

ОШ МАМЛЕКЕТТИК УНИВЕРСИТЕТИНИН ЖАРЧЫСЫ. ХИМИЯ. БИОЛОГИЯ.
ГЕОГРАФИЯ

ВЕСТНИК ОШСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА. ХИМИЯ. БИОЛОГИЯ.
ГЕОГРАФИЯ

JOURNAL OF OSH STATE UNIVERSITY. CHEMISTRY. BIOLOGY. GEOGRAPHY

e-ISSN: 1694-8688

№1(4)/2024, 181-192

ГЕОГРАФИЯ

УДК: 539.16:574.49 (575.23)

DOI: [10.52754/16948688_2024_1\(4\)_23](https://doi.org/10.52754/16948688_2024_1(4)_23)

**РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОЧВ ПРИРОДНО-ТЕХНОГЕННЫХ
ЭКОСИСТЕМ ПРИИССЫККУЛЬЯ**

**ЫСЫК-КӨЛДҮН ТАБИГҢЙ-ТЕХНОГЕНДИК ЭКОСИСТЕМАСЫНЫН ЖЕР КЫРТЫШЫН
РАДИОЭКОЛОГИЯЛЫК ЖАКТАН ИЗИЛДӨӨ**

**RADIOECOLOGICAL RESEARCH OF THE SOILS OF NATURAL AND MAN-MADE
ECOSYSTEM OF THE ISSYK-KUL REGION**

Калдыбаев Бакыт Кадырбекович

Калдыбаев Бакыт Кадырбекович

Kaldybaev Bakyt Kadyrbekovich

д.б.н., профессор, Иссык-Кульский государственный университет им. К. Тыныстанова

б.и.д., профессор, Касым Тыныстанов атындагы Ысык-Көл мамлекеттик университети

Doctor of Biological Sciences, Professor, Issyk-Kul State University named after K. Tynystanov

kaldybaev.b@iksu.kg

Дженбаев Бекмамат Мурзакматович

Дженбаев Бекмамат Мурзакматович

Djenbaev Bekmamat Murzakmatovich

д.б.н., профессор, Институт биологии Национальной академии наук Кыргызской Республики

б.и.д., профессор, Кыргыз Республикасынын Улуттук илимдер академиясынын биология институту

Doctor of Biological Sciences, Professor, Institute of Biology of the National Academy of Sciences of the Kyrgyz Republic

bekmamat2002@mail.ru

Жолболдиев Бактыяр Турдукеевич

Жолболдиев Бактыяр Турдукеевич

Zholboldiev Baktyyar Turdukeevich

к.б.н., Институт биологии Национальной академии наук Кыргызской Республики

б.и.к., Кыргыз Республикасынын Улуттук илимдер академиясынын биология институту

Associate Professor, Institute of Biology of the National Academy of Sciences of the Kyrgyz Republic

baktyyar@mail.ru

Кадырова Гулькаир Бейшебаевна

Кадырова Гулькаир Бейшебаевна

Kadyrova Gulkair Beishenbaevna

к.б.н., доцент, Исык-Кульский государственный университет им. К. Тыныстанова

б.и.к., доцент, Касым Тыныстанов атындагы Ысык-Көл мамлекеттик университети

Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Issyk-Kul State University named after K. Tynystanov

gulkair_56505@mail.ru

Осмонбаева Кымбат Бейшеновна

Осмонбаева Кымбат Бейшеновна

Osmonbayeva Kymbat Beishenovna

к.б.н., доцент, Исык-Кульский государственный университет им. К. Тыныстанова

б.и.к., доцент, Касым Тыныстанов атындагы Ысык-Көл мамлекеттик университети

Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Issyk-Kul State University named after K. Tynystanov

kymbat.950307@gmail.com

РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОЧВ ПРИРОДНО-ТЕХНОГЕННЫХ ЭКОСИСТЕМ ПРИИССЫККУЛЬЯ

Аннотация

В статье представлены результаты радиоэкологических исследований почв природно-техногенных экосистем Прииссыккулья. Физико-географическое расположение и геологическое строение Иссык-Кульской котловины во многом определяют её как провинцию с повышенным содержанием естественного урана, образовавшуюся, за счет рассеяния урана из выветренных горных пород и гранитов, и аккумуляции его в осадочных породах и почвах. К техногенным источникам радиоактивности в регионе относится хвостохранилище переработки радиоактивного угля в поселке Каджи-Сай, расположенное на южном побережье озера Иссык-Куль, которое рекультивировано в 2019 году в рамках международной программы «Рекультивация территорий государств ЕврАзЭС, подвергшихся воздействию уранодобывающих производств». Рекультивация Каджи-Сайского хвостохранилища внесла существенный вклад в обеспечение радиационной безопасности. Проведенные в 2023 году радиоэкологические исследования показали, что уровень радиационного фона, удельная активность радионуклидов в почвах региона варьирует в пределах нормы.

Ключевые слова: почва, радионуклиды, радиационный фон, хвостохранилище, рекультивация.

ЫСЫК-КӨЛДҮН ТАБИГҢЫЙ-ТЕХНОГЕНДИК ЭКОСИСТЕМАСЫНЫН ЖЕР КЫРТЫШЫН РАДИОЛОГИЯЛЫК ЖАКТАН ИЗИЛДӨӨ

Аннотация

Макалада Ысык-Көлдүн табигый-техногендик экосистемасынын жер кыртышын радиоэкологиялык жактан изилдөөнүн жыйынтыктары көрсөтүлгөн. Ысык-Көл ойдуңунун физика-географиялык абалынын жана геологиялык түзүлүшүнүн негизинен урандын табигый курамы жогору болгон аймак катары аныкталган, анткени уран бузулган тоо тектерден, граниттердин чачырашынан чөкмө тектерде жана топурактарда пайда болгон. Региондогу радиоактивдүүлүктүн техногендик булактарына Ысык-Көлдүн түштүк жээгинде жайгашкан Каджи-Сай айылындагы радиоактивдүү көмүрдү кайра иштетүүнүн калдык сактагычы кирет, ал 2019-жылы "Уран казып алуу өндүрүшүнүн таасирине дуушар болгон ЕврАзЭС мамлекеттеринин аймактарын рекультивациялоо" - деген эл аралык программанын алкагында рекультивацияланган. Каджи-Сай калдык сактоочу жайын рекультивациялоо радиациялык коопсуздукту камсыздоого олуттуу салым кошту. 2023-жылы жүргүзүлгөн радиоэкологиялык изилдөөлөр көрсөткөндөй, радиациялык фондун деңгээли жана аймактын жер кыртышындагы радионуклиддердин салыштырма активдүүлүгү нормалдуу чектерде өзгөрүп турат.

Ачкыч сөздөр: топурак, радионуклиддер, радиациялык фон, калдык сактоочу жай, рекультивация.

RADIOECOLOGICAL RESEARCH OF THE SOILS OF NATURAL AND MANMADE ECOSYSTEMS OF THE ISSYK-KUL REGION

Abstract

The article presents the results of radioecological researches of soils in the natural-technogenic ecosystems of the Issyk-Kul region. The physico-geographical location and geological structure of the Issyk-Kul basin largely determine it as a province with an elevated concentration of natural uranium, formed due to the dispersion of uranium from weathered rocks and granites and its accumulation in sedimentary rocks and soils. Among the technogenic sources of radioactivity in the region is the tailings repository of radioactive coal processing in the village of Kadji-Sai. It is located on the southern coast of Lake Issyk-Kul which was remediated in 2019 as part of the international program "Reclamation of territories of the Eurasian Economic Union countries affected by uranium mining operations." The remediation of the Kadji-Sai tailings repository has made a significant contribution to radiation safety. In 2023 radioecological researches showed that the level of radiation background and the specific activity of radionuclides in the soil of the region changes within normal limits.

Keywords: soil, radionuclides, radiation background, tailings storage, reclamation.

Введение

В Кыргызстане имеется ряд природно-техногенных территорий, где необходимы комплексные радиоэкологические исследования. Одним из таких регионов является Иссык-Кульская котловина, расположенная между хребтами Терской и Кунгей Ала-Тоо на высоте 1600-1700 м над уровнем моря. По классификации географов она представляет собой среднегорную впадину. Основным источником урана в Иссык-Кульской котловине являются горные породы с повышенным его содержанием. При их выветривании образуются легкоподвижные соединения шестивалентного урана, которые концентрируются в гумусированных горизонтах почвы, а также обогащают растительный покров, воды рек котловины и озера Иссык-Куль ураном [3, 13].

К техногенным источникам радиоактивности в Иссык-Кульской области относится хвостохранилище переработки радиоактивного угля в поселке Каджы-Сай, расположенное на южном побережье озера Иссык-Куль. Промышленный комплекс уранодобывающего предприятия функционировал с 1948 по 1959 гг. В дальнейшем рудник был преобразован в угледобывающую шахту. Окись урана извлекалась из золы бурых уран содержащих углей, отходы производства были захоронены, образовав хвостохранилище, с общим объемом 400 тыс. м³ [1, 9, 21, 22]. До проведения рекультивационных работ, хвостохранилище было в критическом состоянии, со временем, под воздействием ряда природных факторов (эрозия, паводки, сели, оползни и др.) была частично разрушена защитная дамба, система отвода поверхностных вод с прилегающих склонов, на крутых склонах золоотвалов наблюдались активные эрозионные процессы, отсутствовало ограждение, радиоактивные отходы, представляли потенциальную опасность для окружающей среды [10, 11, 12, 14, 15, 16, 18].

По программе «Рекультивация территорий государств ЕврАзЭС, подвергшихся воздействию уранодобывающих производств» была полностью проведена рекультивация Каджи-Сайского хвостохранилища. Работы включали строительство защитного экрана и восстановление ограждения вокруг площадки для предотвращения неограниченного доступа, перенос загрязненного материала хвостохранилищ во вновь построенное хвостохранилище, изменение существующего русла реки для предотвращения эрозии бортов хвостохранилищ, а также строительство двух защитных дамб [20].

Материалы и методы исследования

Полевые работы на всех контрольных пунктах, включали в себя измерение географических координат, значений мощности экспозиционной дозы, отбор проб почв, поверхностных вод, маркировку проб, а также фотографирование местности и рабочих процедур на отдельных контрольных пунктах [19].

Определение координат выполнялось на каждом обследуемом пункте с помощью спутникового GPS-приемника GARMIN etrex 30. Измерение уровня радиационного фона проведено с использованием дозиметра-радиометра ДКС-96, согласно установленным методическим рекомендациям [17].

Определение изотопного состава радионуклидов проведено на гамма-спектрометре “Canberra” (модель GX4019 с программным обеспечением Genie-2000 S 502, S501 RUS) [8]. Радиоэкологическая оценка природно-техногенной экосистемы выполнена с использованием

прикладных программ Eгica, Normalysa. Карты-схемы уровня радиационного фона составлены с использованием геоинформационной системы Serfer-23.

Результаты и обсуждения

Согласно исследованиям, уровень радиационного фона в регионе варьирует в пределах от 0,1 до 0,25 мкЗв/ч. Для некоторых предгорных районов и ущелий, основу которых составляют горные породы, граниты, мелкие их обломки характерно увеличение до 0,3 мкЗв/ч. Наблюдаются также незначительные вариации уровня радиационного фона по различным типам почв Прииссыккуля.

Контрольные участки исследуемого региона представлены горно-долинными светло-каштановыми, темно-каштановыми, светло-бурыми почвами, по механическому составу в основном среднесуглинистые. Почвы слабо карбонатные 0,22-1,76%, реакция почвенного раствора щелочная 8,00-8,4, емкость поглощения составляет 14-24 мг. экв. на 100 г. почвы. Содержание гумуса варьирует в пределах 2,29-4,32%, общего азота 0,106-0,181%, фосфора 0,147-0,195%, калия 2,0-2,4%, что в целом характерно для почв исследуемого региона. Результаты по определению естественных радионуклидов в различных типах почв Прииссыккуля представлены в таблице 1. Во всех пробах содержание естественных радионуклидов в почвах варьирует в пределах радиогеохимического фона характерного для данного региона.

Таблица 1. Удельная активность радионуклидов в почвах агроэкосистем Прииссыккуля.

№	Место отбора	Тип почвы	U/ ²³⁴ Th	²³² Th/ ²²⁸ Ac	²¹⁰ Pb	Ra/ ²¹⁴ Pb	⁴⁰ K
			Удельная активность, Бк/кг (M±m)				
1.	с. Григорьевка	Светло-каштановые	49,1±	61,6±	63,2±	40,6±	879±
			2,6	1,3	3,4	1,0	12
2.	с. Тюп	Светло-каштановые	56,6±	61,0±	82,8±	39,1±	984±
			1,7	0,7	2,0	0,5	6
3.	с. Маман	Темно-каштановые	42,3±	62,2 ±	72,6±	41,4±	861±
			2,5	1,3	3,4	1,0	10
4.	с. Барскоон	Светло-каштановые	57,8±	67,5±	75,3±	50,4±	911±
			2,7	1,3	3,4	1,1	10
5.	с. Тон	Светло-бурые	67,3±	72,2 ±	73,9±	76,7±	912±
			3,2	1,5	4,0	1,3	10

Результаты исследования показали, что уровень радиационного фона в районе Каджи-Сайского хвостохранилища и его прилегающих территорий до побережья оз. Иссык-Куль варьирует в пределах 0,18 – 0,28 мкЗв/час. Согласно Закона КР Технический регламент «О радиационной безопасности» мощность дозы гамма-излучения на прилегающей территории от природных источников для населения не должна превышать 0,3 мкЗв/ч [2]. С использованием геоинформационной системы Serfer-23 составлена карта-схема уровня радиационного фона от побережья озера Иссык-Куль до зоны хвостохранилища (рис. 1).

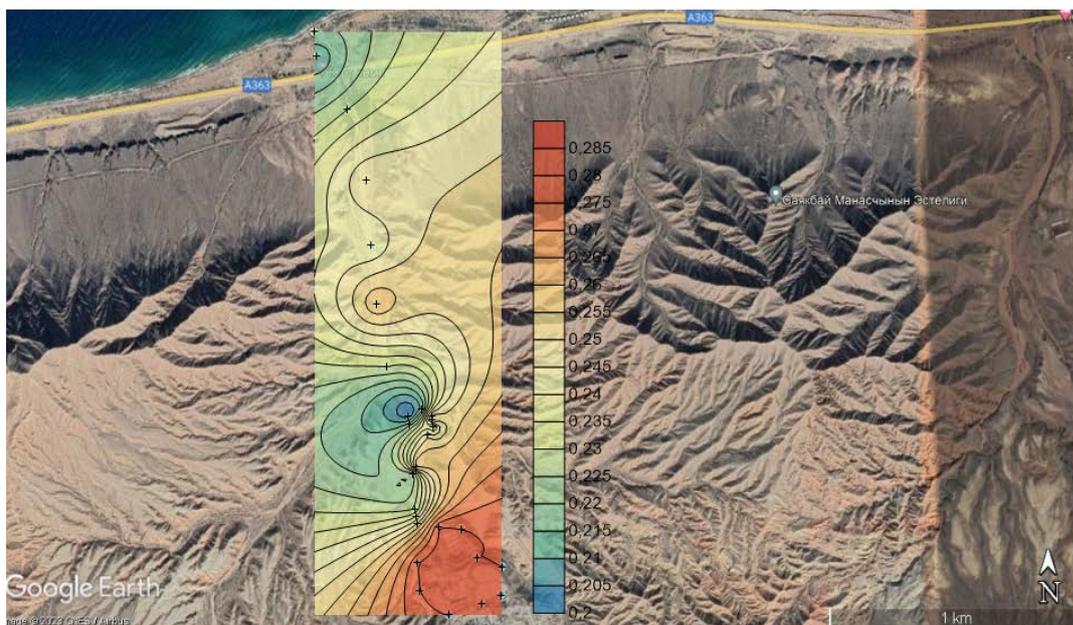


Рисунок 1. Уровень радиационного фона района Каджи-Сайского хвостохранилища.

Результаты гамма-спектрометрического анализа показали, что удельная активность урана в почвах, варьирует в пределах 68,4-70,8 Бк/кг. В связи с тем, что уголь ТЭЦ имел одну и ту же природу, что уголь, использованный для добычи урана, в пробах грунта золоотвала установлены повышенные концентрации урана 143,5 – 146,3 Бк/кг (табл. 2).

Таблица 2. Удельная активность радионуклидов в почвах района Каджи-Сайского хвостохранилища.

№	Место отбора	U/ ²³⁴ Th	²³² Th/ ²²⁸ Ac	²¹⁰ Pb	Ra/ ²¹⁴ Pb	⁴⁰ K
		Удельная активность, Бк/кг (M±m)				
1.	25 м от берега оз. Иссык-Куль	68,4±3,9	56,6±2,4	60,7±2,2	52,3±2,8	713±24,9
2.	Ниже хвостов (1 км. 300 м.)	70,8±2,3	37,8±5,1	37,8±2,3	35,8±4,2	606±16,5
3.	Ниже хвостов (445 м.)	71,8±5,3	67,8±3,3	88,8±5,5	51,8±3,4	624±15,5
4.	Золоотвал	143,5±8,4	66,3±2,8	67,4±2,4	66,7±3,7	805±28,2
5.	поселок Каджи-Сай	67,4±3,9	52,6±2,2	55,7±2,2	45,3±2,6	650±14,9

С использованием прикладной программы Egisa выполнено моделирование содержания радионуклидов и поглощенных доз для эталонных организмов для территории золоотвала. Установлено, что среди эталонных организмов, мхи и лишайники способны больше накапливать радионуклиды, поглощенная доза для них составила 11.23 мкГр/ч. Для других эталонных организмов характерны более низкие значения поглощённых доз (табл. 3). Наибольший вклад в общую дозу облучения вносят изотопы ²²⁶Ra и ²¹⁰Pb (рис. 2).

Таблица 3. Расчетная мощность поглощенной дозы для эталонных организмов программой Egisa.

№	Эталонные организмы	(мкГр/ч)
1	Амфибии	1.57
2	Кольчатые черви	2.26
3	Членистоногие (детритофаги)	2.76
4	Птицы	0.36
5	Насекомые	0.46

6	Травы	1.85
7	Мхи и лишайники	11.23
8	Млекопитающие (большие)	0.72
9	Млекопитающие (мелкие)	0.75
10	Брюхоногие моллюски	0.31
11	Рептилии	1.57
12	Кустарники	3.13
13	Деревья	0.24

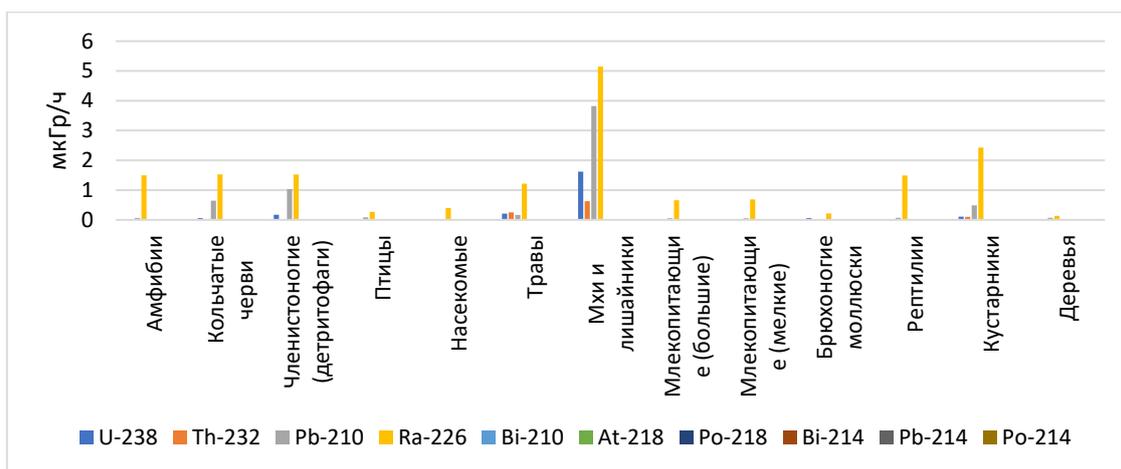


Рисунок 2. Поглощённая доза в разрезе по радионуклидам.

В соответствии с нормами СанПиН 2.1.4.002-03 контрольные уровни для питьевой воды альфа-излучателей составляют 0,5 Бк/л, бета-излучателей - 1 Бк/л. Ранее проведённые исследования проб речной воды Прииссыккулья показали, что уровни суммарной альфа-активности варьируют в пределах 0,10 – 0,25 Бк/л, бета-активности 0,06 – 0,13 Бк/л. Нами также проведен анализ воды ручья в районе хвостохранилища Каджи-Сай, который стекает по саю в сторону оз. Иссык-Куль, суммарная альфа-активность которого составила 0,21 Бк/л, бета-активность - 0,35 Бк/л, что находится в пределах установленных норм (табл. 4).

Таблица 4. Суммарная α - и β - активности радионуклидов в речных водах и озерной воде.

Место отбора пробы	Суммарная активность радионуклидов (Бк/л)	
	Альфа-активность	Бета-активность
р. Каракол	0,25±0,2	0,13±0,01
р. Тюп	0,23±0,2	0,12±0,01
р. Джергалан	0,22±0,2	0,11±0,01
р. Кичи Ак-Суу	0,20±0,2	0,10±0,01
ручей Каджи-Сай	0,21±0,1	0,35±0,2
оз. Иссык-Куль (с. Кара-Ой)	0,80±0,17	1,04±0,1
оз. Иссык-Куль (с. Ак-Терек)	0,60±0,05	0,44±0,03
оз. Иссык-Куль (г. Балыкчы)	0,95±0,05	0,65±0,05

При среднем содержании урана в воде озера Иссык-Куль – 0,81 Бк/л, с использованием прикладной программы Egisa были рассчитаны коэффициенты риска, уровни накопления радионуклидов в гидробионтах и их поглощённые дозы (табл. 5).

Таблица 5. Расчетные данные содержания урана в эталонных организмах, поглощенной дозы и коэффициента риска.

Эталонные организмы	Удельная активность в организмах (Бк/кг) сырая масса	Доза облучения мкГр/ч	Коэффициент риска
Фитопланктон	176.5	4.35	0.43
Зоопланктон	2.1	0.05	0.005
Ракообразные	5.1	0.16	0.01
Водоросли	55.2	1.53	0.15
Двухстворчатые моллюски	28.1	0.77	0.07
Пелагические рыбы	3.7	0.09	0.01
Донные рыбы	3.7	0.14	0.01
Птицы	101.1	2.53	0.25
Млекопитающие	101.1	2.53	0.25

Результаты моделирования показали, что среди эталонных организмов больше способны накапливать уран фитопланктон (176,5 Бк/кг), уровень поглощенной дозы для него составил 4,35 мкГр/ч. Низкие коэффициенты радиационного риска характерны для водорослей (0,15). Расчетное среднее содержание урана в пелагических рыбах составляет 3,7 Бк/кг на сырой вес, коэффициент радиационного риска – 0,01, поглощенная доза - 0.14 мкГр/ч. Известно, что уран преимущественно накапливается в костной ткани, почках, жабрах, а затем в печени, и только небольшая часть удерживается в мышцах. В виду того, что части органов рыб: жабры, печень и кости обычно население не едят, общая суточная доза для урана устанавливается ВОЗом не больше 50 Бк/кг [20]. Согласно выводам научного комитета ООН по действию атомной радиации, поглощенная доза мощностью 80 мкГр/ч является пороговой дозой.

Для оценки дозы внешнего облучения населения на открытом воздухе, проживающего вблизи золоотвала с использованием прикладной программы Normalysa проведено моделирование процесса переноса радона через атмосферный воздух с территории золоотвала до поселка Каджи-Сай (рис.3). Для обработки данных, введены данные удельной активности радионуклидов в грунте золоотвала; средней скорости ветра, площади золоотвала и ряд других параметров, необходимых для моделирования. Как показали расчеты, годовая эффективная доза внешнего облучения населения, проживающего вблизи зоолоотвала радоном, на удалении 600 метров составила 0,000000168 мкЗв/год. Во временном параметре (1000 лет), удельная активность радионуклидов (^{238}U , ^{232}Th , ^{226}Ra , ^{222}Rn) в грунте золоотвала медленно уменьшается. Согласно Закона КР Технический регламент «О радиационной безопасности» годовая эффективная доза облучения населения не должна превышать 1,0 м³ в/год.



Рисунок 3. Модель переноса радона атмосферным воздухом от территории золоотвала до жилой зоны (Normalysa).

Следует отметить, что государством, в лице Министерства чрезвычайных ситуаций КР проводится планомерная работа по рекультивации радиоактивных отходов бывших урановых производств с привлечением международной помощи. Проведенные рекультивационные работы Каджи-Сайского хвостохранилища внесли существенный вклад в обеспечение радиационной безопасности Иссык-Кульской области. Запланированы дальнейшие мероприятия по рекультивации золоотвала, цель которых является исключение воздействия золы на окружающую среду и возвращение территории в землепользование.

На практике широко используют различные варианты рекультивации техногенно-нарушенных ландшафтов, одним из оптимальных вариантов является биологическая рекультивация зольного отвала под пастбища. При соответствующих агротехнических мероприятиях, в течение 3-5 лет можно высаживать растения, которые не представляют угрозы естественному фитоценозу, например растения семейства злаковых (*Poaceae*), так как луговые формации с дерновозащитным слоем в 8-10 см препятствуют зарождению эрозии, улучшают структуру и плодородие почвы, благодаря разложению органических веществ. Данная технология увеличивает продуктивность искусственных фитоценозов в 2-3 раза по сравнению с естественными лугами [5]. Есть успешные примеры подобной фиторекультивации, например, через десять лет после проведения биологической рекультивации на рекультивированном Текелийском хвостохранилище в Казахстане сформировался разнотравно-полынно-злаковый фитоценоз с преобладанием злаков, полыни полевой (*Artemisia campestris*) и дрока красильного (*Genista tinctoria*). В условиях Севера России при фиторекультивации использованы многолетние быстрорастущие травы с длинными корневищами: овсяница луговая (*Festuca pratensis Huds*), овсяница красная (*F. rubra L.*), мятлик луговой (*Poa pratensis L.*) и тимофеевка луговая (*Phleum pratense L.*) [4, 6, 7].

Выводы

Средняя радиоактивность почв Прииссыккулья невысокая, ее можно рассматривать как условный радиогеохимический фон данного региона. Уровень радиационного фона территорий, прилегающих к Каджи-Сайскому хвостохранилищу, варьирует в пределах нормы. Смоделированные программой Erisa значения показали, что мхи и лишайники способны накапливать больше радионуклиды, чем другие эталонные организмы, что необходимо учесть при проведении мониторинговых исследований. Для восстановления техногенно-нарушенных участков возможно проведение фиторемедиационных работ под пастбища, с включением в травосмеси многолетних трав из семейства злаковых.

Благодарность

Авторы статьи благодарны научному проекту Министерства образования и науки КР за 2023 год «Радиоэкологические исследования среды природно-техногенных экосистем» за финансовую помощь в проведении исследований.

Литература

1. Жолболдиев Б.Т. (2016) *Радиоэкологическая оценка загрязнения территории бывшего уранового производства Каджи-Сай (Биосферной территории Иссык-Куль)* (диссертация канд. биол. наук), Биолого-почвенный институт НАН КР, Бишкек.
2. Закон КР (2011). Технический регламент «О радиационной безопасности». https://base.spinform.ru/show_doc.fwx?rgn=48390
3. Ковальский В.В., Воротницкая И.Е., Лекарев В.С. (1968). Урановые биогеохимические пищевые цепи в условиях Иссык-Кульской котловины. *Труды Биогеохимической лаборатории*, т. 12, сс.25-53.
4. Наквасина Е. Н., Земцовская О. Н., Денисова А. И. (2014). Использование злаковых трав для биологической рекультивации нарушенных земель Севера, *Arctic Environmental Research*, сс.81-89. <https://cyberleninka.ru/article/n/ispolzovanie-zlakovyh-trav-dlya-biologicheskoy-rekultivatsii-narushennyh-zemel-severa>
5. Осмонбаева К.Б., Калдыбаев Б.К., Усупбаев А.К. (2023). Злаковые травы для биорекультивации района хвостохранилища Каджи-Сай, *Известия Ошского технологического университета*, № 2-2, сс. 106-114. <https://elibrary.ru/item.asp?id=54753568>
6. Сариев А. Х., Чербакова Н. Н., Терентьева Н. Ю. (2021). Восстановление почвенно-растительного покрова нарушенных тундровых земель. *Вестник КрасГАУ*, № 7, сс. 73-81. DOI: 10.36718/1819-4036-2021-7-73-81.
7. Семина И. С. (2014). О рекультивации нарушенных земель на разрезах Кузбасса. *Горный информационно-аналитический бюллетень*, №12, сс. 307 - 315.
8. Analytical Methodology for the Determination of Radium Isotopes in Environmental Samples. *IAEA Analytical Quality in Nuclear Applications Series*, 19 (2010). Available at: https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/IAEA-AQ-19_web.pdf
9. Djenbaev B.M., Kaldybaev B.K., Zholboldiev B.T., Karmisheve U.Sh., Shumaliev T., Dikanov K. (2020). Gamma Radiation of Radionuclide in The Mountain Areas of Former Uranium Production Facilities (Kyrgyzstan). *Journal of Physical Science and Environmental Studies*, 6 (1) (2020), pp. 11-22. Available at: https://doi.org/10.36630/jpses_19012

10. Dogan I., Ozyigit I., Kidiraliyeva B., Cekirov K., Kurmanbekova G., Ucar B., Saykieva N., Hocaoglu-Ozyigit A., Ertugrul Yalcin I., Severoglu Z., Solak A. (2021). Assessment of pollution at the former uranium waste dumpsite near Kaji-Say Village/Kyrgyzstan: a genetic and physiological investigation. *Journal of Environmental Radioactivity*, 14 (1), pp. 280-294. Available at: <https://doi.org/10.1080/16878507.2021.1957397>
11. Gavshin V.M., Melgunov M.S., Sukhorukov F.V., Bobrov V.A., Kalugin I.A., Klerkx J. (2005). Disequilibrium between uranium and its progeny in the Lake Issyk-Kul system (Kyrgyzstan) under a combined effect of natural and manmade processes. *Journal of Environmental Radioactivity*, 83 (1), pp. 61-74. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2005.02.012>
12. Gavshin V.M., Sukhorukov F.V., Bobrov V.A., Melgunov M.S., Miroshnichenko L.V., Klerkx J., Kovalev S.I., Romashkin P.A. (2004). Chemical composition of the uranium tail storages at Kadji-Sai (Southern shore of Issyk-Kul Lake, Kyrgyzstan). *Water, Air, & Soil Pollution*, 154, pp. 71-83. Available at: <https://doi.org/10.1023/B:WATE.0000022929.61233.84>
13. Kulenbekov Z., Merkel B.J. (2012). Investigation of the natural uranium content in the Issyk-Kul Lake, Kyrgyzstan. *FOG - Freiberg Online Geoscience*, 33, pp. 3-45. https://tu-freiberg.de/sites/default/files/2023-08/fog_volume_33_0.pdf
14. Lespukh E., Stegnar P., Usubaliev A., Solomatina A., Tolongutov B., Beishenkulova R. (2013). Assessment of the radiological impact of gamma and radon dose rates at former U mining sites in Kyrgyzstan. *Journal of Environmental Radioactivity*, 123, pp. 28-36. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2012.11.013>
15. Lind O.C., Stegnar P., Tolongutov B., Rosseland B.O., Stromman G., Uralbekov B., Usubaliev A., Solomatina A., Gwynn J.P., Lespukh E., Salbu B. (2013). Environmental impact assessment of radionuclide and metal contamination at the former U site at Kadji Sai, Kyrgyzstan. *Journal of Environmental Radioactivity*, 123, pp. 37-49. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2012.07.010>
16. Liu W., Ma L., Li Y., Abuduwaili J. (2020). Heavy Metals and Related Human Health Risk Assessment for River Waters in the Issyk-Kul Basin, Kyrgyzstan, Central Asia. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17 (10), p. 3506. Available at: <https://doi.org/10.3390/ijerph17103506>
17. Lubna A. Al-Asadi. (2018). Gamma Background Radiations and Measurements with Applications. Available at: <https://www.intechopen.com/books/8352>
18. Oughton D.H., Strømman G., Salbu B. (2013). Ecological risk assessment of Central Asian mining sites: application of the ERICA assessment tool. *Journal of Environmental Radioactivity*, 123, pp. 90-98. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2012.11.010>
19. Soil sampling for environmental contaminants. IAEA-TECDOC-1415, (2004). Available at: https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/te_1415_web.pdf
20. Strategic Master Plan for Environmental Remediation of Uranium Legacy Sites in Central Asia, (2021). Available at: https://www.iaea.org/sites/default/files/18/05/strategic_master_plan_v1_may_2018.pdf
21. Torgoev I.A., Aleshyn U.G. (2004). Ecological Risk in Territory Uranium Tailing of Kyrgyzsta. *Environmental Protection Against Radioactive Pollution*, pp. 57-64. Available at:

https://www.researchgate.net/publication/225311757_Ecological_Risk_in_Territory_Uranium_Tailing_of_Kyrgyzstan

22. Uralbekov B.M., Smodis B., Burkitbayev M. (2011). Uranium in natural waters sampled within former uranium mining sites in Kazakhstan and Kyrgyzstan. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 289 (3), pp. 805-810. Available at: <https://doi.org/10.1007/s10967-011-1154-3>