

Анализ результатов радиационно-экологического мониторинга в регионе размещения Курской АЭС

В.К. Кузнецов, А.В. Панов, Н.И. Санжарова, Н.Н. Исамов, Н.В. Андреева, И.В. Гешель, Е.В. Сидорова

Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии, Минобрнауки России, Обнинск, Россия

В работе представлены данные многолетних наблюдений за влиянием Курской АЭС на радиоэкологическую обстановку в регионе размещения атомной станции. На базе созданной в 2003 г. сети радиационно-экологического мониторинга изучена динамика содержания природных и техногенных радионуклидов в компонентах аграрных экосистем. На 11 контрольных участках, расположенных на пашне и лугопастбищных угодьях в зоне воздействия Курской АЭС, отбирались пробы почв, сельскохозяйственной продукции и кормов сельскохозяйственных животных, в населенных пунктах – пищевые продукты местного производства. Показано, что за период исследований 2003–2019 гг. средняя удельная активность ^{90}Sr в почвах агроэкосистем 10-км зоны влияния Курской АЭС варьировала в пределах 2,7–4,3 Бк/кг, ^{137}Cs – 14,6–40,8 Бк/кг. При этом не обнаружено трендов на увеличение содержания техногенных радионуклидов в почве во времени и на различном расстоянии от АЭС, а повышенная по сравнению с глобальным фоном удельная активность ^{137}Cs в почве объясняется черномыльскими выпадениями. Вариабельность среднего содержания в почве естественных радионуклидов составляет для ^{40}K : 481–625 Бк/кг, ^{226}Ra : 20,6–29,5 Бк/кг, ^{232}Th : 28,2–39,2 Бк/кг, что соответствует общероссийским данным. Средняя удельная активность ^{90}Sr в зерне составила 0,24–0,43 Бк/кг, ^{137}Cs – 0,19–0,37 Бк/кг. Даже максимальные уровни содержания техногенных радионуклидов в зерне оказались ниже допустимых уровней, установленных в действующих нормативных документах: в 44 раза для ^{90}Sr и в 85 раз для ^{137}Cs . Максимальные показатели удельной активности ^{137}Cs и ^{90}Sr в картофеле, овощах и бахчевых в 160 раз ниже допустимых уровней, установленных в СанПиН. Отмечено, что максимальное содержание ^{90}Sr в молоке более чем в 540 раз ниже допустимого по СанПин уровня, для ^{137}Cs эта разница составляет 330 раз. Максимальное содержание ^{137}Cs в говядине оказалось ниже допустимого по СанПин уровня для данного радионуклида более чем в 850 раз. С продуктами питания местного производства в рацион питания населения в регионе Курской АЭС поступает около 70 Бк/год ^{90}Sr и 200 Бк/год ^{137}Cs , что почти в 400 раз по ^{137}Cs и в 200 раз по ^{90}Sr ниже предела годового поступления для данных радионуклидов. Доминирующий вклад в формирование дозы внутреннего облучения населения за счет ^{137}Cs , содержащегося в основных дозообразующих сельскохозяйственных продуктах, вносят молоко (46%), мясо (31%), картофель и овощи (14%), за счет ^{90}Sr – молоко (14%) и продукты растениеводства (картофель, овощи, хлеб) – до 78%. В целом, можно заключить, что за последние 17 лет эксплуатация Курской АЭС не привела к ухудшению радиоэкологической ситуации в регионе ее размещения, поскольку за этот период не было зафиксировано достоверного увеличения содержания техногенных радионуклидов в продукции сельского хозяйства, продуктах питания и объектах окружающей среды.

Ключевые слова: Курская АЭС, радиационно-экологический мониторинг, радиационная безопасность, радионуклиды, сельскохозяйственная продукция, продукты питания, аграрные экосистемы, почва, миграция, плотность загрязнения.

Введение

Радиационная безопасность населения в регионах размещения атомных электростанций обеспечивается ведением комплексной системы радиационно-экологического мониторинга в рамках как Единой государственной автоматизированной системы мониторинга радиационной обстановки на территории Российской Федерации (ЕГАСМРО), так и ведомственных: Росатома, Роспотребнадзора и других системах мониторинга [1]. Радиационно-экологический

мониторинг в регионе воздействия АЭС – это комплекс системных многолетних наблюдений за изменениями в окружающей среде, позволяющий оценить текущий уровень экологической безопасности атомной станции. Получаемые в рамках такого мониторинга результаты используются для оценки возможного негативного влияния АЭС на здоровье населения, проживающего в зоне влияния атомной станции [2]. АЭС являются наиболее потенциально опасными с точки зрения радиационного воздействия на

Панов Алексей Валерьевич

Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии

Адрес для переписки: 249032, Калужская обл., г. Обнинск, Киевское шоссе, 109 км; E-mail: riar@mail.ru

человека. Так, например, в Курской области насчитывается 147 радиационно-опасных объектов, использующих в своей деятельности источники ионизирующего излучения. К объектам I категории (по ОСПОРБ-99/2010¹) относится Курская АЭС, к IV категории – остальные 146 объектов (в основном это учреждения лечебно-профилактического профиля) [3].

Курская АЭС (КуАЭС) является крупнейшей в Центральном Черноземье компанией по производству электроэнергии, обеспечивающей около 90% промышленного энергопотребления области. В состав АЭС входят четыре энергоблока типа РБМК-1000 (годы пуска: 1976, 1979, 1983 и 1985) общей мощностью 4 ГВт. В настоящее время рядом с основной площадкой станции идет строительство Курской АЭС-2 с двумя энергоблоками нового типа ВВЭР-ТОИ [4]. КуАЭС расположена в зоне интенсивного ведения агропромышленного производства. Сельскохозяйственные угодья занимают около 90% сухопутной части 30-километровой зоны вокруг АЭС [5]. Поскольку продукты питания местного производства являются существенной составляющей пищевой корзины жителей региона АЭС, проведение постоянного наблюдения за состоянием агроэкосистем в зоне влияния станции является неотъемлемой частью системы ее радиационной безопасности. На основе разработанных методологических подходов (санитарно-гигиенического и экологического), включающих программу работ, методы отбора проб и регламент наблюдений, в 2003 г. создана и ведется система радиационно-экологического мониторинга в регионе размещения КуАЭС [6].

Цель исследования – оценка воздействия Курской АЭС на население, проживающее в регионе атомной станции, на основе многолетних данных радиоэкологических исследований, полученных в результате функционирования комплексной системы радиационно-экологического мониторинга.

Задачи исследования

1. Обобщение результатов наблюдений за содержанием радионуклидов в компонентах наземных экосистем (почва, растительность) в регионе влияния КуАЭС в период 2003–2019 гг.
2. Оценка пространственного распределения техногенных радионуклидов в почвенном покрове региона КуАЭС и их миграции в почвенном профиле.
3. Анализ многолетних данных по накоплению радионуклидов в сельскохозяйственной продукции и продуктах питания, производимых в регионе КуАЭС и сравнение их с радиологическими нормативами.
4. Оценка доз внутреннего облучения населения, проживающего в зоне влияния КуАЭС, обусловленных потреблением продуктов питания местного производства.

Материалы и методы

Площадка КуАЭС расположена в 40 км от г. Курска и в 3 км от г. Курчатова рядом с водоемом-охладителем в пойме реки Сейм. Радиус санитарно-защитной зоны (СЗЗ) станции составляет 1,7 км, зоны наблюдения (ЗН) – 19 км [7]. В регионе наибольшего потенциального воздействия КуАЭС (5–10 км) находятся сельскохозяйственные угодья

трех агропредприятий: ООО «Курск-Агро» (бывшее ОАО «Иволга», ранее АПК «Прогресс»), ООО «Дружное» (бывшее ОАО «1 Мая») и ОАО «АПК КАЭС». Важным фактором, определяющим миграцию радионуклидов в агроэкосистемах, являются характеристики почв. В рассматриваемых хозяйствах почвенный покров образован преимущественно выщелоченными и типичными черноземами (ООО «Дружное» – 73,4% и ООО «Курск-Агро» – 83,3%), а также серыми лесными почвами (ОАО «АПК КАЭС» – 91,7%) [5]. На основе информации о структуре землепользования, характеристиках почв сельскохозяйственных угодий, хозяйственных показателях и производимой продукции в агропредприятиях, входящих в зону наблюдения КуАЭС, в 2003 г. была заложена сеть радиационно-экологического мониторинга аграрных экосистем, включающая 11 контрольных участков (КУ) (рис. 1).



Рис. 1. Карта-схема сети радиационно-экологического мониторинга в регионе размещения Курской АЭС (* – Курская АЭС; КУ – контрольный участок)

[Fig. 1. Schematic map of the radioecological monitoring network in the vicinity of Kursk NPP (* – Kursk NPP; CS – control site)]

Выбор места размещения контрольных участков проводился на основе требований [8] и рекомендаций [9] так, чтобы на доминирующих типах почв велось возделывание основных сельскохозяйственных культур, с учетом «розы ветров» в период вегетации растений и выпаса животных на расстоянии 3–10 км от АЭС, обеспечивая, таким образом, оценку максимально возможного воздействия станции на агроэкосистемы (табл. 1).

Площадь пашни, где были заложены контрольные участки КУ-1–КУ-10, варьировала от 100 до 250 га, участок для выпаса сельскохозяйственных животных на пастбище (КУ-11) включал 578 га. В соответствии с [8–9] обследуемая площадь на каждом контрольном участке составляла

¹ СП 2.6.1.2612-10 «Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-99/2010)» [Basic sanitary rules of radiation safety 2.6.1.2612-10 (OSPORB-99/2010) (In Russ.)]

Характеристика сети радиоэкологического мониторинга в регионе КуАЭС

Таблица 1

[Table 1

Specification of the radioecological monitoring network in the vicinity of Kursk NPP

Контрольный участок [Control site]	Направление и расстояние от АЭС, км [Direction and distance from NPP, km]	Ближайший населенный пункт [Nearest settlement]	Хозяйство [Farm]	Вид хозяйственного использования [Direction of domestic usage]
КУ-1 [CS-1]	Ю-В, 3,7 [S-E, 3,7]	пгт. Иванино [Ivanino]	ООО «Курск-Агро» [LLC «Kursk-Agro»]	Пашня, 253 га [Arable land, 253 ha]
КУ-2 [CS-2]	Ю-В, 9,5 [S-E, 9,5]	д. Лукашевка [Lukashevka]	ООО «Курск-Агро» [LLC «Kursk-Agro»]	Пашня, 247 га [Arable land, 247 ha]
КУ-3 [CS-3]	Ю-В, 6,0 [S-E, 6,0]	д. Комякино [Komyakino]	ООО «Курск-Агро» [LLC «Kursk-Agro»]	Пашня, 106 га [Arable land, 106 ha]
КУ-4 [CS-4]	Ю, 9,5 [S, 9,5]	д. Дружное [Druzhnoe]	ООО «Дружное» [LLC «Druzhnoe»]	Пашня, 155 га [Arable land, 155 ha]
КУ-5 [CS-5]	С-В, 6,2 [N-E, 6,2]	д. Мосолово [Mosolovo]	ОАО «АПК КАЭС» [JSC «AIC KNPP»]	Пашня, 115 га [Arable land, 115 ha]
КУ-6 [CS-6]	С-В, 7,2 [N-E, 7,2]	д. Мосолово [Mosolovo]	ОАО «АПК КАЭС» [JSC «AIC KNPP»]	Пашня, 153 га [Arable land, 153 ha]
КУ-7 [CS-7]	С, 4,0 [N, 4,0]	п. Дроняево [Dronyaevo]	ОАО «АПК КАЭС» [JSC «AIC KNPP»]	Пашня, 139 га [Arable land, 139 ha]
КУ-8 [CS-8]	С, 8,0 [N, 8,0]	п. Кожля [Kozhlya]	ОАО «АПК КАЭС» [JSC «AIC KNPP»]	Пашня, 101 га [Arable land, 101 ha]
КУ-9 [CS-9]	С, 6,5 [N, 6,5]	с. Макаровка [Makarovka]	ОАО «АПК КАЭС» [JSC «AIC KNPP»]	Пашня, 104 га [Arable land, 104 ha]
КУ-10 [CS-10]	Ю-З, 8,0 [S-W, 8,0]	п. Карла – Либнехта [Karla-Libnechta]	ОАО «АПК КАЭС» [JSC «AIC KNPP»]	Пашня, 104 га [Arable land, 104 ha]
КУ-11 [CS-11]	С-В, 7,5 [N-E, 7,5]	д. Мосолово [Mosolovo]	ОАО «АПК КАЭС» [JSC «AIC KNPP»]	Пастбище, 578 га [Pasture, 578 ha]

20 га с учетом севооборотов и смены возделываемых культур (табл. 2). Длительные наблюдения велись на наиболее представительной части участка размером 50×50 м. При выборе контрольного участка на пастбище (КУ-11) учиты-

вались как почвенные характеристики и режим увлажнения, так и расстояние до ближайшей фермы, которая располагалась в д. Мосолово. Пастбище представляет собой балочный суходольный луг, где выпасается стадо крупного

Таблица 2

Структура сельскохозяйственного производства на сети радиоэкологического мониторинга в регионе размещения КуАЭС, годы возделывания

[Table 2

Structure of the agricultural production on the radioecological monitoring network in the vicinity of Kursk NPP, years of cultivations

Продукция [Products]	Контрольный участок [Control site]										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Озимая пшеница [Winter wheat]	2005–2006, 2008–2009, 2013	2003–2004, 2007	–	–	–	2004	2005, 2013	2006, 2008–2010	–	–	–
Яровая пшеница [Spring wheat]	–	–	2003, 2018–2019	2004, 2010, 2013, 2018–2019	2012	–	–	–	2008	2008	–
Озимая рожь [Winter rye]	–	2006	–	2007–2008	–	–	–	2005	2004, 2006	–	–
Ячмень [Barley]	2004, 2007	2005, 2008	–	2003, 2006, 2009	2003, 2005	–	2003–2004, 2006–2010, 2018–2019	2004, 2007	2003, 2005, 2007, 2009–2010, 2018	2007, 2010, 2018–2019	–
Овес [Oat]	–	–	–	–	–	2018	–	–	–	–	–
Соя [Soy]	–	–	–	2011–2012	–	–	–	2018	–	–	–

Продукция [Products]	Контрольный участок [Control site]										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Сахарная свекла [Sugar beet]	2018–2019	–	–	2005	–	–	–	–	–	–	–
Подсолнечник [Sunflower]	–	–	–	–	–	–	–	2019	2019	2013	–
Сеянные травы [Seeded grass]	2003, 2011–2012	2012–2013, 2018–2019	2004–2006, 2008, 2010	–	2004, 2011, 2013, 2018–2019	2003, 2019	2011–2012	2011–2013	2011–2013	2003–2006, 2009, 2011–2012	–
Кукуруза [Corn (maize)]	–	–	2007, 2009, 2012–2013	–	2006–2010	2005–2013	–	2003	–	–	–
Свекла кормовая [Fodder beet]	–	2009–2010	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Естественные травы [Natural grass]	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	2003–2019
Молоко [Milk]	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	2003–2019

рогатого скота (КРС) в летний период. На данном участке, помимо отбора сопряженных проб кормов животных и почвы, велся отбор проб молока и был заложен почвенный профиль на глубину 25 см для оценки миграции техногенных радионуклидов. Диапазон почв на заложенных контрольных участках включал: типичный чернозем (КУ-1 – КУ-3), выщелоченный чернозем (КУ-4), светло-серую лесную (КУ-5 – КУ-6), серую лесную (КУ-7 – КУ-8), темно-серую лесную (КУ-9 – КУ-10) и аллювиальную дерновую почву (КУ-11). Исследования по радиоэкологическому мониторингу проводились в период 2003–2013 гг. и 2018–2019 гг. При отборе проб почвы на пашне отбирался пахотный горизонт (0–20 см), на пастбище – верхний почвенный слой глубиной 10 см. Одновременно с отбором проб почвы и растительности на контрольном участке проводились измерения мощности амбиентного эквивалента дозы (МАЭД). Во всех отобранных образцах определяли содержание естественных (^{40}K , ^{226}Ra , ^{232}Th) и наиболее радиологически значимых техногенных (^{90}Sr , ^{137}Cs) радионуклидов.

Удельная активность радионуклидов в продукции растениеводства измерялась отдельно в хозяйственно-ценной (зерно, клубне- и корнеплоды, овощи) и побочных частях (солома и др.). Таким образом, была создана сеть наблюдений, которая учитывает как почвенные и ландшафтные особенности прилегающей к Курской АЭС территории, так и специфику ведения агропромышленного производства в регионе исследования.

При проведении радиационно-экологического мониторинга, помимо отбора проб сельскохозяйственной продукции на контрольных участках, на частных подворьях населенных пунктов, входящих в зону наблюдения КуАЭС, отбирались также пробы продуктов питания местного производства (табл. 3).

Результаты и обсуждение

Первый этап исследований по оценке радиоэкологической обстановки в регионе размещения КуАЭС включал анализ динамики содержания техногенных и природных

Таблица 3

Объем мониторинговых исследований продуктов питания местного производства в регионе размещения Курской АЭС

[Table 3

The scope of monitoring investigations of locally produced foodstuff in the vicinity of Kursk NPP		
Продукт питания [Foodstuff]	Общее количество проб [Total amount of samples]	Год отбора проб [Year of sampling]
Баклажан [Eggplant]	2	2013, 2018
Кабачки [Zucchini]	4	2004–2005, 2010, 2018
Капуста [Cabbage]	9	2004–2006, 2009–2012, 2018–2019
Картофель [Potato]	9	2004–2006, 2009–2012, 2018–2019
Лук [Onion]	13	2004–2006, 2009–2013, 2018–2019
Морковь [Carrot]	4	2011–2012, 2018–2019
Огурцы [Cucumber]	2	2004–2005
Перец [Bell pepper]	8	2004–2005, 2009–2013, 2018
Свекла [Beetroot]	5	2004–2006, 2018–2019
Томаты [Tomato]	9	2004–2005, 2009–2013, 2018

Продукт питания [Foodstuff]	Общее количество проб [Total amount of samples]	Год отбора проб [Year of sampling]
Молоко [Milk]	27	2003–2006, 2008–2009, 2011–2013, 2018–2019
Говядина [Beef]	2	2018–2019
Утка [Duck]	1	2019

радионуклидов в почвенном покрове контрольных участков сети мониторинга. За 17-летний рассматриваемый период средняя удельная активность ^{90}Sr в почвах агроэкосистем 10-километровой зоны влияния КуАЭС варьировала в пределах 2,7–4,3 Бк/кг, ^{137}Cs – 14,6–40,8 Бк/кг. Вариабельность данных по контрольным участкам составляла 3,1–7,5 раза для ^{90}Sr и 1,6–4,1 раза для ^{137}Cs . При этом не было обнаружено трендов на увеличение со временем содержания техногенных радионуклидов в почве ни на одном из контрольных участков сети мониторинга (рис. 2). В то же время соотношение между радионуклидами ^{137}Cs и ^{90}Sr , которое при глобальных выпадениях находится на уровне, близком к 1,6 [10], было нарушено влиянием аварийных выбросов Чернобыльской АЭС.

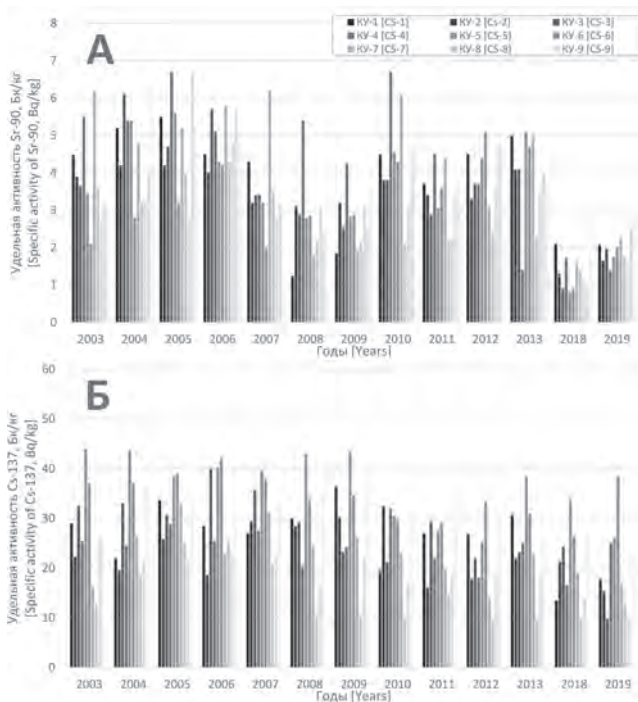


Рис. 2. Содержание техногенных радионуклидов (А – ^{90}Sr , Б – ^{137}Cs) в почвах контрольных участков сети радиационно-экологического мониторинга в регионе размещения Курской АЭС в период 2003–2013 гг. и 2018–2019 гг.
[Fig. 2.] Content of artificial radionuclides (A – ^{90}Sr , Б – ^{137}Cs) in soils of control sites of the radioecological monitoring network in the vicinity of Kursk NPP in 2003–2013 and 2018–2019]

Так, сопоставление полученных нами результатов мониторинга по плотностям загрязнения радионуклидами почв в регионе Ростовской АЭС (РоАЭС) за тот же период наблюдений [11], с аналогичными данными в зоне влияния Курской АЭС показало, что если по ^{90}Sr плотности загрязнения в районе этих станций схожи (в среднем 0,7–1,1 кБк/м² вблизи КуАЭС и 0,4–1,9 кБк/м² рядом с РоАЭС), то по ^{137}Cs они отличаются в 2,7 раза

(3,8–10,6 кБк/м² около КуАЭС и 1,9–3,8 кБк/м² вблизи РоАЭС). Необходимо отметить, что плотности загрязнения техногенными радионуклидами контрольных участков на различном расстоянии от АЭС в обоих случаях распределены достаточно равномерно (рис. 3). Однако часть Курской области входит в зону загрязнения ЧАЭС по ^{137}Cs в диапазоне 37–185 кБк/м² [12], и КуАЭС расположена гораздо ближе к зоне аварии (расстояние 400 км), чем РоАЭС (расстояние 900 км), что обуславливает более высокие уровни содержания радионуклидов цезия в почве региона КуАЭС. В работе [13] плотность загрязнения почвы ^{137}Cs в зоне наблюдения КуАЭС оценивается в диапазоне 2,9–4,5 кБк/м², что сопоставимо с результатами наших исследований.

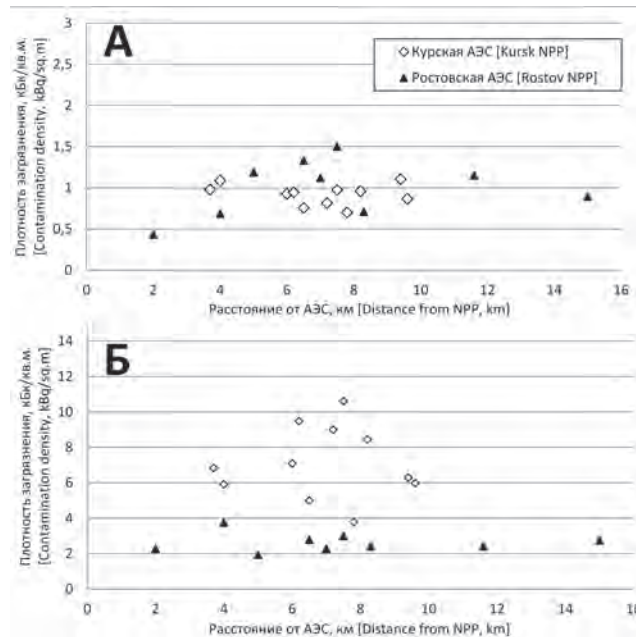


Рис. 3. Средняя плотность загрязнения техногенными радионуклидами (А – ^{90}Sr , Б – ^{137}Cs) почв контрольных участков сети радиационно-экологического мониторинга в регионах Курской и Ростовской АЭС на различном расстоянии от атомных станций
[Fig. 3.] Average artificial radionuclides contamination density (A – ^{90}Sr , Б – ^{137}Cs) of the radioecological monitoring network control sites in different distance from Kursk and Rostov NPP's]

Сравнение данных по содержанию техногенных радионуклидов в почве пастбища (КУ-11) и пашни (КУ-1 – КУ-10) региона КуАЭС показало, что у последних уровни удельной активности ^{90}Sr на 6,5%, ^{137}Cs на 36% ниже, что объясняется проведением на пашне ежегодной перепахки и перераспределением радионуклидов в почвенном профиле на большую глубину. Поэтому миграционные особенности поведения техногенных радионуклидов

в почве зоны воздействия КуАЭС изучали на пастбище (КУ-11), где в период с 2008 по 2019 г. отбирались пробы почвы послойно на глубину до 25 см (рис. 4).

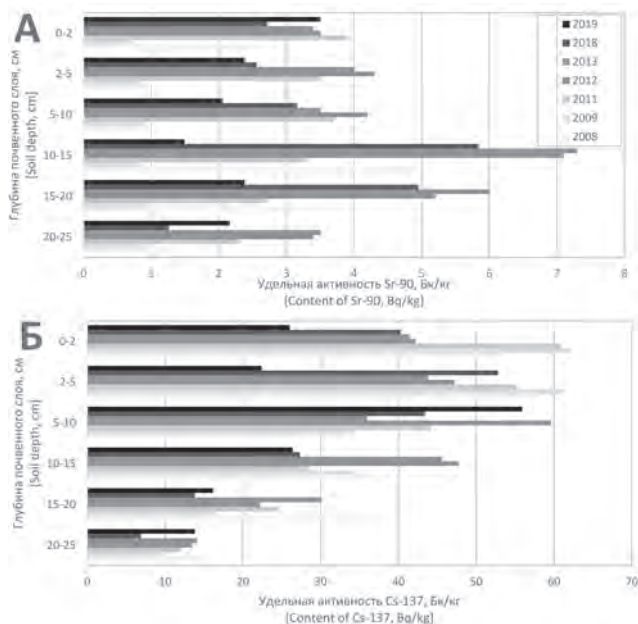


Рис. 4. Распределение техногенных радионуклидов (А – ⁹⁰Sr, Б – ¹³⁷Cs) в почвенном профиле контрольного участка КУ-11 в 2008–2019 гг.

[Fig. 4. Content of artificial radionuclides (A – ⁹⁰Sr, Б – ¹³⁷Cs) in soils of control site CS-11 in 2008–2019]

По результатам оценки динамики вертикального распределения ⁹⁰Sr и ¹³⁷Cs в почвенном профиле по годам не отмечено увеличения содержания этих радионуклидов в верхних слоях почвы за 12-летний период, что говорит об отсутствии их значимого поступления в окружающую среду в составе выбросов КуАЭС. Характер распределения радионуклидов по почвенным горизонтам определялся почвенно-климатическими условиями, геоморфологией участка, свойствами радионуклидов и временем,

прошедшим после их выпадений [14]. Отмечено, что максимальный запас ⁹⁰Sr в почве целинного участка (около 25%) сосредоточен в слое 10–15 см и чуть меньше (20%) в слое 15–20 см. По остальным почвенным горизонтам распределение данного радионуклида достаточно равномерное, в пределах 12–16%. Большая часть ¹³⁷Cs находится в верхнем почвенном слое глубиной до 10 см (по 20–22% в слоях 0–2, 2–5 и 5–10 см). В более глубоких слоях содержание данного радионуклида существенно ниже, около 5–15% в каждом слое. Данные различия в распределении радионуклидов обусловлены особенностями подвижности ¹³⁷Cs и ⁹⁰Sr, а также дополнительным к глобальному фону поступлением ¹³⁷Cs в составе выбросов от аварии на ЧАЭС. Таким образом, за весь период наблюдений выбросы КуАЭС не оказали значимого влияния на увеличение содержания техногенных радионуклидов в почвах агроэкосистем, прилегающих к атомной станции. Несколько повышенная по сравнению с фоном удельная активность ¹³⁷Cs в почве объясняется черновыльскими выпадениями.

Вариабельность среднего содержания в почве естественных радионуклидов в зоне влияния КуАЭС составляет для ⁴⁰K: 481–625 Бк/кг, ²²⁶Ra: 20,6–29,5 Бк/кг, ²³²Th: 28,2–39,2 Бк/кг (табл. 4), что соответствует общероссийским данным [15]. Мощность амбиентного эквивалента дозы (МАЭД) гамма-излучения на местности за весь период наблюдений находилась в пределах 0,11–0,15 мкЗв/ч при среднем значении 0,13 мкЗв/ч. Анализ результатов измерения МАЭД не выявил достоверных различий в величине мощности дозы во времени и на различном расстоянии от КуАЭС. Полученный диапазон данных МАЭД соответствует изменчивости радиационного фона с учетом черновыльских выпадений и не превышает нормативных значений (ОСПОРБ-99/2010¹). Схожие результаты измерений МАЭД для исследуемого региона получены в рамках ЕГАСМРО [16] и хорошо согласуются с результатами других исследований, проведенных в зоне влияния Курской АЭС [17].

Почвы контрольных участков представлены двумя основными типами: черноземами (КУ-1 – КУ-4) и серыми лесными (КУ-5 – КУ-10). Черноземы характеризуются сла-

Таблица 4
Содержание радионуклидов в почве сельскохозяйственных угодий в регионе размещения Курской АЭС в 2003–2013 гг. и 2018–2019 гг., Бк/кг

Content of radionuclides in agricultural soils in the vicinity of Kursk NPP (2003–2013, 2018–2019), Bq/kg

[Table 4

Контрольный участок [Control site]	МАЭД, мкЗв/ч [Ambient dose equivalent rate, μSv/h]	⁴⁰ K	²²⁶ Ra	²³² Th	⁹⁰ Sr	¹³⁷ Cs
КУ-1	0,13*	578	25,3	36,8	3,8	26,3
[CS-1]	0,11–0,15	465–682	18,6–35,2	29,3–42,4	1,3–5,5	13,5–36,4
КУ-2	0,13	596	25,5	37,4	3,3	23,0
[CS-2]	0,11–0,16	460–725	18,4–31,6	32,1–43,3	1,3–4,2	15,3–32,4
КУ-3	0,12	574	24,8	39,2	3,6	27,3
[CS-3]	0,09–0,14	497–643	19,3–30,3	29,1–53,1	0,9–6,1	9,8–40,0
КУ-4	0,11	565	23,0	36,5	4,5	24,1
[CS-4]	0,09–0,13	477–677	10,0–29,6	30,9–47,4	1,4–6,7	16,5–31,9
КУ-5	0,13	481	23,0	31,3	3,6	36,5
[CS-5]	0,11–0,16	394–605	15,5–32,8	20,7–41,1	0,8–5,6	25,4–44,0

Контрольный участок [Control site]	МАЭД, мкЗв/ч [Ambient dose equivalent rate, $\mu\text{Sv/h}$]	^{40}K	^{226}Ra	^{232}Th	^{90}Sr	^{137}Cs
КУ-6 [CS-6]	0,13 0,09–0,17	503 388–605	20,6 13,4–30,4	28,2 23,2–32,7	3,1 0,9–5,1	34,6 26,4–42,2
КУ-7 [CS-7]	0,14 0,12–0,17	624 486–701	27,4 14,6–41,0	36,6 22,0–46,0	4,2 1,6–6,2	22,7 14,1–33,0
КУ-8 [CS-8]	0,13 0,11–0,17	622 520–689	28,8 22,5–36,0	37,5 31,3–44,8	2,7 1,4–4,3	14,6 9,3–25,5
КУ-9 [CS-9]	0,15 0,13–0,17	625 422–940	29,5 20,6–40,7	37,5 27,8–50,5	2,9 1,2–4,8	19,2 9,9–25,9
КУ-10 [CS-10]	0,12 0,09–0,16	534 440–678	25,8 17,5–36,7	35,7 27,4–46,4	3,7 0,9–6,7	32,5 23,9–41,3
КУ-11 [CS-11]	0,15 0,12–0,17	594 472–673	26,4 23,1–29,6	33,6 29,9–38,0	3,8 0,8–6,3	40,8 25,1–53,3
Среднее в РФ [15] [Average in Russia [15]]	–	520 100–1400	27 1–76	30 2–79	–	–
По данным [16] [According to [16]]	0,13 0,08–0,18	–	–	–	–	–
По данным [17] [According to [17]]	0,12 0,11–0,15	–	–	–	–	–

* Числитель – среднее, знаменатель – мин. – макс. [numerator – average, denominator – min. – max].

боксидной реакцией (pH_{KCl} 5,4–6,3), низкой гидролитической кислотностью (H^+ 1,1–3,8 мг-экв/100 г почвы), содержанием гумуса 3,8–4,1% и достаточно высокой обеспеченностью элементами минерального питания. Почвенный поглощающий комплекс насыщен обменными катионами – сумма обменных оснований в среднем составляет 32,6–37,4 мг-экв/100 г почвы. Содержание Ca и Mg в серых лесных почвах в 1,5 раза ниже, чем в черноземах. Темно-серая лесная почва отличается нейтральной реакцией почвенного раствора, низкой гидролитической кислотностью и высокой суммой обменных оснований по сравнению с серыми и светло-серыми лесными почвами [5]. Анализ данных по динамике почвенных характеристик контрольных участков не выявил значимых отличий во времени. Вариации данных по таким почвенным показателям, как кислотность, содержание гумуса, сумма обменных оснований, не превышали 25%. Отличия по содержанию в почве азота, фосфора и калия зависели от объемов применяемых минеральных удобрений на сельскохозяйственных угодьях.

Вторым этапом исследования стала оценка содержания радионуклидов в сельскохозяйственном сырье и продукции, производящихся в зоне влияния КуАЭС, на соответствие установленным радиологическим стандартам и требованиям санитарно-гигиенических нормативов. Средняя удельная активность радионуклидов в продовольственном зерне озимых и яровых культур за период наблюдений 2003–2019 гг. была в пределах: для ^{40}K : 116–163 Бк/кг, для ^{90}Sr : 0,24–0,43 Бк/кг и для ^{137}Cs : 0,19–

0,37 Бк/кг (табл. 5). Некоторые отличия в накоплении радионуклидов зерновыми были обусловлены видовыми особенностями растений, погодными условиями в период вегетации и дозами применяемых агрохимикатов, что влияло на миграцию радионуклидов из почвы в растения. Так, разница в накоплении ^{40}K в зерне одной и той же культуры в разные годы составила 1,5–2,6 раза, для техногенных радионуклидов была существенно выше – от 3,0 до 11,5 раз, при этом не были отмечены тренды на увеличение во времени содержания ^{90}Sr и ^{137}Cs в данном виде сельскохозяйственной продукции. Даже максимальные уровни содержания техногенных радионуклидов в продовольственном зерне (^{90}Sr – 0,99 и ^{137}Cs – 0,70 Бк/кг) были в 44 раза по ^{90}Sr и в 85 раз по ^{137}Cs ниже действующих нормативов (СанПин 2.3.2.1078-01² и СанПиН 2.3.2.2650-10³).

Корма сельскохозяйственных животных (солома, сено естественных и сеянных трав, силос) в большей степени накапливают радионуклиды по сравнению с зерном, что связано с биологическими особенностями растений. Например, в соломе зерновых культур среднее содержание ^{90}Sr находится в пределах 0,8–2,2 Бк/кг, ^{137}Cs 0,7–2,6 Бк/кг, т.е. в 2–7 раз выше по сравнению с зерном (см. табл. 5). Отмечено, что накопление техногенных радионуклидов в сеянных травах несколько ниже по сравнению с естественными. Однако в сене кормовых культур, средняя удельная активность ^{90}Sr находится в диапазоне 1,5–2,1 Бк/кг, ^{137}Cs 0,7–2,1 Бк/кг. За весь период монито-

² СанПин 2.3.2.1078-01 Гигиенические требования безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов [Sanitary Rules and Norms 2.3.2.1078-01 Hygienic requirements for food safety and nutritional value (In Russ.)]

³ СанПиН 2.3.2.2650-10 Дополнения и изменения № 18 к СанПин 2.3.2.1078-01 «Гигиенические требования безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов» [Sanitary Rules and Norms 2.3.2.2650-10 Additions and changes № 18 to Sanitary Rules and Norms 2.3.2.1078-01 “Hygienic requirements for food safety and nutritional value” (In Russ.)]

Таблица 5
Содержание радионуклидов в сельскохозяйственной продукции в регионе размещения Курской АЭС в 2003–2013 гг. и 2018–2019 гг., Бк/кг

[Table 5
Content of radionuclides in agricultural products in the vicinity of Kursk NPP (2003-2013, 2018-2019), Bq/kg]

Сельскохозяйственная культура [Farm crop]	Хозяйственно ценная часть [Valuable part of the plant]	Общее количество проб [Total amount of samples]	⁴⁰ K	⁹⁰ Sr	¹³⁷ Cs
Озимая пшеница [Winter wheat]	Зерно [Grain]	15	$\frac{145^*}{90-231}$	$\frac{0,28}{0,07-0,69}$	$\frac{0,24}{0,04-0,46}$
	Солома [Straw]	1	350	0,86	0,87
Яровая пшеница [Spring wheat]	Зерно [Grain]	10	$\frac{125}{78-167}$	$\frac{0,4}{0,12-0,60}$	$\frac{0,19}{0,05-0,35}$
	Солома [Straw]	8	$\frac{218}{125-410}$	$\frac{0,85}{0,50-1,75}$	$\frac{0,89}{0,20-1,86}$
Озимая рожь [Winter rye]	Зерно [Grain]	6	$\frac{116}{95-144}$	$\frac{0,24}{0,12-0,40}$	$\frac{0,37}{0,20-0,60}$
	Солома [Straw]	1	280	0,8	2,6
Ячмень [Barley]	Зерно [Grain]	28	$\frac{163}{107-228}$	$\frac{0,43}{0,09-0,99}$	$\frac{0,31}{0,10-0,70}$
	Солома [Straw]	9	$\frac{276}{190-390}$	$\frac{2,23}{0,71-3,60}$	$\frac{1,33}{0,32-3,70}$
Овес [Oat]	Солома [Straw]	1	549	2,02	0,71
Соя [Soy]	Сухая масса [Dry weight]	3	$\frac{722}{388-929}$	$\frac{2,03}{0,77-3,71}$	$\frac{0,74}{0,21-1,50}$
Сеяные травы [Seeded grass]	Сухая масса [Dry weight]	36	$\frac{519}{166-975}$	$\frac{1,53}{0,22-4,90}$	$\frac{1,86}{0,1-6,30}$
Естественные травы [Natural grass]	Сухая масса [Dry weight]	10	$\frac{436}{130-640}$	$\frac{1,64}{0,22-3,13}$	$\frac{2,07}{0,18-6,37}$
Кукуруза [Corn (maize)]	Сухая масса [Dry weight]	19	$\frac{438}{110-697}$	$\frac{1,71}{0,40-2,82}$	$\frac{1,08}{0,32-1,80}$
Подсолнечник [Sunflower]	Сухая масса [Dry weight]	3	$\frac{575}{458-742}$	$\frac{2,07}{1,90-2,30}$	$\frac{1,23}{0,60-2,20}$
Свекла кормовая [Fodder beet]	Корнеплод [Root vegetable]	5	$\frac{14,4}{13,0-15,8}$	$\frac{0,12}{0,04-0,20}$	$\frac{0,05}{0,03-0,06}$
Растительность [16] [Plants] [16]	Сухая масса [Dry weight]	9	$\frac{557}{428-683}$	-	$\frac{1,1}{0,3-2,5}$

* числитель – среднее, знаменатель – мин. – макс. [numerator – average, denominator – min. – max].

ринговых наблюдений максимальные уровни содержания ⁹⁰Sr в соломе были в 50 раз ниже норматива для данного вида кормов (180 Бк/кг по ВП 13.5.13/06-01⁴), по ¹³⁷Cs эта разница составила более 100 раз (норматив 400 Бк/кг). Максимальная зафиксированная за весь период наблюдений удельная активность ⁹⁰Sr в сене трав была в 36 раз ниже норматива, ¹³⁷Cs – более чем в 60 раз. Полученные в ходе многолетних мониторинговых исследований результаты показывают, что производимая в регионе размещения КуАЭС продукция растениеводства и кормопроизводства полностью соответствует радиологическим нормативам.

Учитывая, что продукты питания местного производства могут вносить существенный вклад в формирование дополнительной дозовой нагрузки у населения, проживающего в регионе КуАЭС, был проведен анализ данных по содержанию радионуклидов в картофеле, овощах, молоке и мясе на соответствие их радиологическим стандартам СанПин 2.3.2.1078-01² и СанПиН 2.3.2.2650-10³. Так, при допустимых уровнях по содержанию в овощах, картофеле и бахчевых ⁹⁰Sr – 40 Бк/кг и ¹³⁷Cs – 80 Бк/кг, максимальные удельные активности этих техногенных радионуклидов в пищевой продукции растениеводства, произведенной в зоне влияния КуАЭС, были более чем в 160 раз ниже установленных пределов (табл. 6). При этом не удалось

⁴ ВП 13.5.13/06-01 Ветеринарно-санитарные требования к радиационной безопасности кормов, кормовых добавок, сырья кормового. Допустимые уровни содержания ⁹⁰Sr и ¹³⁷Cs. [Veterinary Rules and Norms 13.5.13/06-01 Veterinary and sanitary requirements for radiation safety of feed, feed additives, feed raw materials. Permissible levels of ⁹⁰Sr and ¹³⁷Cs (In Russ.)]

Таблица 6
Содержание радионуклидов в продуктах питания, произведенных в регионе размещения Курской АЭС
в 2003–2019 гг., Бк/кг(л)

[Table 6]

Content of radionuclides in foodstuffs produced in the vicinity of Kursk NPP (2003-2019), Bq/kg(l)

Продукт питания [Foodstuff]	⁴⁰ K	⁹⁰ Sr	¹³⁷ Cs	Допустимые уровни [Permissible levels]		По данным [17] [According to [17]]	
				⁹⁰ Sr	¹³⁷ Cs	⁹⁰ Sr	¹³⁷ Cs
Баклажаны [Eggplant]	3,9* 3,5–4,3	0,03 0,01–0,05	0,012 0,01–0,02				
Кабачки [Zucchini]	4,5 3,4–5,9	0,05 0,02–0,07	0,07 0,03–0,12			0,9–7,2	0,7–1,7
Капуста [Cabbage]	6,7 3,7–9,3	0,09 0,05–0,15	0,07 0,03–0,13				
Картофель [Potato]	35,3 16,2–54,7	0,05 0,02–0,08	0,08 0,01–0,48			–	0,6
Лук перо [Green onion]	9,3 5,6–15,8	0,07 0,02–0,12	0,06 0,01–0,12			0,9–7,2	0,7–1,7
Лук репка [Bulb onion]	6,6	0,01	0,02				
Лук шелуха [Onion husk]	17,7 14,0–21,0	0,48 0,07–0,73	0,67 0,05–1,00	40	80	–	–
Морковь [Carrot]	12,6 8,5–20,7	0,09 0,04–0,15	0,07 0,05–0,09				
Огурцы [Cucumber]	–	0,04 0,04–0,04	0,045 0,04–0,05				
Перец [Bell pepper]	7,4 2,9–12,7	0,04 0,02–0,06	0,05 0,02–0,11			0,9–7,2	0,7–1,7
Свекла столовая [Beetroot]	14,4 13,0–15,8	0,14 0,014–0,23	0,11 0,03–0,20				
Томаты [Tomato]	3,6 1,5–5,6	0,02 0,006–0,05	0,03 0,01–0,08				
Молоко [Milk]	38,4 22,0–56,0	0,021 0,006–0,046	0,14 0,02–0,30	25	100	–	1,2–1,5
Говядина [Beef]	55,6 31,1–80,0	0,078 0,015–0,14	0,23 0,22–0,23		200	3,3–4,8	0,6–1,6
Утка мясо [Duck meat]	47,0	0,043	0,08	–		–	–
Утка кости [Duck bones]	60,0	0,22	0,06		–	–	–

* Числитель – среднее, знаменатель – мин. – макс. [numerator – average, denominator – min. – max]

выделить какие-либо виды овощной продукции с повышенными уровнями накопления радионуклидов или имеющие тенденцию к такому увеличению во времени.

Содержание природных и техногенных радионуклидов в продукции животноводства (молоко, мясо, птица) также было на очень низком уровне за весь период наблюдений. Например, в молоке как из общественного сектора ОАО «АПК КАЭС», где расположен контрольный участок (КУ-11), так и из частного сектора населенных пунктов, максимальные уровни содержания ⁹⁰Sr были более чем в 540 раз ниже допустимого уровня, установленного СанПин 2.3.2.1078-01² (25 Бк/кг). Максимальные уровни содержания ¹³⁷Cs (норматив 100 Бк/кг) оказались ниже допустимого уровня в 330 раз. В СанПиН 2.3.2.2650-10³ содержание ⁹⁰Sr в мясе не нормируется, однако если сравнить максимальную удельную активность данного

радионуклида в пробах говядины из региона КуАЭС с действующим ранее нормативом, установленным СанПин 2.3.2.1078-01² (50 Бк/кг), то она окажется более чем в 350 раз ниже установленного тогда допустимого уровня. Для мяса птицы эта разница была еще выше – более 1000. Отмечено, что максимальное содержание ¹³⁷Cs в говядине ниже допустимого уровня, установленного СанПиН 2.3.2.2650-10³ для данного радионуклида (200 Бк/кг), более чем в 850 раз. Полученные результаты радиоэкологического мониторинга за содержанием техногенных радионуклидов в продуктах питания местного производства из региона КуАЭС достаточно хорошо согласуются с данными аналогичных исследований, представленными в работе [17]. Таким образом, пищевые продукты, произведенные в зоне влияния КуАЭС, полностью соответствуют установленным в СанПиН нормативам по содержанию

радионуклидов ^{90}Sr и ^{137}Cs с большими коэффициентами запаса и не оказывают значимого влияния на формирование дополнительных дозовых нагрузок на население.

Указанный факт подтверждают проведенные расчеты доз внутреннего облучения населения от нормализованных многолетних выбросов КуАЭС и данных радиоэкологического мониторинга, которые показали, что за счет потребления продуктов питания, производящихся в 30-километровой зоне наблюдения станции, в рацион питания местного населения поступает около 60–70 Бк/год ^{90}Sr и 190–200 Бк/год ^{137}Cs , что почти в 400 раз по ^{137}Cs (0,25% от ПГП) и в 200 раз по ^{90}Sr (0,52% от ПГП) ниже предела годового поступления (ПГП), установленного НРБ-99/2009⁵. При этом ожидаемая эффективная доза внутреннего облучения, обусловленная поступлением в организм ^{137}Cs и ^{90}Sr , за год составляет 2,5 и 5,0 мкЗв соответственно. Доминирующий вклад в формирование дозы внутреннего облучения населения за счет ^{137}Cs , содержащегося в основных дозообразующих сельскохозяйственных продуктах, вносят молоко (46%), мясо (31%), картофель и овощи (14%), за счет ^{90}Sr – молоко (14%) и продукты растениеводства (картофель, овощи, хлеб) – до 78% [6].

Заключение

Анализ результатов многолетних наблюдений за динамикой радиоэкологической обстановки в зоне влияния Курской АЭС, полученных в результате функционирования созданной сети мониторинга, позволяет сделать вывод о том, что эксплуатация данной атомной станции в штатном режиме не приводит к регистрируемому увеличению содержания техногенных радионуклидов в продукции сельского хозяйства, продуктах питания и объектах окружающей среды. Системный радиационно-экологический мониторинг в регионе КуАЭС необходимо продолжать, однако программа работ (включая перечень контролируемых дозообразующих радионуклидов) должна совершенствоваться с учетом новых данных о влиянии на формирование дозы внутреннего облучения радиологически значимых радионуклидов, таких, например, как биофильные ^3H , ^{14}C и др.

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (грант № 18-19-00016).

Литература

- Санжарова Н.И., Панов А.В., Кузнецов В.К., и др. Комплексный радиационно-экологический мониторинг в районе расположения радиационно-опасных объектов как составная часть Единой системы государственного экологического мониторинга // Известия вузов. Ядерная энергетика. 2019. №1. С. 131-142.
- Барковский А.Н., Барышков Н.К., Сапрыкин К.А., Титов Н.В. Оптимизация радиационного мониторинга, проводимого в субъектах Российской Федерации в рамках радиационно-гигиенической паспортизации // Радиационная гигиена. 2014. Т. 7, №1. С. 36-48.
- Аксенов В.А., Котельникова О.Б. Источники радиационной опасности в Курской области // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия техника и технологии. 2012. № 2, Ч. 2. С. 179-182.
- Отчет по экологической безопасности Курской АЭС за 2018 г. Курчатова: АО «Концерн Росэнергоатом», филиал «Курская атомная станция». 2019. 48 с.
- Кузнецов В.К., Санжаров А.И., Глазунов Г.П., Афонченко Н.В. Структура базы данных агроэкологического мониторинга земель сельскохозяйственного назначения в регионе размещения курской АЭС // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2015. №1. С. 52-57.
- Кузнецов В.К., Санжарова Н.И., Панов А.В., Исамов Н.Н. Радиационно-экологический мониторинг агроэкосистем в зоне воздействия АЭС: методология и результаты исследований // Медицинская радиология. Радиационная безопасность. 2019. Т. 64, №4. С. 25-31.
- Кузнецов В.М., Чеченов Х.Д., Никитин В.С. Экологическая безопасность объектов использования атомной энергии. М.: ООО «НИПКЦ Восход-А», 2010. 852 с.
- Организация государственного радиоэкологического мониторинга агроэкосистем в зоне воздействия радиационно-опасных объектов. МУ-13.5.13-00. (утв. Минсельхозом РФ 7 августа 2000 г.). М., 2000. 28 с.
- Методы организации и ведения агроэкологического мониторинга сельскохозяйственных угодий в зонах техногенного загрязнения и оценка экологической обстановки в сельском хозяйстве в регионах размещения атомных электростанций и аварии на ЧАЭС / под ред. Н.И. Санжаровой. Обнинск: ВНИИЭСХРАЭ, 2010. 276 с.
- Моисеев А.А., Рамзаев П.В. Цезий-137 в биосфере. М.: Атомиздат, 1975. 387 с.
- Панов А.В., Исамов Н.Н., Кузнецов В.К. Радиационно-экологический мониторинг в регионе размещения Ростовской АЭС. Анализ результатов многолетних исследований // Радиационная гигиена. 2019. Т. 12, №2 (специальный выпуск). С. 54-65.
- Данные по радиоактивному загрязнению территории населенных пунктов Российской Федерации цезием-137, стронцием-90 и плутонием-(239+240). Ежегодник. Обнинск: ФГБУ «НПО «Тайфун», 2019. 228 с.
- Крышев И.И., Рязанцев Е.П. Экологическая безопасность ядерно-энергетического комплекса России. М.: Издат, 2010. 496 с.
- Кузнецов В.К., Исамов Н.Н., Сидорова Е.В., и др. Результаты радиоэкологического мониторинга агроэкосистем в районе расположения Курской АЭС // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. 2018. Т. XXIX, №1. С. 73-88.
- United Nations, Sources and Effects of Ionizing Radiation (Report to the General Assembly with Scientific Annexes). Volume 1 Sources. Annex B, Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR), UN, New York, 2000. P. 84-156.
- Радиационная обстановка на территории России и сопредельных государств в 2018 году. Ежегодник. Обнинск: НПО «Тайфун», 2019. 324 с.
- Колесов А.Н., Рассолова А.И., Носова Е.М., Мещерякова В.М. Радиационная и экологическая обстановка в районе размещения Курской атомной станции // Медицина экстремальных ситуаций. 2011. №2. С. 65-71.

Поступила: 27.04.2020 г.

⁵ СанПиН 2.6.1.2523-09 Нормы радиационной безопасности. НРБ-99/2009 [Sanitary Rules and Norms 2.6.1.2523-09 "Radiation Safety Standard NRB-99/2009" (In Russ.)]

Кузнецов Владимир Константинович – доктор биологических наук, главный научный сотрудник Всероссийского научно-исследовательского института радиологии и агроэкологии, Обнинск, Россия

Панов Алексей Валерьевич – доктор биологических наук, профессор РАН, заместитель директора Всероссийского научно-исследовательского института радиологии и агроэкологии. **Адрес для переписки:** 249032, Калужская обл., г. Обнинск, Киевское шоссе, 109 км; E-mail: riar@mail.ru

Санжарова Наталья Ивановна – доктор биологических наук, профессор, член-корреспондент РАН, директор Всероссийского научно-исследовательского института радиологии и агроэкологии, Обнинск, Россия

Исамов Низаметдин Низаметдинович – кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник Всероссийского научно-исследовательского института радиологии и агроэкологии, Обнинск, Россия

Андреева Наталья Викторовна – руководитель испытательной лаборатории Всероссийского научно-исследовательского института радиологии и агроэкологии, Обнинск, Россия

Гешель Ирина Викторовна – научный сотрудник Всероссийского научно-исследовательского института радиологии и агроэкологии, Обнинск, Россия

Сидорова Елена Валентиновна – научный сотрудник Всероссийского научно-исследовательского института радиологии и агроэкологии, Обнинск, Россия

Для цитирования: Кузнецов В.К., Панов А.В., Санжарова Н.И., Исамов Н.Н., Андреева Н.В., Гешель И.В., Сидорова Е.В. Анализ результатов радиационно-экологического мониторинга в регионе размещения Курской АЭС // Радиационная гигиена. 2020. Т. 13, № 2. С. 19-30. DOI: 10.21514/1998-426X-2020-13-2-19-30

The analysis of radioecological monitoring results in the vicinity of the Kursk Nuclear Power Plant

Vladimir K. Kuznetsov, Alexey V. Panov, Natalia I. Sanzharova, Nizametdin N. Isamov, Natalia V. Andreeva, Irina V. Geshel, Elena V. Sidorova

All Russian Institute of radiology and agroecology, Obninsk, Russia

The research presents the data of long-term observations of the impact of the Kursk Nuclear Power Plant operation on the radioecological situation in the region of its location. The dynamics of the content of natural and artificial radionuclides in the components of agricultural ecosystems was studied due to the data based on the information from the radioecological monitoring network developed in 2003. Samples of soils, agricultural products and animal feeds were taken at 11 control sites located on arable lands and grasslands in the vicinity of the Kursk Nuclear Power Plant, and, in settlements, locally produced food was sampled. It was shown that for the period of studies of 2003-2019, the average specific activity of ^{90}Sr in the soils of agroecosystems of the 10 km influence zone of the Kursk Nuclear Power Plant varied within 2.7-4.3 Bq/kg, and specific activity of ^{137}Cs was 14.6-40.8 Bq/kg. At the same time, there were found no trends of increase in the content of artificial radionuclides in soil over time and at different distances from the NPP, and the increased specific activity of ^{137}Cs in soil compared to the global background is explained by the Chernobyl fallout. The variability of the average content of natural radionuclides in the soil for ^{40}K was 481-625 Bq/kg, ^{226}Ra – 20.6-29.5 Bq/kg, ^{232}Th – 28.2-39.2 Bq/kg, which corresponded to all-Russian data. The average specific activity of ^{90}Sr in grain was 0.24-0.43 Bq/kg, and ^{137}Cs – 0.19-0.37 Bq/kg. Even the maximum levels of artificial radionuclides in grain were 44 times for ^{90}Sr and 85 times for ^{137}Cs lower than the current SanPiN standards. The highest specific activity values of ^{137}Cs and ^{90}Sr in potatoes, vegetables, and gourds were 160 times lower than the SanPiN standards. It was noted that the maximum content of ^{90}Sr in milk was more than 540 times lower than the SanPiN standard, and for ^{137}Cs this difference was 330 times. The maximum content of ^{137}Cs in beef turned out to be over 850 times lower than the SanPiN standard for this radionuclide. About 70 Bq/a of ^{90}Sr and 200 Bq/a of ^{137}Cs enter the population diet with locally produced food, which is almost 400 times for ^{137}Cs and 200 times for ^{90}Sr lower than the annual limit. Milk (46%), meat (31%), potatoes and vegetables (14%) make the main contribution to the formation of the internal dose from agricultural products containing ^{137}Cs , and contribution to dose from ^{90}Sr is made by milk (14%) and crop products (potatoes, vegetables, bread) –

Alexey V. Panov

All Russian Institute of radiology and agroecology

Address for correspondence: Kiev highway, 109 km, Obninsk, Kaluga Region, 249032, Russia; E-mail: riar@mail.ru

up to 78%. In general, we concluded that over the past 17 years, the operation of the Kursk Nuclear Power Plant did not lead to a deterioration of the radioecological situation in the region of its location, because during the survey period there was no significant increase in the content of artificial radionuclides in agricultural products, foods and environmental components.

Key words: Kursk Nuclear Power Plant, radioecological monitoring, radiation safety, radionuclides, agricultural products, foodstuffs, agrarian ecosystems, soil, migration, contamination density.

References

1. Sanzharova NI, Panov AV, Kuznetsov VK, Isamov NN, Karpenko EI, Gordienko EV, et al. Complex radioecological monitoring in the vicinity of radiation hazardous facilities as an integral part of the unified system of state environmental monitoring. *Izvestiya vuzov. Yadernaya energetika = University News. Nuclear energy*. 2019;1: 131-142 (in Russian).
2. Barkovsky AN, Baryshkov NK, Saprykin KA, Titov NV. Optimization of radiation monitoring conducted in the subjects of the Russian Federation in the framework of radiation-hygienic certification. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*, 2014; 7(1): 36-48 (In Russian).
3. Aksenov VA, Kotelnikova OB. Sources of radiation hazard in the Kursk region. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya tekhnika i tekhnologii = News of Southwestern State University. Technique and Technology Series*, 2012;2(2): 179-182 (In Russian).
4. Environmental Safety Report of Kursk NPP for 2018, Rosenergoatom Concern JSC, Kursk Nuclear Power Plant Branch. Kurchatov. 2019. 48 p. (In Russian).
5. Kuznetsov VK, Sanzharov AI, Glazunov GP, Afonchenko NV. The structure of the database of agroecological monitoring of agricultural land in the region where the Kursk NPP is located. *Vestnik Kurskoy gosudarstvennoy selskokhozyaystvennoy akademii = Bulletin of the Kursk State Agricultural Academy*. 2015;1: 52-57 (In Russian).
6. Kuznetsov VK, Sanzharova NI, Panov AV, Isamov NN. Radioecological monitoring of agroecosystems in the NPP vicinity: methodology and results of investigations. *Meditsinskaya radiologiya. Radiatsionnaya bezopasnost = Medical radiology. Radiation safety*. 2019;64(4): 25-31 (In Russian).
7. Kuznetsov VM, Chechenov HD, Nikitin VS. Environmental safety of nuclear facilities. – M.: OOO «NIPKC Rising-A», 2010. 852 p. (In Russian).
8. Organization of state radioecological monitoring of agroecosystems in the zone of exposure to radiation-hazardous objects. MU-13.5.13-00. (adopted of the Agricultural Ministry of Russia 7 august 2000). Moscow. 2000. 28 p. (In Russian).
9. Methods of organizing and conducting agroecological monitoring of agricultural land in areas of industrial pollution and the assessment of the ecological situation in agriculture in the regions where NPPs are located and the territories affected by the Chernobyl NPP accident. Ed. by. Sanzharova NI. Obninsk: VNIISHRAE, 2010. 276 p. (In Russian).
10. Moiseev AA, Ramzaev PV. Cesium-137 in the biosphere. Moscow: Atomizdat, 1975. 387 p. (In Russian).
11. Panov AV, Isamov NN, Kuznetsov VK. Radioecological monitoring in the vicinity of Rostov NPP. The analysis of results of long-term investigations. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2019;12(2(special issue)): 54-65 (In Russian).
12. Data on radioactive contamination of the territory of settlements of the Russian Federation by caesium-137, strontium-90 and plutonium-(239 + 240). Yearbook. Obninsk: FSBI NPO «Typhoon», 2019. 228 p. (In Russian).
13. Kryshev II, Ryazantsev EP. Environmental safety of Russia's nuclear power complex. Moscow: Izdat, 2010. 496 p. (In Russian).
14. Kuznetsov VK, Isamov NN, Sidorova EV, Geshel IV, Andreeva NV, Sanzharov AI. Results of radioecological monitoring of agroecosystems in the area of the Kursk NPP. *Problemy ekologicheskogo monitoringa i modelirovaniya ekosistem = Problems of environmental monitoring and modeling of ecosystems*. 2018;29(1): 73-88 (In Russian).
15. United Nations, Sources and Effects of Ionizing Radiation (Report to the General Assembly with Scientific Annexes). Volume 1 Sources. Annex B, Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR), UN, New York. 2000. P. 84-156.
16. The radiation situation in Russia and neighboring states in 2018. Yearbook. Obninsk: FSBI NPO «Typhoon», 2019. 332 p. (In Russian).
17. Kolesov AN, Rassolova AI, Nosova EM, Meshcheryakova VM. Radiation and environmental conditions in the area of the Kursk Nuclear Power Plant. *Meditsina ekstremalnykh situatsiy = Emergency medicine*. 2011;2: 65-71 (In Russian).

Received: April 27, 2020

Vladimir K. Kuznetsov – Doctor of Biological Sciences, lead scientist of All Russian Institute of radiology and agroecology, Obninsk, Russia

For correspondence: Alexey V. Panov – Doctor of Biological Sciences, Professor, Russian Academy of Sciences, Deputy Director of All Russian Institute of radiology and agroecology (Kiev highway, 109 km, Obninsk, Kaluga Region, 249032, Russia; E-mail: riar@mail.ru)

Natalia I. Sanzharova – Doctor of Biological Sciences, Professor, corresponding member of the RAS, Director of All Russian Institute of radiology and agroecology, Obninsk, Russia

Nizametdin N. Isamov – PhD, lead scientist of All Russian Institute of radiology and agroecology, Obninsk, Russia

Natalia V. Andreeva – head of the test laboratory of All Russian Institute of radiology and agroecology, Obninsk, Russia

Irina V. Geshel – scientist of All Russian Institute of radiology and agroecology, Obninsk, Russia

Elena V. Sidorova – scientist of All Russian Institute of radiology and agroecology, Obninsk, Russia

For citation: Kuznetsov V.K., Panov A.V., Sanzharova N.I., Isamov N.N., Andreeva N.V., Geshel I.V., Sidorova E.V. The analysis of radioecological monitoring results in the vicinity of Kursk Nuclear Power Plant. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2020. Vol. 13, No 2. P. 19-30. (In Russian). DOI: 10.21514/1998-426X-2020-13-2-19-30