридный магнитоактивный сорбент для очистки загрязненных объектов природной среды и его экотоксикологическая оценка.

Современные технологии, в первую очередь нанотехнологии, позволяют существенно повысить эффективность связывания токсикантов. Это достигается, в частности, путем включения в детоксицирующие материалы наночастиц металлов с высокой поверхностной активностью и хорошими магнитными свойствами. В последнее время появился интерес к созданию магнитоактивных наногибридных органоминеральных сорбентов с использованием активированных углей. Благодаря развитой удельной поверхности и уникальной структуре активированных углей, включающей в себя неполярную углеродную и полярную минеральную части, расширяется диапазон извлекаемых поллютантов из окружающей среды. В настоящей работе представлены наногибридные магнитоактивные полимерные сорбенты, синтезированные с использованием активированного угля (АУ), полученного из природного угля, и гидроксида железа –гетит. Магнитные нанокomпозиты на основе наночастиц гетита и активированного угля синтезировали с использованием двух разных способов: *ex-situ* - путем введения на поверхность активированного угля предварительно синтезированных наночастиц гетита и *in-situ* -путем формирования наночастиц в среде активированного угля.

Исследование магнитных характеристик образцов гетита и нанокomпозитов свидетельствует о ферромагнитном поведении их при комнатной температуре. Наблюдается закономерное снижение значения НС при понижении содержания наночастиц в композите в ряду $\alpha\text{-FeO(OH)}$ нанокomпозит, полученный методом *ex situ* нанокomпозит, полученный методом *in-situ* (таб. 7).

Таблица 7. – Магнитные свойства гетита и нанокomпозитов на основе гетита и активированного угля, полученных *ex situ* и механоактивацией.

Образец	Намагниченность насыщения M_s , А/м	Остаточная намагниченность, А/м	Коэффициентная сила, А/м
Наночастицы гетита	30.2	3.94	89.2
Гетит / АУ, полученный <i>ex situ</i>	4.98	0,89	79.9
Гетит / АУ, полученный <i>in-situ</i> .	4.45	0.69	69.5

При исследовании процесса сорбции на АУ и нанокompозитах уранил-ионов учитывали возможность гидролиза последних в разбавленных растворах с образованием гидроксокомплексов и конкуренции комплексообразующих лигандных групп с OH⁻-ионами. При взаимодействии всех исследованных препаратов с UO₂²⁺ наблюдалась зависимость сорбционной емкости от pH среды. Сорбционная активность магнитного нанокompозита увеличивалась пропорционально росту pH среды и достигала максимальных значений уже при pH 5.0. Области наибольшей сорбционной активности препарата исходного активированного угля (pH 7.5) и магнитного нанокompозита *ex-situ* (pH 7) были близки, при этом величины максимальной сорбционной емкости составляют 145 и 198 мг·г⁻¹ соответственно. Таким образом, нанокompозит на основе гетита и активированного угля проявляет сорбционную активность по отношению к уранил-иону. Уровень сорбционной емкости изменяется в ряду активированный уголь < нанокompозит, полученный механохимией < нанокompозит, полученный *ex-situ* (табл.8).

Таблица 8. – Адсорбция уранил-ионов активированным углем и нанокompозитами

Образец	Максимальная сорбционная емкость (Q _{max}), ммоль/г	Константа сорбции K _{сорб} 10 ⁻⁴ , л/ моль
АУ/UO ₂ ²⁺	0,61 ± 0,05	6,5 ± 1,2
Гетит/АУ/UO ₂ ²⁺ <i>ex-situ</i>	0,86 ± 0,03	9,4 ± 1,4
Гетит/АУ/UO ₂ ²⁺ <i>in-situ</i>	0,78 ± 0,01	8,7 ± 1,1

Водные суспензии четырех препаратов: активированного угля (1); гетита (2); нанокompозита, синтезированного *ex situ* (3); и нанокompозита, синтезированного *in-situ* (4), протестированные в двух тест-системах, различались по токсичности и биодоступности для разных тест-культур гидробактерий. Тесткультура простейших *P. caudatum* оказалась более чувствительной к исследуемым образцам, поскольку пороговые концентрации препаратов, как максимальные безвредные (недействующие) концентрации МБК 10, так и действующие полуживотные ЭК 50 для них были на 1–2 порядка меньше, чем для микроводорослей. Снижение биодоступности синтезированных нанокompозитных препаратов по отношению простейшим можно отнести к их микроструктурным характеристикам. Кроме того, более высокое значение безвредной концентрации МБК 10 (0.0012%) свидетельствует о наличии у него биоцидного действия по отношению к одноклеточным простейшим. Исходные препараты по отношению к более сложным организованным биологическим организмам *S. quadricauda* не проявляют такую токсичность, как к простейшим. Однако значения пороговых концентраций

токсичности нанокompозита в тест-системе с микроводорослями оказались более низкими. Токсичность к *S. quadricauda* исследованных препаратов снижается в ряду гетит > нанокompозит > активированный уголь. Важно подчеркнуть, что даже в присутствии высоких доз нанокompозита не наблюдалось заметного подавления развития микроводорослей. Таким образом, проведенные исследования биодоступности и установленные токсиметрические показатели дают основания полагать, что даже если из среды после процедуры магнитной сепарации сорбент не будет полностью удален, токсичность водной фазы не будет представлять опасность для относительно более высокоорганизованных живых систем, таких как водоросли. Результаты биотестирования и определение пороговых концентраций безвредного действия исследуемых нанокompозитов указывают на их относительно невысокую биодоступность для клеток микроводорослей *S. Quadricauda*. Отсутствие сильного токсического действия на клетки микроводорослей обуславливает также их развитие при высоких концентрациях. По отношению к одноклеточным простейшим *P. caudatum* синтезированные препараты проявляют более выраженное биоцидное действие, максимальная безвредная концентрация в тест-системе с парамециями на порядок ниже, чем при альготестировании *S. quadricauda*.

Заключение. На основе активированного угля и оксидгидроксида железа получены наногибридные композиты, характеризующиеся магнитными свойствами, высокой сорбционной способностью по отношению к уранил-иону и проявляющие специфическое биоцидное действие. Магнитные свойства, обусловленные присутствием в составе синтезированных материалов оксидгидроксида железа, предохраняют возможность использования их в процессах магнитной сепарации токсических веществ и высвобождения сорбентов для повторного применения. Использование предлагаемых наногибридных материалов в ремедиационных мероприятиях внесет важный вклад в снижение экологических рисков.

ВЫВОДЫ

1. Каджи-Сайская техногенная зона характеризуется высоким радиационным фоном. На поверхности даже закрытых отвалов золы экспозиционная доза γ-излучения составляет в среднем 30-60 мкР / ч. 2. Содержание U 238 в почвах техногенной зоны по сравнению с кларком повышено от 2 до 6 раз. Уровень Ra 226 по сравнению с кларком почв повышен от 2 до 5 раз, а Рb 210 – от 2 до 10 раз. Составляющая внешнего радиационного фона создается почти исключительно за счет естественных радионуклидов, входящих в ряды распада урана и тория.

2. По содержанию тяжелых металлов почвы Каджи-Сайской провинции являются высоко токсичными. Наиболее загрязненными являются участки

промышленной зоны. Концентрации токсичных элементов превышают ПДК от 10 до 1000 раз. Почвы на территории ТЭЦ являются нарушенными, но не представляют экологическую опасность. Особенностью загрязнения почв в исследуемых техногенных зонах является неоднородность пространственного распределения концентраций химических элементов, при этом варибельность фиксируется на общем высоком уровне валовых содержаний последних.

3. Сообщества грибов в почвах техногенной зоны Каджи-Сай различаются по составу. В нарушенных почвах наблюдается более высокое видовое богатство и разнообразие грибных сообществ, а также имеет место изменение состава и численности доминирующего вида. Содержание микромицетов возрастает в почвах вблизи источников загрязнения. При этом многие из них представляют группу потенциальных патогенов растений. Токсикологическими испытаниями выявлена высокая цитотоксичность почв на всех исследуемых участках. Несмотря на кажущуюся идентичность реакции, механизмы торможения деления клеток в экспериментальных вариантах могут отличаться из-за существенных различий в элементном составе образцов почв. Установленная зависимость динамики биотических показателей (количества почвенных микроорганизмов и морфологических признаков высших растений) от активности радионуклидов в пробах почвы показывает, что наиболее информативными индикаторными показателями являются группы видов актиномицетов и бактерий, использующих органический азот, а также длина корней проростков горчицы белой.

4. Оценка экологических рисков радиационного загрязнения почвы в Каджи-Сайской провинции с использованием модели распределения концентрации воздействия (Exposure Concentration Distribution – ECD) «доза – эффект» показала эффективность методов, основанных на теории глубоко разработанной концепции регрессионного анализа. Установлена эффективность моделирования реакции экосистемы на внешнее возмущение в зависимости от уровня логарифма радиоактивности.

5. Оценка экологического риска загрязнения почв в техногенных зонах на основе моделирования распределения видовой чувствительности (Species Sensitivity Distribution - SSD) почвенных ценозов показала эффективность методов многокритериального анализа. Распределение сообществ микромицетов тесно связано с ординацией местообитаний, что позволяет рассчитать «экологический оптимум» для каждого вида на основе трехмерной сглаживающей поверхности для любого из анализируемых показателей загрязнения почвы. Использование кумулятивной кривой распределения дает возможность легко оценить пороговое значение загрязнения, влияющее на фактор любой изоэффективности ЕСр.

6. Экологическая оценка почвы с контрольных площадок Бишкека, с использованием метода Триад показала зависимость состояния почв от

удаленности от ТЭЦ. Их можно характеризовать, как «загрязненные» и «сильно загрязненные». На настоящий момент эти почвы экологической опасности не представляют.

7. Для управления последствиями экологического риска разработаны методы получения и применения двух видов новых материалов специфического назначения:

– гуминсодержащих нестехиометрических интерполиэлектrolитных комплексов, проявляющих эффективную противозерозионную защиту почв, детоксицирующие свойства, а также стимулирующее воздействие на развитие растений;

– магнитоактивных наногибридных композитов, характеризующихся высокой сорбционной способностью по отношению к уранил-иону и проявляющих специфическое биоцидное действие. Использование предлагаемых материалов в ремедиационных мероприятиях представляет важную перспективу.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ:

1. Intregation of data og biological, and chemical diagnostics for ecological condition of urban soi of Kyrgyzstan using Triad approach [Text] / [V. A. Terekhova, A.A. Belik, V. A. Prokhorenko and et.al] // Reports on ecological soil science. – 2014. – № 1 (20). – P. 80-104.

2. Оценка биологической активности магнитоактивного композита методом фитотестирования [Текст] / [К. А. Кыдралиева, В. А. Прохоренко, Э. Д. Касымова и др.] // Известия Национальной академии наук КР – 2014. – № 3/4. – С. 31–34; То же: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://elibrary.ru/download/elibrary_27372119_88738686.pdf

3. Prokhorenko, V. A. Structural mechanical properties oghumic substances used as components of magnetic nanocomposites [Text] / S. P. li, V. A. Prokhorenko, S. J. Jorobekova // Nanomechanics Science and Technology. – 2014. – Vol. 5, N 4. – P. 255–266; The same: [Electronic resource]. - Access mode: <https://www.dl.begellhouse.com/journals/11e12455066dab5d,199f15b3124a5c89,05477fef5449febc.html>

4. Интеграция данных биологической и химической диагностики экологического состояния городских почв Киргизии на основе триад [Текст] / [В. А. Терехова, А. А. Белик, В. А. Прохоренко и др.] // Доклады по экологическому почвоведению. – том 20. – С. 97-120; То же: [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://istina.msu.ru/publications/article/6414001/>

5. Изотопный состав почвенного покрова уранового-природно-техногенной провинции Каджи-Сай [Текст] / [В. А. Прохоренко, Э. М. Худайбергенова, Б. Жолболдиев и др.] // Известия Национальной академии наук Кырг. Респ. – 2015. –

№ 3. – С. 26–29. То же: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://elibrary.ru/download/elibrary_27446242_54237496.pdf

6. Geochemical status of soils in uranium-technogenic province of Kadzhi-Say [Text] / [B. Dzholboldiev, V. Prokhorenko, B. Uzbekov et al.] // SETAC Europe 25th Annual Meeting. May 03-07 2015. – Barcelona, Spain; The same: [Electronic resource]. – Access mode: <https://www.ecetoc.org/news/ecetoc-best-platform-award-at-the-setac-europe-25th-annual-meeting/>

7. Triad-based ecological risk assessment and multi-criteria decision analysis for technogenic sites in Kyrgyzstan [Text] / [V. Terekhova, K. Kydralicva, V. Prokhorenko et al.] // 13th International UFZ-delta Conference on Sustainable Use and Management of Soil, Sediment and Water Resources (AquaConSoil 2015), June 09-12 2015. – Copenhagen, Denmark, 2015; The same: [Electronic resource]. – Access mode: <https://eventegg.com/aqua-con-soil-2015/>

8. Non – stoichiometric interpolyelectrolyte complexes formation and water retention of soil [Text] / [A. B. Zevin, A. A. Yaroslavov, V. A. Prokhorenko et al.] // The SETAC 25 Annual Meeting, May 03-07 2015. – Barcelona, Spain; The same: [Electronic resource]. – Access mode: <https://www.norman-network.net/?q=node/185>

9. Radiochemical composition of soil from technogenic province of Kadzhi-Sai [Text] / [V. A. Prokhorenko, S. P. Li et al.] // Russian Research and Practice Conference “Actual problems of regional politics and biodiagnostics of living systems”. December 1-2. – 2015. – P. 165-169 Kirov, Russia; The same: [Electronic resource]. – Access mode: https://www.ecoregion.ru/journal.php?jrn=pre&jrs_page=&pre_page=1&eut_page=1&pe_page=1&lng=rus&num=72

10. Composition of micromycetes communities in technogenic uranium provinces soil [Text] / [A. E. Ivanova, V. A. Terekhova, V. A. Prokhorenko et al.] // Russian research and Practice Conference “Actual problems of regional politics and biodiagnostics of living systems”. December 1-2. – 2015. Kirov. – P. 243-245; The same: [Electronic resource]. – Access mode:

https://www.ecoregion.ru/journal.php?jrn=pre&jrs_page=&pre_page=1&eut_page=1&pe_page=1&lng=rus&num=72

11. Структурирование солонцеватой сероземно-луговой почвы гидрогелями гуминовых препаратов [Текст] / [С. П. Ли, В. А. Прохоренко, Б. М. Худайбергенова и др.] // Проблемы агрохимии и экологии. – 2015. – № 4. – С. 45–50; То же: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://elibrary.ru/download/elibrary_25408223_46692635.pdf

12. Анализ фито- и генотоксичности образцов почвы с отвалов урановых шахт [Текст] / [С. А. Гераськин, В. А. Терехова, В. А. Прохоренко и др.] // Проблемы регион. экологии. – 2015. – № 6. – С. 5–10; The same: [Electronic resource]. – Access mode:

https://www.ecoregion.ru/journal.php?jrn=pre&jrs_page=&pre_page=1&eut_page=1&pe_page=1&lng=rus&num=72

13. Детоксигирующие свойства гуминовых препаратов по отношению к Cd (II), Pb (II), Cu (II) [Текст] / [С. П. Ли, Б. М. Худайбергенова, В. А. Прохоренко и др.] // Теорет. и прикл. экология. – 2016. – № 1. – С. 82–87; То же: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://elibrary.ru/download/elibrary_26005574_27458321.pdf

14. Biosolubilized humic materials with enhanced biological properties [Text] / [S. P. Li, V. A. Prokhorenko, E. D. Kasymova et al.] // Biointerface Research in Applied Chemistry. – 2016. – Vol. 6, N 1. – P. 1059–1063; The same: [Electronic resource]. – Access mode: <https://biointerfaceresearch.com/>

15. Интеграция данных биологической и химической диагностики экологического состояния городских почв Киргизии на основе метода триад [Текст]: отчет / [В. А. Терехова, А. А. Белик, ... В. А. Прохоренко и др.]. – Бишкек, 2016. – P. 97-120.

16. Ли, С.П. Получение и характеристика гуминовых препаратов детоксицирующего назначения [Текст] / С.П. Ли., В.А. Прохоренко, Л. В. Серикова // Universum: химия и биология: электрон. научн. журн. – 2016. – № 4; То же: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://elibrary.ru/download/elibrary_25797042_47063424.pdf

17. Hadjamberdiev, I. Water-ecological risks in Central Asia. [Text] / I. Hadjamberdiev, V. Prokhorenko, R. Tukhvatshin // Наука, новые технологии и инновации Кыргызстана. – 2019. – № 4. – С. 277; То же: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://elibrary.ru/download/elibrary_39842331_56562478.pdf

18. Характеристические особенности гуминовых кислот, полученных при микробиологической обработке органического сырья в анаэробных условиях [Текст] / [С. В. Ли, Э. М. Худайбергенова, В. А. Прохоренко и др.] // Известия Национальной академии Кырг. Респ. – 2021. – № 3. – С. 20–29; То же: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://elibrary.ru/download/elibrary_46257348_20497109.pdf

19. Прохоренко, В. А. Наногибридные углеродные композиты, содержащие оксид гидроксида железа [Текст] // Междунар. журн. прикл. и фундам. исслед. – 2022. – № 5. – С. 44–48; То же: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://elibrary.ru/download/elibrary_48616270_88370644.pdf

20. Прохоренко, В. А. Экологическое состояние почв в техногенных зонах Кыргызской Республики [Текст] / В. А. Прохоренко. – Бишкек: Илим, – 2022. – 202с.

РЕЗЮМЕ

диссертации Прохоренко Виктора Александровича на тему: «Исследование процессов загрязнения объектов окружающей среды техногенных зон Кыргызской Республики» на соискание ученой степени доктора биологических наук по специальности 03.02.08-экология.

Ключевые слова: техногенная зона, радиационный фон, удельная радиоактивность, тяжелые металлы, показатели загрязнения, оценка рисков загрязнения, ремедиация, управление рисками.

Объекты исследования: техногенные зоны, радиационные, химические, биоиндикационные, токсикологические показатели загрязнения почв, оценка экологического риска загрязнения почв, возможности управления рисками загрязнения почв.

Цель исследования: Эколого-токсикологическая оценка рисков загрязнения почв в техногенных зонах Кыргызской Республики (Каджи-Сайская биогеохимическая провинция, территория Термоэлектрической станции г. Бишкек) с использованием современных методов и применение новых «зеленых» материалов в процессах ремедиации загрязненных объектов окружающей среды с целью управления этими рисками.

Методы исследования: активности радионуклидов измерены на гамма-спектрометр Canberra (США) Элементный состав почвы исследован с использованием XRF спектрометра DELTA Classic (USA). Биоиндикационные показатели определены измерением интенсивности дыхания почвы и базального микробного дыхания. Видовое разнообразие изолированных грибных сообществ оценено по численности видов и на основе расчета индекса разнообразия Шеннона. Кластерный и факторный анализ проведен с помощью программы Statistica 7.0. Количественный подсчет бактерий проводили на флуоресцентном микроскопе MS300FS. Токсикологические испытания образцов почвы проводились в системе ФИТОСКАН, а также с использованием *Allium*-теста. Новые материалы, предназначенные для управления рисками загрязнения почв исследованы методами ртутной порометрии, рентгенофазового анализа, электронной спектрометрии, магнитометрии.

Полученные результаты и новизна. Представлена полная характеристика экологического состояния двух вышеуказанных техногенных зон Кыргызстана в Каджи-Сайской провинции установлен высокий радиационный фон. Определено содержание и распределение радиоактивных элементов (U-238, Ra-226, Pb-210), а также и тяжелых металлов в почвах. Установлена неоднородность пространственного распределения концентраций химических элементов, которая фиксируется на общем высоком уровне валовых содержаний последних. Исследованы биоиндикационные и токсикологические показатели загрязнения

почв. Изучена зависимость динамики биотических показателей (количества почвенных микроорганизмов и морфологических признаков высших растений) от активности радионуклидов в пробах почвы. Наиболее информативными индикаторными показателями признаны группы видов актиномицетов и бактерий, использующих органический азот, а также длина корней проростков горчицы белой, использованной в качестве тест- культуры. С использованием моделей «доза-эффект», методов отбора и конкурентоспособности, а также особенностей интерпретации результатов проведена оценка экологических рисков радиационного загрязнения почвы в Каджи-Сайской геохимической провинции. Оценка экологического риска с использованием метода определения изменчивости видового разнообразия почвенных ценозов выявила комплекс мультиколлинеарности во взаимосвязи компонентов техногенного загрязнения в изучаемом регионе. Оценка экологического риска загрязнения почв на территории ТЭЦ методом Триада показала, что их можно классифицировать как загрязненные. Показана возможность управления экологическими рисками с использованием средств, восстанавливающих загрязненные территории.

Область применения: экология, природоохранные акции, сельское хозяйство.

SUMMARY

Prokhorenko Viktor Aleksandrovich dissertation of on " Research of processes of environmental pollution man-made zones of the Kyrgyz republic " for the degree of doctor of biological sciences on specialty 03.02.08-ecology

Key words: technogenic zone, radiation background, specific radioactivity, heavy metals, pollution indicators, pollution risk assessment, remediation, risk management.

Subject of the study: technogenic zones, radiation, chemical, bioindicative, toxicological indicators of soil pollution, assessment of the environmental risk of soil pollution, the possibility of managing the risks of soil pollution.

Purpose of research: Ecological and toxicological assessment of the risks of soil pollution in the technogenic zones of the Kyrgyz Republic (Kaji-Sai biogeochemical province, the territory of the Bishkek Thermoelectric Station) using modern methods and the use of new "green" materials in the processes of remediation of contaminated environmental objects for the purpose of management these risks.

Research methods: activities of radionuclides were measured with a Canberra gamma spectrometer (USA). The elemental composition of the soil was studied using a DELTA Classic (USA) XRF spectrometer. species and based on the calculation of the Shannon diversity index. Cluster and factor analysis was carried out using the Statistica 7.0 program. Quantitative counting of bacteria was carried out on a MS300FS fluorescent

microscope. Toxicological tests of soil samples were carried out in the FITOSCAN system, as well as using the Allium test. New materials, designed to manage the risks of soil pollution, have been studied using mercury porosimetry, X-ray phase analysis, electron spectrometry, and magnetometry.

The obtained results and their novelty: A complete description of the ecological state of the two above-mentioned man-made zones in Kyrgyzstan is presented. A high radiation background has been established in the Kaji-Sai province. The content and distribution of radioactive elements (U-238, Ra-226, Pb-210), as well as heavy metals in soils were determined. Bioindicative and toxicological indicators of soil pollution have been studied. The dependence of the dynamics of biotic indicators (number of soil microorganisms and morphological characteristics of higher plants) on the activity of radionuclides in soil samples was studied. The groups of species of actinomycetes and bacteria that use organic nitrogen, as well as the length of the roots of white mustard seedlings used as a test culture, are recognized as the most informative indicator indicators. Using dose-effect models, selection and competitiveness methods, as well as the peculiarities of interpreting the results, an assessment of the environmental risks of soil radiation contamination in the Kaji-Sai geochemical province was carried out. The assessment of ecological risk using the method of determining the variability of the species diversity of soil cenoses revealed a complex of multicollinearity in the relationship between the components of technogenic pollution in the region under study. The assessment of the environmental risk of soil contamination in the territory of the TFC by the Triad method showed that they can be classified as disturbed, but they do not pose a particular danger. The possibility of managing environmental risks using means that restore disturbed territories is shown.

Scope of application: ecology, environmental actions, agriculture.

Прохоренко Виктор Александровичтин «Кыргыз Республикасынын техногендик чөлкөмдөрүнүн курчап турган чөйрөнү булгоо процесстерин изилдөө» деген темада 03.02.08 – экология адистиги боюнча биология илимдеринин доктору окумуштуулук даражасын изденини алуу үчүн жазылган диссертациясынын

РЕЗЮМЕСИ

Негизги сөздөр: техногендик аймак, радиациялык фон, спецификалык радиоактивдүүлүк, оор металлдар, булгануу көрсөткүчтөрү, булгануу тобокелдигин баалоо, рекультивация, тобокелдиктерди башкаруу.

Изилдөөнүн объектиси: техногендик зоналар, кыртыштын булганышынын радиациялык, химиялык, биоиндикативдик, токсикологиялык көрсөткүчтөрү, кыртыштын булганышынын экологиялык коркунучун баалоо, кыртыштын булгануу тобокелдиктерин башкаруу мүмкүнчүлүгү.

Изилдөөнүн максаты: Кыргыз Республикасынын техногендик зоналарындагы (Кажы-Сай биогеохимиялык провинциясы, Бишкек Жылуулук электр станциясынын аймагы) кыртыштын булгануу тобокелдигин заманбап методдорду жана жаңы «кажыларды» колдонуу менен экологиялык-токсикологиялык баалоо. Бул тобокелдиктерди башкаруу максатында булганган экологиялык объекттерди рекультивациялоо процесстериндеги материалдар.

Изилдөөнүн ыкмалары: радионуклиддердин активдүүлүгү Канберра гамма-спектрометри (АКШ) менен олчонгон. Топурактын элементардык курамы DELTA Classic (АКШ) XRF спектрометринин түрүнүн жардамы менен изилденген жана Шеннон ар түрдүүлүк индексинин эсебине негизделген. Кластердик жана фактордук анализ Statistica 7.0 программасы аркылуу жүргүзүлдү. Бактериялардын сандык саны MS300FS флуоресценттик микроскопто жүргүзүлдү. Топурактын үлгүлөрүнүн токсикологиялык сыноолору FITOSCAN системасында, ошондой эле Allium тестин колдонуу менен жүргүзүлдү. Кыртыштын булгануу тобокелдиктерин башкаруу үчүн иштелип чыккан материалдар сымап порозиметриясы, рентген фазасы анализи, электрон спектрометрия жана магнитометрия аркылуу изилденген.

Алынган жыйынтыктар жана изилдөөнүн жаңычылыгы: Кыргызстандагы жогоруда аталган эки техногендик зонанын экологиялык абалына толук мүнөздөмө берилген Кажы-Сай аймагында жогорку радиациялык фон түзүлгөн. Топурактагы радиоактивдүү элементтердин (U-238, Ra-226, Pb-210), ошондой эле оор металлдардын курамы жана таралышы аныкталган. Жер кыртышынын булганышынын биоиндикативдик жана токсикологиялык көрсөткүчтөрү изилденген. Биотикалык көрсөткүчтөрдүн динамикасынын (топурак микроорганизмдеринин саны жана жогорку осүмдүктөрдүн морфологиялык мүнөздөмөлөрү) кыртыш үлгүлөрүндөгү радионуклиддердин активдүүлүгүнө көз карандылыгы изилденген. Органикалык азотту пайдаланган актиномицеттердин жана бактериялардын түрлөрүнүн топтору, ошондой эле тесттик культура катары колдонулган ак горчица көчөттөрүнүн тамырларынын узундугу эң маалыматтык көрсөткүч катары таанылат. Доза эффективдүү моделдерин, тандоо жана атаандаштыкка жөндөмдүүлүк ыкмаларын, ошондой эле натыйжаларды интерпретациялоонун өзгөчөлүктөрүн колдонуу менен Кажы-Сай геохимиялык провинциясында кыртыштын радиациялык булганышынын экологиялык тобокелдигине баа берүү жүргүзүлдү. Топурак ценоздорунун түрлөрдүн ар түрдүүлүгүнүн өзгөрмөлүүлүгүн аныктоо ыкмасын колдонуу менен экологиялык тобокелдикти баалоо изилденип жаткан чөлкөмдөгү техногендик булгануунун компоненттеринин ортосундагы байланыштын мультиколлинсардык комплексин аныктады. ТФЖнын аймагында кыртыштын булгануусунун экологиялык коркунучун Триада методу боюнча баалоо аларды бузулган катары классификациялоого болорун көрсөттү, бирок алар өзгөчө коркунуч туудурбайт.

