

УДК 504.3.054:539.16

ИССЛЕДОВАНИЯ СОДЕРЖАНИЯ ЕСТЕСТВЕННЫХ И ИСКУССТВЕННЫХ РАДИОНУКЛИДОВ В ВОЗДУХЕ СТЕПНОЙ ЗОНЫ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

¹⁾ Турченко Д.В., ²⁾ Кабдыракова А.М., ¹⁾ Круглыхин А.А.

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

²⁾ РГП «Национальный Ядерный Центр Республики Казахстан», Курчатов, Казахстан

В статье представлены обобщенные результаты по оценке уровней и характера радиоактивного загрязнения воздушной среды естественными и искусственными радионуклидами (ЕРН и ИРН) на территории Республики Казахстан для типичной ландшафтной единицы – степной зоны. Применен метод теоретической оценки объемной активности ИРН в воздушной среде. Установлено, что содержание в воздухе ^{40}K варьирует от $6,5 \times 10^{-6}$ до $9,5 \times 10^{-5}$ Бк/м³, ^{226}Ra – от $2,5 \times 10^{-6}$ до $5,0 \times 10^{-5}$ Бк/м³, ^7Be – от $9,0 \times 10^{-4}$ до $4,5 \times 10^{-3}$ Бк/м³, ^{210}Pb – от $1,0 \times 10^{-4}$ до $8,5 \times 10^{-4}$ Бк/м³, $^{239+240}\text{Pu}$ – от $<1,0 \times 10^{-7}$ до $7,3 \times 10^{-7}$ Бк/м³. Результаты теоретической оценки показали, что расчетные значения объемной активности радионуклида ^{232}Th достигают $1,8 \times 10^{-6}$ Бк/м³, ^{241}Am – $1,1 \times 10^{-8}$ Бк/м³, ^{137}Cs – $1,4 \times 10^{-6}$ Бк/м³, ^{90}Sr – $2,0 \times 10^{-7}$. Данные, полученные по фоновым концентрациям радионуклидов в воздухе, входят в диапазоны значений международных мониторинговых наблюдений и в дальнейшем могут быть использованы в качестве базовых показателей для оценки изменения качества воздушной среды.

ВВЕДЕНИЕ

При оценке влияния на окружающую среду того или иного ядерного события, произошедшего в мире, необходимо иметь представление о текущих уровнях содержания естественных и искусственных радионуклидов (ЕРН и ИРН) в объектах окружающей среды, так называемых фоновых уровнях.

В результате природных климатических процессов глобальные радиоактивные выпадения, находящиеся на поверхности почвенного покрова, непрерывно подвергаются процессам эрозии и равномерно перераспределяются в окружающей среде [1]. ЕРН находятся в любой из природных сред (почва, растения, вода, воздух). Радионуклиды ^{40}K , ^{234}Th , ^{226}Ra находятся в почве, растениях и воде. Радионуклид ^{210}Pb поступает из почвы в результате распада радона, ^7Be является космогенным и перераспределяется из верхних слоев атмосферы. ИРН в окружающую среду поступили в результате выпадений глобальных радиоактивных осадков при проведении ядерных испытаний, возникновении радиационных аварий на объектах ЯТЦ, других радиационных событий и инцидентов в мире. Согласно данным, предоставленным научным комитетом Организации Объединенных Наций (ООН) по воздействию атомной радиации, большинство выпадений произошло в северном полушарии (около 77%), оставшаяся часть (23%) – в южном полушарии [2]. Следует отметить, что максимальное количество радиоактивных выпадений в северном полушарии приходится на широту от 40° до 50° . В данном диапазоне широт расположена территория Республики Казахстан.

В данной статье представлены результаты исследования фонового содержания ЕРН и ИРН в воздухе на территории Республики Казахстан для типичной ландшафтной единицы – степной зоны. По результа-

там исследования распределения ИРН в гранулометрических фракциях почвы проведен теоретический расчет возможного содержания ИРН в воздухе. Проведен сравнительный анализ экспериментальных данных и теоретического расчета.

Полученные данные позволят в дальнейшем оценить возможное влияние деятельности радиационно-опасных объектов и инцидентов в мире на территории Республики Казахстан.

1 МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Определение фоновых уровней ЕРН и ИРН в атмосферном воздухе проводилось двумя методами: экспериментальным и расчетным (теоретический). Экспериментальные исследования заключались в проведении отбора проб воздушных аэрозолей и определении объемной активности радионуклидов в отобранных пробах гамма-спектрометрическим и радиохимическим методами.

Для определения фоновых уровней ЕРН и ИРН в атмосферном воздухе были заложены исследовательские профили на 65-м, 70-м и 75-м меридианах восточной долготы (в. д.) в пределах степной зоны на территории Республики Казахстан. Профили, заложенные вдоль 70 и 75 меридианов, проходят преимущественно по территориям Акмолинской, Карагандинской и Павлодарской областей, частично затрагивают территорию Северо-Казахстанской области, профиль на 65 меридиане расположен на территории Костанайской области.

На каждом профиле заложено 5 исследовательских участков, на которых проводился отбор проб воздушных аэрозолей. Всего за период исследований отобрано 15 проб воздушных аэрозолей. Карта расположения исследовательских профилей и участков представлена на рисунке.

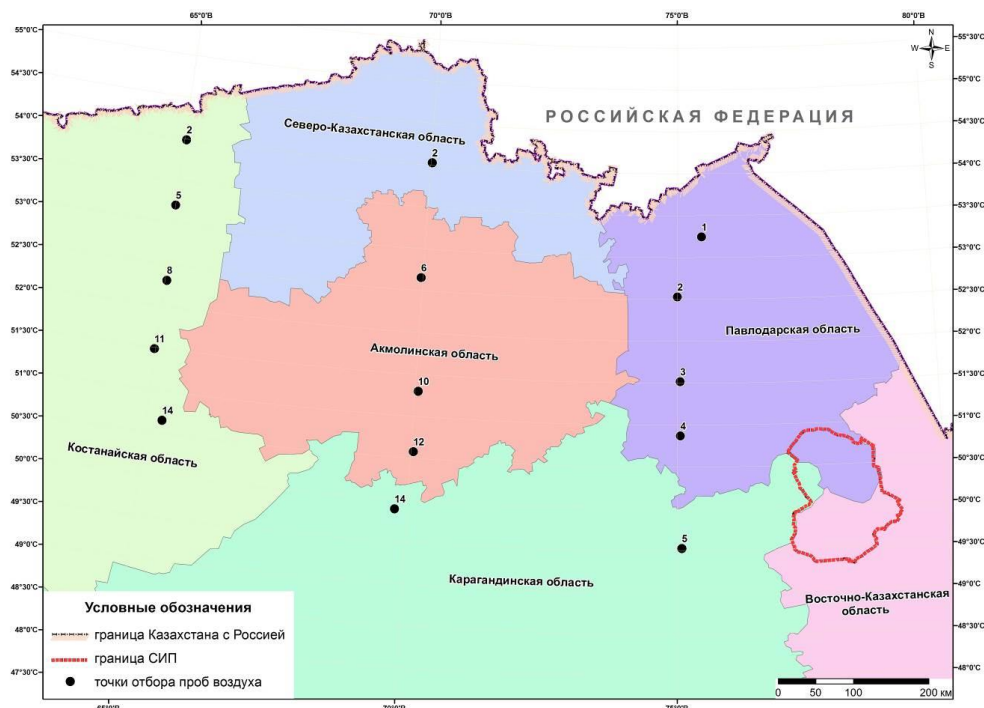


Рисунок. Карта расположения исследовательских участков на 65-ом, 70-ом и 75-ом меридианах территории степной зоны Республики Казахстан

Отбор проб воздушных аэрозолей проводился стационарным пробоотборником воздуха «Бриз», производительностью 1500 м³/ч. Для достижения численных значений естественных и техногенных радионуклидов в воздухе отбор проб воздушных аэрозолей проводился непрерывно на протяжении 14–16 часов, объем прокачанного воздуха составлял не менее 25 000 м³.

Каждая отобранная проба воздуха подготавливалась в лабораторных условиях методом озонения и анализировались гамма-спектрометрическим методом на содержание искусственных (²⁴¹Am, ¹³⁷Cs) и естественных (⁴⁰K, ²²⁶Ra, ²³²Th, ⁷Be, ²¹⁰Pb) радионуклидов. После проведения гамма-спектрометрического анализа пробы воздушных аэрозолей анализировались радиохимическим методом на содержание радионуклидов ⁹⁰Sr и ²³⁹⁺²⁴⁰Pu.

Расчет объемной активности радионуклидов в атмосферном воздухе проводился по следующей формуле:

$$C_{air} = C_{soil} \cdot K_O \cdot \rho_{sus}, \quad (1)$$

где: C_{air} – объемная активность радионуклидов в воздухе, Бк/м³; C_{soil} – удельная активность радионуклидов в почве, Бк/кг; K_O – коэффициент обогащения для фракции почвы размером <8 мкм; ρ_{sus} – запыленность воздуха, кг/м³.

K_O (коэффициент обогащения) фракции – это безразмерный показатель, определяемый отношением удельной активности радионуклида во фракции к его удельной активности в почве.

Для расчетов использованы данные о средней удельной активности радионуклидов в верхнем 5 см слое почвы и максимальное значение K_O для фракции почвы размером <8 мкм, полученные в ходе проведения научно-исследовательской работы «Исследование базовых характеристик радионуклидного загрязнения почвы и воздуха» [3, 4].

Использование в расчете данных для фракции почвы размером <8 мкм обусловлено тем, что она в наибольшей степени может характеризовать ингаляционную фракцию воздушных аэрозолей (<10 мкм) [5, 6].

Для определения запыленности воздуха в местах отбора проб воздуха проводилось измерение концентрации взвешенных аэрозольных частиц по фракциям с размерами <10 мкм (PM10) с помощью анализатора размеров аэрозольных частиц *DustTrack*. Также с периодичностью 5 мин измерялись метеорологические параметры (скорость и направление ветра, относительная влажность и температура) с применением метеорологической станции *Davis*.

2 РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

2.1 Исследования фоновых уровней естественных и искусственных радионуклидов в воздухе на территории РК

Результаты объемной активности ЕРН и ИРН на территории степной зоны Казахстана представлены в таблицах 1 и 2.

Согласно полученным экспериментальным данным, независимо от области Казахстана объемная активность ЕРН в воздушной среде находится на уровне природного фона.

**ИССЛЕДОВАНИЯ СОДЕРЖАНИЯ ЕСТЕСТВЕННЫХ И ИСКУССТВЕННЫХ РАДИОНУКЛИДОВ
В ВОЗДУХЕ СТЕПНОЙ ЗОНЫ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН**

Таблица 1. Результаты объемной активности ЕРН на исследуемой территории

Точка отбора	Объемная активность радионуклидов, Бк/м ³				
	⁴⁰ K	²²⁶ Ra	²³² Th	⁷ Be	²¹⁰ Pb
65-ый меридиан					
2	$3,5 \times 10^{-5} \pm 0,4 \times 10^{-5}$	$3,0 \times 10^{-5} \pm 0,3 \times 10^{-5}$	$< 5,0 \times 10^{-6}$	$3,0 \times 10^{-3} \pm 0,3 \times 10^{-3}$	$7,0 \times 10^{-4} \pm 0,7 \times 10^{-4}$
5	$< 2,0 \times 10^{-5}$	$5,0 \times 10^{-5} \pm 0,5 \times 10^{-5}$	$< 6,0 \times 10^{-6}$	$4,5 \times 10^{-3} \pm 0,5 \times 10^{-3}$	$8,5 \times 10^{-4} \pm 0,9 \times 10^{-4}$
8	$4,0 \times 10^{-5} \pm 0,4 \times 10^{-5}$	$< 5,0 \times 10^{-6}$	$< 5,0 \times 10^{-6}$	$3,5 \times 10^{-3} \pm 0,4 \times 10^{-3}$	$1,0 \times 10^{-4} \pm 0,1 \times 10^{-4}$
11	$< 1,0 \times 10^{-5}$	$< 5,0 \times 10^{-6}$	$< 3,0 \times 10^{-6}$	$1,5 \times 10^{-3} \pm 0,2 \times 10^{-3}$	$3,0 \times 10^{-4} \pm 0,3 \times 10^{-4}$
14	$< 6,5 \times 10^{-6}$	$1,5 \times 10^{-5} \pm 0,2 \times 10^{-5}$	$< 2,0 \times 10^{-6}$	$1,0 \times 10^{-3} \pm 0,1 \times 10^{-3}$	$4,0 \times 10^{-4} \pm 0,4 \times 10^{-4}$
70-ый меридиан					
2	$1,5 \times 10^{-5} \pm 0,2 \times 10^{-5}$	$< 5,0 \times 10^{-6}$	$< 4,0 \times 10^{-6}$	$1,5 \times 10^{-3} \pm 0,2 \times 10^{-3}$	$1,5 \times 10^{-4} \pm 0,2 \times 10^{-4}$
6	$< 7,0 \times 10^{-6}$	$< 3,0 \times 10^{-6}$	$< 2,0 \times 10^{-6}$	$1,5 \times 10^{-3} \pm 0,2 \times 10^{-3}$	$2,0 \times 10^{-4} \pm 0,2 \times 10^{-4}$
10	$< 7,0 \times 10^{-6}$	$< 3,0 \times 10^{-6}$	$< 2,0 \times 10^{-6}$	$9,0 \times 10^{-4} \pm 1,0 \times 10^{-4}$	$2,0 \times 10^{-4} \pm 0,2 \times 10^{-4}$
12	$< 1,0 \times 10^{-5}$	$< 5,0 \times 10^{-6}$	$< 3,5 \times 10^{-6}$	$3,0 \times 10^{-3} \pm 0,3 \times 10^{-3}$	$4,5 \times 10^{-4} \pm 0,5 \times 10^{-4}$
14	$9,5 \times 10^{-5} \pm 1,0 \times 10^{-5}$	$< 4,0 \times 10^{-6}$	$< 6,5 \times 10^{-6}$	$2,5 \times 10^{-3} \pm 0,3 \times 10^{-3}$	$4,0 \times 10^{-4} \pm 0,4 \times 10^{-4}$
75-ый меридиан					
1	$< 9,0 \times 10^{-6}$	$< 3,0 \times 10^{-6}$	$< 2,0 \times 10^{-6}$	$1,5 \times 10^{-3} \pm 0,2 \times 10^{-3}$	$2,0 \times 10^{-4} \pm 0,2 \times 10^{-4}$
2	$7,5 \times 10^{-6} \pm 1,0 \times 10^{-6}$	$< 3,0 \times 10^{-6}$	$< 2,0 \times 10^{-6}$	$2,0 \times 10^{-3} \pm 0,2 \times 10^{-3}$	$4,0 \times 10^{-4} \pm 0,4 \times 10^{-4}$
3	$< 1,0 \times 10^{-5}$	$< 4,0 \times 10^{-6}$	$< 3,0 \times 10^{-6}$	$3,5 \times 10^{-3} \pm 0,4 \times 10^{-3}$	$3,0 \times 10^{-4} \pm 0,3 \times 10^{-4}$
4	$< 6,5 \times 10^{-6}$	$< 2,5 \times 10^{-6}$	$< 2,0 \times 10^{-6}$	$3,0 \times 10^{-3} \pm 0,3 \times 10^{-3}$	$2,0 \times 10^{-4} \pm 0,2 \times 10^{-4}$
5	$< 1,0 \times 10^{-5}$	$< 5,0 \times 10^{-6}$	$< 3,0 \times 10^{-6}$	$2,0 \times 10^{-3} \pm 0,2 \times 10^{-3}$	$2,0 \times 10^{-4} \pm 0,2 \times 10^{-4}$
ДОНАС	не нормируется				

Таблица 2. Результаты объемной активности ИРН на исследуемой территории

Точка отбора	Объемная активность радионуклидов, Бк/м ³			
	²⁴¹ Am	¹³⁷ Cs	²³⁹⁺²⁴⁰ Pu	⁹⁰ Sr
65-ый меридиан				
2	$< 7,5 \times 10^{-7}$	$< 3,5 \times 10^{-7}$	—*	—*
5	$< 2,5 \times 10^{-7}$	$< 5,0 \times 10^{-7}$	$2,1 \times 10^{-7} \pm 1,1 \times 10^{-7}$	$< 3,7 \times 10^{-6}$
8	$< 5,5 \times 10^{-7}$	$< 3,5 \times 10^{-7}$	$7,3 \times 10^{-7} \pm 3,2 \times 10^{-7}$	$< 4,2 \times 10^{-6}$
11	$< 3,5 \times 10^{-7}$	$< 3,5 \times 10^{-7}$	$6,6 \times 10^{-7} \pm 2,3 \times 10^{-7}$	$< 2,8 \times 10^{-6}$
14	$< 3,0 \times 10^{-7}$	$< 4,0 \times 10^{-7}$	$2,9 \times 10^{-7} \pm 1,8 \times 10^{-7}$	$< 3,2 \times 10^{-6}$
70-ый меридиан				
2	$< 4,5 \times 10^{-7}$	$< 6,5 \times 10^{-7}$	$4,3 \times 10^{-7} \pm 2,3 \times 10^{-7}$	$< 0,2 \times 10^{-5}$
6	$< 3,0 \times 10^{-7}$	$< 5,0 \times 10^{-7}$	$5,1 \times 10^{-7} \pm 2,8 \times 10^{-7}$	$< 1,5 \times 10^{-5}$
10	$< 2,5 \times 10^{-7}$	$< 3,5 \times 10^{-7}$	$< 1,0 \times 10^{-7}$	$< 0,2 \times 10^{-5}$
12	$< 5,0 \times 10^{-7}$	$< 8,0 \times 10^{-7}$	$< 5,8 \times 10^{-7}$	$< 0,4 \times 10^{-5}$
14	$< 6,0 \times 10^{-7}$	$< 9,0 \times 10^{-7}$	$< 4,3 \times 10^{-7}$	$< 0,2 \times 10^{-5}$
75-ый меридиан				
1	$< 4,6 \times 10^{-7}$	$< 5,0 \times 10^{-7}$	$3,9 \times 10^{-7} \pm 1,2 \times 10^{-7}$	$< 1,6 \times 10^{-5}$
2	$< 3,0 \times 10^{-7}$	$< 3,5 \times 10^{-7}$	$6,3 \times 10^{-7} \pm 3,3 \times 10^{-7}$	$< 0,2 \times 10^{-5}$
3	$< 5,0 \times 10^{-7}$	$< 5,5 \times 10^{-7}$	$6,1 \times 10^{-7} \pm 3,3 \times 10^{-7}$	$< 1,0 \times 10^{-5}$
4	$< 3,0 \times 10^{-7}$	$< 3,5 \times 10^{-7}$	$< 8,7 \times 10^{-7}$	$< 0,2 \times 10^{-5}$
5	$< 4,5 \times 10^{-7}$	$< 5,0 \times 10^{-7}$	$< 7,0 \times 10^{-7}$	$< 0,4 \times 10^{-5}$
ДОНАС	$2,9 \cdot 10^{-3}$	27	$2,5 \cdot 10^{-3}$	2,7

Примечание: * — в работе

Диапазон объемной активности естественных радионуклидов на территории Казахстана составил: для ⁴⁰K — от $6,5 \times 10^{-6}$ до $9,5 \times 10^{-5}$ Бк/м³, для ²²⁶Ra — от $2,5 \times 10^{-6}$ до $5,0 \times 10^{-5}$ Бк/м³, для ²³²Th — $< 6,5 \times 10^{-6}$ Бк/м³, для ⁷Be — от $9,0 \times 10^{-4}$ до $4,5 \times 10^{-3}$ Бк/м³, для ²¹⁰Pb — от $1,0 \times 10^{-4}$ до $8,5 \times 10^{-4}$ Бк/м³.

Содержание искусственных радионуклидов ²⁴¹Am, ¹³⁷Cs и ⁹⁰Sr в воздухе территории Казахстана

находится на уровне предела обнаружения используемого аппаратно-методического обеспечения. Содержание радионуклида ²³⁹⁺²⁴⁰Pu в воздухе варьирует от $< 1,0 \times 10^{-7}$ до $7,3 \times 10^{-7}$ Бк/м³, что 3 порядка ниже допустимой объемной активности для категории население (ДОНАС), установленной гигиеническими нормативами [7].

Таблица 3. Средние значения (арифметическое) удельной активности некоторых ЕРН и ИРН в почве

Место отбора	Удельная активность, Бк/кг (M±SEM)*							
	¹³⁷ Cs	²⁴¹ Am	²³⁹⁺²⁴⁰ Pu	⁹⁰ Sr	⁴⁰ K	²³² Th	²²⁶ Ra	²¹⁰ Pb
65 меридиан	12±2	0,2±0,04	0,8±0,2	2,6±0,4	497±27	34±2	35±2	65±4
70 меридиан	18±4	0,3±0,1	0,7±0,1	3,3±1,3	577±28	36±2	33±1	85±7
75 меридиан	16±3	0,3±0,04	0,6±0,1	4,7±0,7	663±61	34±2	31±3	71±5

Примечание: * — M – арифметическое среднее, SEM – стандартная ошибка среднего

2.2 Теоретическая оценка содержания ЕРН и ИРН в воздухе

Теоретическая оценка проводилась с целью получения количественных данных об ожидаемой объемной активности ЕРН и ИРН в воздушной среде, так как в результате экспериментальных исследований для большинства исследуемых радионуклидов не удалось получить численные значения их концентрации в воздухе.

Данные о средней удельной активности исследуемых ЕРН и ИРН в поверхностном слое почвы (5 см), значения K_0 фракций размером <8 мкм, а также результаты измерения запыленности атмосферного воздуха, использованные для расчета, представлены в таблице 3.

Из данных таблицы видно, что средние значения удельной активности некоторых радионуклидов в почвах, отобранных по профилю вдоль 65 меридиана, несколько ниже, нежели в остальных профилях. Тем не менее, данные значения довольно близки, что может свидетельствовать об относительной равномерности характера пространственного распределения ЕРН и ИРН в исследуемых почвах. Среднее содержание радионуклидов ⁴⁰K, ²³²Th и ²²⁶Ra в исследуемых почвах, согласуется с данными, установленными ранее для почв Казахстана (⁴⁰K – 100–1200 Бк/кг, ²³²Th – 4–88 Бк/кг и ²²⁶Ra – 12–120 Бк/кг [8]), а ¹³⁷Cs, ⁹⁰Sr и ²³⁹⁺²⁴⁰Pu – с данными, полученными для глобальных выпадений на северном полушарии (4–29 Бк/кг, 1–19 Бк/кг и 0,02–5,0 Бк/кг соответственно [9]).

Таблица 4. Максимальные значения K_0 во фракциях почвы размером <8 мкм, установленные в степной зоне (по 70 и 75 меридианам в. д.)

K_0							
¹³⁷ Cs	²⁴¹ Am	²³⁹⁺²⁴⁰ Pu	⁹⁰ Sr	⁴⁰ K	²³² Th	²²⁶ Ra	²¹⁰ Pb
5,0	2,4	4,2	2,7	2,4	3,1	5,3	3,2

Представленные в таблице 4 данные указывают на то, что в тонкодисперсных фракциях почв происходит значительная аккумуляция исследуемых ЕРН и ИРН. Преимущественная аккумуляция ИРН в тонкодисперсных фракциях почвы может свидетельствовать о том, что основным источником их поступления являются глобальные выпадения. Анализ литературных данных показал, что такое распределение ИРН по гранулометрическим фракциям почвы харак-

терно для почв с «фоновым» содержанием радионуклидов, т.е. для глобальных выпадений [10–14].

Результаты проведенных измерений (таблица 5) показали, что на исследуемой территории, в условиях степной местности, концентрация взвешенных частиц PM10 в воздухе зависит от значения скорости ветра. При средней скорости ветра от 0,1 до 0,5 м/с наблюдается минимальная концентрация взвешенных частиц в воздухе от 7,6 до 9,7 мкг/м³. С увеличением скорости ветра концентрация взвешенных частиц в воздухе возрастает.

Таблица 5. Концентрация взвешенных частиц PM10 в атмосферном воздухе и метеорологические параметры на исследуемой территории

Точка отбора	Взвешенные частицы PM10, мкг/м ³	Скорость ветра, м/с	Влажность, %	Температура, °C
70-ый меридиан				
2	9,7	0,49	85,8	16,0
6	8,4	0,09	83,4	12,8
10	20,1	2,76	50,8	25,0
12	19,3	1,1	84	15,9
14	30,8	2,6	47	24,3
75-ый меридиан				
3	16,7	0,6	53	21,3
5	7,6	0,2	52	9,9
8	12,7	1,1	65	21,7
10	12,9	1,2	38	26,3
14	18,0	0,7	37	25,5

Какой-либо корреляционной зависимости между концентрацией взвешенных частиц и другими метеорологическими данными (влажность, температура и давление) не обнаружено. Средняя концентрация взвешенных частиц PM10 в воздухе составила 15,7 мкг/м³ и была использована в расчете объемной активности ЕРН и ИРН в воздухе.

В таблице 6 представлены теоретически рассчитанные значения объемной активности ЕРН и ИРН в атмосферном воздухе на исследуемой территории (степной зоны).

Результаты показали, что расчетные и экспериментальные данные объемной активности радионуклидов в атмосферном воздухе на исследуемой территории, в целом, хорошо согласуются. Лишь для ²¹⁰Pb

Таблица 6. Расчетная объемная активность радионуклидов в воздушной среде исследуемой территории

Радионуклид	Территория исследования			ДОО _{нас} , Бк/м ³
	65-ый меридиан в. д.	70-ый меридиан в. д.	75-ый меридиан в. д.	
¹³⁷ Cs	$(9,4 \pm 1,6) \times 10^{-7}$	$(1,4 \pm 0,3) \times 10^{-6}$	$(1,3 \pm 0,2) \times 10^{-6}$	27
²⁴¹ Am	$(7,5 \pm 1,5) \times 10^{-9}$	$(1,1 \pm 0,4) \times 10^{-8}$	$(1,1 \pm 0,2) \times 10^{-8}$	$2,9 \cdot 10^{-3}$
²³⁹⁺²⁴⁰ Pu	$(5,3 \pm 1,3) \times 10^{-8}$	$(4,6 \pm 0,7) \times 10^{-8}$	$(4,0 \pm 0,7) \times 10^{-8}$	$2,5 \cdot 10^{-3}$
⁹⁰ Sr	$(1,1 \pm 0,2) \times 10^{-7}$	$(1,4 \pm 0,6) \times 10^{-7}$	$(2,0 \pm 0,3) \times 10^{-7}$	2,7
⁴⁰ K	$(1,9 \pm 0,1) \times 10^{-5}$	$(2,2 \pm 0,1) \times 10^{-5}$	$(2,5 \pm 0,2) \times 10^{-5}$	не нормируются
²³² Th	$(1,7 \pm 0,1) \times 10^{-6}$	$(1,8 \pm 0,1) \times 10^{-6}$	$(1,7 \pm 0,1) \times 10^{-6}$	
²²⁶ Ra	$(2,9 \pm 0,2) \times 10^{-6}$	$(2,7 \pm 0,1) \times 10^{-6}$	$(2,6 \pm 0,2) \times 10^{-6}$	
²¹⁰ Pb	$(3,3 \pm 0,2) \times 10^{-6}$	$(4,3 \pm 0,4) \times 10^{-6}$	$(3,6 \pm 0,3) \times 10^{-6}$	

объемная активность радионуклида, полученная расчетным методом, оказалась значительно ниже, чем при экспериментальном исследовании. Полученные значения объемной активности ИРН в воздухе на исследуемой территории на 5–8 порядков ниже ДОО_{нас}, установленной гигиеническими нормативами [7].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных исследований установлен диапазон фоновых уровней ЕРН и ИРН в воздушной среде степной зоны Павлодарской, Акмолинской и Костанайской области Республики Казахстан. Определено, что данные, полученные в ходе экспериментальных работ и теоретических расчетов, хорошо согласуются между собой. На основании проведенного лабораторного анализа установлено, что содержание в воздухе ⁴⁰K варьирует от $6,5 \times 10^{-6}$ до $9,5 \times 10^{-5}$ Бк/м³, ²²⁶Ra – от $2,5 \times 10^{-6}$ до $5,0 \times 10^{-5}$ Бк/м³, ⁷Be – от $9,0 \times 10^{-4}$ до $4,5 \times 10^{-3}$ Бк/м³, ²¹⁰Pb – от $1,0 \times 10^{-4}$ до

$8,5 \times 10^{-4}$ Бк/м³, ²³⁹⁺²⁴⁰Pu – от $<1,0 \times 10^{-7}$ до $7,3 \times 10^{-7}$ Бк/м³. Результаты теоретической оценки показали, что расчетные значения объемной активности радионуклида ²³²Th достигают $1,8 \times 10^{-6}$ Бк/м³, ²⁴¹Am – $1,1 \times 10^{-8}$ Бк/м³, ¹³⁷Cs – $1,4 \times 10^{-6}$ Бк/м³, ⁹⁰Sr – $2,0 \times 10^{-7}$. Данные, полученные по фоновым концентрациям радионуклидов в воздухе, входят в диапазоны международных мониторинговых наблюдений [15–19] и в дальнейшем могут быть использованы в качестве базовых показателей для оценки изменения качества воздушной среды.

Работа выполнена в рамках темы «Разработка системы радионуклидного мониторинга ядерных событий и радиационных аварий» РБП 036 «Развитие атомных и энергетических проектов», подпрограммы 105 «Прикладные научные исследования технологического характера в сфере атомной энергетики», мероприятие «Развитие атомной энергетики в Республике Казахстан» на 2018–2020 гг.

ЛИТЕРАТУРА

1. Alewell, C. ²³⁹⁺²⁴⁰Pu from contaminant to soil erosion tracer: Where do we stand? / C. Alewell, A. Pitois, K. Meusburger, M. Ketterer, L. Mabit // Earth-Science Reviews. – 2017. – Vol. 172 – P. 107–123.
2. Evrard, O. A global review of sediment source fingerprinting research incorporating fallout radiocesium (¹³⁷Cs) / O. Evrard, P. Chaboche, R. Ramona, A. Foucher, P. Laceby // Geomorphology. – 2020. – Vol. 362. – pp.107103.
3. Исследование базовых характеристик радионуклидного загрязнения почвы и воздуха: отчет и НИР (промежуточ.) / филиал ИРБЭ РГП НИЦ РК; зам. дир. Айдарханов А.О. – Курчатов, 2018. – 45 с.
4. Исследование базовых характеристик радионуклидного загрязнения почвы и воздуха: отчет и НИР (промежуточ.) / филиал ИРБЭ РГП НИЦ РК; рук. Айдарханов А.О. – Курчатов, 2019. – 71 с.
5. СТ РК 7708-2010. Качество воздуха. Определение фракций по крупности частиц для отбора проб в целях охраны здоровья. – Введ. 2011-07-01. – Астана. : Госстандарт РК : Комитет технического регулирования и метрологии, 2010. – IV, 11 с.
6. Volken J.C. Workplace aerosol measurement / J.C. Volken, A.D. Maynard, M. Harper // Aerosol Measurement: Principles, Techniques and Applications / edited by K. Willeke and P.A. Baron – New York: Van Nostrand Reinhold, 1993 – p. 571-590 – ISBN 0-442-00486-9.
7. Гигиенические нормативы «Санитарно-эпидемиологические требования к обеспечению радиационной безопасности», № 155 от 27.02.2015 года.
8. Учебно-методическое руководство по радиоэкологии и обращению с радиоактивными отходами для условий Казахстана: ОАО «Волковгеология». – Алматы, 2002. – 304 с.
9. Актуальные вопросы радиоэкологии Казахстана. Выпуск 5. Оптимизация исследований территорий Семипалатинского испытательного полигона с целью их передачи в хозяйственный оборот / под рук. Лукашенко С.Н. – Павлодар: Дом печати, 2015. – 356 с.: ил. – Библиогр.: с 332–349.
10. Павлоцкая Ф. И. Миграция радиоактивных продуктов глобальных выпадений в почвах. – М.: Атомиздат, 1974. – 215 с.
11. Kelley J.M., Bond L.A., Beasley T.M. Global distribution of Pu isotopes and ²³⁷Np // Science of The Total Environment. – 1999. – Vol. 237–238. – P. 483–500.
12. Xu Y., Pan S., Wu M., Zhang K., Hao Y., Association of Plutonium isotopes with natural soil particles of different size and comparison with ¹³⁷Cs // Science of The Total Environment. – 2017. – Vol. 581–582. – P. 541–549.

13. Bihary A., Dezso Z., Examination of the effect of particle size on the radionuclide content of soils // Journal of environmental radioactivity. – 2008. – Vol. 99. – P. 1083–1089.
14. Tsukada H, Takeda A., Hisamatsu S., Inaba J., Concentration and specific activity of fallout ^{137}Cs in extracted and particle-size fractions of cultivated soils // Journal of Environmental Radioactivity. – 2008. – N 99. – P. 875–881.
15. Hötzel H., Winkler R., Activity concentrations of ^{226}Ra , ^{228}Ra , ^{210}Pb , ^{40}K and ^7Be and their temporal variations in surface air // Journal of Environmental Radioactivity. – 1987. – Vol. 5. – P. 445–458.
16. Corcho Alvarado J.A., Steinmann P., Estier S., Bochud F., Haldimann M., Froidevaux P., Anthropogenic radionuclides in atmospheric air over Switzerland during the last few decades // Nature Communications. – 2014. – 5.3030. <https://doi.org/10.1038/ncomms4030>.
17. <http://www.chelpogoda.ru/pages/310.php>
18. Todorovic D., Popovic D., Djuric G., Concentration measurements of ^7Be and ^{137}Cs in ground level air in the Belgrade City area // Environment International. – 1999. – Vol. 25. – P. 59–66.
19. Sik Choia M., Lee D., Choi J., Cha H., Yi H., $^{239+240}\text{Pu}$ concentration and isotope ratio ($^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$) in aerosols during high dust (Yellow Sand) period, Korea // Science of The Total Environment. – 2006. – Vol. 370. – P. 262–270.

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫНЫҢ ДАЛАЛЫҚ АЙМАҒЫНЫҢ АУАСЫНДАҒЫ ТАБИҒИ ЖӘНЕ ЖАСАНДЫ РАДИОНУКЛИДТЕРДІҢ ҚҰРАМЫН ЗЕРТТЕУ

¹⁾ Д.В. Турченко, ²⁾ А.М. Кабдыракова, ¹⁾ А.А. Круглыхин

¹⁾ ҚР ҰЯО «Радиациялық қауіпсіздік және экология институты» филиалы, Курчатов, Қазақстан

²⁾ «Қазақстан Республикасы Ұлттық ядролық орталығы» РМК, Курчатов, Қазақстан

Мақалада Қазақстан Республикасының аумағына тән ландшафтық бірлігі - далалық аймақтың ауа ортасының табиғи және жасанды радионуклидтермен (ТРН және ЖРН) радиоактивті ластану деңгейі мен сипатын бағалау бойынша жинақталған нәтижелер келтірілген. Ауа ортасындағы ЖРН көлемдік белсенділігін теориялық бағалау әдісі қолданылды. Ауадағы ^{40}K құрамы $6,5 \times 10^{-6}$ бастап $9,5 \times 10^{-5}$ Бк/м³ дейін, ^{226}Ra – $2,5 \times 10^{-6}$ бастап $5,0 \times 10^{-5}$ Бк/м³ дейін, ^7Be – $9,0 \times 10^{-4}$ бастап $4,5 \times 10^{-3}$ Бк/м³ дейін, ^{210}Pb – $1,0 \times 10^{-4}$ бастап $8,5 \times 10^{-4}$ Бк/м³ дейін, $^{239+240}\text{Pu}$ – $<1,0 \times 10^{-7}$ бастап $7,3 \times 10^{-7}$ Бк/м³ дейінгі мәнде құбылатыны анықталды. Теориялық бағалау нәтижелерінен, ^{232}Th радионуклидінің көлемдік белсенділігінің есептеу мәні ^{232}Th – $1,8 \times 10^{-6}$ Бк/м³, ^{241}Am – $1,1 \times 10^{-8}$ Бк/м³, ^{137}Cs – $1,4 \times 10^{-6}$ Бк/м³, ^{90}Sr – $2,0 \times 10^{-7}$ дейін жеткенін көрсетті. Ауадағы радионуклидтердің аялық шоғырлануы бойынша алынған деректер, халықаралық мониторингтік бақылау мәнінің диапазоны енеді және одан ары қарай ауа ортасының сапасының өзгерісін бағалауға арналған базалық көрсеткіштер ретінде пайдаланылуы мүмкін.

RESEARCH INTO THE CONTENT OF NATURALLY OCCURRING AND ARTIFICIAL RADIONUCLIDES IN THE AIR OF THE STEPPE ZONE OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

¹⁾ D.V. Turchenko, ²⁾ A.M. Kabdyrakova, ¹⁾ A.A. Kruglykhin

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

²⁾ RSE “National Nuclear Center of the Republic of Kazakhstan”, Kurchatov, Kazakhstan

The article provides summarized results on the assessment of levels and nature of radioactive contamination of the air environment with naturally occurring and artificial radionuclides (NRN and ARR) in the territory of the Republic of Kazakhstan for the typical landscape unit – a steppe zone. A technique of the theoretical assessment of ARN activity concentrations in the air is applied. It was found that the content of ^{40}K in the air varies from 6.5×10^{-6} to 9.5×10^{-5} Bq/m³, ^{226}Ra – 2.5×10^{-6} to 5.0×10^{-5} Bq/m³, ^7Be – 9.0×10^{-4} to 4.5×10^{-3} Bq/m³, ^{210}Pb – 1.0×10^{-4} to 8.5×10^{-4} Bq/m³, $^{239+240}\text{Pu}$ – $<1.0 \times 10^{-7}$ to 7.3×10^{-7} Bq/m³. Results of the theoretical assessment showed that estimated values of ^{232}Th volumetric activity reach 1.8×10^{-6} Bq/m³, ^{241}Am – 1.1×10^{-8} Bq/m³, ^{137}Cs – 1.4×10^{-6} Bq/m³, ^{90}Sr – 2.0×10^{-7} . Data obtained for radionuclides background concentrations in the air is within ranges of values of international monitoring observations and can subsequently be used as basic indices for assessing variation in the quality of the air environment.