

РАДИОБИОГЕОХИМИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ В ТРАНСГРАНИЧНОЙ РЕКЕ КАРА-БАЛТА

Дженбаев Б.М.¹, Жолболдиев Б.Т.¹, Джаманбаева З.А.¹, Кармышова У.Ж.¹,
Солодухин В.П.², Ленник С.Г.²

¹Институт биологии НАН КР, Кыргызстан, Бишкек, пр. Чуй, 265, 720071

²Институт ядерной физики МЭ РК, Казахстан, Алматы, ул. Ибрагимова, 1, 050032

E-mail: kg.bek.bm@bk.ru , kg.bek.ilim@gmail.com

Аннотация. В данной статье представлены краткие сведения о Кара-Балтинском горнорудном комбинате, о его хвостохранилищах и радиобиогеохимическом состоянии окружающей среды (почва, вода и донные осадки) в бассейне трансграничной реки Кара-Балта (Кыргызстан). Полученные нами значения мощности поглощенной дозы (МПД, 103 нГр·ч⁻¹) существенно уступают соответствующему принятому санитарному нормативу (300 нГр·ч⁻¹) и радиационная ситуация на территории трансграничного водного бассейна р. Кара-Балта является фоновой и не представляет опасности для здоровья людей и окружающей среде. Однако анализ элементов-загрязнителей (таких как Mo, Sb, U...) показал, что содержание их в береговой почве и донных отложениях на территории Кыргызстана немного повышено (на 8-20%), чем на территории Казахстана, поэтому нужно проводить дополнительное межгосударственное исследование и определение возможных механизмов и пути миграции загрязнителей.

Ключевые слова: горнорудный комбинат, хвостохранилища, радиоактивные элементы, уран, токсические элементы, кларк.

ЧЕК АРАДАГЫ КАРА-БАЛТА ДАРЫЯСЫНЫН АЙЛАНА ЧӨЙРӨСÜNҮН РАДИОБИОГЕОХИМИЯЛЫК АБАЛЫ

Б.М. Дженбаев¹, Б.Т. Жолболдиев¹, З.А. Джаманбаева¹, У.Ж. Кармышова¹
В.П. Солодухин², С.Г. Ленник²

¹КР УИАнын Биология институту, Кыргызстан, Бишкек шаары,
Чүй проспекти 265, 720071

²КР МЭ Физика ядролук институту, Казахстан, Алмата шаары,
Ибрагимова көчөсү 1, 050032

Аннотация. Бул макалада Кара-Балта тоо-кен комбинатынын кыскача тарыхы жана чекарадагы Кара-Балта дарыясынын айлана чөйрөсүнүн радиобиогеохимиялык (топурак, суу, чөкмөлөр) абалы берилди. Биздин жыйынтык (МПД 103 нГр·ч) кабыл алынган (300 нГр·ч) укук-ченемдик көрсөткүчтөн бир нече эсе төмөн жана чекарадагы Кара-Балта дарыясынын радиациялык абалы фондук, ал адамдардын саламатыгына, айлана чөйрөгө коркунуч жаратпайт. Бирок, булгоочу элементтери (Mo, Sb, U...) Кыргызстандын аймагындагы жээктеги топуракта, чөкмөдө (8-20%) бир аз жогору салыштырмалуу Казакстандын аймагына, ошондуктан мамлекеттер аралык изилдөөлөрдү жүргүзүп жана булгоочу заттардын миграциясын жана мүмкүн болгон механизмдерин аныктоо зарыл.

Негизги сөздөр: тоо-кен комбинаты, калдык сактагыч, радиоактивдүү элементтер, уран, зыяндуу элементтер, Кларк.

RADIOBIOGEOCHEMICAL STATE OF THE ENVIRONMENT IN THE TRANSBOUNDARY RIVER KARA-BALTA

*Djenbaev B.M.¹, Zholboldiev B.T.¹, Dzhamanbaeva Z.A.¹, Karmyshova U.Zh¹
Soloduhin V.P.², Lennik S.G.²*

¹*Institute of Biology of the National Academy of Sciences of the Kyrgyz Republic,
Kyrgyzstan, Bishkek, Chui Ave., 265, 720071*

²*Institute of Nuclear Physics of the Ministry of Energy of the Republic of Kazakhstan,
Kazakhstan, Almaty, st. Ibragimova, 1, 050032*

Abstract. *This article presents a brief history of the Kara-Balta Mining Plant (tailings) and the radiobiogeochemical state of the environment (soil, water and bottom sediments) in the basin of the transboundary Kara-Balta River (Kyrgyzstan). The values of the absorbed dose rate (ADR) obtained by us are 103 nGy •h-1 are significantly inferior to the corresponding accepted sanitary standard (300 nGy•h-1) and the radiation situation in the transboundary water basin of the Kara-Balta River is background and does not pose a danger to human health and the environment. However, the analysis of elements- pollutants (such as Mo, Sb, U ...) have shown that the content in coastal soil and bottom sediments in the territory of Kyrgyzstan is slightly elevated (8-20% higher) than in the territory of Kazakhstan, therefore it is necessary to conduct additional interstate research and determine possible mechanisms and migration routes of pollutants.*

Keywords: *mining plant, tailings, radioactive elements, uranium, toxic elements, clarke.*

Актуальность. Известно, что Кара-Балтинский горнорудный комбинат (КГРК), введенный в строй в 1955 году, в течение нескольких десятилетий являлся одним из крупнейших переработчиков уранового сырья для атомной промышленности в регионе и Советском Союзе. Максимальная загрузка на предприятии производилась до 3 тыс. тонн закиси-окиси урана. Решение о строительстве Кара-Балтинского горнорудного предприятия на территории Кыргызской Республики было принято 24 октября 1950 года Постановлением Совета Министров СССР №4381-1854. В период существования СССР верхняя южная часть города Кара-Балта была закрытым «почтовым ящиком» с несколькими засекреченными производствами, включая основное предприятие города – Кара-Балтинский горнорудный комбинат (КГРК) – крупнейшее в Центральной Азии предприятие по переработке ураносодержащей руды [3, 7, 15].

Многие предприятия после развала СССР были закрыты, некоторые сократили объёмы производства или перепрофилировались на выпуск другой продукции для продолжения работы. Однако до настоящего времени г. Кара-Балта обеспечивает 70 % промышленного выпуска в Чуйской области. После развала СССР для переработки привозили из Казахстана химконцентраты природного урана для нужд Кара-Балтинского горнорудного комбината.

ОАО «Карабалтинский горнорудный комбинат» внесен огромный вклад в социально-экономическое развитие г. Кара-Балта и Жайылского района. По последним данным, на территории города в настоящее время функционируют более 30 акционерных обществ, более 90 ОсОО, 12 предприятий, предоставляющих услуги населению, 22 предприятия малого и среднего бизнеса по переработке сельхозпродукции. Крупнейшим предприятием города является нефтеперерабатывающий завод китайской компании «China Petrol Company Zhongda» (рис 2).

Следует отметить, что Кара-Балтинский горнорудный комбинат около 40 лет (1955-1991г.г.) перерабатывал радиоактивное сырье для нужд обороны и энергетики Советского Союза, за эти годы выпустил свыше 60 тыс. тонн урана и 15 тыс. тонн молибдена. В 1991 комбинат был остановлен, но в 1994, как выше отмечено, продолжил

работать, производя из казахстанской руды (месторождения Степное и Центральное) концентрат U_3O_8 .

Как отмечалось выше, хвостохранилища гидromеталлургического завода (ГМЗ), АО Кара-Балтинского горнорудного комбината (АО «КГРК») по своему объему является одним из крупнейших хранилищ радиоактивных отходов в мире. Оно проектировалось, строилось и эксплуатировалось как сооружение I класса. Хвостохранилище намывного типа расположено в 600 м. на запад от промплощадки ГМЗ (в 1,5 км от г. Кара-Балта) и представляет собой три карты с условными № 7, 8 и 9 (ранее находившиеся в эксплуатации попеременно), и одну наливную карту - «иловую емкость». Площадь хвостохранилища – 268 га. Ни одна из карт не намыта до проектных отметок. Радиоактивные отходы, заскладированные в «иловую карту» хвостохранилища площадью 27,5 га имеют активность 3752,4 кюри (Рис 1, 2). Основным загрязняющим компонентом является урановый ряд элементов.



Рис 1. Схема хвостохранилища гидрометаллургического завода (ГМЗ), АО Кара-Балтинского горнорудного комбината

В 1999 производство составило 450 т U_3O_8 , т.е. 30-35% полной мощности комбината. С 2000 в рамках трёхсторонней кооперации (Кыргызстан, Казахстан и Россия) комбинат начал перерабатывать урановую руду с казахстанского месторождения Заречное (Южно-Казахстанская обл.) и поставлять урановый концентрат в Россию. Однако в районе самого хвостохранилища, горнорудного комбината, реке Кара-Балта и в его бассейне современное экологическое и радиобиогеохимическое состояние изучено слабо, поэтому была поставлена задача изучить современное состояние данной урановой природно-техногенной провинции.

Основной целью изысканий являлось проведение радиоэкологических исследований загрязнения данной природно-техногенной провинции и возможности попадания их в трансграничные реки Чу, Сырдарья и в их притоки.



Рис 2. Хвостохранилища гидрометаллургического завода (ГМЗ), АО Кара-Балтинского горнорудного комбината и нефтеперерабатывающий завод китайской компании «China Petrol Company Zhongda»

Материалы и методы исследований

Для обеспечения более глубокого понимания экологических изменений в экосистеме почва-вода реки Кара-Балта были собраны образцы воды, почвы и донных осадков с самой реки, ее боковых притоков и прилегающих территорий для анализа на содержание некоторых токсических химических элементов и радионуклидов. До сбора образцов для анализа, предварительно изучены экспозиционные дозы и определены фоновые показатели провинции [6, 9, 11].

Для проведения комплексных исследований использована стандартная методология при консультации с международными экспертами по отбору проб воды, донных отложений, почв, растений и проведения лабораторного анализа. Исследователи лаборатории для выполнения полевых исследований и решения настоящей задачи использовали современное оборудование, такое как *Hydrolab*, *ДКС*, *GPS* и др., а также для измерения радиоактивных элементов использован гамма-спектрометр «*CANBERRA*». Элементные анализы проведены рентгено-флуоресцентным и нейтронно-активационным методом на реакторе в г. Алматы. Масс-спектрометр с индуктивно-связанной плазмой (ICP-MS) *Hewlett Packard HP 4500* использовался для обнаружения следов тяжелых металлов в образцах воды.

В соответствии с планом проведения полевых работ отбор проб воды, донных отложений и почво-грунтов проводились в трансграничной реке Кара-Балта. Точные координаты точек отбора проб окружающей среды определены с помощью *GPS* в зависимости от расстояния источника (таблица 1, рис. 3).

Как было отмечено, образцы, собранные во время полевых исследований были обработаны и проанализированы с помощью гамма-спектрометра в лаборатории Биогеохимии и радиоэкологии ИБ НАН КР и на некоторые токсические элементы анализы проведены на рентгенофлуоресцентном спектрофотометре (*XRF*) в Институте ядерной физики Республики Казахстан.

Таблица 1. Координаты точек отбора проб объектов окружающей среды и радиационный фон в бассейне реки Кара-Балта (Кыргызстан)

Точка отбора проб	Географические координаты, WGS-84		Радиоактивный фон
	Северная широта	Восточная дол- гота	
	N	E	мкЗв/час
KG-KB-1	42 ⁰ 3842,0	735351,4	
KG-KB-2	424419,1	735157,8	0,16
KG-KB-3	42502,1	735246,0	
KG-KB-4	425552,2	735345,0	0,12
KG-KB-5	4300,6	735246,0	
KG-KB-6	43456,2	735423,8	0,12-0,20
KG-KB-7	43913,9	735717,5	
KG-KB-8	431136,7	74021,0	0 12-0,25
KG-KB-8	431145,7	740033,0	
KG-KB-10	431146,3	74024,8	0,18 - 0,20

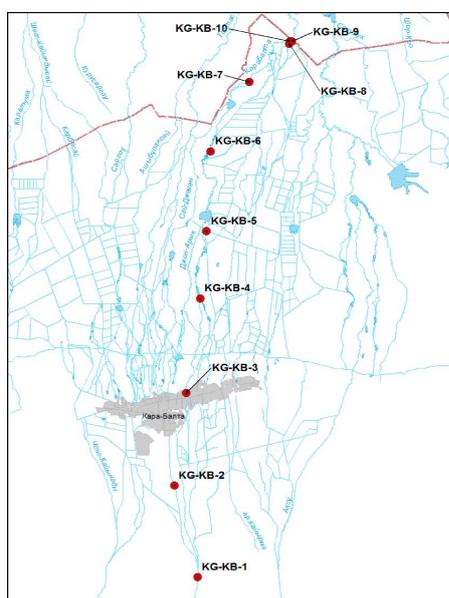


Рис. 3. Карта-схема координат отбора проб при проведении полевых работ в бассейне реки Кара-Балта (Кыргызстан)

В соответствии с задачами были проведены полевые работы по отбору проб (а – вода; б - донные осадки; в - почвы) на репрезентативных участках.

Экспедиция для отбора проб воды была проведена на всей протяженности трансграничной реки Кара-Балта от ее истоков (Кыргызский хребет). Отбор проб воды выполнен на 10 контрольных пунктах (КП) в соответствии со схемами, представленными на рис. 4.

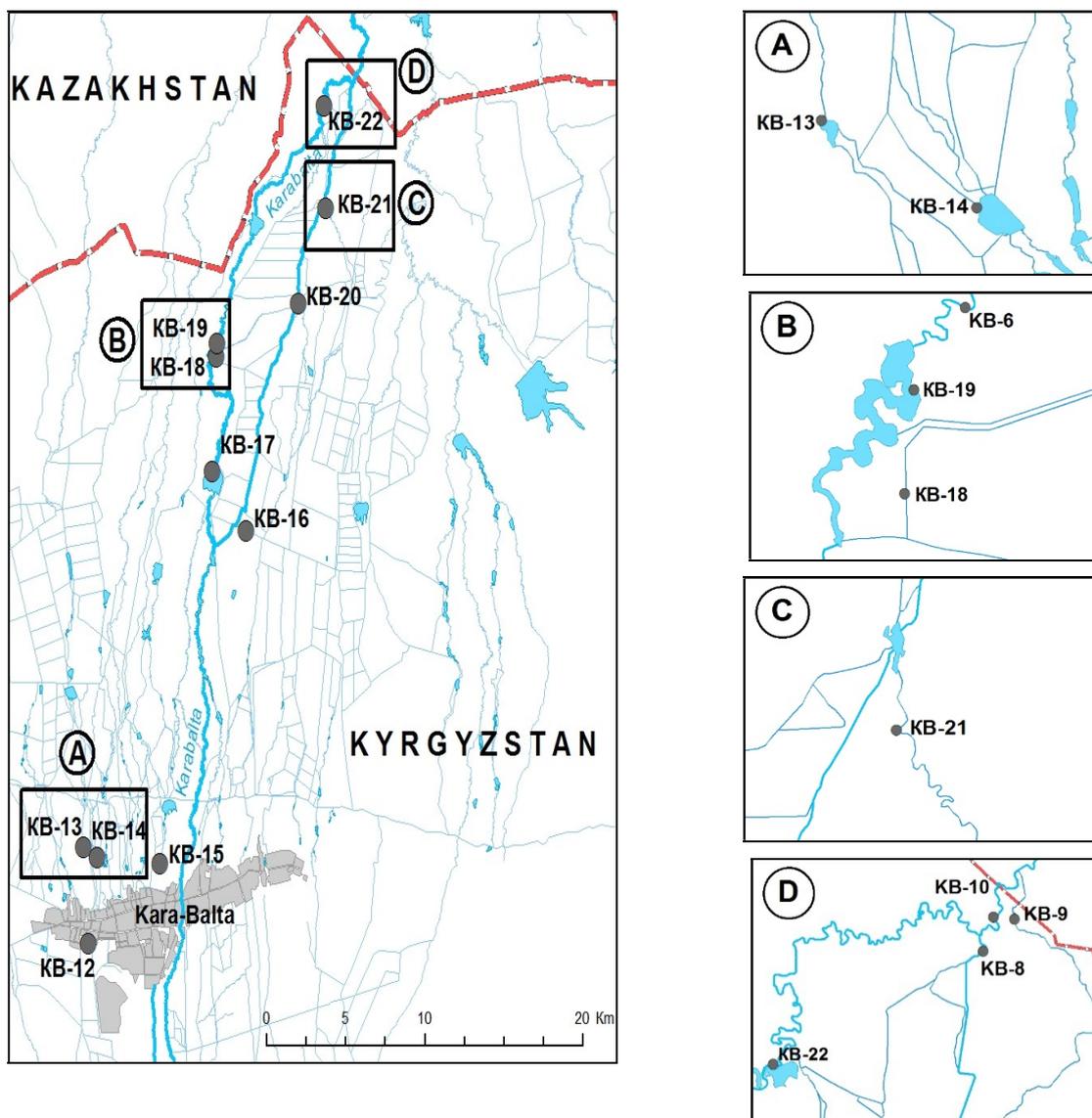


Рис. 4. Реализованные схемы радиационного обследования и отбора проб ООС в бассейне реки Кара-Балта на территориях Кыргызстана

Первичная подготовка проб почв к анализу проводится по ГОСТ 17.4.4.02-84 (Рис.4.). Пробы высушиваются до воздушно-сухого состояния. Инородные тела отделяются. Затем почвы тщательно перемешивают и измельчают до размера частиц не более 2 мм. Измельченные пробы размещаются в пластмассовые контейнеры. Масса пробы измеряется взвешиванием (Рис. 5), [12, 13, 14] .





Рис.5. Подготовка проб почв и донных отложений

Для проведения измерений активности радионуклидов в исследуемых объектах в данной работе нами использовался гамма-спектрометр «CANBERRA» (США), состоящий из германиевого детектора HPGe. Детектор изготовлен из особого чистого германия фирмы «CANBERRA», модель GX4019, управление работой гамма-спектрометрического тракта, обработка аппаратурных гамма-спектров производится с помощью программного обеспечения Genie-2000. (Рис. 6).



Рис.6. Гамма-спектрометр в лаб. Биохимии и радиозэкологии ИБ НАН КР а) внешний вид; б) детектор в защите.

Важным этапом при проведении гамма-спектрометрических измерений проб является процесс герметизации исследуемых образцов. Необходимость герметизации связана с тем, что в рядах распада присутствуют газообразные продукты (радон-222 и радон-220) рис.7. Пробы помещались в контейнеры из оргстекла высокой плотности с известной массой. Контейнер закрывали крышкой с указанием номера пробы на ней. Затем на контейнеры наносят маркировку, содержащую шифр пробы. Они хранятся в течение 30 дней по методике для достижения баланса между радионуклидами радия и радоном.

Результаты исследования и обсуждение

Измерения активности радионуклидов проводились в Институте биологии НАН КР – в образцах наземных вод, донных осадков и почвенном покрове, отобранных в природно-техногенной среде бассейна реки Кара-Балта. В соответствии с рабочим планом подготовлены пробы и проведены замеры в лаборатории Института Биологии: D – донные осадки, S – почва и вода на 10 репрезентативных пунктах (Рис. 8).



Рис.7. Герметизация исследуемых образцов

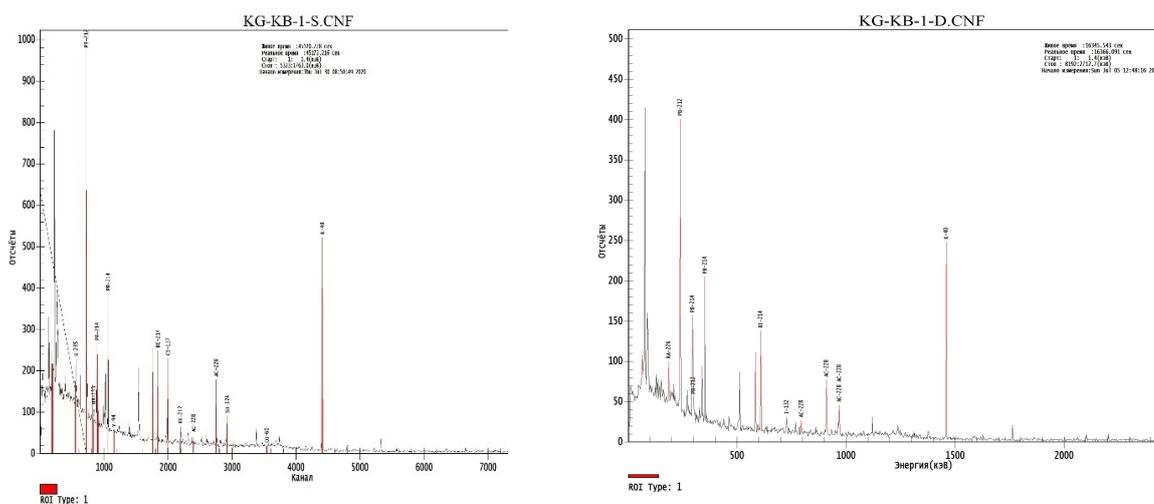


Рис. 8. Гамма-спектр пробы почвы (а) и донные отложения (б) отобранный в бассейне реки Кара-Балта (Кыргызстан)

Полученные данные показали нам, что в почвах особых изменений по изученным радионуклидам нет. В донных отложениях на пятом участке отмечено повышение значений. В воде анализировали в небольшом количестве (всего 0,5 л), поэтому анализ показал, что концентрация изучаемых радиоизотопов низкая (табл. 2 -3) [10].

На основе полученных данных об удельной активности естественных радионуклидов (ЕРН) ^{226}Ra , ^{232}Th (^{228}Ac) и ^{40}K в пробах береговой почвы и донных отложений рассчитаны значения мощности поглощенной дозы (МПД) на всех обследованных КП. Расчеты выполнены в соответствии с рекомендациями научного комитета ООН по действию атомной радиации (UNSCEAR). В таблице 4, представлены средние значения МПД на территории всего трансграничного бассейна реки Кара-Балта, а также отдельно на территориях этого бассейна в Кыргызстане, рассчитанные по данным, полученным в результате анализа всех проб береговой почвы и донных отложений методом ИГС. Приведены также и соответствующие интервалы значений МПД [8, 16].

Из таблицы 4 следует, что результаты расчетов, выполненных на основе данных анализа береговой почвы и донных отложений, практически полностью соответствуют друг другу. Все полученные средние значения МПД заметно превышают среднемировое значение МПД для ЕРН ($60 \text{ нГр} \cdot \text{ч}^{-1}$): весь бассейн – на 35%, Кыргызстан – на 38%, Казахстан – на 31%. Это вполне объяснимо, поскольку значительная часть изучаемого бассейна находится на территории урановорудной провинции.

Таблица 4. Средние значения и интервалы мощности поглощенной дозы в трансграничном бассейне реки Кара-Балта, нГр·ч⁻¹

Объект исследования	Кыргызстан	Казахстан	Весь бассейн
Береговая почва	<u>82.9</u> 67.1 – 103	<u>78.4</u> 72.2 – 87.0	<u>81.4</u> 67.1 – 103
Донные отложения	<u>82.5</u> 70.6 – 99.8	<u>78.7</u> 69.6 – 99.0	<u>81.2</u> 69.6 – 99.8

Вместе с тем, следует отметить, что все полученные значения МПД существенно уступают соответствующему санитарному нормативу (300 нГр·ч⁻¹). Даже максимальное значение МПД (103 нГр·ч⁻¹) в 3 раза ниже этого норматива. Отсюда следует, что радиационная ситуация на территории трансграничного водного бассейна р. Кара-Балта является нормальной и не представляет опасности для здоровья людей, проживающих в этой местности [1, 2].

Также проводился элементный анализ проб береговой почвы и донных отложений, отобранных в бассейне трансграничной реки Кара-Балта на территориях Кыргызстана. Определение элементного состава этих проб объектов окружающей среды проведено методами рентгенофлуоресцентного анализа (РФА) и нейтронно-активационного анализа (НАА), анализы проводились в Институте ядерной физики Казахстана.

Полученные данные, путем сравнения их величин с соответствующими значениями кларков для почвы (по Виноградову А.П.), выявили явно повышенное содержание в изученных объектах таких макроэлементов, как Na, K и, особенно, Ca. Среди токсичных элементов наиболее значительное превышение над кларком (в 3-12 раз) установлено для следующих из них: As, Br, Mo, Sb, Pb, Th, U [4, 16, 17].

Предварительный анализ полученных данных показал, что содержание 3-х элементов во всех изученных пробах воды ниже (или равно) значения пределов их обнаружения используемыми методами анализа, $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$: $\text{Be}\leq 0.03$, $\text{Hg}\leq 0.1$, $\text{Th}\leq 0.2$. Значения концентрации других элементов представлены в таблице 5. В этих же таблицах приведены значения пределов их обнаружения (ПО); значения их среднего содержания (кларк) в речных водах (по В.А. Алексеенко); значения предельно допустимой концентрации (ПДК) этих элементов для питьевых вод, рекомендованные Всемирной организацией здравоохранения (ВОЗ), и аналогичные ПДК, предусмотренные Санитарными правилами КР [5, 7].

Полученные данные значений концентрации Cr и Sb во всех изученных пробах воды близки к соответствующим им значениям кларков;

- значения концентрации Co, Mn, Ni, Sb, V в воде на отдельных КП заметно превышают соответствующее им значение кларков, но, по своему уровню, существенно уступают соответствующим им значениям ПДК;
- значения концентрации Zn во всех изученных пробах воды заметно уступают значению его кларка; следует отметить существенное расхождение значений ПДК_{ВОЗ} (10 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) и ПДК_{РК} (5000 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$), а также явно выраженную несогласованность ПДК_{ВОЗ} со значением кларка для этого элемента (30 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$);
- значения концентрации макроэлементов (Ca, K, Mg) в подавляющем большинстве изученных вод существенно больше соответствующих им значений кларков.

Таким образом, наибольший интерес для дальнейшего рассмотрения представляют U (химический элемент 1-го класса опасности), а также As, B, Ba, Li, Mo, Sr (химические элементы 2-го класса опасности).

Заключение

По радионуклидам изученные данные показали, что в почвенных покровах береговой зоны особых изменений не установлено. Однако в донных отложениях в одном участке отмечено повышение значений, в воде анализировали в небольшом количестве и поэтому концентрация изучаемых радиоизотопов показала низкую концентрацию, требуются методические доработки.

Сравнительный анализ показал, что содержание большинства из выявленных элементов-загрязнителей (U, Sb, Ca, As, Pb, Sc, Co, Cu, Zn, Mo, Ni, Cs) в береговой почве на территории Кыргызстана немного повышено (на 8-20% выше), чем на территории Казахстана. Исключение составляют Na, Ba, содержание которых в этих объектах выше (на 15-17%) на территории Казахстана. В донных отложениях содержание Ca, As, Pb, Sc, Co, Cu, Zn, Cs выше (на 10-33%) в Кыргызстане, а Na, Mo, Sb, U, Ba (на 11-30%) – в Казахстане. Эти установленные особенности дают основание предполагать, что загрязнение дна реки Кара-Балта на территории Казахстана такими элементами, как молибден, сурьма и уран обусловлено поступлением этих загрязнителей по руслу этой реки из Кыргызстана. Но, для определения загрязнителей еще нужно проводить дополнительное межгосударственное исследование и определить возможные механизмы и пути миграции загрязнителей.

Таблица 2. Результаты анализа почвенного покрова в бассейне реки Кара-Балта

Isotope	KG-KB-1-S		KG-KB-2-S		KG-KB-3-S		KG-KB-4-S		KG-KB-5-S	
	Activity, Bq/kg	Unc, reported								
K-40	713	26,49	742	27,42	617	22,99	620	23,05	650	24,16
U/Th-234	32,2	1,88	44,5	2,60	41,7	2,43	38,2	2,23	29,1	1,70
Th-232/Ac-228	44,8	3,55	45,4	3,26	47,6	3,69	35,4	2,73	38,6	2,91
Ra/Pb-214	30,1	1,92	38,9	2,33	42,6	2,29	32,2	1,94	34,8	2,19
Pb-210	148	6,3	90	3,8	73	3,1	95	4,0	72	3,1
Isotope	KG-KB-6-S		KG-KB-7-S		KG-KB-8-S		KG-KB-9-S		KG-KB-10-S	
	Activity, Bq/kg	Unc, reported								
K-40	666	24,62	731	27,15	632	23,48	634	23,55	629	23,37
U/Th-234	31,0	1,81	24,2	1,41	28,7	1,67	20,4	1,19	24,5	1,43
Th-232/Ac-228	40,5	3,25	35,6	2,62	33,1	2,33	36,2	2,94	33,8	2,50
Ra/Pb-214	36,9	2,16	36,3	2,26	36,4	2,23	32,7	2,00	33,9	2,06
Pb-210	69	2,5	91	3,9	69	2,9	102	4,3	104	4,4

Таблица 3. Результаты анализа донного осадки в бассейне реки Кара-Балта

Isotope	KG-KB-1-D		KG-KB-2-D		KG-KB-4-D		KG-KB-5-D		KG-KB-6-D	
	Activity, Bq/kg	Unc, reported								
K-40	701	25,89	620	22,97	572	21,36	504	19,30	471	18,13
U/Th-234	33,8	1,97	32,2	1,88	44,3	2,58	60,2	3,51	38,8	2,26
Th-232/Ac-228	40,6	3,22	54,1	4,40	36,3	2,78	35,0	2,70	31,7	2,31
Ra/Pb-214	37,7	2,37	50,1	3,10	34,7	2,08	31,2	1,98	28,7	1,77
Pb-210	30	1,3	65	2,7	57	2,4	74	3,1	86	3,7
Isotope	KG-KB-7-D		KG-KB-8-D		KG-KB-9-D		KG-KB-10-D			

	Activity, Bq/kg	Unc, reported	Activity, Bq/kg	Unc, reported	Activity, Bq/kg	Unc, reported	Activity, Bq/kg	Unc, reported
K-40	634	23,71	593	22,37	622	23,17	584	21,79
U/Th-234	53,1	3,10	52,5	3,06	31,3	1,82	47,1	2,75
Th-232/Ac-228	33,6	1,97	32,6	2,52	31,6	2,30	32,0	2,16
Ra/Pb-214	33,5	2,01	31,4	2,02	31,6	1,96	32,5	1,97
Pb-210	72	3,0	88	3,7	106	4,5	31	1,3

Таблица 5. Содержание отдельных химических элементов в воде на отдельных контрольных пунктах в бассейне реки Кара-Балта на территории Кыргызстана, мкг·кг⁻¹

КП	As	B	Ba	Ca мг·кг ⁻¹	Co	Cr	K мг·кг ⁻¹	Li	Mg мг·кг ⁻¹	Mn	Mo	Ni	Sb	Sr	U	V	Zn
KG-KB-1	2,95	23,2	42,0	27,3	≤0,05	1,69	0,62	2,98	3,18	1,66	3,73	2,32	≤0,3	349	2,57	≤0,5	3,32
KG-KB-2	3,31	29,4	46,7	29,3	≤0,05	1,64	0,55	2,77	3,37	2,89	4,07	2,30	≤0,3	384	2,93	≤0,5	≤2
KG-KB-3	3,27	38,2	130	63,9	0,12	1,97	1,97	4,23	7,38	2,56	3,88	3,30	0,51	561	4,12	1,90	≤2
KG-KB-4	5,53	68,8	76,2	32,5	0,11	2,04	2,71	9,16	14,7	4,19	7,47	2,81	0,73	633	8,09	3,28	4,39
KG-KB-5	8,30	98,7	80,0	33,7	0,10	1,37	3,07	13,5	21,1	9,82	10,4	1,92	0,80	860	10,3	3,59	4,47
KG-KB-6	5,95	119	87,4	44,8	0,19	1,55	3,88	21,3	22,3	3,14	14,4	4,38	0,98	1477	19,7	4,72	5,18
KG-KB-7	7,17	167	80,5	34,2	0,31	1,42	6,81	28,8	31,8	11,4	23,5	4,18	1,42	2184	29,4	7,24	5,92
KG-KB-8	4,84	354	63,2	128	0,36	1,93	10,2	57,5	106	3,61	45,5	7,10	0,97	4452	58,6	6,70	4,90
KG-KB-9	11,2	310	64,5	111	0,33	1,78	9,28	50,4	92,8	5,89	40,2	7,37	0,92	4120	49,7	6,71	≤2
KG-KB-10	5,37	368	56,5	130	0,41	2,00	10,3	58,8	105	6,08	46,7	7,33	0,82	4679	59,0	5,50	4,24
KG-KB-11	4,16	318	62,5	111	0,30	2,00	8,40	52,3	93,2	2,29	36,6	7,18	0,77	3715	51,0	6,43	3,78
Предел обнаружения	0,5	3	0,5	0,01	0,05	0,5	0,015	0,2	0,03	0,5	0,3	0,5	0,3	0,5	0,02	0,6	2
Кларк	1,7	18	60	10,4	0,2	1,0	1,3	2,5	3,35	8,2	0,5	0,5	1,0	60	0,24	1,0	30
ПДК _{воз}	10	2400	700	-	-	50	-	-	-	400	70	70	20	-	30	-	10

Литература

1. Абдуллаев М.А., Алиев Дж.А. Миграция искусственных и естественных радионуклидов в системе почва-растение. Баку: "ЭЛМ", 1998. – 240 с.
2. Алексахин Р.М. Проблемы радиоэкологии: эволюция идей. М.:Россельхозакадемия ГНУ ВНИИСХРАЭ, 2006. – 880 с.
3. Васильев И.А. Радиоэкологические проблемы уранового производства. – Б.: Илим, 2006. – 106 с.
4. Виноградов, А. П. Биогеохимические провинции [Текст] / А. П. Виноградов // Труды Юбил. сессии, посвящ. 100-летию со дня рождения В. В. Докучаева. – М.; Л., 1949. – С.59-68.
5. Вернадский, В. И. Проблемы биогеохимии [Текст] / В. И. Вернадский // Значение биогеохимии для познания биосферы. – М.; Л., 1935. – Вып. 1.
6. ГОСТ 17.4.3.01- 83 «Общие требования к отбору проб почвы».
7. Дженбаев Б. М., Мурсалиев А. М. Биогеохимия природных и техногенных экосистем Кыргызстана. Бишкек, 2012. – 404 с.
8. Дженбаев Б.М., Жолболдиев Б.Т., Калдыбаев Б.К. Современное состояние Иссык-Кульской урановой радиобиогеохимической провинции // Радиационная биология. Радиоэкология. – 2013. – Т.53, № 4. – С.432-440.
9. Дженбаев, Б.М. Отбор проб и пробоподготовка для определения тяжелых металлов в объектах окружающей среды. Бишкек: Илим, 2014. – 35 с.
10. Б.М. Дженбаев^а, В.П. Солодухин^б, Б.К. Калдыбаев^с, Б.Т. Жолболдиев^а, С.Г. Линник^б, М.А. Севериненко^б, У.Ж. Кармышева^а Биогеохимическая оценка токсичности и радиоэкологическая опасность трансграничной реки Кара-Балта // <http://www.geokhi.ru/PROB/Documents> ГЕОХИМИЯ, 2023, том 68, № 11, с. 1205–1216.
11. Доклады Агентства по гидрометеорологии при МЧС, 2020 г.
12. Мамытов А.М. Почвы Кыргызской ССР. Фрунзе: Изд-во "Илим", 1974 – 407 с.
13. Мониторинг и надзор за бывшими предприятиями по добыче и переработке урана и тория: SRS-27 / Сер. норм МАГАТЭ по безопасности. – Вена, 2002.
14. Соболева И.А., Беяева Е.Н. Руководство по методом контроля за радиоактивностью окружающей среды. М.: Медицина, 2002. – 432 с.
15. Торгоев И.А, Алешин Ю.Г. Геоэкология и отходы горнопромышленного комплекса Кыргызстана. Бишкек, 2009. – 239 с.
16. Солодухин В.П., Дженбаев Б.М. Проблемы чистой воды на территории трансграничного сектора «Казахстан-Кыргызстан» и перспективы их решения Вестник НЯЦ РК выпуск 1, март 2018. – С.75-82.
17. Djenbaev B.M.*, Kaldybaev B.K., Zholboldiev B.T., Karmisheve U.Sh., Shumaliev T. and Dikanov K. Gamma Radiation of Radionuclide in The Mountain Areas of Former Uranium Production Facilities (Kyrgyzstan). Journal of Physical Science and Environmental Studies Vol. 6 (1), pp. 11-22, February 2018 ISSN 2467-8775 Research Paper https://doi.org/10.36630/jpses_19012
18. <http://pearlresearchjournals.org/journals/jpses/index>