

<https://doi.org/10.52676/1729-7885-2025-1-5-11>
УДК 581.5:631.438.2:620.179.111.4:539.16 (574.41)

ИСКУССТВЕННЫЕ РАДИОНУКЛИДЫ В РАСТИТЕЛЬНОМ ПОКРОВЕ В МЕСТАХ ПРОВЕДЕНИЯ ИСПЫТАНИЙ БОЕВЫХ РАДИОАКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ НА ПЛОЩАДКЕ «4»

Н. В. Ларионова*, А. В. Топорова, П. Е. Кривицкий, В. В. Полевик, А. Е. Кундузбаева, А. О. Айдарханов

Филиал «Институт радиационной безопасности и экологии» РГП НЯЦ РК, Курчатов, Казахстан

* E-mail для контактов: larionova@nnc.kz

В статье представлены данные о содержании искусственных радионуклидов ^{241}Am , ^{137}Cs , ^{90}Sr , $^{239+240}\text{Pu}$ в растительном покрове на площадке «4» в местах испытания боевых радиоактивных веществ (БРВ). Превышение предельно-допустимого уровня радиоактивного загрязнения кормовых растений отмечается для ^{90}Sr , содержание которого варьирует от 7,6 до 18000 Бк/кг. Максимальное значение суммарной мощности дозы для травянистой растительности от исследуемых радионуклидов составляет 220 мкГр/сут, при этом основной вклад вносит радионуклид ^{90}Sr .

Ключевые слова: Семипалатинский испытательный полигон (СИП), боевые радиоактивные вещества (БРВ), искусственные радионуклиды, растительный покров, удельная активность.

ВВЕДЕНИЕ

Семипалатинский испытательный полигон (СИП) был одним из крупнейших полигонов для проведения ядерных испытаний – его площадь около 18500 км². Всего за период функционирования на его территории проведено 340 подземных ядерных взрывов, 30 наземных и 86 воздушных [1]. Каждый вид испытаний характеризовался определенным количеством и составом радионуклидов, образованных в процессе ядерного взрыва, площадью их распространения и локализацией на различных участках, а в дальнейшем и формами нахождения радионуклидов в почвах.

Уникальным радионуклидным составом отличаются места испытаний боевых радиоактивных веществ (БРВ). Удельная активность радионуклида ^{90}Sr в почвах данной территории достигает нескольких миллионов Бк/кг, тогда как содержание остальных радионуклидов значительно ниже, что, по всей видимости, обусловлено рецептурой используемых в испытаниях веществ. Испытания БРВ представляли собой их рассеяние путем подрыва отдельных снарядов, бомбардировки участков минометными снарядами, сброса бомб с бомбардировщиков или распыления БРВ с самолетов. БРВ – это жидкие или порошкообразные рецептуры, изготовленные либо из отходов радиохимического производства, либо путем облучения, специально подобранных веществ, нейтронами работающего атомного реактора. Их удельная активность колебалась от десятых долей до нескольких кюри на литр [2, 3].

Испытания БРВ проводились на 2-х площадках – «4» и «4а» (рисунок 1). Детальные исследования содержания искусственных радионуклидов в почвенно-растительном покрове в местах проведения испытаний БРВ ранее были выполнены для территории площадки «4а» [4]. В данной работе приведены результаты исследований накопления искусственных радионуклидов растениями на площадке «4».

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Проведение экспедиционных работ

Точки отбора проб выбирались на основании результатов площадного обследования по суммарной активности гамма-импульсов и были приурочены к участкам с повышенными значениями [3]. Поскольку гамма-спектрометром невозможно напрямую определить наличие бета-излучающих радионуклидов, к которым относится ^{90}Sr , преобладающий на испытательной площадке, идентификация участков радиоактивного загрязнения проводилась по суммарной активности гамма-импульсов по всему спектру, куда в свою очередь входит тормозное гамма-излучение, возникающее при взаимодействии бета-частицы с окружающей средой.

Изучение растительного покрова проводилось отдельными методами геоботанического описания с выделением основных экосистем и видового состава растений [5]. Для определения содержания в растительном покрове искусственных радионуклидов ^{241}Am , ^{137}Cs , ^{90}Sr и $^{239+240}\text{Pu}$ было заложено 16 исследовательских площадок – точек сопряженного отбора проб почв и растений (рисунок 2). На каждой площадке произведен отбор наземной части растений (площадь отбора ~ 1–2 м²), а также пробы почвы для оценки мощности дозы внешнего облучения. Проба растений представляла собой смешанный образец степного разнотравья с приблизительно одинаковым доминированием ковыля (*Stipa capillata*, *S. sareptana*, *S. lessingiana*), типчака (*Festuca valesiaca*) и полыни (*Artemisia gracileccens*, *A. frigida*). Почва отобрана методом «конверта» на глубину 5 см. Масса каждой пробы составляла 200–300 г. Для первичной оценки наличия радиоактивного загрязнения в соответствии со стандартными методиками [6] в каждой точке выполнялись измерения радиационных параметров – плотности потока β -частиц и мощности эквивалентной дозы (МЭД).

**ИСКУССТВЕННЫЕ РАДИОНУКЛИДЫ В РАСТИТЕЛЬНОМ ПОКРОВЕ В МЕСТАХ ПРОВЕДЕНИЯ ИСПЫТАНИЙ
БОЕВЫХ РАДИОАКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ НА ПЛОЩАДКЕ «4»**

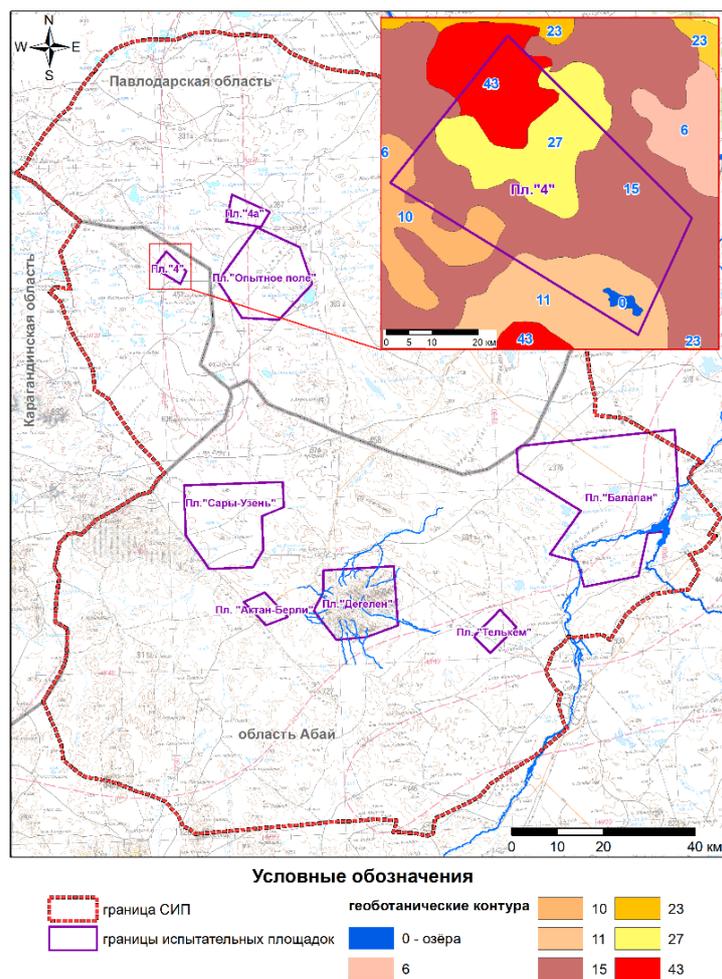


Рисунок 1. Территория СИП и основные экосистемы на площадке «4»

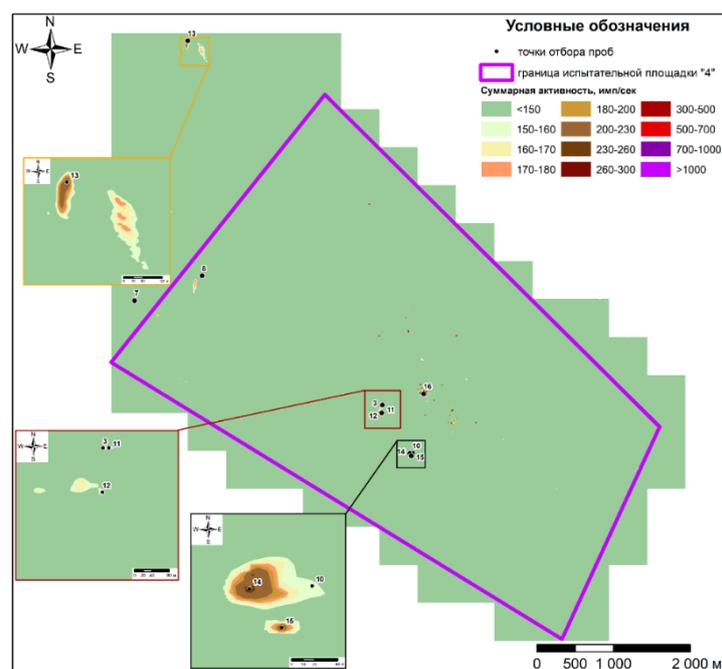


Рисунок 2. Точки сопряженного отбора проб почв и растений на площадке «4»

Пробоподготовка растений и почв

Пробы растительности промывали и ополаскивали дистиллированной водой 2–3 раза, просушивали в сушильном шкафу при температуре 80–100 °С, измельчали на лабораторной мельнице и обугливали в муфельной печи или на электроплитах. Далее в муфельной печи проводили озоление. Первоначально температуру повышали до 200 °С в течение 50–60 минут, после чего устанавливали предельную температуру озоления: для определения ^{137}Cs – 400 °С, ^{90}Sr – 550 °С, ^{241}Am и $^{239+240}\text{Pu}$ – 650 °С. Готовая зола просеивалась через сито (1 мм) для удаления не зольного остатка, взвешивалась, определялся коэффициент озоления. Почву высушивали в сушильном шкафу до воздушно-сухого состояния при температуре 60–70 °С. После удаления крупных камней и включений (корней растений) пробы взвешивали на технических весах, перемешивали, растирали в фарфоровой ступке и просеивали через сито с диаметром отверстий 1 мм.

Радионуклидный анализ

Анализы по измерению удельной активности радионуклидов ^{241}Am , ^{137}Cs , ^{90}Sr и $^{239+240}\text{Pu}$ в пробах почвы и растений проводились на поверенном оборудовании в соответствии со стандартизованными методическими указаниями [7, 8]. Определение ^{137}Cs и ^{241}Am проводили на гамма-спектрометре Canberra GX-2020, ^{90}Sr и $^{239+240}\text{Pu}$ – радиохимическим выделением с последующим измерением на бета-спектрометре TRI-CARB 2900 TR и альфа-спектрометре Canberra (мод. 7401), соответственно. Для определения ^{90}Sr также применяли бета-спектрометр «Прогресс». Концентрацию радионуклидов в растениях определяли в золе, с последующим пересчетом на сухое вещество. Погрешность измерений для ^{137}Cs и ^{241}Am не превышала 10–20%, ^{90}Sr – 15–25%, $^{239+240}\text{Pu}$ – 30%.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

По результатам проведенного геоботанического описания установлено, что основную часть территории площадки «4» занимают экосистемы низких мелкосопочников, делювиально-пролювиальных равнин и антропогеннопроизводные экосистемы.

Экосистемы низких мелкосопочников (15) представлены сочетаниями серий сообществ: кустарниково-петрофитно-разнотравных (*Orostachys spinosa*, *Sedum hybridum*, *Ephedra distachya*, *Ajanía fruticulosa*, *Caragana pumila*, *Atraphaxis frutescens*) на малоразвитых щебнистых светло-каштановых почвах; маршаловопольно-типчаково-тырсовых (*Stipa capillata*, *Festuca valesiaca*, *Artemisia marschalliana*), иногда с участием *Spiraea hypericifolia*, *Caragana pumila*, *C. Frutex* на светло-каштановых щебнистых почвах; кустарниково-злаково-разнотравных (*Medicago falcata*, *Phlomis tuberosa*, *Potentilla bifurca*, *Leonurus glaucescens*, *Poa angustifolia*, *Leymus ramosus*, *Spiraea hypericifolia*, *Halimodendron halodendron*) на лугово-каштановых почвах межсочных понижений; про-

ценозов с доминированием *Artemisia sieversiana*, *A. austriaca*, *A. scoparia*, *Leymus angustus*, *Achillea asiatica*, *Potentilla bifurca*, *Melilotus dentatus*, *Verbascum phoenicum*, *Chenopodium acuminatum*, *Dodartia orientalis* на нарушенных участках.

Экосистемы делювиально-пролювиальных равнин (27) представлены группами сообществ: холоднопопынно-типчаково-тырсовых (*Stipa sareptana*, *Festuca valesiaca*, *Artemisia frigida*); сублессингиановопольно-типчаково-тырсовых (*Stipa sareptana*, *Festuca valesiaca*, *Artemisia sublessingiana*) и типчаково-ковылково-тырсово-разнопопынных (*Artemisia marschalliana*, *A. sublessingiana*, *Stipa sareptana*, *S. lessingiana*, *Festuca valesiaca* на светло-каштановых щебнистых почвах плакорных участков; в комплексе с микропоясным экологическим рядом сообществ: тростниковых (*Phragmites australis*) – бескильцевых (*Puccinellia distans*) – солодково-волоснецовых (*Leymus multicaulis*, *Glycyrrhiza uralensis*) – чиевых (*Achnatherum splendens*) – галимионовых (*Halimione verrucifera*) – камфоросмовых (*Camphorosma monspeliaca*) – коклековых (*Atriplex cana*) – чернопопынных (*Artemisia pauciflora*) по западинам и прощелками с доминированием *Artemisia scoparia*, *A. Sieversiana*, *Petrosimonia sibirica*, *Dodartia orientalis*, *Ceratocarpus arenarius* на нарушенных участках.

Антропогеннопроизводные экосистемы (43) включают группировки и сообщества с участием *Elaeagnus oxycarpa*, *Rosa majalis*, *Vexibia alopecuroides*, *Ciclochena xantifolia*, *Chenopodium album*, *Leymus angustus* вокруг урбанизированных территорий (жилых и заброшенных строений).

Небольшая часть территории представлена экосистемами высоких мелкосопочников с сериями сообществ: петрофитноразнотравно-спирейно-карагановых (*Caragana pumila*, *Spiraea hypericifolia*, *Patrinia intermedia*, *Sedum hybridum*, *Orostachys spinosa*, *Veronica pinnata*) по вершинам; дерновиннозлаково-кустарниковых (*Caragana pumila*, *Spiraea hypericifolia*, *Festuca valesiaca*, *Stipa lessingiana*), холоднопопынно-типчаково-ковыльных (*Stipa capillata*, *S. Sareptana*, *S. lessingiana*, *Festuca valesiaca*, *Artemisia frigida*, *Carex supina*, *Galim ruthenicum*) и караганово-холоднопопынных (*Artemisia frigida*, *Caragana pumila*) по склонам сопок на светло-каштановых щебнистых почвах (10), а также сериями сообществ: петрофитноразнотравно-спирейно-карагановых (*Caragana pumila*, *Spiraea hypericifolia*, *Patrinia intermedia*, *Sedum hybridum*, *Orostachys spinosa*, *Veronica pinnata*) по вершинам; ковылково-типчаково-тырсовых (*Stipa sareptana*, *Festuca valesiaca*, *Stipa lessingiana*, *Artemisia frigida*, *Carex supina*, *Galim ruthenicum*) по склонам в сочетании с комплексом сообществ: чернопопынных (*Artemisia pauciflora*) с коклековыми (*Atriplex cana*) по межсочным солонцеватым понижениям, иногда с тасбиюргуновыми (*Nanophyton erinaceum*) по межсочным эродированным понижениям (11).

**ИСКУССТВЕННЫЕ РАДИОНУКЛИДЫ В РАСТИТЕЛЬНОМ ПОКРОВЕ В МЕСТАХ ПРОВЕДЕНИЯ ИСПЫТАНИЙ
БОЕВЫХ РАДИОАКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ НА ПЛОЩАДКЕ «4»**

Таблица 1. Результаты полевой радиометрии и значения удельной активности искусственных радионуклидов ^{241}Am , ^{137}Cs , ^{90}Sr и $^{239+240}\text{Pu}$ в отобранных пробах почв и растений

Точка отбора	Результаты полевой радиометрии			Объект	Удельная активность радионуклидов, Бк/кг			
	β , част/(мин·см ²)	γ , мкЗв/ч			^{241}Am	^{137}Cs	^{90}Sr	$^{239+240}\text{Pu}$
		h=0 мсм	h=1 м					
1	<10	0,13	0,11	растения	<0,7	<0,15	120±3	6,8±0,3
				почва	<2,6	38±8	710±230	100±10
2	136	0,20	0,14	растения	<0,14	0,54±0,20	1250±10	0,26±0,04
				почва	4,1±0,8	36±7	3900±700	26,4±4,8
3	<10	0,12	0,10	растения	<0,2	<0,4	150±20	<0,04
				почва	2,0±0,4	32 ± 6	460±70	17±2
4	20	0,14	0,12	растения	<0,11	0,36±0,14	560±10	0,28±0,04
				почва	6,3±1,3	35±7	750±260	120±20
5	337	0,59	0,28	растения	<0,4	0,53±0,22	1700±10	1,02±0,08
				почва	<1,5	33±7	5600±900	24,1±4,9
6	70	0,20	0,16	растения	<0,25	<0,50	4700±200	0,38±0,07
				почва	8,0±1,6	30±6	10000±2000	60±10
7	<10	0,10	0,10	растения	<0,2	<0,3	18±3	<0,04
				почва	1,0±0,2	17±3	15±3	3,2±1,1
8	<10	0,18	0,14	растения	<0,12	0,38±0,18	35±2	0,28±0,03
				почва	<2,0	45±9	<100	11±4
9	<10	0,10	0,10	растения	<0,4	0,85±0,30	7,6±4,0	0,33±0,11
				почва	<2,7	32±6	<100	16±5
10	121	0,21	0,18	растения	<0,5	<0,6	6000±900	0,8±0,2
				почва	3,0±0,6	18±4	5800±900	120±7
11	<10	0,10	0,10	растения	<0,2	0,70±0,23	150±20	<0,04
				почва	5,0±1,0	15±3	26±4	45±5
12	13,3	0,12	0,11	растения	<0,4	<1,1	160±20	<0,04
				почва	10±2	17±3	350±50	21±3
13	157	0,33	0,18	растения	<0,6	<1,0	87±13	<0,03
				почва	6±1	14±3	17000±2000	26±3
14	<10	0,12	0,15	растения	<0,8	1,0±0,4	490±70	3,6±0,5
				почва	2,0±0,4	15±3	200±30	28±4
15	<10	0,12	0,12	растения	<0,1	<0,4	680±100	<0,01
				почва	<0,9	14±3	100±15	5,3±1,5
16	143	0,18	0,36	растения	<0,6	<1,7	18000±3000	<0,04
				почва	6±1	25±5	10000±2000	82±6

Измерения радиометрических параметров показали, что исследуемая территория площадки «4» имеет неравномерный характер загрязнения – плотность потока β -частиц на исследуемой территории варьирует от <0,10 до 337 част/(см²·мин), мощность эквивалентной дозы гамма-излучения на поверхности почвы изменяется в пределах от 0,10 до 0,59 мкЗв/ч, на высоте 1 м – от 0,10 до 0,28 мкЗв/ч (таблица 1).

В таблице 1 представлены результаты удельной активности искусственных радионуклидов ^{241}Am , ^{137}Cs , ^{90}Sr и $^{239+240}\text{Pu}$ в исследуемых образцах почвы и растений. По результатам проведенного лабораторного анализа установлено, что содержание ^{241}Am в почве исследованных участков варьирует от <2,7 до 10 Бк/кг, ^{137}Cs – от 14 до 45 Бк/кг. Более существенные вариации отмечаются для $^{239+240}\text{Pu}$ – от 3,2 до 120 Бк/кг. Максимальные значения содержания, как и ожидалось, зафиксированы для ^{90}Sr – от <100 Бк/кг до 17000 Бк/кг.

Удельная активность в растениях ^{137}Cs не превышает 1 Бк/кг, $^{239+240}\text{Pu}$ – 6,8 Бк/кг. Значения удельной активности ^{241}Am в растениях оказались ниже предела обнаружения используемого аппаратно-методического обеспечения. Содержание ^{90}Sr варьирует от 7,6 до 18000 Бк/кг. Превышение предельно-допустимого уровня радиоактивного загрязнения кормовых растений [9] отсутствует для ^{137}Cs (74 Бк/кг), однако отмечается для ^{90}Sr (111 Бк/кг). Концентрация радионуклида $^{239+240}\text{Pu}$ в растениях не нормируется, однако, исходя из степени его общей радиотоксичности, можно предположить, что допустимый уровень будет ориентировочно на порядок меньше, чем по ^{90}Sr , что в целом выше полученных величин.

На основании полученных результатов проведена оценка максимально возможных дозовых нагрузок на наземную биоту (травянистое растение) для радиоактивно загрязненных участков в местах испытания БРВ на площадке «4». Суммарная мощность дозы облучения j -го референтного объекта D_j определя-

лась путем суммирования мощностей дозы внешнего и внутреннего облучения этого объекта $D_{i,j}$ от всех рассматриваемых радионуклидов i :

$$D_j = \sum_i D_{i,j}^{внутр} + D_{i,j}^{внеш}$$

Значения всех необходимых коэффициентов для расчета доз внутреннего и внешнего облучения растений заимствованы из литературных источников [10, 11]. Входными параметрами расчета являлись доминантные виды растений и максимальные значения удельной активности техногенных радионуклидов (^{137}Cs , ^{90}Sr , $^{239+240}\text{Pu}$ и ^{241}Am) в почве и растениях.

В таблице 2 представлены результаты расчета дозовых нагрузок от радионуклидов ^{137}Cs , ^{90}Sr , $^{239+240}\text{Pu}$ и ^{241}Am в растениях и в почве.

Таблица 2. Мощности дозы внутреннего и внешнего облучения растений

Радионуклид	Мощность дозы, мкГр/сут		
	внутренняя	внешняя	сумма
^{137}Cs	$2,9 \cdot 10^{-3}$	$1,2 \cdot 10^{-1}$	$1,2 \cdot 10^{-1}$
^{90}Sr	$2,2 \cdot 10^2$	$5,1 \cdot 10^{-5}$	56
$^{239+240}\text{Pu}$	$4,8 \cdot 10^{-1}$	$1,8 \cdot 10^{-4}$	$4,8 \cdot 10^{-1}$
^{241}Am	—	$7,9 \cdot 10^{-4}$	$7,9 \cdot 10^{-4}$
сумма	$2,2 \cdot 10^2$	$1,2 \cdot 10^{-1}$	$2,2 \cdot 10^2$

Максимальное значение суммарной мощности дозы для травянистой растительности от техногенных радионуклидов ^{137}Cs , ^{90}Sr , $^{239+240}\text{Pu}$ и ^{241}Am на территории радиоактивно загрязненных участков площадки «4» составило 220 мкГр/сут., при этом основной вклад вносит ^{90}Sr . Полученные результаты оценки мощности дозы находятся в диапазоне 10^{-4} – $5 \cdot 10^{-4}$ Гр/сут., что при хроническом облучении может приводить к небольшому увеличению цитогенетических эффектов [12].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам проведенных исследований установлено, что территория площадки «4» в основном представлена экосистемами низких мелкосопочников, делювиально-пролювиальных равнин и экосистемами антропогеннопроизводными, реже встречаются экосистемы высоких мелкосопочников. Удельная активность в растениях ^{137}Cs не превышает 1 Бк/кг, $^{239+240}\text{Pu}$ – 6,8 Бк/кг, ^{241}Am – ниже предела обнаружения используемого аппаратно-методического обеспечения, содержание ^{90}Sr варьирует от 7,6 до 18000 Бк/кг. Превышение предельно-допустимого уровня радиоактивного загрязнения кормовых растений установлено лишь для ^{90}Sr , для которого отмечен и основной вклад в суммарную мощность дозы для травянистой растительности. При этом максимальное значение суммарной мощности дозы от всех исследуемых радионуклидов на радиоактивно загрязненных участках территории испытательной площадки «4» составляет 220 мкГр/сут.

Данные исследования выполнены в рамках программно-целевого финансирования BR21882086 «Разработка устойчивого управления земельными ресурсами и водными объектами на территории бывшего Семипалатинского испытательного полигона», а также РБП 036.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ядерные испытания в СССР: Цели. Общие характеристики. Организация ядерных испытаний СССР. Первые ядерные испытания / под. рук. В.Н. Михайлова; состав ред. И. А. Андрушин, В. В. Богдан, С. А. Зеленцев [и др.]. – Т. 1. – Саров: РФЯЦ – ВНИИЭФ, 1997. – 286 с.
2. Осинцев, А.Ю. Исследование характера и уровней радиоактивного загрязнения площадки испытаний боевых радиоактивных веществ / А. Ю. Осинцев, С. Е. Сальменбаев // Актуальные вопросы радиоэкологии Казахстана [Сборник трудов Национального ядерного центра Республики Казахстан за 2011–2012]. – Павлодар: Дом печати, 2013. – Т. 1. – Вып. 4. – С. 189–201. – ISBN 978-601-7112-74-5.
3. Скрипников М.В. Площадное радиационное обследование мест проведения испытаний боевых радиоактивных веществ на испытательной площадке «4» Семипалатинского испытательного полигона / М.В. Скрипников, А.О. Айдарханов, М.А. Умаров [и др.] // Вестник НЯЦ РК. – Курчатова, 2020. – Вып. 1 (81). – С. 82–86.
4. Ларионова, Н.В. Параметры накопления радионуклидов растениями в местах испытания боевых радиоактивных веществ на территории бывшего Семипалатинского испытательного полигона/ Н.В. Ларионова, С.Н. Лукашенко, Н.И. Санжарова // Радиация и риск. – 2013. – Т. 22, № 4 – С. 85–65. – Библиогр.: с. 65.
5. Полевая геоботаника: в 5 т. / АН СССР. Ботан. ин-т им. В. Л. Комарова; под общ. ред. Е.М. Лавренко, А.А. Корчагина. – М., Ленинград: Наука, 1959–1976. (Т. 1, 1959. – 444 с.; Т. 2, 1960. – 500 с.; Т. 3, 1964. – 530 с.; Т. 4, 1972. – 336 с.; Т. 5, 1976. – 320 с.).
6. Инструкция и методические указания по наземному обследованию радиационной обстановки на загрязненной территории: утв. Межведомственной комиссией по радиационному контролю природной среды при Госкомгидромете СССР. – М., 1989.
7. Активность радионуклидов в объемных образцах. Методика выполнения измерений на гамма-спектрометре: МИ 2143-91. – Введ. 1998-06-02. – Рег. № 5.06.001.98. – М.: НПО ВНИИФТРИ, 1991. – 17 с.
8. Методика определения содержания искусственных радионуклидов плутония-(239+240), стронция-90 в объектах окружающей среды (почвах, грунтах, донных отложениях и растениях)». – Алматы: РГП ИЯФ МЭ РК, 2021. – 26 с.
9. Временные допустимые уровни содержания радионуклидов в объектах контроля Минсельхоза РК, не вошедших в перечень Минздрава Республики, 22.02.94.
10. Методические рекомендации Р52.18.820-2015. Оценка радиационно-экологического воздействия на объекты природной среды по данным мониторинга радиационной обстановки. Обнинск, 2015. – 60 с.

11. Практические рекомендации по вопросам оценки радиационного воздействия на человека и биоту. Под общей редакцией И.И. Линге и И.И. Крышева. – Москва, 2015 г. – 265 с.
 12. ICRP, 2008. Environmental Protection - the Concept and Use of Reference Animals and Plants. ICRP Publication 108. Ann. ICRP 38 (4–6).
- REFERENCES**
1. Yadernye ispytaniya v SSSR: Tseli. Obshchie kharakteristiki. Organizatsiya yadernykh ispytaniy SSSR. Pervye yadernye ispytaniya / pod. ruk. V.N. Mikhaylova; sostav red. I. A. Andryushin, V. V. Bogdan, S. A. Zelentsev [i dr.]. – Vol. 1. – Sarov: RFYaTs – VNIIEF, 1997. – 286 p.
 2. Osintsev, A.Yu. Issledovanie kharaktera i urovney radioaktivnogo zagryazneniya ploshchadki ispytaniy boevykh radioaktivnykh veshchestv / A. Yu. Osintsev, S. E. Sal'menbaev // Aktual'nye voprosy radioekologii Kazakhstan [Sbornik trudov Natsional'nogo yadernogo tsentra Respubliki Kazakhstan za 2011–2012]. – Pavlodar: Dom pechati, 2013. – Vol. 1. – Issue 4. – P. 189–201. – ISBN 978-601-7112-74-5.
 3. Skripnikov M.V. Ploshchadnoe radiatsionnoe obsledovanie mest provedeniya ispytaniy boevykh radioaktivnykh veshchestv na ispytatel'noy ploshchadke «4» Semipalatinskogo ispytatel'nogo poligona / M.V. Skripnikov, A.O. Aydarkhanov, M.A. Umarov [i dr.] // Vestnik NYaTs RK. – Kurchatov, 2020. – Issue 1 (81). – P. 82–86.
 4. Larionova, N.V. Parametry nakopleniya radionuklidov rasteniyami v mestakh ispytaniya boevykh radioaktivnykh veshchestv na territorii byvshego Semipalatinskogo ispytatel'nogo poligona/ N.V. Larionova, S.N. Lukashenko, N.I. Sanzharova // Radiatsiya i risk. – 2013. – Vol.22, Issue 4 – P. 85–65. – Bibliogr.: p. 65.
 5. Poleyvaya geobotanika: vol. 1–5. / AN SSSR. Botan. in-t im. V. L. Komarova; pod obshch. red. E.M. Lavrenko, A.A. Korchagina. – Moscow., Leningrad: Nauka, 1959–1976. (Vol. 1, 1959. – 444 p.; Vol. 2, 1960. – 500 p.; Vol. 3, 1964. – 530 p.; Vol. 4, 1972. – 336 p.; Vol. 5, 1976. – 320 p.).
 6. Instruksiya i metodicheskie ukazaniya po nazemnomu obsledovaniyu radiatsionnoy obstanovki na zagryaznennoy territorii: utv. Mezhvedomstvennoy komissiiy po radiatsionnomu kontrolyu prirodnoy sredy pri Goskomgidromete SSSR. – Moscow, 1989.
 7. Aktivnost' radionuklidov v ob'emnykh obraztsakh. Metodika vypolneniya izmereniy na gamma-spektrometre: MI 2143-91. – Vved. 1998-06-02. – Reg. No. 5.06.001.98. – Moscow: NPO VNIIFTRI, 1991. – 17 p.
 8. Metodika opredeleniya soderzhaniya iskusstvennykh radionuklidov plutoniya-(239+240), strontsiya-90 v ob"ektakh okruzhayushchey sredy (pochvakh, gruntakh, donnykh otlozheniyakh i rasteniyakh)». – Almaty: RGP IYAF ME RK, 2021. – 26 p.
 9. Vremennye dopustimye urovni soderzhaniya radionuklidov v ob"ektakh kontrolya Minsel'khoza RK, ne voshedshikh v perechen' Minzdrava Respubliki, 22.02.94.
 10. Metodicheskie rekomendatsii R52.18.820-2015. Otsenka radiatsionno-ekologicheskogo vozdeystviya na ob"ekty prirodnoy sredy po dannym monitoringa radiatsionnoy obstanovki. Obninsk, 2015. – 60 p.
 11. Prakticheskie rekomendatsii po voprosam otsenki radiatsionnogo vozdeystviya na cheloveka i biotu. Pod obshchey redaktsiiy I.I. Linge i I.I. Krysheva. – Moscow, 2015 g. – 265 p.
 12. ICRP, 2008. Environmental Protection - the Concept and Use of Reference Animals and Plants. ICRP Publication 108. Ann. ICRP 38 (4–6).

«4» АЛАҢЫНДА ӘСКЕРИ РАДИОАКТИВТІ ЗАТТЕКТЕР СЫНАЛҒАН ЖЕРЛЕРДЕГІ ӨСІМДІК ЖАМЫЛҒЫСЫНДАҒЫ ЖАСАНДЫ РАДИОНУКЛИДТЕР

Н. В. Ларионова*, А. В. Топорова, П. Е. Кривицкий, В. В. Полевик, А. Е. Кундузбаева, А. О. Айдарханов

ҚР ҰЯО РМК «Радиациялық қауіпсіздік және экология институты» филиалы, Қурчатов, Қазақстан

* Байланыс үшін E-mail: larionova@nnc.kz

Мақалада ^{241}Am , ^{137}Cs , ^{90}Sr , $^{239+240}\text{Pu}$ жасанды радионуклидтердің өсімдік жамылғысындағы әскери радиоактивті заттектерді (ӘРЗ) сынау орындарындағы «4» алаңындағы құрамы туралы мәліметтер келтірілген. Жемшөп өсімдіктерінің радиоактивті ластануының шекті рұқсат етілген деңгейінің артуы ^{90}Sr бойынша байқалады, оның құрамы 7,6-дан 18000 Бк/кг-ға дейін құбылады. Зерттелетін радионуклидтерден шөптесін өсімдіктер үшін дозаның жалпы қуатының максималды мәні 220 мкГр/тәул құрайды, ал ^{90}Sr радионуклиді негізгі үлесін қосады.

Түйін сөздер: Семей сынақ полигоны (ССП), әскери радиоактивті заттектер (ӘРЗ), жасанды радионуклидтер, өсімдік жамылғысы, үлестік белсенділік.

**ARTIFICIAL RADIONUCLIDES IN THE PLANT COVER OF TEST LOCATIONS OF RADIOLOGICAL
WARFARE AGENTS AT THE '4' SITE**

N. V. Larionova^{*}, A. V. Toporova, P. Ye. Krivitskiy, V. V. Polevik, A. Ye. Kunduzbayeva, A. O. Aidarkhanov

Branch "Institute of Radiation Safety and Ecology" RSE NNC RK, Kurchatov, Kazakhstan

** E-mail for contacts: larionova@nnc.kz*

The article presents data on the content of artificial radionuclides ^{241}Am , ^{137}Cs , ^{90}Sr and $^{239+240}\text{Pu}$ in the plant cover of the '4' site at test locations of radiological warfare agents (RWA). The excess of the maximum permissible level of radioactive contamination in forage plants is recorded for ^{90}Sr , the content of which varies from 7.6 to 18000 Bq/kg. The maximum value of overall dose rate for the herbaceous vegetation from radionuclides of interest is 220 $\mu\text{Gy/day}$, with ^{90}Sr making the main contribution.

Keywords: *Semipalatinsk Test Site (STS), radiological warfare agents (RWA), artificial radionuclides, vegetation cover, specific activity.*