

<https://doi.org/10.52676/1729-7885-2024-1-80-88>

УДК 581.5:539.16 (574.41)

ИЗУЧЕНИЕ РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА И СОДЕРЖАНИЯ В НЕМ РАДИОНУКЛИДОВ НА ПЛОЩАДКЕ «АКТАН-БЕРЛИ»

Н. В. Ларионова^{1*}, А. В. Топорова¹, В. В. Полевик², Е. Н. Поливкина¹, П. Е. Кривицкий¹,
Л. В. Тимонова¹, Л. Ф. Субботина¹, М. Т. Абишева¹, В. Н. Монаенко¹, А. О. Айдарханов¹

¹ Филиал «Институт радиационной безопасности и экологии» РГП НЯЦ РК, Курчатов, Казахстан

² Университет имени Шакарима города Семей, Казахстан

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

В статье представлена характеристика растительного покрова на площадке «Актан-Берли», в том числе содержание в нем естественных (^{40}K , ^{232}Th , ^{226}Ra) и искусственных (^{137}Cs , ^{90}Sr , ^{241}Am , $^{239+240}\text{Pu}$, ^3H) радионуклидов. Установлено, что растительный покров площадки представлен экосистемами высоких мелкосопочников, на западе граничащих с экосистемами низкогорий, а также экосистемами древнеаллювиальных и современных аллювиальных равнин. Содержание радионуклида ^3H в свободной воде (ТСВ) и органической составляющей (ОСТ) находится ниже предела обнаружения используемого аппаратно-методического обеспечения (<8 Бк/кг). Концентрация естественных радионуклидов является типичной, в частности для почв Казахстана. Диапазон удельной активности ^{90}Sr в растениях изменяется от $<0,7$ до $6,7$ Бк/кг, ^{137}Cs – от $<0,6$ до $1,1$ Бк/кг, содержание ^{241}Am и $^{239+240}\text{Pu}$ – в абсолютном большинстве случаев ниже предела обнаружения ($<0,2$ Бк/кг). Значения мощности дозы облучения растений ниже принятых международных критериев. В целом содержание радионуклидов в растительном покрове на территории площадки «Актан-Берли» находится существенно ниже предельно-допустимых уровней радиоактивного загрязнения кормовых растений и не представляет опасности при использовании исследуемой территории в хозяйственной деятельности.

Ключевые слова: СИП, «Актан-Берли», растительный покров, радионуклиды.

ВВЕДЕНИЕ

Семипалатинский испытательный полигон (СИП) – один из крупнейших полигонов, площадью около 18300 км^2 , для проведения ядерных испытаний. Всего за период функционирования на специальных испытательных площадках, расположенных на его территории, было проведено 340 подземных испытаний, 30 наземных и 86 воздушных [1]. К наиболее крупным площадкам, как по площади, так и по количеству произведенных испытаний относятся «Опытное поле», «Дегелен», «Балапан» и «Сары-Узень». С 1949 по 1962 гг., в основном, проводились атмосферные и наземные испытания на площадке «Опытное поле», но после вступления в силу международного договора о запрете проведения ядерных испытаний в космосе, воздухе и воде испытания стали проводиться под землей («Дегелен», «Балапан» и «Сары-Узень»). Для проведения специфических экспериментов использовалась площадка «Телкем» – место проведения двух экскавационных ядерных взрывов, площадки «4» и «4а» – испытания боевых радиоактивных веществ (БРВ), а также площадка «Актан-Берли» – для проведения гидроядерных экспериментов (рисунок 1).

На сегодняшний день получена целостная картина относительно радионуклидного загрязнения растительного покрова для большинства территорий СИП [2–6]. Так, установлено, что максимальные значения удельной активности ^{137}Cs (87 кБк/кг) отмечены в районе радиоактивных водотоков на площадке

«Дегелен», ^{90}Sr (1500 кБк/кг) – в местах испытания БРВ, $^{239+240}\text{Pu}$ ($9,5 \text{ кБк/кг}$) и ^{241}Am ($0,53 \text{ кБк/кг}$) – в эпицентрах проведения наземных испытаний на площадке «Опытное поле» [7]. Повышенные концентрации трития выявлены в растениях, произрастающих на прилегающих территориях реки Шаган [8], а также по руслам пересохших ручьев, выходящих на значительные расстояния за пределы границ площадки «Дегелен» [4].

Одним из наименее изученных участков СИП, с точки зрения радиоактивного загрязнения растительного покрова, до недавнего времени оставалась площадка «Актан-Берли». Данная площадка расположена в южной части СИП, западнее площадки «Дегелен» и юго-восточнее площадки «Сары-Узень» (рисунок 1). Территория площадки равнинная, иногда слегка всхолмленная, расположена на отрогах гор Аршалык. Понижения рельефа заняты солончаками и озерами, наполняемость которых носит сезонный характер. Известно, что гидроядерные испытания на площадке «Актан-Берли» проводились в скважинах под землей на глубине 5–30 метров. Информация о местах проведения этих экспериментов (координаты участком либо схемы их расположения) полностью отсутствует. Целью настоящей работы было изучить растительный покров площадки «Актан-Берли», в том числе содержание в нем естественных (^{40}K , ^{232}Th , ^{226}Ra) и искусственных (^{137}Cs , ^{90}Sr , ^{241}Am , $^{239+240}\text{Pu}$, ^3H) радионуклидов.

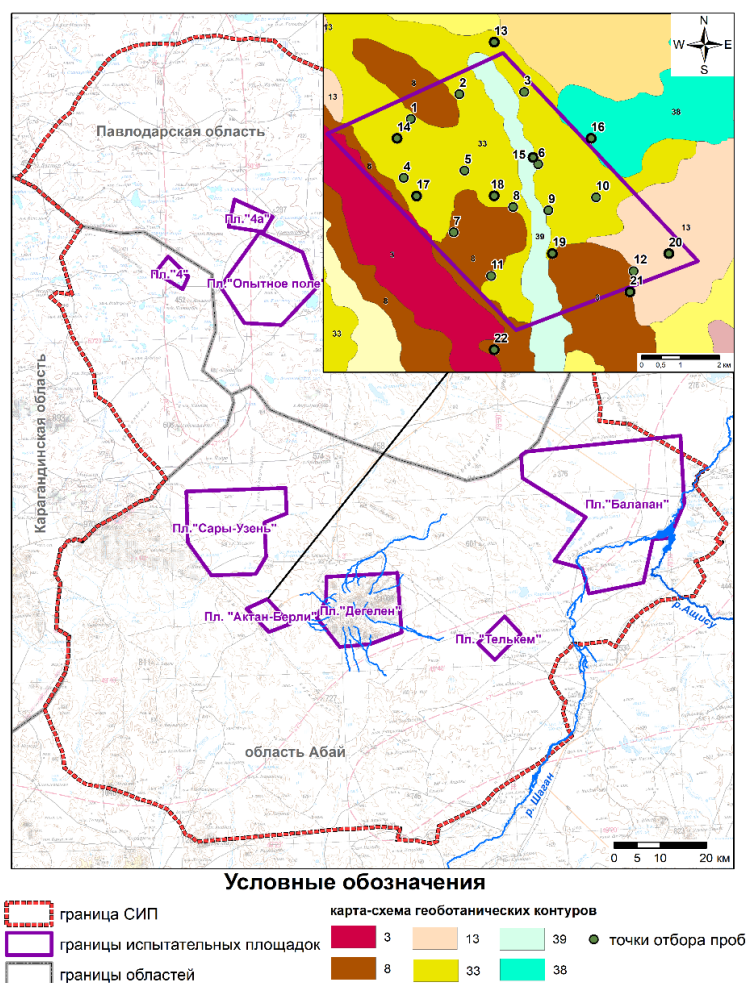


Рисунок 1. Расположение площадки «Актан-Берли» на территории СИП, точки отбора проб и распределение геоботанических контуров

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Изучение растительного покрова исследуемой территории проводилось отдельными методами геоботанического описания с выделением основных типов растительности, определением проективного покрытия и видового состава растений [9]. Измерения радиационных параметров – плотности потока β -частиц и мощности эквивалентной дозы (МЭД), необходимые для первичной оценки наличия радиоактивного загрязнения на исследуемой территории, выполнялись при проведении экспедиционных работ в соответствии со стандартными методиками [10].

Для оценки пространственного распределения ^3H в растительном покрове было заложено 12 исследовательских площадок – точки отбора проб с 1 по 12 (Рисунок 1). В качестве основного исследуемого вида растений выбрана полынь (*Artemisia gracilescens*), которая имеет повсеместное распространение и в условиях сухой степи является более показательной с точки зрения возможного содержания ^3H [11]. Отбор проводился с учетом элементов рельефа в поздний весенний период (май), отбирался прирост текущего года. Масса каждой пробы составляла 200-300 г. Все

образцы растительности были запечатаны в двойные полиэтиленовые пакеты (чтобы свести к минимуму контакт между образцом и окружающим воздухом) и затем заморожены.

Для определения содержания в растительном покрове естественных (^{40}K , ^{232}Th и ^{226}Ra) и искусственных (^{137}Cs , ^{90}Sr , ^{241}Am и $^{239+240}\text{Pu}$) радионуклидов, а также для определения параметров накопления данных радионуклидов в системе «почва-растение» было заложено 10 исследовательских площадок – точки отбора проб с 13 по 22 (рисунок 1). Участки для проведения исследований выбраны на основании данных о площадном распределении искусственных радионуклидов [12] и результатов измерений радиационных параметров (плотности потока β -частиц и МЭД) во время проведения экспедиционных работ. На каждой площадке произведен отбор надземной части растений (площадь отбора $\sim 1-2 \text{ м}^2$), а также пробы почвы для дальнейшего определения параметров накопления. 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 gracilescens*, *A. frigida*). Почва отобрана методом «конверта» на глубину 5 см.

Подготовку проб и анализ по измерению удельной активности радионуклидов в пробах почвы и растений проводили в соответствии со стандартизованными методическими указаниями [13, 14, 15] на поверенном оборудовании. Содержание радионуклида ^3H в растениях определялось в свободной воде (ТСВ) и органической составляющей (ОСТ). Выделение свободной воды из растительных образцов для измерения активности ТСВ производили посредством специальной установки [16], при этом объем конденсата в среднем составлял 10–15 мл. После извлечения свободной воды пробы высушивали до постоянной массы и сжигали на установке «Sample Oxidizer» PerkinElmer, США. Масса сжигаемого образца составляла 1–2 г. В воде, полученной после сжигания сухого растительного образца, измеряли удельную активность ^3H методом жидкостно-сцинтилляционной спектроскопии с использованием спектрометра «QUANTULUS 1220» (Perkin Elmer, США). Определение удельной активности радионуклидов ^{40}K , ^{232}Th , ^{226}Ra , ^{137}Cs и ^{241}Am в пробах почв и растений 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 AlphaAnalyst, соответственно. Концентрацию радионуклидов в растениях определяли в золе, с последующим пересчетом на сухое вещество.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

На основании результатов изучения растительного покрова построена карта-схема распределения геоботанических контуров и основных экосистем (рисунок 1). Установлено, что наибольшая площадь исследуемой территории представлена экосистемами древнеаллювиальных равнин (33), состоящими из комплекса сообществ: тонковатопольнно-типчаково-тырсыковых (*Stipa sareptana*, *Festuca valesiaca*, *Artemisia gracilescens*); кокепковых (*Atriplex cana*), чернополынных (*Artemisia paciflora*) на светло-каштановых солонцеватых почвах; ажрековых (*Aeluropus litoralis*), галофитных разнотравно-злаковых (*Puccinellia dolicholepis*, *L. angustus*, *Leymus paboanus*, *Saussurea amara*, *Limonium gmelinii*), шренковскополынных (*Artemisia schrenkiana*), кермековых (*Limonium gmelinii*) на луговых солончаках. Далее по площади распространения выделяются экосистемы высоких мелкосопочников. Чаще это группа сообществ на защепенных каштановых почвах склонов и шлейфов пологоувалистого мелкосопочника (8): полынно-типчаково-тырсовых (*Stipa capillata*, *Festuca valesiaca*, *Artemisia frigida*, *A. marschalliana*) с участием *Caragana pumila*, *Spiraea hypericifolia*; кустарниково-полынно-дерновиннозлаковых (*Stipa capillata*, *Festuca valesiaca*, *Aremisia frigida*, *A. Marschalliana*, *Caragana pumila*, *Spiraea hypericifolia*) с уча-

стием *Phlomis tuberosa*, *Galium ruthenicum*, *Gypsophila paniculata*; полынно-типчаково-тырсовых (*Stipa capillata*, *Festuca valesiaca*, *Artemisia frigida*, *A. marschalliana*), иногда с участием *Ceratoides papposa*; группировки с *Aremisia austriaca*, *Eringium planum*, *Gypsophila paniculata*, *Acroptylon repens*, *Chenopodium urbicum*, *Psathyrostachis juncea*, *Ceratocarpus arenarius* на нарушенных участках. На юго-востоке территория также представлена следующими сериями сообществ (13): аяниново-дерновиннозлаково-холоднополынных (*Artemisia frigida*, *Stipa lessingiana*, *Festuca valesiaca*, *Ajania fruticulosa*, *Ephedra distachya*, *Veronica pinnata*, *Patrinia intermedia*) по вершинам, сублессингиановопольнно-типчаковых (*Festuca valesiaca*, *Artemisia sublessingiana*) со *Spiraea hypericifolia*, сублессингиановопольнно-киргизскоковыльных (*Stipa kirghisorum*, *Artemisia sublessingiana*) с *Caragana pumila* и *Spiraea hypericifolia* с участием *Veronica pinnata*, *Potentilla acaulis*, *Dianthus rigidus* по склонам и межсочным степным понижениям. На западе исследуемая территория граничит с экосистемами низкогорий [3].

Небольшую центральную часть площадки «Актан-Берли» занимают экосистемы современных аллювиальных равнин, включающих ряд сообществ (39): однолетнесолянковых (*Salicornia europaea*, *Suaeda prostrata*, *Suaeda heterophylla*) → приморско-подорожниковых (*Plantago maritima*) → галофитно-разнотравных (*Plantago salsa*, *Saussurea salsa*, *Rumex marschallianus*, *Glax maritima*, *Limonium gmelinii*) → галофитнозлаковых (*Aeluropus litoralis*, *Puccinellia dolicholepis*, *Leymus paboanus*) → галофитнополынных (*Artemisia schrenkiana*, *A. nitrosa*) → галофитно-полукустарничковых (*Halimione verrucifera*, *Camphorosma monspeliaca*, *Limonium suffruticosum*) → галофитнокустарниковых (*Atriplex cana*, *Suaeda physophora*, *Nitraria sibirica*, *Tamarix hispida*) на солончаковатых и солонцеватых почвах лугового ряда; полынно-дерновиннозлаковых (*Stipa sareptana*, *Festuca valesiaca*, *Psathyrostachys juncea*, *Artemisia gracilescens*, *A. frigida*) на остепняющихся луговых почвах в сочетании с комплексом чернополынно-биюргуново-тасбиюргуновых (*Nanophyton erinaceum*, *Anabasis salsa*, *Artemisia pauciflora*) на эродированных солонцеватых почвах озерных террас. С востока также примыкают ряды сообществ (38): тростниковых (*Phragmites australis*) на лугово-болотных почвах → солеросово-подорожниковых (*Plantago tenuiflora*, *Salicornia europaea*) → разнотравно-злаковых (*Aeluropus litoralis*, *Puccinellia tenuissima*, *Saussurea robusta*, *Limonium coralloides*) → злаково-разнотравных (*Inula caspica*, *Plantago maritima*, *Cirsium setosum*, *Leymus paboanus*, *Hordeum bogdanii*) на засоленном песчаном русловом аллювии → разнотравных (*Hysopus macranthus*, *Cynanchum sibiricum*, *Lagohilus pungens*, *Veronica incana*) → курчавковых (*Atraphaxis frutescens*) на песчано-галечниковых руслах временных водотоков.

ИЗУЧЕНИЕ РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА И СОДЕРЖАНИЯ В НЕМ РАДИОНУКЛИДОВ НА ПЛОЩАДКЕ «АКТАН-БЕРЛИ»

Измерения радиометрических параметров показали, что плотность потока β -частиц на исследуемой территории составляет $<0,10$ част/(см²·мин), мощность эквивалентной дозы гамма-излучения на поверхности почвы варьирует в пределах от 0,10 до 0,26 мкЗв/ч (таблицы 1 и 2).

Содержание в растительном покрове радионуклида ³H оказалось ниже предела используемого аппаратурно-методического обеспечения: ТСВ – <8 Бк/кг, ОСТ – <7 Бк/кг (таблица 1).

Значения удельной активности естественных радионуклидов ⁴⁰K, ²³²Th и ²²⁶Ra в отобранных пробах почв и растений представлены в таблице 2. Для оценки параметров накопления радионуклидов в растениях из почвы рассчитаны коэффициенты накопления (Кн) – отношение удельной активности в растениях к удельной активности в почве (таблица 2). Так, содержание ⁴⁰K в растениях ниже, чем в почвах – Кн превышают единицу (0,11-0,80). При этом диапазон значений концентрации ⁴⁰K в растительности изменяется в довольно широких пределах – от 55 до 520 Бк/кг.

Торий не является биогенным элементом и его Кн всегда ниже единицы. Согласно исследованиям [17] пороговая концентрация тория в наземных растениях находится в пределах от 10⁻⁴ до 10⁻² мг/кг, что связано с наличием биологического барьера, не позволяющего проникать в надземные органы растений этого элемента более определенного количества. В пределах исследуемой территории содержание ²³²Th в надземной части растений изменяется от $<0,9$ до

2,7 Бк/кг, значение Кн – не превышают 0,066.

Подвижность ²²⁶Ra в почвах более значительна [18]. Концентрация ²²⁶Ra в растениях в большинстве случаев находится ниже предела обнаружения аппаратурно-методического обеспечения, в единичном случае составляет 2,8 Бк/кг. Ra не имеет биологического барьера, в отличие от Th, поэтому его Кн растениями могут быть больше единицы (Кн >1). Однако, для исследуемой территории Кн ²²⁶Ra растениями не превышают 0,12. Причина, по которой они могут быть меньше, по-видимому, заключается в недостаточности влаги в почвах. Определяющим фактором поведения радия в экосистеме почва-растение является близость химических свойств ²²⁶Ra и биогенного элемента Са. Но поскольку содержание Са в золе растений (вместе с калием и кремнием) велико – от 60 до 90% [19], следовательно, доля ²²⁶Ra по сравнению с величиной Са + Ва в растворе незначительна. Величины Кн радия пропорциональны содержанию доступных для растений подвижных и обменных его форм в почвах.

Касательно содержания естественных радионуклидов ⁴⁰K, ²³²Th и ²²⁶Ra в почвах при максимальных значениях 1100 Бк/кг, 77 Бк/кг и 34 Бк/кг, соответственно, можно отметить, что в целом оно не превышает максимальных значений для почв Казахстана (⁴⁰K – 1200, ²³²Th – 220, ²²⁶Ra – 120 Бк/кг) [20], что в свою очередь говорит об отсутствии каких-либо геохимических аномалий.

Таблица 1. Результаты полевой радиометрии и содержание ³H (ТСВ и ОСТ) в растительном покрове

Точка отбора	β , част/(мин·см ²)	МЭД, мкЗв/ч	Удельная активность ³ H, Бк/кг		Точка отбора	β , част/(мин·см ²)	МЭД, мкЗв/ч	Удельная активность ³ H, Бк/кг	
			НТО	ОСТ				ТСВ	ОСТ
1	<10	0,16	<8	<7	7	<10	0,12	<8	<7
2	<10	0,12	<8	<7	8	<10	0,20	<8	<7
3	<10	0,10	<8	<7	9	<10	0,12	<8	<7
4	<10	0,11	<8	<7	10	<10	0,10	<8	<7
5	<10	0,19	<8	<7	11	<10	0,10	<8	<7
6	<10	0,10	<8	<7	12	<10	0,25	<8	<7

Таблица 2. Результаты полевой радиометрии, удельная активность естественных радионуклидов ⁴⁰K, ²³²Th и ²²⁶Ra в отобранных пробах почв и растений, значения Кн

Точка отбора	β , част/(мин·см ²)	МЭД, мкЗв/ч	Удельная активность, Бк/кг						Кн		
			⁴⁰ K		²³² Th		²²⁶ Ra		⁴⁰ K	²³² Th	²²⁶ Ra
			растения	почва	растения	почва	растения	почва			
13	<10	0,16	290±60	630±130	$<2,7$	31±6	$<1,5$	<4	0,46	$<0,087$	—
14	<10	0,12	240±50	640±130	1,2±0,2	34±7	$<0,6$	8,5±1,9	0,38	0,035	$<0,071$
15	<10	0,13	440±90	750±150	$<1,4$	31±6	$<0,7$	—	0,59	$<0,045$	—
16	<10	0,15	87±17	680±140	0,9±0,2	31±6	$<0,5$	17±3	0,13	0,029	$<0,029$
17	<10	0,15	520±103	650±130	$<0,9$	29±6	$<0,5$	<3	0,80	$<0,031$	—
18	<10	0,19	500±100	720±140	$<1,3$	33±7	$<0,8$	15±3	0,69	$<0,039$	$<0,053$
19	<10	0,26	370±70	1100±200	2,5±0,5	61±12	2,8±0,6	23±5	0,34	0,041	0,12
20	<10	0,14	78±15	720±140	2,7±0,25	40±8	$<1,3$	7,3±1,5	0,11	0,066	$<0,18$
21	<10	0,17	55±11	1100±200	2,1±0,4	77±15	$<0,7$	34±7	0,05	0,027	$<0,021$
22	<10	0,11	340±70	580±120	$<1,5$	15±3	$<0,9$	$<4,4$	0,59	$<0,10$	—

ИЗУЧЕНИЕ РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА И СОДЕРЖАНИЯ В НЕМ РАДИОНУКЛИДОВ НА ПЛОЩАДКЕ «АКТАН-БЕРЛИ»

Таблица 3. Удельная активность искусственных радионуклидов ^{137}Cs , ^{90}Sr , ^{241}Am и $^{239+240}\text{Pu}$ в отобранных пробах почв и растений, значения Кн

Точка отбора	Удельная активность, Бк/кг								Кн			
	^{137}Cs		^{90}Sr		^{241}Am		$^{239+240}\text{Pu}$		^{137}Cs	^{90}Sr	^{241}Am	$^{239+240}\text{Pu}$
	растения	почва	растения	почва	растения	почва	растения	почва				
13	<0,5	75±15	6,7±1,0	5,8±0,9	<0,2	3,0±0,6	<0,06	21±8	<0,0067	1,2	<0,077	<0,0029
14	0,7±0,1	48±10	4,9±0,8	4,5±0,9	<0,1	<1,2	<0,2	28±9	0,015	1,1	—	<0,0071
15	0,6±0,1	30±6	4,1±1,2	5,1±0,9	<0,2	<0,7	<0,06	7,6±2,4	0,02	0,8	—	<0,0079
16	<0,4	32±6	4±1	5,7±1,0	<0,1	<0,8	<0,08	8,4±2,4	<0,013	0,7	—	<0,0095
17	1,1±0,2	50±10	3,5±1,0	4,7±0,9	<0,1	<2,3	<0,2	19±8	0,022	0,75	—	<0,011
18	0,8±0,2	35±7	6,6±1,0	7±1	<0,2	54±11	<0,2	10±4	0,023	0,94	<0,0032	<0,02
19	<0,4	60±12	5,5±0,9	9,7±1,4	<0,1	3,8±0,7	<0,07	9,8±4,0	<0,0067	0,57	<0,026	<0,0071
20	<0,6	28±6	<0,7	3,8±1,0	<0,2	<1,8	<0,05	6,8±3,9	<0,021	<0,18	—	<0,0074
21	<0,22	44±9	2,4±0,6	9,5±1,4	<0,1	2,2±0,6	<0,03	20±13	<0,005	0,25	<0,046	<0,0015
22	<0,29	50±10	5,4±0,8	6,7±1,0	<0,1	25±5	0,3±0,1	150±23	<0,0058	0,81	—	0,002

В таблице 3 представлены значения удельной активности искусственных радионуклидов ^{137}Cs , ^{90}Sr , ^{241}Am и $^{239+240}\text{Pu}$ в отобранных пробах почв и растений, а также Кн (таблица 3).

Как видно из таблицы 3, значения удельной активности радионуклида ^{137}Cs в растениях в большинстве случаев оказались ниже предела обнаружения используемого аппаратурно-методического обеспечения, при этом, его количественное содержание изменяется от 0,6 до 1,1 Бк/кг. Среднее значение Кн ^{137}Cs составляет $0,020 \pm 0,002$ ($n=4$). Диапазон удельной активности ^{90}Sr в растениях изменяется от <0,7 до 6,7 Бк/кг, Кн ^{90}Sr составляет $0,78 \pm 0,09$ ($n=9$). Содержание радионуклидов трансуранового ряда (^{241}Am и $^{239+240}\text{Pu}$) в пробах растений в абсолютном большинстве случаев количественно установлено не было. Исключение составляет точка 22, расположение которой находится несколько за пределами официальной границы площадки «Актан-Берли», Кн $^{239+240}\text{Pu}$ в данном случае составил 0,002.

Полученные Кн ^{137}Cs соответствуют значениям, ранее полученным для большей части территории СИП – условно «фоновых» территорий и «следов» радиоактивных выпадений [7], при этом на порядок ниже значений, полученных для пастбищ по данным МАГАТЭ [21]. Более серьезного внимания заслуживают Кн ^{90}Sr , которые соответствуют значениям Кн данного радионуклида, полученным ранее, для участков радиоактивных водотоков и территории испытания боевых радиоактивных веществ [7] и максимально близки к данным МАГАТЭ [21]. Установленные различия, прежде всего, могут быть связаны с особенностями радиоактивного загрязнения исследуемой территории и могут указывать на более доступные формы нахождения ^{90}Sr в почве, обусловленные характером проведенных гидроядерных испытаний.

На основании результатов о содержании естественных и искусственных радионуклидов в почвенно-растительном покрове проведена оценка дозовых нагрузок на биоту.

Мощность дозы облучения растения складывается из мощности дозы внутреннего и внешнего облучения. Первая составляющая обусловлена радионуклидами, непосредственно содержащимися в растениях, вторая составляющая формируется за счет радионуклидов, находящихся в почве.

Суммарная мощность дозы облучения j -го референтного объекта D_j определяется путем суммирования мощностей дозы внешнего и внутреннего облучения этого объекта $D_{i,j}$ от всех рассматриваемых радионуклидов i :

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

В общем случае мощность дозы облучения растения рассчитывается согласно выражению:

$$D = A \times d,$$

где A – удельная активность радионуклида в растениях или почве в случае расчета мощности дозы внутреннего и внешнего облучения, соответственно, (Бк/кг); d – дозовый коэффициент внутреннего или внешнего облучения растения, (мкГр/сутки)/(Бк/кг).

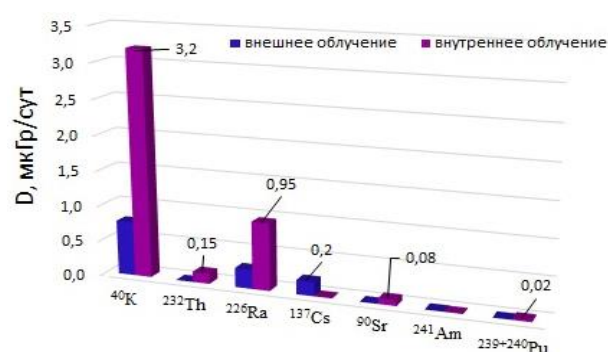


Рисунок 2. Мощность дозы облучения растений естественными и искусственными радионуклидами

Значения всех необходимых коэффициентов для расчета мощности доз внутреннего и внешнего облучения выбраны для объекта «дикая трава» приведены

в публикации МКРЗ №108 [22]. Входными параметрами расчета являлись уровни концентрации естественных и искусственных радионуклидов в почве и растениях.

В результате проведенных расчетов установлено, что мощность дозы облучения растений, произрастающих на территории площадки «Актан-Берли» от естественных радионуклидов находится в диапазоне от 1,4 до 4,3 мкГр/сут. Основной вклад в дозовую нагрузку растений от естественных радионуклидов вносит доза внутреннего облучения от радионуклида ^{40}K (~70%). Мощность дозы от техногенных радионуклидов варьирует от 0,076 до 0,28 мкГр/сут, где основным дозообразующим радионуклидом является ^{137}Cs (~66%). Следует отметить, что мощность дозы внутреннего облучения от техногенных радионуклидов формируется за счет ^{90}Sr (~76%). Суммарная мощность дозы облучения растений от внешнего и внутреннего облучения составила 4,6 мкГр/сут, что не превышает значений мощности дозы хронического облучения для наземных растений и находится на уровне естественного радиационного фона [23, 24].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам проведенных исследований установлено, что территория площадки «Актан-Берли» представлена экосистемами высоких мелкосопочников, на западе граничащих с экосистемами низкогогорий, а также экосистемами древнеаллювиальных и современных аллювиальных равнин. Анализ лабораторных данных показал, что содержание радионуклида ^3H (ТСВ, ОСТ) в растительном покрове на исследуемой территории незначительно и в абсолютном большинстве случаев находится ниже предела обнаружения используемого аппаратно-методического обеспечения (<8 Бк/кг). Содержание естественных радионуклидов ^{40}K , ^{232}Th и ^{226}Ra в растениях не превышает их содержания в почве, а максимальные значения в почве (^{40}K – 1100, ^{232}Th – 77, ^{226}Ra – 34 Бк/кг) являются типичными для почв Казахстана (^{40}K – 1200, ^{232}Th – 220, ^{226}Ra – 120 Бк/кг), что в свою очередь говорит об отсутствии каких-либо геохимических аномалий. Диапазон удельной активности ^{90}Sr в растениях изменяется от <0,7 до 6,7 Бк/кг, ^{137}Cs – от <0,6 до 1,1 Бк/кг, содержание ^{241}Am и $^{239+240}\text{Pu}$ в растениях в абсолютном большинстве случаев оказались ниже предела обнаружения используемого аппаратно-методического обеспечения (<0,2 Бк/кг). При этом исходя из полученных результатов оценки мощности дозы облучения растений можно сказать, что значения находятся в пределах нижнего порогового уровня «предельной дозы» по разным литературным данным. А так как вычисленные мощности доз для растений ниже принятых международных критериев, то полученный результат свидетельствует об отсутствии угроз (опасности) для состояния экосистемы. В целом же содержание радионуклидов в растительном покрове на территории площадки «Актан-Берли» находится существенно ниже предельно-

допустимых уровней радиоактивного загрязнения кормовых растений и не представляет опасности при использовании исследуемой территории в хозяйственной деятельности.

Данные исследования выполнены в рамках программно-целевого финансирования Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан 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. Андрюшин, В. В. Богдан, С. А. Зеленцев [и др.]. – Т. 1. – Саров: РФЯЦ – ВНИИЭФ, 1997. – 286 с.
2. Ларионова, Н.В. Особенности накопления искусственных радионуклидов степными растениями на площадке «Опытное поле» бывшего СИП/ Н.В. Ларионова, С.Н. Лукашенко, А.Е. Кундузбаева [и др.]. // Вестник НЯЦ РК. – 2011. – Вып. 3(47). – С. 120–124. – Библиогр.: с. 124.
3. 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.
4. Polivkina, Ye.N. Assessment of the tritium distribution in the vegetation cover in the areas of underground nuclear explosions at the Semipalatinsk test site / Ye.N. Polivkina, N.V. Larionova, S.N. Lukashenko [et al.] // Journal of Environmental Radioactivity. – 2021. – Vol. 237. – 106705. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2021.106705>
5. Ларионова, Н.В. Накопление радионуклидов Cs-137 и Sr-90 растениями на участке радиоактивных выпадений на территории Семипалатинского испытательного полигона/ Н.В. Ларионова, П.Е.Кривицкий, А.В. Топорова [и др.]. // Вестник НЯЦ РК. – 2022. – Вып. 3 (91). – С. 26–30. – Библиогр.: с. 29–30. <https://doi.org/10.52676/1729-7885-2022-3-26-30>
6. Larionova, N.V. Transfer parameters of radionuclides from soil to plants at the area of craters produced by underground nuclear explosions at the Semipalatinsk test site/ N.V. Larionova, S.N. Lukashenko, O.N. Lyakhova [et al.]. // Journal of Environmental Radioactivity. – 2021. – Vol. 237 (1–2). – 106684. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2021.106684>
7. Larionova, N.V. Transfer of radionuclides to plants of natural ecosystems at the Semipalatinsk Test Site/ N.V. Larionova, S.N. Lukashenko, A.M. Kabdyrakova [et al.]. // Journal of Environmental Radioactivity. – 2018. – Vol. 186. – P. 63–70.
8. Янкаускас А.Б. Влияние трития на морфо-анатомическую структуру растений вида тростник обыкновенный (*Phragmites australis*)/ А.Б. Янкаускас, Н.В. Ларионова, А.Н. Шатров // Радиация и риск. – 2021. – Т. 30, № 2. – С. 133–145. – Библиогр.: с. 144–145. <https://doi.org/10.21870/0131-3878-2021-30-2-133-145>

9. 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.).
10. 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.
11. Larionova, N.V. Plants as indicators of tritium concentration in ground water at the Semipalatinsk test site / N.V. Larionova, S.N. Lukashenko, O.N. Lyakhova [et al.]. // *Journal of Environmental Radioactivity*. – 2017. – Vol. 177. – P. 218–224. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2017.06.032>
12. Республиканская бюджетная программа 036 «Развитие атомных и энергетических проектов», подпрограмма 101 «Обеспечение радиационной безопасности на территории Республики Казахстан», мероприятие 1 «Обеспечение безопасности бывшего Семипалатинского испытательного полигона»: отчет по 036 программе (информац.) / филиал Ин-т. рад. безоп. и экологии РГП НЯЦ РК; рук. работ Умаров М.А.; уч. секретарь Ларионова Н.В. – Курчатов, 2019. – 115. – Библиогр.: с. 114–115.
13. КР СТ ISO 9698-2022. Качество воды. Тритий. Метод определения активности с помощью жидкостно-сцинтилляционного счета. – Введ. 2023-07-01. – Астана: Госстандарт, 2022. – 29 с.
14. 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.
15. 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.
16. Инновационный патент РК. № 29721. Установка для извлечения воды из образцов/ Лукашенко С.Н., Ларионова Н.В., Зарембо В.П.; заявитель и патентообладатель РГП «Национальный ядерный центр Республики Казахстан»; опубл. 15.04.2015, Бюл. № 4. – 4 с.: ил.
17. Титаева, Н.А. «Ядерная геохимия» / Н.А. Титаева. – М., 2000. – С. 185, 186, 202, 207.
18. Куликов, И.В. Радиоэкология почвенно-растительного покрова / И.В. Куликов, И.В. Молчанова, Е.Н. Караваева. – Свердловск: УрО АН СССР, 1990. – С. 40.
19. Полузеров, Н.А. Геохимия и минералогия пустынно-степных почв Казахстана/ Н.А. Полузеров, И.А. Асинг, Н.П. Андреева. – Алматы: Наука, 1975. – С. 117.
20. Учебно-методическое руководство по радиоэкологии и обращению с радиоактивными отходами для условий Казахстана: проект К-112 (МНТЦ). – Алматы: ОАО «Волковгеология», 2002. – 304 с.
21. Quantification of radionuclide transfer in terrestrial and freshwater environments for radiological assessments // IAEA TECDOC-1616. – Vienna: IAEA, 2009. – 163 p.
22. Environmental Protection – the Concept and Use of Reference Animals and Plants // ICRP. – 2008. – Vol. 38, No. 4–6. – ICRP Publication 108. – 344 p.
23. Andersson, P. Numerical benchmarks for protecting biota from radiation in the environment: proposed levels, underlying reasoning and recommendations/ P. Andersson, K. Beaugelin-Seiller, N. Beresford [et al.] // PROTECT Deliverable 5. EC contract number: 036425 (F16R). – 2008. – 112 p.
24. Крышев, И.И. Радиационная безопасность окружающей среды: необходимость гармонизации российских и международных нормативно-методических документов с учетом требований федерального законодательства и новых международных основных норм безопасности ОНБ-2011 / И.И. Крышев, Т.Г. Сазыкина // *Радиация и риск*. – 2013. – Т. 22, № 1. – С. 47–61.

REFERENCES

1. Yadernye ispytaniya v SSSR: Tseli. Obshchie kharakteristiki. Organizatsiya yadernykh ispytaniy SSSR. Pervyye 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. Larionova, N.V. Osobennosti nakopleniya iskusstvennykh radionuklidov stepnymi rasteniyami na ploshchadke “Opytnoe pole” byvshego SIP/ N.V. Larionova, S.N. Lukashenko, A.E. Kunduzbaeva [i dr.]. // *Vestnik NYaTs RK*. – 2011. – Issue 3(47). – P. 120–124. – Bibliogr.: p. 124.
3. 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, No. 4 – P. 85–65. – Bibliogr.: p. 65.
4. Polivkina, Ye.N. Assessment of the tritium distribution in the vegetation cover in the areas of underground nuclear explosions at the Semipalatinsk test site / Ye.N. Polivkina, N.V. Larionova, S.N. Lukashenko [et al.] // *Journal of Environmental Radioactivity*. – 2021. – Vol. 237. – 106705. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2021.106705>
5. Larionova, N.V. Nakoplenie radionuklidov Cs-137 i Sr-90 rasteniyami na uchastke radioaktivnykh vypadeniy na territorii Semipalatinskogo ispytatel'nogo poligona/ N.V. Larionova, P.E. Krivitskiy, A.V. Toporova [i dr.]. // *Vestnik NYaTs RK*. – 2022. – Issue 3(91). – P. 26–30. – Bibliogr.: p. 29–30. <https://doi.org/10.52676/1729-7885-2022-3-26-30>
6. Larionova, N.V. Transfer parameters of radionuclides from soil to plants at the area of craters produced by underground nuclear explosions at the Semipalatinsk test site/ N.V. Larionova, S.N. Lukashenko, O.N. Lyakhova [et al.]. // *Journal of Environmental Radioactivity*. – 2021. – Vol. 237 (1–2). – 106684. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2021.106684>
7. Larionova, N.V. Transfer of radionuclides to plants of natural ecosystems at the Semipalatinsk Test Site/ N.V. Larionova, S.N. Lukashenko, A.M. Kabdyrakova [et al.]. // *Journal of Environmental Radioactivity*. – 2018. – Vol. 186. – P. 63–70.
8. Yankauskas A.B. Vliyanie tritiya na morfo-anatomicheskuyu strukturu rasteniy vida trostnik obyknovenny (Phragmites australis)/ A.B. Yankauskas, N.V. Larionova, A.N. Shatrov // *Radiatsiya i risk*. – 2021. – Vol. 30, No. 2. – P. 133–145. – Bibliogr.: p. 144–145. <https://doi.org/10.21870/0131-3878-2021-30-2-133-145>
9. Poleyaya geobotanika: v 5 t. / AN SSSR. Botan. in-t im. V. L. Komarova; pod obshch. red. E.M. Lavrenko, A.A. Korchagina. – M., Leningrad: Nauka, 1959–1976. (Т. 1,

1959. – 444 p.; Т. 2, 1960. – 500 p.; Т. 3, 1964. – 530 p.; Т. 4, 1972. – 336 p.; Т. 5, 1976. – 320 p.).
10. Instruksiya i metodicheskie ukazaniya po nazemnomu obsledovaniyu radiatsionnoy obstanovki na zagryaznennoy territorii: utv. Mezhdvostvennoy komissii po radiatsionnomu kontrolyu prirodnoy sredy pri Goskomgidromete SSSR. – Moscow, 1989.
11. Larionova, N.V. Plants as indicators of tritium concentration in ground water at the Semipalatinsk test site/ N.V. Larionova, S.N. Lukashenko, O.N. Lyakhova [et al.]. // Journal of Environmental Radioactivity. – 2017. – Vol. 177. – P. 218–224.
<https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2017.06.032>
12. Respublikanskaya byudzhetnaya programma 036 “Razvitiye atomnykh i energeticheskikh proektov”, podprogramma 101 «Obespecheniye radiatsionnoy bezopasnosti na territorii Respubliki Kazakhstan», meropriyatiye 1 “Obespecheniye bezopasnosti byvshogo Semipalatinskogo ispytatel'nogo poligona”: otchet po 036 programme (informat.) / filial In-t. rad. bezop. i ekologii RGP NYaTs RK; ruk. rabot Umarov M.A.; uch. sekretar' Larionova N.V. – Kurchatov, 2019. – 115. – Bibliogr.: p. 114–115.
13. KR ST ISO 9698-2022. Kachestvo vody. Tritiy. Metod opredeleniya aktivnosti s pomoshch'yu zhidkostno-stsintillyatsionnogo scheta. – Vved. 2023-07-01. – Astana: Gosstandart, 2022. – 29 p.
14. 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.
15. Metodika opredeleniya sodержaniya 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.
16. Innovatsionnyy patent RK. No. 29721. Ustanovka dlya izvlecheniya vody iz obraztsov/ Lukashenko S.N., Larionova N.V., Zarembo V.P.; zayavitel' i patentoobladatel' RGP «Natsional'nyy yadernyy tsentr Respubliki Kazakhstan»; opubl. 15.04.2015, Byul. No. 4. – 4 p.: il.
17. Titaeva, N.A. «Yadernaya geokhimiya»/ N.A. Titaeva. – Moscow, 2000. – P. 185, 186, 202, 207.
18. Kulikov, I.V. Radioekologiya pochvenno-rastitel'nogo pokrova / I.V. Kulikov, I.V. Molchanova, E.N. Karavaeva. – Sverdlovsk: UrO AN SSSR, 1990. – P. 40.
19. Poluzerov, N.A. Geokhimiya i mineralogiya pustynno-stepnykh pochv Kazakhstana / N.A. Poluzerov, I.A. Assing, N.P. Andreeva. – Almaty: Nauka, 1975. – P. 117.
20. Uchebno-metodicheskoe rukovodstvo po radioekologii i obrashcheniyu s radioaktivnymi otkhodami dlya usloviy Kazakhstana: proekt K-112 (MNTTs). – Almaty: OAO “Volkovgeologiya”, 2002. – 304 p.
21. Quantification of radionuclide transfer in terrestrial and freshwater environments for radiological assessments // IAEA TECDOC-1616. – Vienna: IAEA, 2009. – 163 p.
22. Environmental Protection – the Concept and Use of Reference Animals and Plants // ICRP. – 2008. – Vol. 38, No. 4–6. – ICRP Publication 108. – 344 p.
23. Andersson, P. Numerical benchmarks for protecting biota from radiation in the environment: proposed levels, underlying reasoning and recommendations / P. Andersson, K. Beaugelin-Seiller, N. Beresford [et al.] // PROTECT Deliverable 5. EC contract number: 036425 (F16R). – 2008. – 112 p.
24. Kryshev, I.I. Radiatsionnaya bezopasnost' okruzhayushchey sredy: neobkhodimost' garmonizatsii rossiyskikh i mezhdunarodnykh normativno-metodicheskikh dokumentov s uchetom trebovaniy federal'nogo zakonodatel'stva i novykh mezhdunarodnykh osnovnykh norm bezopasnosti ONB-2011 / I.I. Kryshev, T.G. Sazykina // Radiatsiya i risk. – 2013. – Vol. 22, No. 1. – P. 47–61.

«АКТАН-БЕРЛІ» АЛАҢЫНДА ӨСІМДІК ЖАМЫЛҒЫСЫН ЖӘНЕ ОНДАҒЫ РАДИОНУКЛИДТЕРДІҢ ҚҰРАМЫН ЗЕРТТЕУ

**Н. В. Ларионова^{1*}, А. В. Топорова¹, В. В. Полевик², Е. Н. Поливкина¹, П. Е. Кривицкий¹,
Л. В. Тимонова¹, Л. Ф. Субботина¹, М. Т. Абишева¹, В. Н. Монаенко¹, А. О. Айдарханов¹**

¹ ҚР ҰЯО РМК «Радиациялық қауіпсіздік және экология институты» филиалы, Құрчатов, Қазақстан

² Семей қаласының Шәкәрім атындағы университеті, Қазақстан

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

Мақалада «Ақтан-Берлі» алаңындағы өсімдік жамылғысының сипаттамасы, оның ішінде табиғи (^{40}K , ^{232}Th , ^{226}Ra) және жасанды (^{137}Cs , ^{90}Sr , ^{241}Am , $^{239+240}\text{Pu}$, ^3H) радионуклидтердің құрамы келтірілген. Алаңның өсімдік жамылғысы батыста төмен таулы экожүйелермен, сондай-ақ ежелгі аллювиалды және қазіргі аллювиалды жазықтармен шектесетін биік ұсақ шоқылардың экожүйелерімен ұсынылатыны анықталды. ^3H радионуклидтің бос судағы (ТСВ) және органикалық құрамдас бөлігіндегі (ОСТ) құрамы пайдаланылатын аппаратуралық-әдістемелік қамтамасыз етуді анықтау шегінен төмен (<8 Бк/кг). Табиғи радионуклидтердің шоғырлануы, атап айтқанда Қазақстан топырақтарына тән болып табылады. Өсімдіктердегі ^{90}Sr меншікті белсенділік диапазоны $<0,7$ -ден $6,7$ Бк/кг-ға дейін, ^{137}Cs – $<0,6$ -дан $1,1$ Бк/кг-ға дейін, ^{241}Am және $^{239+240}\text{Pu}$ құрамы – көп жағдайда абсолютті түрде анықтау шегінен төмен ($<0,2$ Бк/кг). Өсімдіктердің сәулелену дозасының қуат мәндері қабылданған халықаралық критерийлерден төмен. Жалпы, «Ақтан-Берлі» алаңының аумағындағы өсімдік жамылғысындағы радионуклидтердің құрамы жемшөп өсімдіктерінің радиоактивті ластануының шекті рұқсат етілген деңгейінен едәуір төмен және зерттеліп жатқан аумақты шаруашылық қызметте пайдалану кезінде қауіп төндірмейді.

Түйін сөздер: ССП, «Ақтан-Берлі», өсімдік жамылғысы, радионуклидтер.

STUDY OF THE PLANT COVER AND CONTENTS
OF RADIONUCLIDES AT THE AKTAN-BERLI SITE

N. V. Larionova^{1*}, A. V. Toporova¹, V. V. Polevik², E. N. Polivkina¹, P. E. Krivitskiy¹,
L. V. Timonova¹, L. F. Subbotina¹, M. T. Abisheva¹, V. N. Monaenko¹, A. O. Aidarkhanov¹

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

² Shakarim University, Semey, Kazakhstan

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

The article presents characteristics of the plant cover at the “Aktan-Berli” site including the content of natural (⁴⁰K, ²³²Th, ²²⁶Ra) and artificial (¹³⁷Cs, ⁹⁰Sr, ²⁴¹Am, ²³⁹⁺²⁴⁰Pu, ³H) radionuclides. It has been found that the plant cover of the site is represented by ecosystems of high Kazakh hammocks bordering on ecosystems of lowlands in the west and ecosystems of ancient alluvial and modern alluvial plains. The content of free-water ³H (FWT) and organic constituent (OBT) is below the detection limit of the methodological instrumentation in use (<8 Bq/kg). The concentration of natural radionuclides is typical, especially for Kazakhstani soil. The range of ⁹⁰Sr activity concentration in plants range from <0.7 to 6.7 Bq/kg, ¹³⁷Cs – from <0.6 to 1.1 Bq/kg, the content of ²⁴¹Am and ²³⁹⁺²⁴⁰Pu are below the detection limit in most cases (<0.2 Bq/kg). Values of the radiation dose rate of plants are below the accepted international criteria. In general, the content of radionuclides in the plant cover of the “Aktan-Berli” site is significantly below the maximum permissible levels of radioactive contamination of forage plants posing no hazard when using the territory of interest for economic activities.

Keywords: STS, “Aktan-Berli”, plant cover, radionuclides.