

<https://doi.org/10.52676/1729-7885-2026-1-61-70>

УДК: 502/504:553.94:539.16 (574.41)

## ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ СЕМИПАЛАТИНСКОГО ИСПЫТАТЕЛЬНОГО ПОЛИГОНА НА ПЕРСОНАЛ И ВЫПУСКАЕМУЮ ПРОДУКЦИЮ УГОЛЬНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ «КАРАЖЫРА»

С. П. Левченко<sup>1\*</sup>, В. В. Божко<sup>1</sup>, В. В. Курчина<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Филиал «Институт радиационной безопасности и экологии» РГП НЯЦ РК, Курчатов, Казахстан

<sup>2</sup> ТОО «ВостокУгольПром», Семей, Казахстан

\* E-mail для контактов: levchenko\_sveta@nnc.kz

В настоящей работе представлены данные радиологического мониторинга (2021–2025 гг.) продукции угольного месторождения «Каражыра», расположенного на территории испытательной площадки «Балапан» бывшего Семипалатинского испытательного полигона. Установлено, что добываемый уголь по радионуклидному составу опасности для населения не представляет и может использоваться в хозяйственной деятельности без ограничений. Зола, образующаяся при сжигании угольной продукции месторождения «Каражыра», относится к I классу радиационной опасности и может использоваться в строящихся и реконструируемых жилых и общественных зданиях без ограничений. Даны рекомендации по продолжению ведения радиоэкологического мониторинга с целью обеспечения безопасности при дальнейшем освоении месторождения.

**Ключевые слова:** месторождение «Каражыра», угольная продукция, зола, радиоэкологический мониторинг, минимально значимая удельная активность (МЗУА), удельная эффективная активность.

### ВВЕДЕНИЕ

Месторождение «Каражыра» – один из основных источников высококачественной угольной продукции Республики Казахстан, расположено на территории испытательной площадки «Балапан» бывшего Семипалатинского испытательного полигона (СИП). Схема расположения угольного месторождения «Каражыра» показана на рисунке 1.

На площадке «Балапан» было проведено 106 подземных ядерных взрывов в «боевых» скважинах [1]. В непосредственной близости (на расстоянии от 0,4 до 5,8 км) от границ земельного отвода месторождения расположены 15 «боевых» скважин [2]. Схема расположения близлежащих к месторождению «Каражыра» «боевых» скважин представлена на рисунке 2.

На территории приустевых площадок близлежащих скважин установлены точечные очаги загрязнений [3]. В результате ветрового переноса (пыльные бури, степные пожары) радиоактивные продукты с загрязненных территорий могут попасть в атмосферный воздух рабочей зоны месторождения и внести существенный вклад в формирование дозы облучения персонала ингаляционным путем [2].

Кроме того, существует вероятность возможного поступления на территорию месторождения подземных вод, загрязненных продуктами подземных ядерных испытаний. Анализ ранее проведенных исследований показал, что основным источником радиоактивного загрязнения подземных вод на территории площадки «Балапан» является <sup>3</sup>H. Содержание <sup>3</sup>H в подземных водах, отобранных в районе мест расположения близлежащих к месторождению «Каражыра» «боевых» скважин (рисунок 2), изменяется в широком диапазоне от минимально-детектируемой активности используемого средства измерения (6 Бк/кг) до 1,6·10<sup>5</sup> Бк/кг [2].

Основные виды деятельности на угольном месторождении «Каражыра» – проведение горных и геологоразведочных работ, добыча угля, реализация полезных ископаемых, проектирование, строительство, реконструкция объектов и другие. Продукция месторождения – уголь, который используется для бытовых нужд и в промышленности [4].

Условия полигона, условия ведения горных работ и близость скважин, в которых проводились подрывы ядерных зарядов, а также «радиофобия», провоцирующая противоречивое отношение населения к разработке месторождения и добычи «потенциально радиоактивного» угля, требуют ежегодного радиоэкологического контроля выпускаемой продукции угольного месторождения «Каражыра».

### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

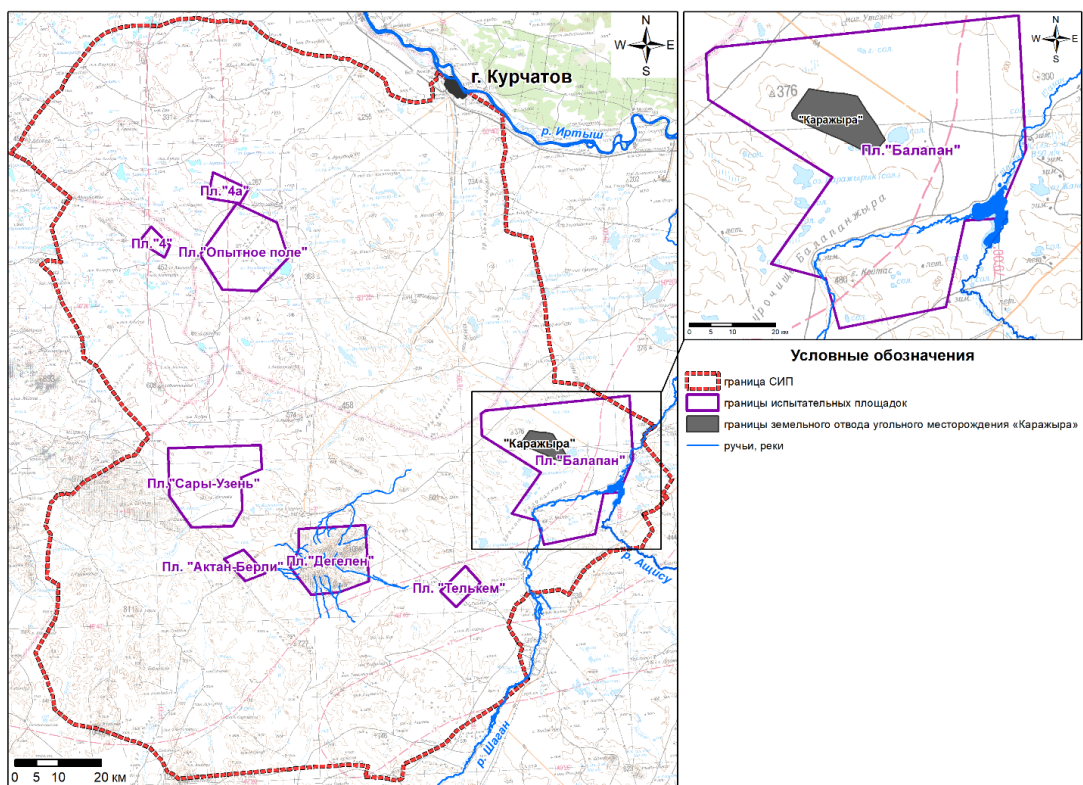
Общая методология работ заключалась в следующем:

– радиационное сопровождение работ, включающее радиометрический контроль поверхностей спецодежды, спецобуви и кожных покровов работников и основной дозиметрический контроль за дозами внешнего гамма-излучения с использованием индивидуальных дозиметров TLD-100.

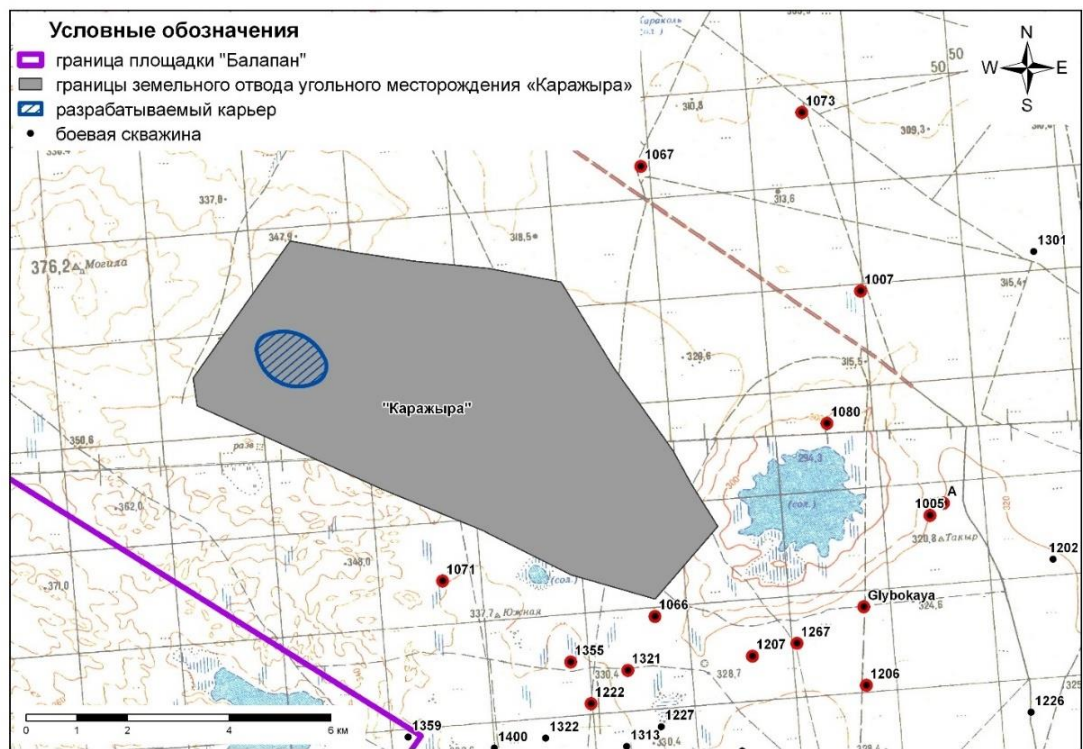
– полевые исследования, которые заключались в отборе проб (каменного угля, почвы) и радиометрических измерениях (мощность эквивалентной дозы (МЭД), плотность потока поверхностного альфа- и бета-излучения) в точках отбора проб;

– лабораторные исследования с использованием методов альфа-, бета- и гамма-спектрометрии и радиохимического выделения с целью определения содержания естественных и техногенных радионуклидов в отобранных пробах.

**ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ СЕМИПАЛАТИНСКОГО ИСПЫТАТЕЛЬНОГО ПОЛИГОНА НА ПЕРСОНАЛ И ВЫПУСКАЕМУЮ ПРОДУКЦИЮ УГОЛЬНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ «КАРАЖЫРА»**



*Рисунок 1. Схема расположения угольного месторождения «Каражыра»*



*Рисунок 2. Схема расположения близлежащих к месторождению «Каражыра» «боевых» скважин площадки «Балапан»*

## ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ СЕМИПАЛАТИНСКОГО ИСПЫТАТЕЛЬНОГО ПОЛИГОНА НА ПЕРСОНАЛ И ВЫПУСКАЕМУЮ ПРОДУКЦИЮ УГОЛЬНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ «КАРАЖЫРА»

*Радиационное сопровождение работ.* Радиометрический контроль поверхностей спецодежды, спецобуви и кожных покровов работников проводился с помощью дозиметра-радиометра МКС-АТ6130 (НПУП «Атомтех», Беларусь), в соответствии с требованиями методики МУ 2.6.5.032-2017 [5] (рисунок 3).



Рисунок 3. Радиометрическое обследование поверхностей спецодежды, спецобуви и кожных покровов работников

Радиометрический контроль поверхностей спецодежды, спецобуви и кожных покровов проходили по два работника ежеквартально в течение 5 лет (2021–2025 гг.). При радиационном контроле измеряли уровень загрязнения на поверхностях, наиболее подверженных контакту с радиоактивными веществами. Основное внимание уделялось лицу, груди, плечам, рукам, карманам, перчаткам, а также носкам и подошве обуви.

Непосредственно перед началом работ проводилось не менее 3-х однократных измерений в месте обследования. При проведении измерений расстояние между чувствительной поверхностью датчика прибора и контролируемой поверхностью не превышало 20 мм в случае определения бета-активного загрязнения. На каждом выбранном участке обследуемой поверхности проводилось не менее 3-х однократных измерений уровней радиоактивных загрязнений

поверхности со статистической точностью на табло прибора до 20%. Если результаты 3-х измерений в одной выборке различались не более чем на 20%, измерение считалось завершённым [5].

Выборочный индивидуальный дозиметрический контроль работников осуществлялся дозиметрами TLD-100 (Thermo Electron Corporation, США), которые фиксируют эффективную дозу от внешнего гамма-излучения. Контроль качества при индивидуальном дозиметрическом контроле осуществлялся через использование поверенных приборов, проведение исследований в аккредитованной лаборатории и регулярную (ежеквартальную) регистрацию доз. Для определения естественного фона участка работ ежеквартально выдавался «фоновый» дозиметр.

«Фоновый» (контрольный) дозиметр предназначен для регистрации эффективной дозы на рабочем месте, в процессе хранения/транспортировки дозиметров и показывает вклад естественного и производственного излучения, который вычитается из показаний индивидуального дозиметра при оценке эффективной дозы персонала.

«Фоновые» дозиметры во время экспонирования рабочих дозиметров необходимо хранить на территории учреждения в помещении, удаленном от любых источников излучения. Вычитание значений доз от природного фона из показаний экспонированных индивидуальных дозиметров не производится. При малых значениях индивидуальных доз вычитание природного фона приводит к ошибкам в сотни процентов, а при дозах свыше 1 мЗв фоновые дозы оказываются меньше, чем погрешность измерений индивидуальной дозы и не оказывают влияния на конечный результат [6].

На индивидуальном дозиметрическом контроле состояло по 5 работников ежеквартально в период с 2021 по 2025 годы. Индивидуальные дозиметры выдавались работникам, которые по своим служебным обязанностям максимальное количество времени находятся на месторождении «Каражыра». Индивидуальные дозиметры располагались на груди (обычно в области сердца), так как это положение обеспечивает максимально точное измерение дозы облучения, получаемой жизненно важными органами, кровеносной системой и всем телом в целом.

Ежеквартально показания с дозиметров считывались на дозиметрической установке Harshaw 6600 (Thermo Electron Corporation, США) в лабораторных условиях, в соответствии с требованиями ГОСТ Р МЭК 1066-93 [7]. Считывание показаний с TLD-100 на установке Harshaw 6600 происходит автоматически методом нагрева детектора. Система считывает дозы фотонного излучения, обеспечивая высокую точность. Лабораторный процесс включает автоматическую подачу кассет, нагрев TLD-карт и регистрацию света, пропорционального полученной дозе. Программное обеспечение преобразует полученный сигнал в числовые значения эквивалентных доз (мЗв)

## ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ СЕМИПАЛАТИНСКОГО ИСПЫТАТЕЛЬНОГО ПОЛИГОНА НА ПЕРСОНАЛ И ВЫПУСКАЕМУЮ ПРОДУКЦИЮ УГОЛЬНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ «КАРАЖЫРА»

и записывает их в базу данных. Загрузка, нагрев и считывание показаний дозиметров осуществляется автоматически одновременно двух детекторов карты. После считывания детекторы автоматически проходят процедуру отжига (очистки) для использования в следующем цикле контроля.

*Полевые исследования.* Установление системы ограничений и вида безопасного использования топлива производится на основании определения класса опасности выпускаемой продукции, согласно Гигиеническим нормативам [8].

С целью определения возможного радиоактивного загрязнения и установления класса опасности твердого топлива и золы произведен отбор 20 проб угля (по одной пробе ежеквартально) из мест складирования, согласно стандартной методике точечным методом (рисунок 4). При этом выбирались места, где уголь не подвергался длительному атмосферному воздействию, поскольку выпадающие осадки и ветер могут стать причиной перераспределения радионуклидов в слое угля. Отбор проб угля проводился в соответствии требованиями стандарта СТ РК ИСО 18283-2008 [9].



Рисунок 4. Отбор проб и измерение радиационных параметров угля

Перед началом отбора проб угля проводилось 5 измерений уровня радиоактивного загрязнения

поверхности отбора со статистической точностью на табло прибора до 20%. По результатам предварительного обследования определялась область с максимальными показаниями прибора, которая далее использовалась как область отбора проб. В выбранной области извлекался 40 см слой угля, так как сырье на поверхности может быть окислено и пересушено. Далее с подготовленной поверхности производился отбор не менее 5 точечных проб угля с помощью совка. Все точечные пробы объединяли и немедленно помещали в общую герметичную тару для предотвращения потери влаги.

С целью подтверждения наличия локальных очагов техногенного загрязнения, на приустьевых территориях близлежащих скважин выполнен отбор проб почвы. Пробы почвы отбирались точечным методом, в соответствии с требованиями ГОСТ 17.4.3.01-2017 [10]. Отбор проб производился в местах, где ранее фиксировались повышенные концентрации радионуклидов  $^{241}\text{Am}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{239+240}\text{Pu}$ . Количество точек отбора – 10 с каждой скважины. До начала работ в каждой точке обследования проводились измерения МЭД на высоте 0,03 м и 0,1 м, а также плотности потока бета-частиц на высоте 0,03 м с предварительным отсечением гамма-фона. Перед отбором проб выполнялась предварительная подготовка места (выкапывание приямков штыковой или саперной лопатой, расчистка поверхности от растительности, не нарушая при этом целостности поверхности грунта). Проба отбиралась с площади 100 см<sup>2</sup> (10×10 см), глубина отбора пробы составляла 5 см. Масса отобранной пробы составляла около 1 кг. После отбора из проб удалялись крупные включения, такие как камни, корни растений и т.д.

Радиометрические измерения МЭД в точках отбора проб выполнялись с помощью дозиметров-радиометров МКС-АТ6130 (НПУП «Атомтех», Беларусь), уровня загрязненности альфа- и бета-активными радионуклидами – МКС-АТ1117М (НПУП «Атомтех», Беларусь).

Отобранные пробы для дальнейших исследований передавались в лаборатории филиала «Институт радиационной безопасности и экологии» РГП НЯЦ РК.

*Лабораторные исследования.* Лабораторные исследования заключались в определении удельной активности радионуклидов  $^{241}\text{Am}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{40}\text{K}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{239+240}\text{Pu}$  и  $^3\text{H}$  в пробах угля.

Определение удельной активности гамма-излучающих радионуклидов  $^{241}\text{Am}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{40}\text{K}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{226}\text{Ra}$  в отобранной пробе осуществлялось инструментальным гамма-спектрометрическим методом. Навеску помещали в предварительно взвешенную измерительную емкость, уплотняли, взвешивали емкость с образцом, вычисляли массу навески, измеряли диаметр емкости и высоту слоя пробы в ней ( $\pm 0,5$  мм). Емкость со счетным образцом герметично закрывали, маркером наносили надпись с указанием данных счетного образца (номер пробы, масса,

## ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ СЕМИПАЛАТИНСКОГО ИСПЫТАТЕЛЬНОГО ПОЛИГОНА НА ПЕРСОНАЛ И ВЫПУСКАЕМУЮ ПРОДУКЦИЮ УГОЛЬНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ «КАРАЖЫРА»

высота навески и толщина дна измерительной емкости). Измерение подготовленного образца проводилось на гамма-спектрометре ORTEC GEM в соответствии с методикой выполнения измерений МИ 2143–91 РК [11]. Предел обнаружения – 1 Бк/кг, погрешность измерений не превышала 20%.

Измерения содержания  $^{90}\text{Sr}$  в угле производились согласно требованиям методики измерения активности радионуклидов с использованием сцинтилляционного бета-спектрометра с программным обеспечением «Прогресс» (НПО «Доза») [12]. Из образца угля, прошедшего гамма-спектрометрический анализ, отбирали навеску массой  $(15 \pm 5)$  г, взвешивали ее с точностью до 0,1 г. Навеску помещали в предварительно взвешенную кювету (диаметром 70 мм) до бортиков, измеряемый счетный образец закрывали полиэтиленовой пленкой, затем навеску уплотняли специальным прессующим инструментом. Минимально детектируемая активность  $^{90}\text{Sr}$  в пробах составляла 100 Бк/кг.

Радиохимический анализ пробы угля на определение содержания изотопов  $^{239+240}\text{Pu}$  проводился в соответствии с методикой [13]. Для определения  $^{239+240}\text{Pu}$  из пробы отбирали усредненную навеску массой 5–10 г методом квадратирувания, взвешивая с точностью до 0,1 г. Усредненную навеску помещали в фарфоровый тигель, который накрывали крышкой, и ставили в холодную муфельную печь. Далее образец прокачивали в муфельной печи при температуре  $550 \pm 5$  °С в течение 9 ч. После охлаждения муфельной печи тигель вынимали и навеску перемешивали стеклянной палочкой. На первой стадии выделения изотопов Pu в раствор, полученный после предварительной подготовки, добавлялся нитрит натрия для перевода нитратов в нитриты. Затем раствор пропускать через хроматографическую колонку с ионообменной смолой. Радионуклид  $^{239+240}\text{Pu}$  извлекался из колонки гидроксиламином солянокислым, переводился в хлорид, и полученная фракция наносилась на металлическую подложку (пластину) путем электролитического осаждения. Определение удельной активности  $^{239+240}\text{Pu}$  в пробах проводили на альфа-спектрометре «Alpha Ensemble».

Подготовка пробы угля для определения содержания  $^3\text{H}$  в свободной воде выполнялось методом дистилляции, основанном на выделении водной фазы из анализируемого образца. Дистилляция проводилась в перегонном аппарате, состоящем из круглодонной колбы объемом 500 мл, прямого обратного водяного холодильника, приемной колбы и колбонагревателя. Необходимая масса навески пробы составляла от 100 до 300 г в зависимости от влажности. Дистилляция проводилась при температуре 150–160 °С до прекращения выделения влаги. Для определения содержания  $^3\text{H}$  из полученного дистиллята отбирали образец (аликвоту) объемом 5 мл и помещали в пластиковую вилу объемом 20 мл, с добавлением сцинтилляционного коктейля в пропорции 1:3 (отношение образец –

сцинтиллятор). Для определения объемной активности  $^3\text{H}$  в отобранной пробе использовался жидко-сцинтилляционный спектрометр Quantulus 1220. Область энергии для определения  $^3\text{H}$  задавалась в интервале от 0 до 15 кэВ. Время измерения образца составляло порядка 2 часов. Предел обнаружения удельной активности  $^3\text{H}$  в свободной воде при использованных методах составлял 4 Бк/л [14].

Определение техногенных радионуклидов  $^{241}\text{Am}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{239+240}\text{Pu}$  в отобранных проб почвы проводились аналогично лабораторным исследованиям проб угля, согласно требованиям методик [11, 13].

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

С целью определения возможного радиоактивного загрязнения поверхностей спецодежды, спецобуви и кожных покровов работников ежеквартально в период с 2021 по 2025 годы проведены измерения радиационных параметров. Результаты радиометрических измерений представлены в таблице 1.

Таблица 1. Результаты радиометрических измерений поверхностей спецодежды, спецобуви и кожных покровов

Вид измерения	2021 г.	2022 г.	2023 г.	2024 г.	2025 г.
Плотность потока поверхностного бета-излучения, част/(мин·см <sup>2</sup> )	<10	<10	<10	<10	<10
Допустимые уровни: неповрежденная кожа, специальное белье, полотенца, внутренняя поверхность лицевых частей средств индивидуальной защиты – 200 част/(мин·см <sup>2</sup> ); основная спецодежда, внутренняя поверхность дополнительных средств индивидуальной защиты, наружная поверхность спецобуви – 2000 част/(мин·см <sup>2</sup> ) [8].					

По результатам радиометрических измерений (таблица 1), значения плотности потока бета-излучения, полученные за период проведения обследования с 2021 по 2025 годы, не превысили предела минимальной детектируемой активности используемых средств измерений и составили <10 част/(мин·см<sup>2</sup>). Полученные значения не превышают допустимые уровни радиоактивного загрязнения кожных покровов, спецодежды, спецобуви и средств индивидуальной защиты персонала, согласно Гигиеническим нормативам [8].

По результатам индивидуального дозиметрического контроля, рассчитана величина ожидаемой годовой дозы, полученной работниками только от источников техногенного происхождения (таблица 2).

Из таблицы 2 видно, что величины ожидаемой годовой дозы (с вычетом значения фонового дозиметра), полученные за период проведения обследования с 2021 по 2025 годы, не превысили установленное значение для категории населения – 1 мЗв [8].

Для подтверждения ранее обнаруженных точечных очагов загрязнения на приустьевых территориях близлежащих скважин в 2023–2025 гг. отобраны пробы поверхностного слоя почвы. Результаты лабораторных исследований радионуклидного состава отобранных проб представлены в таблице 3.

**ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ СЕМИПАЛАТИНСКОГО ИСПЫТАТЕЛЬНОГО ПОЛИГОНА НА ПЕРСОНАЛ  
И ВЫПУСКАЕМУЮ ПРОДУКЦИЮ УГОЛЬНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ «КАРАЖЫРА»**

Таблица 2. Результаты индивидуального дозиметрического контроля ( $n = 100$ )

Год исследования	Индивидуальная эффективная доза	Индивидуальная эквивалентная доза в коже
Среднее значение (минимальное – максимальное) за квартал, мЗв		
2021	0,18 (0,11 – 0,24)	0,20 (0,16 – 0,24)
2022	0,14 (0,06 – 0,20)	0,16 (0,09 – 0,24)
2023	0,19 (0,13 – 0,23)	0,19 (0,16 – 0,22)
2024	0,21 (0,16 – 0,28)	0,23 (0,19 – 0,29)
2025	0,18 (0,14 – 0,20)	0,18 (0,14 – 0,24)
Ожидаемая годовая доза (с вычетом показаний фонового дозиметра), мЗв		
2021	0,20	0,26
2022	0,19	0,34
2023	0,23	0,16
2024	0,30	0,26
2025	0,20	0,32

Таблица 3. Результаты лабораторных исследований проб почвы

№ п/п	Скважина	n	Удельная активность радионуклидов, Бк/кг		
			<sup>241</sup> Am	<sup>137</sup> Cs	<sup>239+240</sup> Pu
1	1005	10	<0,5 – 5,0	1,2 – 19	<0,4 – 32
2	1007	10	<0,7 – 9,0	26 – 1,4·10 <sup>4</sup>	6,7 – 40
3	1066	10	<0,6 – 3,1	<0,6 – 21	<0,4 – 7,9
4	1067	10	<0,6 – 5,7	3 – 20	<0,6 – 33
5	1071	10	<0,5 – 4,1	6,0 – 7,5·10 <sup>3</sup>	<0,4 – 17
6	1073	10	<0,5 – 5,9	1,2 – 29	<0,5 – 48
7	1080	10	<0,5 – 11	10 – 1,4·10 <sup>5</sup>	14 – 25
8	1206	10	<0,7 – 7,0	1 – 29	9 – 30
9	1207	10	<0,9 – 2,0	1,3 – 620	<0,9 – 13
10	1222	10	<0,7 – 1,7	4,0 – 6,4·10 <sup>3</sup>	6,2 – 9,4
11	1267	10	0,6 – 1,2·10 <sup>4</sup>	2,0 – 6,5·10 <sup>3</sup>	5,0 – 2,8·10 <sup>4</sup>
12	1321	10	<1,7 – 3,1	0,4 – 20	<0,5 – 38
13	1355	10	<0,5 – 5,0	<0,4 – 41	<0,9 – 30
14	Глубокая	10	<0,4 – 5,0	<1,5 – 31	14 – 38
15	А	10	<0,4 – 2,0	<0,4 – 7,0	<0,6 – 6,0
МЗУА, Бк/кг [8]			1·10 <sup>3</sup>	1·10 <sup>4</sup>	1·10 <sup>3</sup>

Согласно результатам лабораторных анализов (таблица 3), максимальное значение удельной активности радионуклида <sup>137</sup>Cs в пробах почвы, отобранной на приустьевых территориях скважин 1007 и 1080 превышает значение МЗУА данного элемента, согласно Гигиеническим нормативам [8]. Также зафиксировано превышение значений МЗУА радионуклидов <sup>241</sup>Am и <sup>239+240</sup>Pu в почве, отобранной на приустьевой территории скважины 1267. Максимальные концентрации радионуклидов <sup>241</sup>Am, <sup>137</sup>Cs и <sup>239+240</sup>Pu в поверхностном слое почвы, отобранной на приустьевых территориях остальных близлежащих к

месторождению «Каражыра», не превышают значений МЗУА данных радионуклидов, согласно Гигиеническим нормативам [8].

Максимальная удельная активность радионуклидов <sup>241</sup>Am и <sup>239+240</sup>Pu в почве всех обследованных скважин превышает значения уровня глобальных выпадений (<sup>241</sup>Am – 0,2–0,4 Бк/кг, <sup>239+240</sup>Pu – 0,34–0,59 Бк/кг), характерных для северного полушария [15]. Максимальная удельная активность <sup>137</sup>Cs в почве практически всех обследованных скважин превышает значения уровня глобальных выпадений (15,2 Бк/кг), характерных для северного полушария [15]. Исключение составляет скважина А, где максимальная концентрация <sup>137</sup>Cs в почве находится на уровне 7 Бк/кг.

Таким образом, наличие точечных очагов загрязнения на приустьевых территориях близлежащих скважин допускает вероятность возможного переноса загрязненных радионуклидами грунтов из мест проведения ядерных испытаний на территорию месторождения «Каражыра». Что, в свою очередь, подтверждает необходимость проведения ежегодного радиологического мониторинга исследуемой территории.

С целью определения возможного радиоактивного загрязнения и установления класса опасности выпускаемой продукции месторождения «Каражыра» ежеквартально в период с 2021 по 2025 годы из места складирования производился отбор проб угля.

Результаты полевых радиометрических измерений в точках отбора проб угля представлены в таблице 4.

По результатам радиометрических измерений (таблица 4), значения МЭД, полученные за весь период проведения обследования, находились на уровне фона, присущего данной местности (<0,1–0,2 мкЗв/ч). Значения плотности потоков альфа- и бета-излучения не превысили значений допустимых уровней, которые составляют 5 част/(мин·см<sup>2</sup>) и 2000 част/(мин·см<sup>2</sup>), соответственно [8].

Для определения удельной активности радионуклидов в пробах угля выполнены гамма-спектрометрический анализ, радиохимический анализ по определению содержания <sup>239+240</sup>Pu, бета-спектрометрические анализы по определению содержания <sup>90</sup>Sr и <sup>3</sup>H. Результаты лабораторных анализов представлены в таблице 5.

По результатам лабораторных исследований (таблица 5), максимальные концентрации радионуклида <sup>40</sup>K в угле варьируют от 20 до 150 Бк/кг, <sup>232</sup>Th – от 3 до 11 Бк/кг, <sup>226</sup>Ra – от 5 до 14 Бк/кг, <sup>3</sup>H – от 4,5 до 70 Бк/кг. Низкие концентрации радионуклидов <sup>239+240</sup>Pu (0,5 Бк/кг) и <sup>3</sup>H (70 Бк/кг), зафиксированные в угле в 2023 г. и 2024 г. соответственно, имеют единичный случай и не дают возможности установить динамику радиационной ситуации на территории месторождения «Каражыра». Однако, полученные данные подтверждают необходимость проведения ежегодного мониторинга для принятия дальнейших решений.

**ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ СЕМИПАЛАТИНСКОГО ИСПЫТАТЕЛЬНОГО ПОЛИГОНА НА ПЕРСОНАЛ И ВЫПУСКАЕМУЮ ПРОДУКЦИЮ УГОЛЬНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ «КАРАЖЫРА»**

Таблица 4. Результаты радиометрических измерений в точках отбора проб угля

Вид измерения	2021 г.	2022 г.	2023 г.	2024 г.	2025 г.
	Усредненное значение (минимальное – максимальное)				
МЭД, мкЗв/ч	<0,10	0,11 (<0,10 – 0,12)	0,11 (0,10 – 0,13)	0,12 (0,11 – 0,13)	0,13 (0,12 – 0,13)
Плотность потока поверхностного альфа-излучения, част/(мин·см <sup>2</sup> )	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Плотность потока поверхностного бета-излучения, част/(мин·см <sup>2</sup> )	<10	<10	<10	<10	<10

Таблица 5. Результаты лабораторных анализов проб угля

№ п/п	Год исследования	n	Максимальная концентрация радионуклидов, Бк/кг							
			<sup>40</sup> K	<sup>232</sup> Th	<sup>226</sup> Ra	<sup>241</sup> Am	<sup>137</sup> Cs	<sup>239+240</sup> Pu	<sup>90</sup> Sr	<sup>3</sup> H
1	2021	4	150±15	11±2	14±12	<3,0	<1,0	<0,7	<100	4,5±0,5
2	2022	4	130±15	10±1	9±2	<3,0	<1,0	<0,6	<100	<6,0
3	2023	4	20±6	3,0±0,5	5±1	<3,0	<1,0	0,5±0,3	<100	<6,0
4	2024	4	120±24	6±1	11±2	<2,0	<1,0	<0,3	<100	70±10
5	2025	4	85±20	5±1	5±1	<2,0	<1,0	<0,2	<100	<6,0
<b>МЗУА, Бк/кг [8]</b>			<b>1,0·10<sup>5</sup></b>	<b>1,0·10<sup>3</sup></b>	<b>1,0·10<sup>4</sup></b>	<b>1,0·10<sup>3</sup></b>	<b>1,0·10<sup>4</sup></b>	<b>1,0·10<sup>3</sup></b>	<b>1,0·10<sup>5</sup></b>	<b>1,0·10<sup>9</sup></b>

Содержание радионуклидов <sup>241</sup>Am, <sup>137</sup>Cs и <sup>90</sup>Sr во всех обследованных пробах угля находится ниже предела обнаружения используемого аппаратурно-методического обеспечения. Удельная активность <sup>239+240</sup>Pu в угле не превышает значений уровня глобальных выпадений (0,34–0,59 Бк/кг), характерных для северного полушария [15].

Кроме того, максимальные концентрации радионуклидов <sup>40</sup>K, <sup>232</sup>Th, <sup>226</sup>Ra, <sup>241</sup>Am, <sup>137</sup>Cs, <sup>239+240</sup>Pu, <sup>90</sup>Sr и <sup>3</sup>H в угле разреза «Каражыра», полученные за период проведения обследования с 2021 по 2025 годы, не превышают значений МЗУА данных радионуклидов, согласно Гигиеническим нормативам [8].

Установление системы ограничений и вида безопасного использования твердого топлива (угля) производится на основании анализа удельной активности природных радионуклидов. Сумма отношений удельной активности радионуклидов урана (радия) и тория к минимально значимым удельным активностям ( $C_{\text{уголь}}^{\text{зола}}$ ), определялась по формуле, приведенной в п. 40 Гигиенических нормативов:

$$C_{\text{уголь}}^{\text{зола}} = \frac{A_{U(Ra)}}{1000} + \frac{A_{Th}}{1000},$$

где  $A_{U(Ra)}$ ,  $A_{Th}$  – удельная активность U (<sup>226</sup>Ra), <sup>232</sup>Th, находящихся в радиоактивном равновесии с остальными членами уранового и ториевого рядов, соответственно, Бк/кг; 1000 – МЗУА природного урана и тория, Бк/кг [8].

Результаты расчета  $C_{\text{уголь}}^{\text{зола}}$  представлены на рисунке 5.

Из рисунка 5 видно, что максимальные значения  $C_{\text{уголь}}^{\text{зола}}$ , полученные для добываемого угля за период с 2021 по 2025 годы, значительно ниже (более чем в 40 раз) нормативного уровня (1 Бк/кг), характеризующего I класс радиационной опасности угля, согласно

Гигиеническим нормативам [8]. Следовательно, обследованный уголь может использоваться в качестве энергетического сырья в хозяйственной деятельности без ограничений.

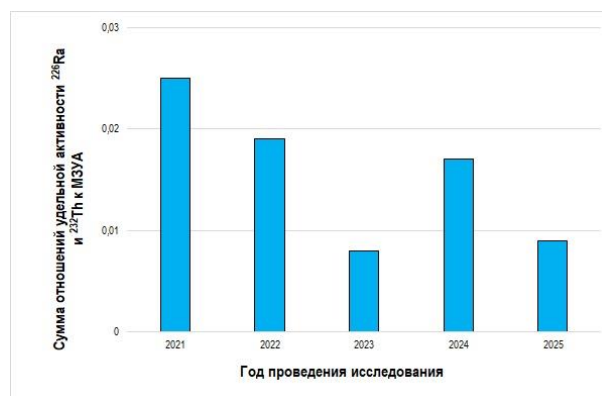


Рисунок 5. Сумма отношений удельной активности радионуклидов урана (радия) и тория к МЗУА в угле, добываемом на месторождении «Каражыра»

Установление класса радиационной опасности золы и вида ее безопасного использования в качестве строительного материала осуществляется по показателю удельной эффективной активности, в соответствии с приложением 7 Гигиенических нормативов [8].

Оценка и прогнозирование удельной эффективной активности золы, образующейся при сжигании топлива, проводится по результатам радиационных испытаний угля и определяется по формуле:

$$A_{\text{эфф. прог.}}^{\text{зола}} = A_{\text{эфф.}}^{\text{уголь}} \times K_k + D_{\text{уголь}}^{\text{зола}},$$

где  $A_{\text{эфф.}}^{\text{уголь}}$  – удельная эффективная активность природных радионуклидов в пробе угля;  $K_k$  – коэффициент концентрации радионуклидов в золе, определяется по формуле:

## ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ СЕМИПАЛАТИНСКОГО ИСПЫТАТЕЛЬНОГО ПОЛИГОНА НА ПЕРСОНАЛ И ВЫПУСКАЕМУЮ ПРОДУКЦИЮ УГОЛЬНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ «КАРАЖЫРА»

$$K_k = \frac{100\%}{A^d},$$

где  $A^d$  – зольность угля, %;  $D^{уголь}$  – абсолютная погрешность определения  $A_{эфф.}^{уголь}$ .

Результаты расчета  $A_{эфф.}^{зола}$  представлены на рисунке 6.



Рисунок 6. Удельная эффективная активность природных радионуклидов золе

Из рисунка 6 видно, что максимальные значения  $A_{эфф.}^{зола}$ , прогнозируемое для зола за период с 2021 по 2025 годы, значительно ниже допустимого значения (370 Бк/кг), характеризующего I класс радиационной опасности зола, согласно Гигиеническим нормативам [8]. Следовательно, зола, образующаяся при сжигании угля обследуемого месторождения, может использоваться в строящихся и реконструируемых жилых и общественных зданиях без ограничений.

За исследуемый период (2021–2025 гг.) наблюдается динамика снижения  $A_{эфф.}^{зола}$ , что может быть связано с природными факторами. Предположительно, при добыче угля в карьере могли перейти на другой горизонт или участок, где содержание естественных радионуклидов  $^{40}\text{K}$ ,  $^{232}\text{Th}$  и  $^{226}\text{Ra}$  ниже.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам проведенного исследования можно сделать следующие выводы:

1. Случаев превышения основных дозовых пределов для населения, регламентируемых Гигиеническими нормативами, у работников за период проведения индивидуального дозиметрического контроля не зафиксировано.

2. Значения МЭД в обследованных точках угольного разреза находились на уровне фона для данной местности, значения плотности потоков поверхностного альфа- и бета-излучения не превысили предела минимальной детектируемой активности используемых средств измерений.

3. Добываемый уголь месторождения «Каражыра» относится к I классу радиационной опасности и может использоваться в качестве энергетического

сырья в хозяйственной деятельности без ограничений.

4. Зола, образующаяся при сжигании угольной продукции месторождения «Каражыра», относится к I классу радиационной опасности и может использоваться в строящихся и реконструируемых жилых и общественных зданиях без ограничений.

5. Оценивая современное состояние радиационной обстановки и специфику работы на территории полигона, необходимо продолжить ежегодный индивидуальный дозиметрический контроль персонала и расширить радиоэкологический мониторинг на территории месторождения «Каражыра» с увеличением объема анализируемых проб окружающей среды.

6. Проведение рекомендуемых мероприятий внесет существенный вклад при оценке возможных изменений окружающей среды в результате антропогенной деятельности и позволит снизить уровень радиофобии среди населения, что будет способствовать дальнейшей разработке угольного месторождения «Каражыра» и благоприятному развитию местной экономики с привлечением в регион крупных инвесторов.

### Финансирование

Исследования выполнены при финансовой поддержке Агентства Республики Казахстан по атомной энергии в рамках научно-технической программы «Развитие атомной энергетики в Республике Казахстан» (ИРН – BR24792713), а также хозяйственных работ с ТОО «ВостокУгольПром» (2021–2025 гг.).

### ЛИТЕРАТУРА

1. Семипалатинский испытательный полигон. Создание, деятельность, конверсия / кол. авторов под рук. В.С. Школьника. – А: Казахстан, 2003.
2. Актуальные вопросы радиэкологии Казахстана [Сборник трудов Национального ядерного центра Республики Казахстан за 2011 г.]. / Под руководством С.Н. Лукашенко. – Павлодар: Дом печати, 2011. Вып.3 – Т.1. – 432 с.
3. Обеспечение безопасности бывшего Семипалатинского испытательного полигона. Республиканская бюджетная программа 011 «Обеспечение радиационной безопасности»: отчет о НИР/ ИРБЭ НЯЦ РК; рук. Лукашенко С.Н. – Курчатов: ИРБЭ НЯЦ РК, 2007. – 66 с.
4. К. С. Исабекова, С. М. Кудеринов, Е. Н. Сембаев, Н. А. Кудеринова. Радиоэкологический мониторинг окружающей среды на территории угольного месторождения «Каражыра». / Интерэкспо Гео-Сибирь - 2 (4), 2018 – С. 224-230.
5. МУ 2.6.5.032-2017 Контроль радиоактивного загрязнения поверхностей: Методические указания – М., Федеральное медико-биологическое агентство, 2017 г. 62 с.
6. МУ 2.6.1.3015-12 Организация и проведение индивидуального дозиметрического контроля. Персонал медицинских организаций. Дата актуализации: 01.01.2021 г.

**ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ СЕМИПАЛАТИНСКОГО ИСПЫТАТЕЛЬНОГО ПОЛИГОНА НА ПЕРСОНАЛ  
И ВЫПУСКАЕМУЮ ПРОДУКЦИЮ УГОЛЬНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ «КАРАЗЬИРА»**

7. ГОСТ Р МЭК 1066-93 «Системы дозиметрические для индивидуального контроля и мониторинга окружающей среды. Общие технические требования и методы испытания».
8. «Гигиенические нормативы к обеспечению радиационной безопасности». Утверждены приказом Министра здравоохранения РК от 02.08.2022 года № ҚР ДСМ-71.
9. СТ РК ИСО 18283-2008 «Уголь каменный и кокс. Ручной отбор проб».
10. ГОСТ 17.4.3.01-2017 «Охрана природы (ССОП). Почвы. Общие требования к отбору проб».
11. МВИ KZ.07.00.03126-2015. Активность радионуклидов в счетных образцах. Методика измерений на гамма-спектрометрах с использованием программного обеспечения «SpectraLine».
12. МВИ «Методика выполнения измерений «Определение удельной активности искусственных радионуклидов  $^{239+240}\text{Pu}$ ,  $^{90}\text{Sr}$  в объектах окружающей среды: почвах, грунтах, донных отложениях и растениях», Алматы, ИЯФ, 2021. – № KZ 06.01.00308-2021.
13. Методика количественного химического анализа НСАМ №499-АЭС/МС «Определение элементного состава горных пород, почв, грунтов и донных отложений атомно-эмиссионным с индуктивно-связанной плазмой и масс-спектральным с индуктивно-связанной плазмой методами».
14. Качество воды.  $^3\text{H}$ . Метод определения активности с помощью жидкостно-сцинтилляционного счета. Международный стандарт ISO 9698:2019 (E). – Введ. 2019-05-01.– Швейцария, 2019. – 32 с.
15. Актуальные вопросы радиэкологии Казахстана. Выпуск 5. Оптимизация исследований территорий Семипалатинского испытательного полигона с целью их передачи в хозяйственный оборот / под рук. Лукашенко С.Н. – Павлодар: Дом печати, 2015.- 356 с.
4. K. S. Isabekova, S. M. Kuderinov, E. N. Sembaev, N. A. Kuderinova. Radioekologicheskiy monitoring okruzhayushchey sredy na territorii ugol'nogo mestorozhdeniya "Karazhyra". / Interekspo Geo-Sibir' - 2 (4), 2018 – P. 224–230.
5. MU 2.6.5.032-2017 Kontrol' radioaktivnogo zagryazneniya poverkhnostey: Metodicheskie ukazaniya – Moscow, Federal'noe mediko-biologicheskoe agentstvo, 2017 g. 62 p.
6. MU 2.6.1.3015-12 Organizatsiya i provedenie individual'nogo dozimetricheskogo kontrolya. Personal meditsinskikh organizatsiy. Data aktualizatsii: 01.01.2021 g.
7. GOST R MEK 1066-93 "Sistemy dozimetricheskoye dlya individual'nogo kontrolya i monitoringa okruzhayushchey sredy. Obshchie tekhnicheskie trebovaniya i metody ispytaniya".
8. "Gigienicheskie normativy k obespecheniyu radiatsionnoy bezopasnosti". Utverzheny prikazom Ministra zdравоokhraneniya RK ot 02.08.2022 goda No. QR DSM-71.
9. ST RK ISO 18283-2008 "Ugol' kamennyy i koks. Ruchnoy otbor prob".
10. GOST 17.4.3.01-2017 "Okhrana prirody (SSOP). Pochvy. Obshchie trebovaniya k otboru prob".
11. MVI KZ.07.00.03126-2015. Aktivnost' radionuklidov v schetnykh obraztsakh. Metodika izmereniy na gamma-spektrometrakh s ispol'zovaniem programmnoy obespecheniya «SpectraLine».
12. MVI «Metodika vypolneniya izmereniy «Opreделение udel'noy aktivnosti iskusstvennykh radionuklidov  $^{239+240}\text{Pu}$ ,  $^{90}\text{Sr}$  v ob"ektakh okruzhayushchey sredy: pochvakh, gruntakh, donnykh otlozheniyakh i rasteniyakh», Алматы, ИЯФ, 2021. – No. KZ 06.01.00308-2021.
13. Metodika kolichestvennogo khimicheskogo analiza NSAM No. 499-AES/MS «Opreделение elementnogo sostava gornyykh porod, pochv, gruntov i donnykh otlozheniy atomno-emissionnym s induktivno-svyazannoy plazmoy i mass-spektral'nym s induktivno-svyazannoy plazmoy metodami».
14. Kachestvo vody.  $^3\text{H}$ . Metod opredeleniya aktivnosti s pomoshch'yu zhidkostno-stsintillyatsionnogo scheta. Mezhdunarodnyy standart ISO 9698:2019 (E). – Vved. 2019-05-01.– Shveytsariya, 2019. – 32 p.
15. Aktual'nye voprosy radioekologii Kazakhstana. Vypusk 5. Optimizatsiya issledovaniy territoriy Semipalatinskogo ispyatel'nogo poligona s tsel'yu ikh peredachi v khozyaystvennyy oborot / pod ruk. Lukashenko S.N. – Pavlodar: Dom pečhati, 2015. – 356 p.

**REFERENCES**

1. Semipalatinskiy ispyatel'nyy poligon. Sozdanie, deyatel'nost', konversiya / kol. avtorov pod ruk. V.S. Shkol'nika. – Алматы: Kazakhstan, 2003.
2. Aktual'nye voprosy radioekologii Kazakhstana [Sbornik trudov Natsional'nogo yadernogo tsentra Respubliki Kazakhstan za 2011 g.]. / Pod rukovodstvom S.N. Lukashenko. – Pavlodar: Dom pečhati, 2011. Vyp. 3 – T. 1. – 432 p.
3. Obespechenie bezopasnosti byvshego Semipalatinskogo ispyatel'nogo poligona. Respublikanskaya byudzhetnaya programma 011 «Obespechenie radiatsionnoy bezopasnosti»: otchet o NIR/ IRBE NYaTs RK; ruk. Lukashenko S.N. – Kurchatov: IRBE NYaTs RK, 2007. – 66 p.

СЕМЕЙ СЫНАҚ ПОЛИГОНЫНЫҢ «ҚАРАЖЫРА» КӨМІР КЕН ОРНЫНЫҢ ПЕРСОНАЛЫНА  
ЖӘНЕ ОНЫҢ ШЫҒАРЫЛАТЫН ӨНІМІНЕ ӘСЕРІН БАҒАЛАУ

**С. П. Левченко<sup>1\*</sup>, В. В. Божко<sup>1</sup>, В. В. Курчина<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> ҚР ҰЯО РМК «Радиациялық қауіпсіздік және экология институты» филиалы, Курчатов, Қазақстан

<sup>2</sup> «ВостокУгольПром» ЖШС, Семей, Қазақстан

\* Байланыс үшін E-mail: levchenko\_sveta@nnc.kz

Бұл жұмыста бұрынғы Семей сынақ полигонының «Балапан» сынақ алаңының аумағында орналасқан «Қаражыра» көмір кен орнының өнімінің радиологиялық мониторингінің (2021–2025 жж.) деректері ұсынылған. Радионуклидтік құрамы бойынша өндірілетін көмір халық үшін қауіп төндірмейтіні және шаруашылық қызметте шектеусіз пайдалануға болатыны анықталды. «Қаражыра» кен орнының көмір өнімін жағу кезінде пайда болатын күл радиациялық қауіптіліктің I класына жатады және салынып жатқан және қалпына келтірілетін тұрғын және қоғамдық ғимараттарда шектеусіз пайдалануға болады. Кен орнын одан әрі игеру кезінде қауіпсіздікті қамтамасыз ету мақсатында радиоэкологиялық мониторинг жүргізуді жалғастыру бойынша ұсыныстар берілді.

**Түйін сөздер:** «Қаражыра» кен орны, көмір өнімі, күл, радиоэкологиялық мониторинг, минималды маңызды үлестік белсенділігі (ММУБ), үлестік тиімді белсенділік.

ASSESSMENT OF THE IMPACT BY THE SEMIPALATINSK TEST SITE ON THE PERSONNEL  
AND THE OUTPUT PRODUCTS OF THE COAL DEPOSIT “KARAZHYRA”

**S. P. Levchenko<sup>1\*</sup>, V. V. Bozhko<sup>1</sup>, V. V. Kurchiga<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Branch “Institute of Radiation Safety and Ecology” RSE NNC RK, Kurchatov, Kazakhstan

<sup>2</sup> “VostokUgolProm” LLP, Semey, Kazakhstan

\* E-mail for contacts: levchenko\_sveta@nnc.kz

This paper presents data on the radiological monitoring (2021–2025) of the produce of the coal deposit “Karazhyra” located within the Balapan test location at the former Semipalatinsk Test Site. Coal mine was found to pose not hazard to the public by its radionuclide composition and can be used in the economic activities with no limitations. Ash produced by combusting coal products of the “Karazhyra” deposit is classed as radiation hazard I and is usable in residential and public buildings under construction and reconstruction with no limitations. Recommendations were given to continue the radioecological monitoring with a view to assure safety for further deposit development.

**Keywords:** “Karazhyra” deposit, coal produce, ash, radioecological monitoring, minimum significant activity concentration (MSAC), effective activity concentration.