УДК 577.4:504.064:539.16

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРА И УРОВНЕЙ РАДИОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПЛОЩАДКИ ИСПЫТАНИЙ БОЕВЫХ РАДИОАКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ

Осинцев А.Ю., Сальменбаев С.Е.

Институт радиационной безопасности и экологии НЯЦ РК, Курчатов, e-mail: irbe@nnc.kz

В статье описываются проведенные исследования по определению уровней содержания техногенных радионуклидов в почвенном покрове испытательной площадки БРВ 4 «А». В результате исследований выяснено, что радионуклидное загрязнение площадки обусловлено присутствием таких радионуклидов, как ⁹⁰Sr, ²⁴¹Am, ²³⁹⁺²⁴⁰Pu, ¹³⁷Cs, ^{152,154,155}Eu и ⁶⁰Co, основным из которых является ⁹⁰Sr. Изучение вертикального распределения радионуклидов показало, что основная активность ¹³⁷Cs, ²⁴¹Am и ^{152,154,155}Eu находится в верхнем 20-см слое почвы. Вместе с тем обнаружены участки с аномальным распределением радионуклидов по глубине почвенного профиля, на которых максимальное содержание изучаемых радионуклидов зафиксировано в слое 10-20 см. Проведено изучение изотопных отношений, которое показало невозможность привязки участков радиоактивного загрязнения друг к другу по возможному источнику поступления, исходя из полученных изотопных отношений и пространственного расположения.

Ключевые слова: испытательная площадка, радионуклидный состав, радиоактивное загрязнение, радиоактивные отходы, вертикальное распределение радионуклидов, суммарный показатель радиоактивного загрязнения

RESEARCH OF CHARACTER AND LEVELS OF RADIOACTIVE CONTAMINATION OF WARFARE RADIOACTIVE AGENTS TESTING SITE

Osintsev A.Y., Salmenbaev S.E.

Institute of Radiation Safety and Ecology NNC RK, Kurchatov, e-mail: irbe@nnc.kz

The paper describes researches conducted on determination of concentration of artificial radionuclides in the soil cover of 4 «A» WRA testing site. As a result of research it was found that radionuclide contamination of the site is caused by presence of such radionuclides as ${}^{90}\text{Sr}$, ${}^{241}\text{Am}$, ${}^{239+240}\text{Pu}$, ${}^{137}\text{Cs}$, ${}^{152,154,155}\text{Eu}$ us ${}^{60}\text{Co}$, main of those is ${}^{90}\text{Sr}$. Study of vertical distribution of radionuclides have shown that the main activity of ${}^{137}\text{Cs}$, ${}^{241}\text{Am}$ and ${}^{152,154,155}\text{Eu}$ can be noticed in the upper 20cm soil layer. Together with this, there have been lots found with abnormal distribution of radionuclides in depth of soil profile, where the maximal concentration of investigated radionuclides have been detected in 10-20 cm layer. Isotope ratio have been investigated, results of that have shown impossibility to associate radioactively contaminated spots to one another based on possible source of intake, based on obtained isotope ratios and spatial arrangement.

Keywords: test site, radionuclide composition, radioactive contamination, radioactive waste, vertical distribution of radionuclides, radioactive contamination summary index

Испытательная площадка 4 «А» — одна из двух площадок испытаний боевых радиоактивных веществ (БРВ), расположенных в северо-западной части Семипалатинского испытательного полигона (СИП) (рис. 1).

Данные площадки использовались для исследования поражающего действия жидких и порошкообразных радиоактивных веществ высокой активности, представляющих собой отходы радиохимического производства, в целях разработки оружия массового поражения.

Прежние обследования площадок испытаний БРВ 4 и 4 «А» [1, 2, 3, 4] проводились с целью обнаружения и оконтуривания участков радиоактивного загрязнения и не могли в полной мере охарактеризовать радиационную обстановку. Так, в результате проведенной в начале 90-х годов аэро-гамма-спектрометрической съемки было сделано заключение о том, что повышенные плотности загрязнения почв радионуклидом ¹³⁷Сѕ отсутствуют и что в результате распада радионуклидов, входящих в состав БРВ, плотность радиоак-

тивного загрязнения приблизилась к фоновым величинам [1].

Сотрудниками ИРБЭ НЯЦ РК во время обследования территории полигона были установлены места проведения испытаний [2]. В результате полевых исследований были обнаружены отдельные фрагменты металлических изделий, использованных при испытаниях, а также участки локального радиоактивного загрязнения. В пробах грунта, отобранных во время данного обследования из воронки, предположительно образовавшейся при взрыве заряда с БРВ, была определена активность некоторых техногенных радионуклидов. Так, содержание ¹³⁷Cs составило 3470 Бк/кг, ²³⁸U — 230 Бк/кг, ⁶⁰Co — 370 Бк/кг, ²⁴¹Am — 9800 Бк/кг, ¹⁵²Eu — 370 Бк/кг; ¹⁵⁴Eu — 3770 Бк/кг ¹⁵⁵Еи и – 4100 Бк/кг [2].

В 2005 г. проводились полевые работы по проведению бета- и гамма-съемки на территории площадки 4 «А» [3]. Радиону-клидный состав пятен радиоактивного загрязнения в ходе проведенного обследования не исследовался.

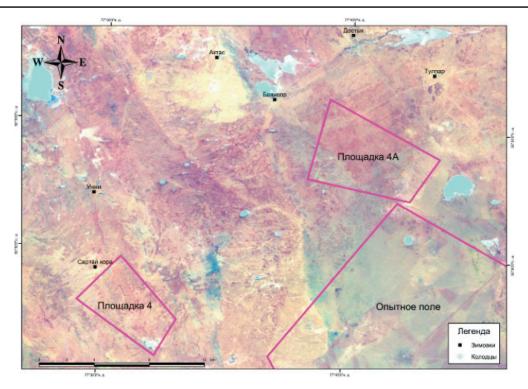


Рис. 1. Испытательные площадки БРВ 4 и 4 «А»

Целью настоящего исследования было исследование характера и уровней радиоактивного загрязнения на территории испытательной площадки 4 «А».

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

- получение информации об уровнях содержания техногенных радионуклидов в почвенном покрове испытательной площадки;
- изучение особенностей распределения радионуклидов вглубь почвенного профиля и определение, исходя из этого, возможности

проведения рекультивационных мероприятий путем изъятия загрязненного грунта;

• характеризация участков радиоактивного загрязнения по возможному источнику поступления радионуклидов.

Материалы и методика исследования

Для выполнения поставленных задач на 25 участках, обнаруженных в результате проведенных ранее полевых исследований и отнесенных к категории радиационноопасных объектов [4], производился отбор послойных и точечных проб почвы. Пробы почвы отбирались в точках с максимальными значениями радиационных параметров (МЭД, плотность потока бета-частиц) (табл. 1).

Таблица 1 Значения радиационных параметров, измеренных в точках отбора проб почвы

	Радиацио	онные параметры		Радиационные параметры			
Номер участка	$M2\Pi(h-1M)$ $\Pi_{HOTHOCTI}$ Π_{OTOMO}		Номер участка	MЭД (h = 1 м), мк $3в/ч$	Плотность потока β-частиц, част/(мин·см²)		
1	25	> 45000	14	9	4000		
2	76	> 45000	15	34	> 45000		
3	51	> 45000	16	73	> 45000		
4	30	> 45000	17	18	> 45000		
5	14,4	> 45000	18	325	> 45000		
6	1,8	1700	19	12	> 45000		
7	2	1200	20	60	> 45000		
8	36	> 45000	21	72	> 45000		
9	1,1	2000	22	12	3000		
10	18	> 6000	23	7	2000		
11	48	> 45000	24	13	5000		
12	56	> 45000	25	50	> 45000		
13	182	> 45000					

Расположение исследуемых участков на территории испытательной площадки, точки отбора проб и места закладки шурфов представлены на рисунке (рис. 2).

Отбор проб

Отбор точечных проб производился с помощью специальных пробоотборников на глубину в 10 см,

площадь отбора составила 100 см². Местоположение точек обследования определялось в геодезической системе координат, где В – геодезическая широта, L – геодезическая долгота (в градусах, минутах и секундах). Точность определения координат GPS-приемником составляет 3–5 метров с вероятностью 95 %.

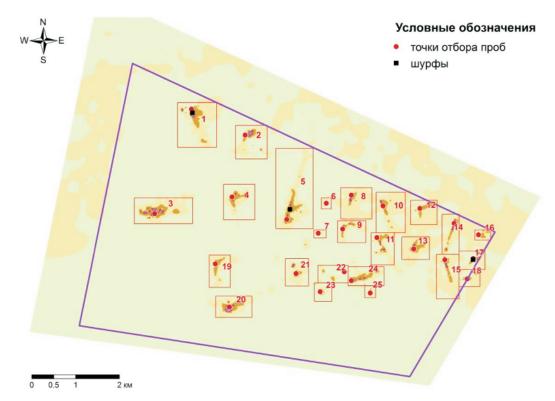


Рис. 2. Расположение участков радиоактивного загрязнения на испытательной площадке 4 «А»

На участках № 1, № 5 и № 17, в точках с максимальными значениями МЭД и плотности потока бета-частиц из подготовленных шурфов глубиной 70 см производился отбор послойных проб почвы. Пробы отбирались слоями по 5 и 10 см (слои: 0–5, 5–10, 10–15, 15–20, 20–30, 30–40, 40–50, 50–60 см).

Лабораторные исследования

Анализ отобранных проб проводился в лаборатории радиохимических исследований ИРБЭ в соответствии с нормативными и методическими документами. Подготовка проб к лабораторным исследованиям включала в себя такие операции, как высушивание образцов, просеивание, отделение включений, истирание, квартование.

Для измерений активности гамма-излучателей использовали гамма-спектрометр GX 2020 с Gе-детектором с относительной эффективностью регистрации 20% в соответствии с методикой измерений [5]. Содержание 90Sr в отобранных образцах почвы определялось на бета-спектрометре «Прогресс» с NaI-детектором [6]. Определение активности изотопов 239+240Pu проводилось с помощью радиохимической методики [7]. Полученные значения удельных активностей использовались в дальнейшем для расчета изотопных отношений радионуклидов.

Результаты исследования и их обсуждение

Оценка радионуклидного состава пятен радиоактивного загрязнения

Значения удельных активностей радионуклидов в отобранных точечных пробах почвы (0–10 см) представлены в таблице (табл. 2).

Полученные результаты показывают, что основным загрязнителем почвенного покрова является радионуклид 90Sr, однако существенный вклад в радиационную опасность вносит также активность изотопов плутония. Радиоактивное загрязнение участков неоднородное, отличается друг от друга на несколько порядков. Почвенный покров исследуемых участков (0–10 см) относится согласно нормативным документам [8, 9] к твердым радиоактивным отходам.

При проведении в дальнейшем рекультивационных мероприятий, работы по удалению загрязненного грунта целесообразно начать с участков с максимальным значением ∑С,/МЗУА, (уч. № 18, уч. № 13 и т.д.).

Таблица 2 Удельная активность 241 Am, 137 Cs, 90 Sr, $^{239+240}$ Pu в образцах почвы, отобранных на исследуемых участках

_	Удельная активность									
Точка отбора	МБк/кг	кБк/кг							$\sum C_i / M3 y A_i^*$	
⁹⁰ Sr		²⁴¹ Am	²⁴¹ Am ¹³⁷ Cs ^{239 + 240} Pu ¹⁵		¹⁵² Eu	¹⁵⁴ Eu	¹⁵⁵ Eu	⁶⁰ Co	1	
уч. 1	4,7±0,5	0,5±0,02	1,1±0,01	8,4±0,4	$0,08 \pm 0,01$	0,24±0,01	$0,1 \pm 0,02$	10 ± 2	56	
уч. 2	13±1	1,6±0,3	1,4±0,3	12±2,4	0,84±0,17	$0,74 \pm 0,15$	$0,33 \pm 0,07$	< 42	144	
уч. 3	12±1	1,4±0,3	1,0±0,2	17±0,3	0,32±0,02	0,64±0,13	$0,3 \pm 0,04$	36 ± 8	140	
уч. 4	2,7±0,3	0,27±0,05	$0,31 \pm 0,06$	$3,0\pm0,3$	0,19±0,04	$0,21 \pm 0,04$	< 0,1	< 25	30	
уч. 5	$2,3 \pm 0,2$	$0,095 \pm 0,03$	$0,05 \pm 0,005$	1,1±0,14	0,014±0,007	$0,05 \pm 0,01$	< 0,05	< 4	24	
уч. 6	$0,12 \pm 0,02$	$0,03 \pm 0,003$	2,3±0,01	1,5±0,2	< 0,003	< 0,004	< 0,005	< 1	3	
уч. 7	$0,070 \pm 0,01$	$0,035 \pm 0,005$	2,0±0,4	$0,9 \pm 0,2$	< 0,004	< 0,004	< 0,008	< 1,5	2	
уч. 8	3,2±0,3	$0,81 \pm 0,16$	$0,22 \pm 0,04$	$7,0 \pm 1,0$	0,6±0,12	0,46±0,09	$0,2 \pm 0,04$	40 ± 8	40	
уч. 9	0,36±0,040	0,07±0,014	$0,07 \pm 0,014$	$0,52 \pm 0,08$	< 0,026	$0,027 \pm 0,005$	< 0,035	13 ± 3	4	
уч. 10	2,6±0,3	$0,48 \pm 0,1$	$0,15 \pm 0,03$	4,4±0,3	$0,3 \pm 0,06$	$0,25 \pm 0,05$	< 0,07	< 17	30	
уч. 11	4,7±0,5	$0,5\pm0,1$	1,4±0,3	4,4±0,5	$0,25 \pm 0,05$	$0,3 \pm 0,06$	< 0,06	< 15	52	
уч. 12	2,6±0,4	2,3±0,5	5,2 ± 1,0	61 ± 11	1,6±0,3	1,4±0,3	0,6±0,12	< 32	90	
уч. 13	220±20	8,3 ± 1,7	2,6±0,5	62±9	6,1 ± 1,2	$6,2 \pm 1,2$	$2,1\pm0,4$	250 ± 50	2300	
уч. 14	0,9±0,1	0,12±0,02	0,21±0,04	$0,9 \pm 0,2$	< 0,037	0,056±0,011	$0,057 \pm 0,011$	< 12	10	
уч. 15	4,2±0,4	2,3±0,02	0,76±0,01	15±5	$0,5 \pm 0,01$	1,2±0,03	$0,05 \pm 0,002$	45 ± 5	60	
уч. 16	20±1	6,5±1,3	1,8±0,4	100±3	3,8±0,8	$3,5 \pm 0,7$	$0,11 \pm 0,02$	140 ± 30	310	
уч. 17	1,8±0,2	$0,24 \pm 0,02$	$0,085 \pm 0,005$	2,8±0,3	< 0,013	$0,14 \pm 0,015$	$0,04 \pm 0,02$	< 6	20	
уч. 18	590±60	30±7	22±4	800±40	10±5	50±9	< 14	< 4000	7000	
уч. 19	1,4±0,2	$0,13 \pm 0,02$	0,14±0,03	1,9±0,1	< 0,015	$0,085 \pm 0,015$	< 0,03	< 5	16	
уч. 20	17±2	1,7±0,05	1,3±0,03	32±1	$0,5 \pm 0,03$	$0,8\pm 0,05$	0,4±0,05	< 24	204	
уч. 21	6,2±0,6	4,2±0,8	320±60	57±3	$0,4 \pm 0,04$	$0,9 \pm 0,2$	$0,4 \pm 0,08$	50 ± 15	155	
уч. 22	$0,66 \pm 0,07$	0,16±0,03	12±2	9,6±0,3	< 0,01	$0,05 \pm 0,01$	< 0,02	< 4	18	
уч. 23	$0,31 \pm 0,03$	< 0,025	2,4±0,02	1,5±0,8	< 0,005	$0,009 \pm 0,005$	< 0,008	< 2	5	
уч. 24	$0,79 \pm 0,08$	0,4±0,01	32±6	17±1	$0,01 \pm 0,005$	$0,075 \pm 0,05$	$0,035 \pm 0,01$	< 1,5	30	
уч. 25	6,6±0,7	2,2±0,4	7,0 ± 1,4	23±1	0,52±0,1	1,0±0,2	0,6±0,12	30 ± 5	90	
МЗУА	0,1	1	10	1	10	10	100	10000		

 Π р и м е ч а н и е . * – суммарный показатель радиоактивного загрязнения – сумма отношений удельной активности РН к их минимально значимой удельной активности.

Оценка вертикального распределения радионуклидов

С целью определения глубины проникновения радионуклидов в толщу почвенного раствора и определения возможного объема загрязненного радионуклидами грунта были выбраны 3 участка, два из которых расположены в противоположных «сторонах», вблизи границ испытательной площадки 4 «А» (уч. № 1 и уч. № 17), третий участок (№ 5) расположен в непосредственной близости к центральной части испытательной площадки. Результаты исследований представлены в таблице (табл. 3). Распределение активности ¹³⁷Cs, ²⁴¹Am,

Распределение активности ¹³⁷Cs, ²⁴¹Am, ⁹⁰Sr, ¹⁵⁴Eu и ⁶⁰Co по глубине почвенного разреза на исследуемых участках показано на рисунке (рис. 3).

Как видно из приведенных рисунков, на участке № 17, с увеличением глубины почвенного профиля до 10 см, удельные активности ¹³⁷Cs, ²⁴¹Am, ¹⁵⁴Eu и ⁶⁰Co резко уменьшаются с дальнейшим выходом кривой на плато, что свидетельствует об акку-

мулировании данных радионуклидов в поверхностном слое почвы (0–10 см).

На участках локального загрязнения № 1 и № 5 удельная массовая активность ²⁴¹Am, ¹³⁷Cs, ⁶⁰Co и ¹⁵⁴Eu возрастает с глубиной отбора пробы до 10–15 см, затем происходит уменьшение удельных активностей.

Различие между распределением 241 Am, 137 Cs, 60 Co и 154 Eu в почвенном разрезе на участках № 1 и № 5, с одной стороны, и участком № 17, с другой, вероятнее всего свидетельствует об антропогенном воздействии, произошедшем на участках № 1 и № 5 при испытаниях БРВ либо уже после проведенных испытаний.

На участке локального загрязнения № 17 основная часть ⁹⁰Sr сосредоточена в верхнем органогенном слое почвы и постепенно уменьшается в глубину почвенного разреза (рис. 4). Такое распределение свидетельствует о высокой подвижности ⁹⁰Sr, находящегося преимущественно в водорастворимой и обменной формах.

Таблица 3 Удельная активность радионуклидов в почвенном профиле участков № 1, № 5 и № 17

	Глубина отбора, см							
Точка отбора			кБк/кг					
		²⁴¹ Am	¹³⁷ Cs	¹⁵² Eu	¹⁵⁴ Eu	¹⁵⁵ Eu	⁶⁰ Co	90Sr
	0–5	140 ± 50	170 ± 20	< 127	140 ± 30	160 ± 30	15 ± 3	3200 ± 300
	5–10	570 ± 60	530 ± 50	160 ± 30	390 ± 70	190 ± 40	18 ± 4	5700 ± 600
	10–15	1100 ± 100	860 ± 90	< 96	610 ± 120	240 ± 50	28 ± 6	7300 ± 700
1	15-20	140 ± 20	110 ± 10	< 57	80 ± 20	< 36	< 3,0	4000 ± 400
уч. 1	20-30	< 18	$7,0 \pm 2,0$	< 24	< 6,0	< 16	$2,4 \pm 0,5$	600 ± 60
	30–40	< 9,0	$4,0 \pm 2,0$	< 20	< 7,3	< 12	< 1,9	73 ± 8
	40-50	< 3,0	< 1,0	< 6,0	< 2,0	< 3	< 0,7	$8,1 \pm 1,3$
	50-60	< 2,5	$3,0 \pm 1,0$	13 ± 3	< 3,6	< 4,1	< 1,0	$6,5 \pm 1,0$
	0–5	100 ± 20	90 ± 10	84 ± 17	44 ± 9	< 72	$7,0 \pm 1,4$	1800 ± 200
	5-10	< 60	380 ± 40	85 ± 17	200 ± 40	< 68	11 ± 2	3000 ± 300
	10-15	850 ± 90	930 ± 90	< 57	560 ± 110	240 ± 50	29 ± 6	2900 ± 300
5	15-20	80 ± 20	80 ± 10	< 44	64 ± 13	38 ± 8	$4,0 \pm 0,8$	1400 ± 100
уч. 5	20-30	< 22	< 5,0	< 31	< 6,7	< 30	< 1,8	470 ± 50
	30–40	< 8,0	< 3,0	< 13	< 6,0	< 9,8	< 1,96	36 ± 4
	40-50	$3,0 \pm 1,0$	$1,4 \pm 0,5$	< 4	< 1,7	< 2	< 0,5	$6,2 \pm 1,1$
	50-60	< 1,0	< 0,7	< 3,2	< 1,3	< 1,6	< 0,4	$4,8 \pm 0,9$
	0–5	630 ± 60	240 ± 20	23 ± 5	370 ± 70	150 ± 30	16 ± 3	3000 ± 300
уч. 17	5–10	< 80	20 ± 10	< 110	60 ± 10	< 112	< 7,4	2700 ± 300
	10-15	< 32	$8,0 \pm 4,0$	< 45	13 ± 3	< 31	< 3	1400 ± 100
	15-20	< 16	< 3,0	< 21	< 5,7	< 21	$2,0 \pm 0,4$	330 ± 40
	20-30	< 12	< 4,0	< 21	< 7,3	23 ± 5	< 2,1	110 ± 10
	30–40	< 4,5	$7,0 \pm 1,0$	< 6,0	4 ± 0.8	5 ± 1	< 0,6	46 ± 6
	40-50	< 4,3	$4,0 \pm 1,0$	< 9,7	< 4,3	< 6,0	< 1,24	15 ± 2
	50–60	$6,0 \pm 3,0$	$5,0 \pm 1,0$	< 8	< 3	< 4	< 1,0	14 ± 2

На участках локального загрязнения № 1 и № 5, с увеличением глубины почвенного отбора до 10–15 см, происходит увеличение удельной активности 90 Sr, далее удельная активность резко снижается.

Можно было бы предположить, конечно, что при проведении испытаний на участках № 1 и № 5 условия окружающей среды способствовали именно такому перераспределению радионуклидов. Например, если испытания проводились в сильный ливень, либо период весенней распутицы, то радиоактивная рецептура вполне могла проникнуть вместе с потоками воды вглубь почвы. Это, конечно, маловероятно ввиду наличия в почве геохимических барьеров различного типа [10, 11], а также способности твердой фазы почвы к одновременному поглощению катионов, анионов и нейтральных молекул [12], но, конечно, возможно.

В литературе [13], например, имеется упоминание о сложном характере распределения ⁹⁰Sr в почвенном покрове испытательной площадки «Опытное поле», где в ряде случаев содержание ⁹⁰Sr в слое 10–15 и 15–20 см больше, чем в слое 5–10 см.

Однако повышенное, по сравнению с поверхностным слоем, содержание радионуклидов 241 Am, 137 Cs, 152,154,155 Eu и 60 Co на

одной глубине (10–15 см, рис. 3) указывает именно на искусственное происхождение этой аномалии. В противном случае ввиду различия в химических свойствах данных радионуклидов их вертикальное распределение носило бы иной характер (природный). Наиболее вероятно, что антропогенное воздействие на участках № 1 и № 5 связано с перепашкой почвы.

Глубина залегания загрязненного грунта, отнесенного к ТРО, на данных участках составила порядка 30 см. При проведении возможных рекультивационных мероприятий объем радиоактивного грунта, который необходимо будет изъять с 1 квадратного метра площади, равен 0,3 м³, массой 480 кг (при $\rho_{\text{почвы}} = 1600 \text{ кг/м}^3$).

Для характеристики имеющихся участков радиоактивного загрязнения по возможному источнику поступления был проведен анализ изотопных отношений.

Было сделано предположение, что некоторые участки образованы в результате одного испытания. В случае подтверждения данного предположения это в какой-то мере облегчило бы и предопределило дальнейшие исследования. Так, например, отпала бы необходимость проведения в будущем исследований на всех участках.

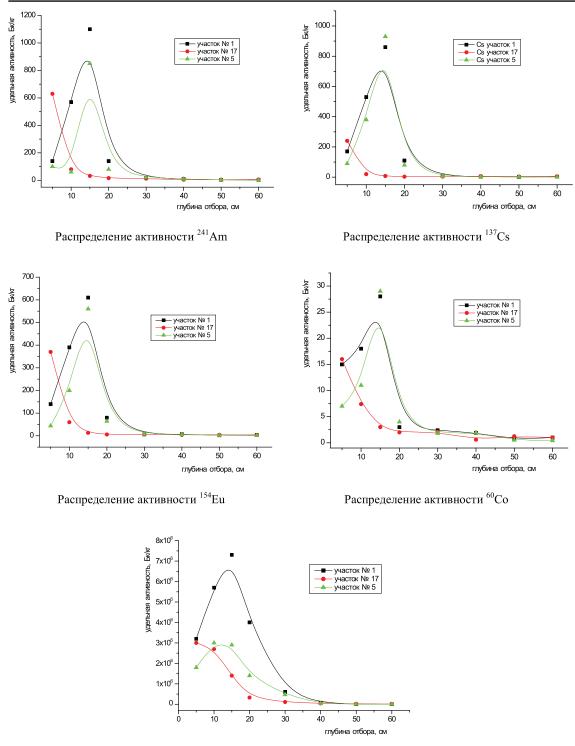


Рис. 3. Распределение активности радионуклидов по глубине

Отношение активностей радионуклидов к активности ⁹⁰Sr для верхнего слоя почвы исследуемых участков (0–10 см) представлено в таблице (табл. 4).

В результате изучения изотопных отношений радионуклидов выявлены участки, имеющие схожие изотопные отношения для всего ряда элементов, от ²³⁹⁺²⁴⁰Pu до ⁶⁰Co

(рис. 5). Участки, имеющие близкие изотопные отношения, выделены заштрихованными областями одного цвета. Данные участки находятся как в непосредственной близости друг к другу, так и на достаточно большом расстоянии. Близость изотопных соотношений во втором случае указывает лишь на схожий состав радиоактивных

веществ, использованных при испытаниях. Предположение же об одном проведенном испытании для близко расположенных

участков не подтверждается ввиду различного направления осей следов радиоактивного загрязнения.

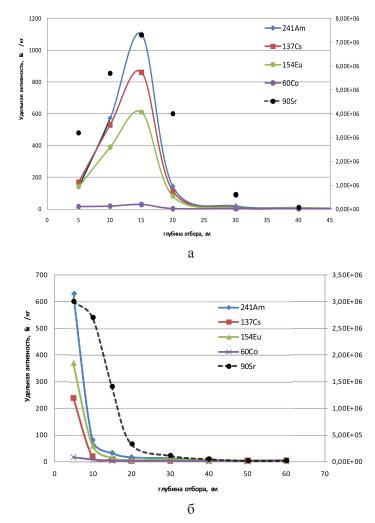


Рис. 4. Распределение радионуклидов в пределах участка № 1 (а) и № 17 (б).

 Таблица 4

 Изотопные отношения радионуклидов в пробах почвы, отобранных на исследуемых участках

Номер участка	^{239 + 240} Pu	¹³⁷ Cs	²⁴¹ Am	¹⁵⁴ Eu	¹⁵² Eu	¹⁵⁵ Eu	⁶⁰ Co
1	2	3	4	5	6	7	8
уч. 1	180 ± 30	23 ± 3	11 ± 2	5 ± 1	$1,7 \pm 0,4$	$2,1 \pm 0,7$	$0,21 \pm 0,07$
уч. 2	90 ± 30	11 ± 3	12 ± 3	6 ± 2	6 ± 2	$2,5 \pm 0,7$	< 0,3
уч. 3	140 ± 14	$8,3 \pm 2,4$	12 ± 4	5 ± 2	$3 \pm 0,4$	$2,5 \pm 0,5$	0.3 ± 0.09
уч. 4	111 ± 23	12 ± 4	10 ± 3	8 ± 2	7 ± 2	< 3,7	< 0,9
уч. 5	50 ± 10	$2,2 \pm 0,4$	4 ± 2	$2,2 \pm 0,6$	0.6 ± 0.4	< 2,2	< 0,17
уч. 6	1300 ± 400	2000 ± 330	25 ± 7	< 3	< 2,5	< 4,2	< 0,8
уч. 7	1300 ± 500	3000 ± 1000	50 ± 14	< 6	< 5,7	< 11,4	< 2,1
уч. 8	220 ± 50	7 ± 2	25 ± 7	14 ± 4	20 ± 6	6 ± 2	$1,3 \pm 0,4$
уч. 9	140 ± 40	19 ± 6	19 ± 6	8 ± 2	< 7,2	< 9,7	4 ± 1
уч. 10	170 ± 30	6 ± 2	18 ± 6	10 ± 3	12 ± 4	< 2,7	< 0,7
уч. 11	90 ± 20	30 ± 10	11 ± 3	6 ± 2	5 ± 2	< 1,3	< 0,3
уч. 12	2300 ± 800	200 ± 70	90 ± 30	54 ± 20	60 ± 20	23 ± 8	< 1,2

						0 11011 11	
1	2	3	4	5	6	7	8
уч. 13	30 ± 7	$1,2 \pm 0,3$	4 ± 1	3 ± 1	3 ± 1	1 ± 0.3	0.11 ± 0.03
уч. 14	100 ± 30	23 ± 7	13 ± 4	6 ± 2	< 4,1	6 ± 2	< 1,3
уч. 15	400 ± 200	18 ± 2	55 ± 6	30 ± 3	$12 \pm 1,4$	$1,2 \pm 0,2$	$1,1 \pm 0,2$
уч. 16	500 ± 40	9 ± 3	33 ± 8	18 ± 4	20 ± 5	0.6 ± 0.1	0.7 ± 0.2
уч. 17	160 ± 30	5 ± 1	13 ± 3	8 ± 2	< 0,7	$2,2 \pm 1,4$	< 0,3
уч. 18	140 ± 20	$3,7 \pm 1,1$	5 ± 2	8 ± 2	2 ± 1	< 2,4	< 0,7
уч. 19	140 ± 30	10 ± 4	9 ± 3	6 ± 2	< 1,1	< 2,1	< 0,4
уч. 20	200 ± 30	$7,7 \pm 1,1$	10 ± 1	5 ± 1	3 ± 0.5	$2,4 \pm 0,6$	< 0,1
уч. 21	920 ± 140	5200 ± 1500	70 ± 20	15 ± 5	6 ± 1	7 ± 2	0.8 ± 0.3
уч. 22	1500 ± 200	1800 ± 500	24 ± 7	8 ± 2	< 1,5	< 3	< 0,6
уч. 23	500 ± 300	770 ± 80	< 8	3 ± 2	< 1,6	< 2,6	< 0,7
уч. 24	2200 ± 340	4100 ± 1200	51 ± 6	9 ± 7	$1,3 \pm 0,8$	4 ± 2	< 0,19

Окончание табл. 4

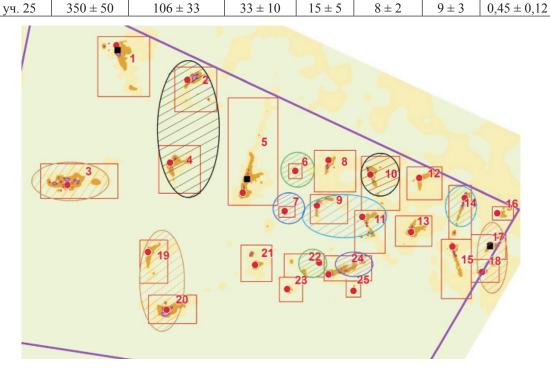


Рис. 5. Участки радиоактивного загрязнения, имеющие близкий изотопный состав для всего ряда рассматриваемых радионуклидов

Вместе с тем имеются участки, которые, несмотря на то, что расположены достаточно близко друг к другу, имеют различное изотопное соотношение. Вероятнее всего на данных участках проводились испытания БРВ различного состава, либо имело место наложение радиоактивного загрязнения при неоднократных испытаниях. Также необходимо иметь в виду близость изотопных отношений в разных группах с возможностью отнесения некоторых участков одновременно к той или иной группе.

Заключение

• Уровни радиоактивного загрязнения исследуемых участков отличаются друг от

друга на несколько порядков. Основным загрязнителем является ⁹⁰Sr, однако существенный вклад в радиационную опасность вносит также активность изотопов плутония. Работы по рекультивации почвенного покрова следует проводить, начиная с участков с максимальным значением суммарного радиоактивного загрязнения (участки № 18, № 13 и т.д.).

• Обнаружены как участки, на которых проводились рекультивационные мероприятия, так и участки с ненарушенным почвенным покровом, что, конечно же, меняет картину радиоактивного загрязнения почвенного покрова. Целесообразно проведение исследований по вертикальному рас-

пределению радионуклидов на остальных участках.

• Предположение о возможности образования некоторых участков радиоактивного загрязнения в результате одного испытания не подтвердилось. Это позволяет сделать вывод, что участки радиоактивного загрязнения образованы в результате проведения независимых друг от друга испытаний БРВ.

Список литературы

- 1. Логачев В.А. Ядерные испытания СССР: современное радиоэкологическое состояние полигонов. М.: Изд.АТ, $2002.-639\ c.$
- 2. Логачев В.А. Радиоэкологические последствия испытаний боевых радиоактивных веществ (БРВ) на бывшем Семипалатинском полигоне // Вестник НЯЦ РК. 2002. Вып. 3. С. 62–67.
- 3. Обеспечение безопасности бывшего Семипалатинского испытательного полигона: отчет о РБП 011(информационный) / ДГП ИРБЭ РГП НЯЦ РК; рук. Птицкая Л.Д. Курчатов: ИРБЭ, 2005.
- 4. Обеспечение безопасности бывшего Семипалатинского испытательного полгона отчет о РБП 011(информационный) / ДГП ИРБЭ РГП НЯЦ РК; рук. Лукашенко С.Н. Курчатов: ИРБЭ, 2007.
- 5. 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.
- 6. Методика измерения активности радионуклидов с использованием сцинтилляционного бета-спектрометра с программным обеспечением «Прогресс»: КZ.07.00.00303-2004. Менделеево: ГНМЦ «ВНИИФТРИ», 2004. 30 с.
- 7. Методика определения содержания искусственных радионуклидов Pu239+240 и Sr90 в объектах окружающей среды (почвах, грунтах, донных отложениях и растениях): KZ.07.00.00471-2005. Алматы: Изд-во стандартов, 2010. 24 с.
- 8. Об утверждении гигиенических нормативов «Санитарно-эпидемиологические требования к обеспечению радиационной безопасности»: постановление Правительства Республики Казахстан от 3 февраля 2012 года № 201.
- 9. Об утверждении санитарных правил «Санитарноэпидемиологические требования к радиационно-опасным объектам»: постановление Правительства Республики Казахстан от 11 марта 2012 года № 308.
- 10. Беус А.А. Геохимия окружающей среды / А.А. Беус, Л.И. Грабовская, Н.В. Тихонова. М.: Недра, 1976. 248 с.
- 11. Алексеенко В.А. Геохимические барьеры / В.А. Алексеенко, Л.П. Алексеенко. М.: Логос, 2003. 144 с.
- 12. Геохимия техногенных радионуклидов. Украины, Киев: Наукова Думка, 2002. 332 с.
- 13. Артемьев О.И. Современная радиационная обстановка на Семипалатинском испытательном полигоне / О.И. Артемьев, Ю.Г. Стрильчук, К.Ш. Жумадилов, В.Н. Ларин // Вестник НЯЦ РК. 2000. Вып. 3. С. 35—44.

References

- 1. Logachev V.A. Nuclear tests of USSR: current radioecological condition of test sites. Moscow. Printing house AT, 2002. pp. 639.
- 2. Logachev V.A. Radioecological consequences of testing of warfare radioactive agents (WRA) at the former Semi-palatinsk Test site. Logachev V.A. Bulletin of NNC RK. 2002. Issue 3. pp. 62–67.
- 3. Safety provision at the former Semipalatinsk Test Site: Report on Republican budget program 011 (status report). ASE IRSE RSE NNC RK; led by Ptitskaya L.D. Kurchatov: IRSE, 2005.
- 4. Safety provision at the former Semipalatinsk Test Site: Report on Republican budget program 011 (status report). ASE IRSE RSE NNC RK; led by Lukashenko S.N. Kurchatov: IRSE, 2007.
- 5. Radionuclides' activity in volumetric samples. Measurement procedure for MI 2143-91 gamma spectrometer. Introduction 1998-06-02. Reg. no. 5.06.001.98. Moscow. SPA ARSRIPTRTM, 1991. pp. 17
- 6. Procedure of radionuclides activity measurement using scintillation beta spectrometer with software «Progress»: KZ.07.00.00303-2004. Mendeleevo: MSMC «ARSRIPTRTM», 2004. pp. 30.
- 7. Procedure of determination of $Pu^{239+240}$ μ Sr^{90} artificial radionuclides content in environmental objects (soil, ground, bottom sediments and plants): KZ.07.00.00471-2005. Almaty: Printing house of standards, 2010. pp. 24.
- 8. Resolution of the Government of the Republic of Kazakhstan dated February 3, 2012 no. 201 «Sanitary requirements for radiation safety».
- 9. Resolution of the Government of the Republic of Kazakhstan dated March 11, 2012 no. 308 «Sanitary requirements for radiation-hazardous facilities». Beus A.A. Environmental geochemistry Beus A.A. Grabovskaya L.I, Tikhonova N.V. Moscow: Nedra, 1976. pp. 248.
- 10. Beus A.A. Geohimija okruzhajushhej sredy / A.A. Beus, L.I. Grabovskaja, N.V. Tihonova. M.: Nedra, 1976. 248 p.
- 11. Alexeenko V.A., Alexeenko L.P. «Geochemical barriers». Moscow: Logos, 2003. pp. 144.
- 12. Geochemistry of artificial radionuclides. Ukraine, Kiev. Naukova Dumka, 2002. pp. 332
- 13. Artemyev O.I. Current radiation situation at Semipalatinsk Test Site. Artemyev O.I., Strilchuk Yu.G., Zhumadilov K.Sh, Larin V.N. NNC RK Bulletin. 2000. Issue. 3 pp. 35–44.

Рецензенты:

Кожебаев Б.Ж., д.с.-х.н., декан аграрного факультета Семипалатинского государственного университета им. Шакарима, г. Семей;

Арынова Р.А., д.б.н., профессор кафедры животноводства и охотоведения с основами морфологии Семипалатинского государственного университета им. Шакарима, г. Семей.

Работа поступила в редакцию 11.04.2014.