

Радиационно-экологический мониторинг в регионе размещения Ростовской АЭС. Анализ результатов многолетних исследований

А.В. Панов, Н.Н. Исамов, В.К. Кузнецов

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

Целью настоящей работы являлась оценка влияния Ростовской АЭС (в составе 4 блоков с реакторами ВВЭР-1000) на радиоэкологическую обстановку в регионе размещения станции в течение 18 лет с момента пуска первого энергоблока. На основе результатов наблюдений на созданной в 2001 г. сети радиационно-экологического мониторинга, включающей 7 контрольных участков и 5 контрольных пунктов, проведен анализ содержания природных и техногенных радионуклидов в объектах окружающей среды, сельскохозяйственной продукции и продуктах питания. Показано, что за весь рассматриваемый период среднее содержание ^{90}Sr в почвах агроэкосистем 15-километровой зоны влияния АЭС варьировало в пределах 1,7–7,4 Бк/кг, а ^{137}Cs – 7,5–14,9 Бк/кг, при этом не было обнаружено трендов на увеличение удельной активности этих техногенных радионуклидов в почве на всей рассматриваемой территории. Диапазон вариации среднего содержания в почве естественных радионуклидов составлял для ^{40}K 561–634 Бк/кг, ^{226}Ra – 23,4–27,5 Бк/кг, ^{232}Th – 32,7–35,9 Бк/кг. Средняя концентрация ^{90}Sr в зерне находилась в диапазоне 0,1–0,68 Бк/кг, а ^{137}Cs – 0,23–0,54 Бк/кг. Даже максимальные значения удельной активности техногенных радионуклидов в продовольственном зерне были в 55 раз для ^{90}Sr и в 65 раз для ^{137}Cs ниже действующих нормативов СанПиН. Максимальные уровни содержания ^{137}Cs в овощах, картофеле и бахчевых были в 80 раз ниже норматива СанПиН. В молоке максимальные уровни удельной активности ^{90}Sr более чем в 400 раз ниже нормативных значений СанПиН (25 Бк/кг), а по ^{137}Cs (норматив 100 Бк/кг) эта разница составила 600 раз. Минимальными коэффициентами перехода радионуклидов характеризуются овощные культуры. Коэффициенты перехода ^{90}Sr в овощи, соотносящие концентрации радионуклидов в растениях с плотностью поверхностного загрязнения (Бк/кг)/(кБк/м²), в зависимости от вида продукции находятся в диапазоне 0,04–0,17, а для ^{137}Cs – в пределах 0,008–0,2. Максимальные коэффициенты перехода радионуклидов отмечены в многолетних травах. Коэффициенты перехода ^{90}Sr в естественные и многолетние сеяные травы составляют 0,75–2,2, а для ^{137}Cs – 0,28–0,86. Различия в коэффициентах перехода между овощами и травами достигают 50 раз, а в среднем составляют 10–20 раз. Отмечено, что все виды культур накапливают в среднем в 2–5 раз больше ^{90}Sr по сравнению с ^{137}Cs . Показано, что содержание техногенных радионуклидов в воде Цимлянского водохранилища ниже уровня вмешательства по ^{90}Sr в 163 раза, а по ^{137}Cs – в 183 раза. В целом, анализ 18-летних результатов наблюдений за радиоэкологической обстановкой в регионе размещения Ростовской АЭС позволяет заключить, что эксплуатация данной атомной электростанции в штатном режиме и ввод в действие новых энергоблоков не привели к регистрируемому увеличению содержания техногенных радионуклидов в продукции сельского хозяйства, продуктах питания и объектах окружающей среды.

Ключевые слова: атомная электростанция, радиационно-экологический мониторинг, радиационная безопасность, радионуклиды, сельскохозяйственная продукция, продукты питания, наземные аграрные экосистемы, водные экосистемы.

Введение

Перспективы развития ядерной энергетики как важной составляющей энергобезопасности государства во многом определяются решением ряда экологических задач, одной из которых является обоснование радиационной безопасности человека при эксплуатации атомных электростанций и связанных с этим выбросов и сбросов радионуклидов в окружающую среду [1–2]. Это обоснование возможно только при организации и ведении

радиационно-экологического мониторинга в регионах размещения АЭС на основе результатов многолетних наблюдений за поступающими от электростанции радионуклидами в окружающую среду. При эксплуатации АЭС в технологически штатном режиме происходят выбросы и сбросы определенного, строго контролируемого количества радионуклидов, которые, попадая в окружающую среду, включаются в пищевые цепочки миграции и формируют дополнительное к естественному фону облучение

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. Сельскохозяйственная продукция (и в первую очередь продукты питания), производимая в регионе размещения АЭС, во всех случаях является одним из основных источников поступления радионуклидов в организм человека, проживающего на территории, прилегающей к атомной электростанции. Это обуславливает особое внимание к аграрным экосистемам как к объекту воздействия на население предприятий ядерной энергетики [3]. Учитывая, что в Российской Федерации в 30-километровых зонах влияния АЭС от 50 до 90% территории занимают сельскохозяйственные угодья, становится очевидной необходимость организации системы радиационно-экологического мониторинга аграрных экосистем в регионах размещения атомных электростанций для обеспечения безопасного проживания населения и снабжения его продуктами питания, соответствующими санитарно-гигиеническим нормативам [4]. Для исследования была выбрана Ростовская (с 2001 по 2010 г. Волгодонская) АЭС суммарной мощностью 4,03 ГВт, которая является крупнейшим на аграрном юге России предприятием энергетики, вырабатывая около 30% годового регионального объема электроэнергии.

Цель исследования – анализ результатов многолетних наблюдений за влиянием Ростовской АЭС на радиоэкологическую обстановку в регионе размещения станции, полученных на созданной сети радиационно-экологического мониторинга.

Задачи исследования

В число задач исследования входили:

- оценка содержания природных и техногенных радионуклидов в объектах окружающей среды (почва, вода, донные отложения) в регионе размещения Ростовской АЭС в период 2001–2018 гг.;
- анализ динамики распределения техногенных радионуклидов в почвенном профиле и влияние пуска новых энергоблоков Ростовской АЭС на этот процесс;
- оценка многолетних данных по накоплению радионуклидов в сельскохозяйственной продукции и продуктах питания в регионе Ростовской АЭС и сравнение их с радиологическими нормативами;
- анализ параметров накопления радионуклидов в сельскохозяйственной продукции и продуктах питания на каштановых почвах в зоне влияния Ростовской АЭС.

Материалы и методы

Площадка Ростовской АЭС (РАЭС) расположена в Дубовском районе Ростовской области в 13,5 км от г. Волгодонска и в 19,8 км от г. Цимлянска. Ближайшие населенные пункты (хутор Харсеев и станица Подгоренская) находятся вне санитарно-защитной зоны РАЭС на расстоянии 4,0 и 5,0 км соответственно. Тридцатикилометровая зона наблюдения РАЭС, занимающая площадь 282,6 тыс. га, включает 91,3 га водной поверхности юго-западной части Цимлянского водохранилища. В 30-километровую зону входят два города – Волгодонск и Цимлянск, 38 сельских поселений, а также сельскохозяйственные угодья 24 коллективных фермерских хозяйств Волгодонского, Цимлянского, Зимовниковского и Дубовского районов. В структуре землепользования агропредприятий преобладают пахотные угодья – 68,5%

и пастбища – 21,6%. Сельскохозяйственными землями занято 93% сухопутной части 30-километровой зоны наблюдения РАЭС. Окружающие электростанцию сельскохозяйственные угодья, в основном, используются под пашню, где возделываются зерновые, овощные, а также кормовые культуры. Основной почвенный фонд данного региона составляют каштановые почвы и южные черноземы тяжелого гранулометрического состава. Совместно со средне-, тяжелосуглинистыми и глинистыми по механическому составу почвами они формируют 92–100% почвенного покрова от общей площади сельскохозяйственных угодий в зоне наблюдения РАЭС [4]. На основе анализа данных по характеристикам почв агроэкосистем и структуре землепользования в 2001 г. была заложена сеть радиационно-экологического мониторинга (рис. 1) в зоне влияния РАЭС, включающая 7 контрольных участков (КУ) и 2 контрольных пункта (КП).

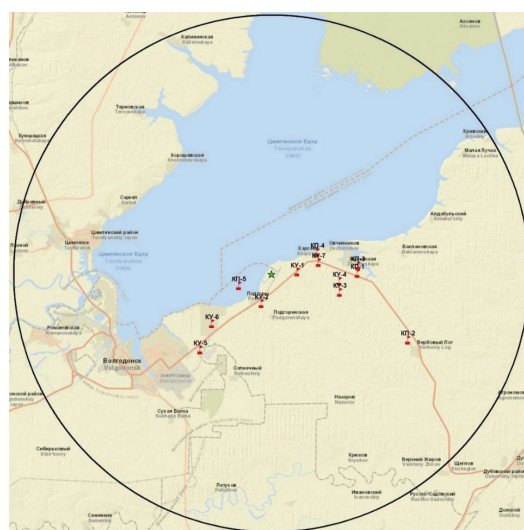


Рис. 1. Карта-схема контрольных участков и пунктов сети радиационно-экологического мониторинга в регионе размещения Ростовской АЭС (* – Ростовская АЭС; КУ – контрольный участок, КП – контрольный пункт)
[Fig. 1. Schematic map of control sites and control points of the radioecological monitoring network in the vicinity of Rostov NPP (* – Rostov NPP; CS – control site; CP – control point)]

Контрольные участки и контрольные пункты, расположенные в 15-километровой зоне размещения РАЭС, выбирались в соответствии с требованиями МУ-13.5.13-00 [3] по «розе ветров» таким образом, чтобы на преобладающих типах почв были представлены основные возделываемые в регионе сельскохозяйственные культуры, при этом отдельно анализировались данные для пахотных и лугопастбищных угодий. Площадь сельскохозяйственных угодий, где были заложены контрольные участки, варьировала от 20 до 192 га, а территория садовых обществ составляла 10 га. При выборе контрольных участков на пастбищах оценивалась информация по направлениям и отраслевой структуре ведения животноводства. В связи с преобладанием в регионе мясного скотоводства и молока как критического продукта, с которым поступает наибольшее количество радионуклидов в рацион питания населения, было выбрано 2 контрольных пункта (КП-1 и

КП-2), где имеется молочное стадо коров. Для оценки радиационно-экологической ситуации в водной экосистеме Цимлянского водохранилища в 2018 г. были определены три контрольных пункта (КП-3 – КП-5) (табл. 1).

Мониторинговые исследования проводились в соответствии с требованиями МУ-13.5.13-00 [3] и рекомендациями [5] в период 2001–2018 гг. на всем промежутке времени, за исключением отдельных лет. На контрольных участках, расположенных на пашне, отбирался пахотный горизонт (0–20 см), а на лугах и пастбищах – верхний слой почвы глубиной 10 см. При сопряженном отборе растительных и почвенных образцов для определения содержания радионуклидов, агрохимических показателей почв и коэффициентов накопления радионуклидов в продукции растениеводства одновременно проводилось и измерение мощности AMBIENTного эквивалента дозы

(МАЭД). На контрольном участке КУ-2 в 2008 и 2018 гг. дополнительно отбирались пробы почвы послойно, что дало возможность оценить динамику вертикального распределения радионуклидов в почвенном профиле. Отобранная при мониторинге продукция растениеводства разделялась на хозяйственно-ценную (зерно, клубне- и корнеплоды, овощи) и побочную часть продукции (солома и др.). На контрольных пунктах, где ведется наблюдение за миграцией радионуклидов по животноводческой цепочке (КП-1 и КП-2), был проведен отбор проб почвы, рациона сельскохозяйственных животных, молока и говядины. В водной экосистеме Цимлянского водохранилища отбирались пробы воды, донных отложений и рыбы (табл. 2). Во всех отобранных образцах определяли содержание естественных (^{40}K , ^{226}Ra , ^{232}Th) и наиболее радиологически значимых техногенных (^{90}Sr , ^{137}Cs) радионуклидов.

Характеристика сети радиационно-экологического мониторинга в регионе размещения Ростовской АЭС

Таблица 1

[Table 1]

Characteristic of the radioecological monitoring network in the vicinity of the Rostov NPP

Контрольный участок (пункт) [Control site (point)]	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 using]
Наземные аграрные экосистемы [Terrestrial agrarian ecosystems]				
КУ-1 [CS-1]	В, 2 [E, 2]	х. Харсеев [Harseev]	СПК «Новожикуровский» [Novozhukovsky farm]	Пашня, 153 га [Arable land, 153 ha]
КУ-2 [CS-2]	Ю, 4 [S, 4]	ст. Подгоренская [Podgorenskaya]	СПК «Новожикуровский» [Novozhukovsky farm]	Сенокос, 20 га [Hay fields, 20 ha]
КУ-3 [CS-3]	Ю-В, 6,5 [S-E, 6,5]	ст. Подгоренская [Podgorenskaya]	СПК «Новожикуровский» [Novozhukovsky farm]	Пашня, 164 га [Arable land, 164 ha]
КУ-4 [CS-4]	В, 5 [E, 5]	ст. Жуковская [Zhukovskaya]	СПК «Новожикуровский» [Novozhukovsky farm]	Пашня, 192 га [Arable land, 192 ha]
КУ-5 [CS-5]	Ю-З, 11,6 [S-W, 11,6]	п. Солнечный [Solnechny]	ЗАО «ПТФ им. Черникова» [CJS poultry plant Chernikova]	Пашня, 90 га [Arable land, 90 ha]
КУ-6 [CS-6]	Ю-З, 8,3 [S-W, 8,3]	х. Подгоры [Podgory]	Садовые общества [Garden]	Сад, 10 га [Garden, 10 ha]
КУ-7 [CS-7]	С-В, 7 [N-E, 7]	х. Овчинников [Ovchinnikov]	СПК «Новожикуровский» [Novozhukovsky farm]	Пашня, 154 га [Arable land, 154 ha]
КП-1 [CP-1]	С-В, 7,5 [N-E, 7,5]	ст. Жуковская [Zhukovskaya]	Частное стадо молочных коров [Herd of private cows]	Пастбище [Pasture]
КП-2 [CP-2]	Ю-В, 15 [S-E, 15]	Ст. Вербовый Лог [Verbovy Log]	Частное стадо молочных коров [Herd of private cows]	Пастбище [Pasture]
Водные экосистемы [Freshwater ecosystems]				
КП-3 [CP-3]	С-В, 8 [N-E, 8]	ст. Жуковская [Zhukovskaya]	Цимлянское водохранилище [Tsimlyansk reservoir]	Водоем [Water]
КП-4 [CP-4]	С-В, 5 [N-E, 5]	х. Харсеев [Harseev]	Цимлянское водохранилище [Tsimlyansk reservoir]	Водоем [Water]
КП-5 [CP-5]	З, 2 [W, 2]	х. Подгоры [Podgory]	Цимлянское водохранилище [Tsimlyansk reservoir]	Водоем [Water]

Объем исследований на сети радиационно-экологического мониторинга в регионе размещения Ростовской АЭС в период 2001–2018 гг.

Таблица 2

[Table 2]

The scales of research on the radioecological monitoring network in the vicinity of the Rostov NPP (2001–2018)

Контрольный участок (пункт) [Control site (point)]	Период наблюдения [Period of monitoring]	Объекты окружающей среды [The objects of environment]	Сельскохозяйственная продукция [Agricultural products]	Продукты питания [Foodstuff]
КУ-1 [CS-1]	2001–2003, 2008–2010, 2012–2014, 2016, 2018	Почва (пахотный слой 0–20 см) [Soil (topsoil 0–20 cm)]	Озимая пшеница (зерно, солома); ячмень (зерно, солома) [Winter wheat (grain, straw); Barley (grain, straw)]	–
КУ-2 [CS-2]		Почва (верхний слой 0–10 см); почва (последовательно в 2008, 2018 гг.) [Soil (topsoil 0–10 cm); Soil (layers in 2008, 2018)]	Естественные травы [Natural grass]	–
КУ-3 [CS-3]		Почва (пахотный слой 0–20 см) [Soil (topsoil 0–20 cm)]	Многолетние сеянные травы; озимая пшеница (зерно, солома); ячмень (зерно, солома) [Perennial grass; Winter wheat (grain, straw); Barley (grain, straw)]	–
КУ-4 [CS-4]		Почва (пахотный слой 0–20 см) [Soil (topsoil 0–20 cm)]	–	Лук (перо, репка); картофель (клубни); томаты [Onion (green, bulb); Potato (tuber); Tomato]
КУ-5 [CS-5]		Почва (пахотный слой 0–20 см) [Soil (topsoil 0–20 cm)]	Озимая пшеница (зерно, солома); ячмень (зерно, солома); тритикале (зерно, солома) [Winter wheat (grain, straw); Barley (grain, straw); Triticale (grain, straw)]	–
КУ-6 [CS-6]		Почва (пахотный слой 0–20 см) [Soil (topsoil 0–20 cm)]	–	Баклажаны; кабачки; капуста; морковь; перец; свекла столовая; томаты [Eggplant; Zucchini; Cabbage; Carrot; Bell pepper; Beetroot; Tomato]
КУ-7 [CS-7]		Почва (пахотный слой 0–20 см) [Soil (topsoil 0–20 cm)]	Многолетние сеянные травы; озимая пшеница (зерно, солома); ячмень (зерно, солома); сорго [Perennial grass; Winter wheat (grain, straw); Barley (grain, straw); Sorghum]	–
КП-1 [CP-1]	2001–2003, 2008–2010, 2012–2014, 2016, 2018	Почва (верхний слой 0–10 см) [Soil (topsoil 0–10 cm)]	Естественные травы [Natural grass]	Молоко [Milk]
КП-2 [CP-2]		Почва (верхний слой 0–10 см) [Soil (topsoil 0–10 cm)]	Многолетние сеянные травы [Perennial grass]	Молоко; говядина [Milk; Beef]
КП-3 [CP-3]	2018	Вода; лонные отложения [Water; bottom sediments]	–	–
КП-4 [CP-4]		Вода; лонные отложения [Water; bottom sediments]	–	–
КП-5 [CP-5]		Вода; лонные отложения [Water; bottom sediments]	–	Рыба лещ [Fish bream]

Функционирование Ростовской АЭС обеспечивается работой четырех энергоблоков с реакторами ВВЭР-1000: энергоблок №1 запущен в 2001 г., №2 – в 2010 г., №3 – в 2015 г. и №4 – в 2018 г. соответственно. Поэтому ведение радиационно-экологического мониторинга в регионе размещения РАЭС в течение 18 лет дало возможность оценить влияние атомной электростанции на человека и окружающую среду от эксплуатации всех четырех энергоблоков.

Результаты и обсуждение

На первом этапе анализа данных сети радиационно-экологического мониторинга в регионе размещения РАЭС была выполнена оценка динамики удельной активности радионуклидов техногенного происхождения в почвенных образцах. За весь 18-летний период наблюдений содержание ^{90}Sr в почве варьировало в достаточно узких пределах 1,1–8,7 Бк/кг, а ^{137}Cs – от 5,4 до 18,8 Бк/кг. Вариабельность данных по контрольным участкам и пунктам составляла 1,2–4,0 раза для ^{90}Sr и 1,4–3,0 раза для ^{137}Cs . При этом ни-

где не было обнаружено трендов на увеличение содержания техногенных радионуклидов в отобранных почвенных образцах на всей рассматриваемой территории (рис. 2). Таким образом, начиная с 2001 г., ввод в эксплуатацию новых энергоблоков РАЭС не оказал влияния на увеличение содержания техногенных радионуклидов в почвах агроэкосистем, прилегающих к атомной электростанции территорий.

Среднее содержание ^{90}Sr в почве в регионе размещения РАЭС составляет 1,7–7,4 Бк/кг, ^{137}Cs варьирует в пределах 7,5–14,9 Бк/кг. Диапазон вариации среднего содержания в почве естественных радионуклидов составляет: для ^{40}K 561–634 Бк/кг, для ^{226}Ra 23,4–27,5 Бк/кг, для ^{232}Th 32,7–35,9 Бк/кг (табл. 3). Мощность эквивалентных доз гамма-излучения на местности за годы исследований находилась в диапазоне 0,09–0,16 мкЗв/ч при среднем значении 0,13 мкЗв/ч. Полученные результаты мониторинга хорошо согласуются как с данными из международных источников [6], так и с результатами российских исследований, проведенных в регионе Ростовской АЭС [7–8].

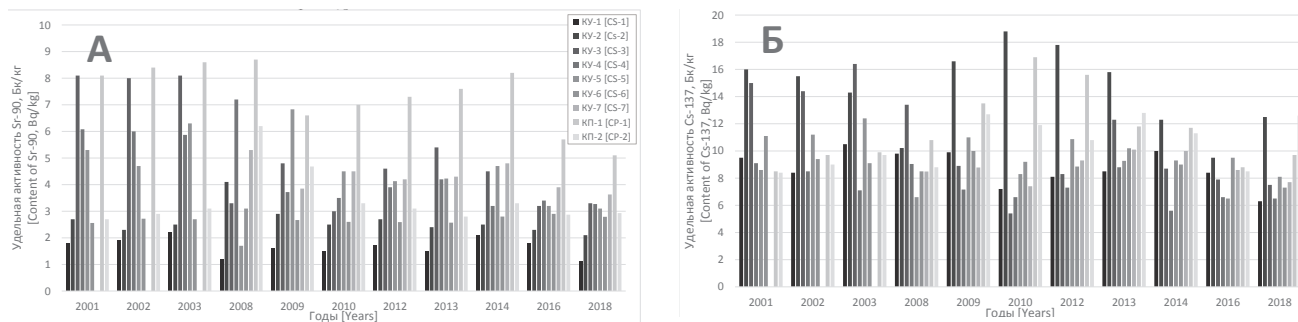


Рис. 2. Содержание техногенных радионуклидов (А – ^{90}Sr , Б – ^{137}Cs) в почвах контрольных участков и контрольных пунктов сети радиационно-экологического мониторинга в регионе размещения Ростовской АЭС в период 2001–2018 гг.

[Fig. 2. Content of technogenic radionuclides (A – ^{90}Sr , Б – ^{137}Cs) in soils of control sites and control points of the radioecological monitoring network in the vicinity of Rostov NPP in 2001–2018]

Таблица 3
Содержание естественных и техногенных радионуклидов в почве сельскохозяйственных угодий в регионе размещения Ростовской АЭС в 2001–2018 гг., Бк/кг

[Table 3]
Content of natural and artificial radionuclides in agricultural soils in the vicinity of the Rostov NPP (2001–2018), Bq/kg

Контрольный участок (пункт) [Control site (point)]	МАЭД, мкЗв/ч [Gamma dose rate, $\mu\text{Sv/h}$]	^{40}K	^{226}Ra	^{232}Th	^{90}Sr	^{137}Cs
КУ-1 [CS-1]	0,13* 0,11–0,15	604 490–856	25,2 22,4–31,3	34,1 28,6–39,5	1,7 1,1–2,2	8,8 6,3–10,5
КУ-2 [CS-2]	0,13 0,11–0,15	634 535–713	25,2 20,9–29,9	35,5 25,7–41,7	2,6 2,1–4,1	14,9 9,5–18,8
КУ-3 [CS-3]	0,13 0,11–0,15	585 430–652	24,9 21,5–33,4	35,9 28,1–47,2	5,1 3,0–8,1	10,7 5,4–16,4
КУ-4 [CS-4]	0,13 0,11–0,15	570 416–711	23,9 20,3–30,8	32,7 27,3–38,6	4,6 3,2–7,2	7,5 5,6–9,1
КУ-5 [CS-5]	0,13 0,11–0,16	575 447–704	23,4 20,0–29,7	35,7 31,0–48,9	4,4 1,7–6,8	9,3 6,5–12,4
КУ-6 [CS-6]	0,13 0,11–0,15	616 532–728	23,8 17,9–29,7	34,6 29,3–43,0	2,7 2,6–3,1	9,3 7,3–11,1
КУ-7 [CS-7]	0,13 0,12–0,15	586 482–691	26,4 21,7–34,2	35,4 27,9–40,0	4,3 3,6–5,3	8,8 7,4–10,1

Контрольный участок (пункт) [Control site (point)]	МАЭД, мкЗв/ч [Gamma dose rate, $\mu\text{Sv/h}$]	^{40}K	^{226}Ra	^{232}Th	^{90}Sr	^{137}Cs
КП-1 [CP-1]	0,13 0,11–0,17	561 452–687	25,2 19,2–28,6	34,3 21,1–42,3	7,4 5,1–8,7	11,5 8,5–16,9
КП-2 [CP-2]	0,12 0,09–0,15	574 489–708	27,5 19,6–34,5	33,6 29,5–39,6	3,4 2,7–6,2	10,8 8,4–12,8
Среднее в РФ [6] [Average in Russia [6]]	–	520 100–1400	27 1–76	30 2–79	–	–
Регион РАЭС [7] [Area of Rostov NPP [7]]	–	563 2,9–6162,6	41,8 0,8–69,0	38,7 0,9–82,4	–	16,9 0,5–91,4
Регион РАЭС [8] [Area of Rostov NPP [8]]	–	–	–	–	–	19,9 1,0–76,0

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

Сравнительный анализ данных по удельной активности техногенных радионуклидов в почве пашни и лугопастбищных угодий показал, что на последних уровнях содержания ^{90}Sr на 15%, а ^{137}Cs на 25% выше, что объясняется проведением на пашне ежегодных агротехнических мероприятий и перераспределением радионуклидов в почвенном профиле на большую глубину.

Для оценки динамики миграции радионуклидов техногенного происхождения в почве целинных лугов в 2008 и 2018 гг. на контрольном участке КУ-2 (сенокос с естественными многолетними травами) были отобраны пробы почвы послойно на глубину до 25 см (рис. 3). Видна достаточно низкая вариабельность распределения ^{90}Sr в почвенном горизонте (в пределах 0,5–1 Бк/кг) и ^{137}Cs (диапазон 1–5 Бк/кг). При этом не отмечено достоверного увеличения содержания этих радионуклидов в верхних слоях почвы за 10-летний период, что говорит об отсутствии значимого дополнительного поступления ^{90}Sr и ^{137}Cs в окружающую среду после пуска энергоблоков № 2, № 3 и № 4 РАЭС, а присутствие их в почве объясняется глобальными выпадениями.

Почвы контрольных участков и пунктов представлены двумя основными типами: каштановыми (КУ-4, КУ-7 и КП-1) и темно-каштановыми (все остальные). Они имеют нейтральную или слабощелочную реакцию, низкую гидролитическую кислотность, невысокое содержание гумуса,

высокую емкость катионного обмена, достаточно высокую обеспеченность элементами минерального питания. Почвенный поглощающий комплекс насыщен обменными катионами – сумма обменных оснований в среднем составляет около 30 мг-экв/100 г почвы. Сравнительный анализ данных разных лет не выявил существенных различий в почвенных характеристиках. Варьирование наиболее устойчивых почвенных показателей (кислотность, содержание гумуса, сумма обменных оснований) не превышало 30%. Наиболее значимые различия до 2–2,5 раз наблюдались только по содержанию в почве элементов минерального питания – азота, фосфора, калия. Эти показатели зависят от доз агроулучшителей, внесенных в различные годы. В связи с этим отмечено как увеличение, так и снижение уровней содержания элементов питания в почве контрольных участков и пунктов. Показатель гранулометрического состава почв характеризовался незначительной вариабельностью.

С точки зрения радиационной безопасности человека более значимым является определение содержания радионуклидов в производимой сельскохозяйственной продукции и продуктах питания, а также оценка их соответствия установленным радиологическим стандартам и санитарно-гигиеническим нормативам. Это особенно важно, поскольку в регионе Ростовской АЭС значительную долю в рационе питания населения составляют пи-

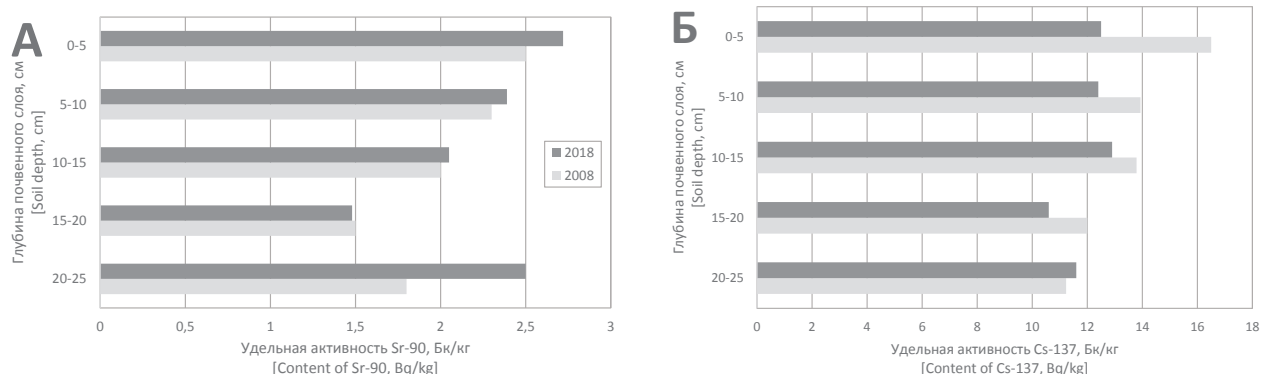


Рис. 3. Распределение техногенных радионуклидов (А – ^{90}Sr , Б – ^{137}Cs) в почвенном профиле контрольного участка КУ-2 в 2008 и 2018 гг.
[Fig. 2.] Content of technogenic radionuclides (А – ^{90}Sr , Б – ^{137}Cs) in soils of control sites and control points of the radioecological monitoring network in the vicinity of Rostov NPP in 2001–2018]

щевые продукты местного производства. Среднее содержание радионуклидов в продовольственном зерне за весь 18-летний период наблюдений находилось в диапазонах:

для ^{40}K 115–209 Бк/кг, для ^{90}Sr 0,1–0,68 Бк/кг и для ^{137}Cs 0,23–0,54 Бк/кг (табл. 4). Вариабельность данных в накоплении радионуклидов в продукции растениеводства

Таблица 4

Содержание естественных и техногенных радионуклидов в сельскохозяйственной продукции в регионе размещения Ростовской АЭС в 2001–2018 гг., Бк/кг

[Table 4]

Content of natural and artificial radionuclides in agricultural products in the vicinity of the Rostov NPP (2001–2018), Bq/kg

Контрольный участок (пункт) [Control site (point)]	Сельскохозяйственная культура [Agricultural culture]	Хозяйственно ценная часть [Valuable part of the plant]	^{40}K	^{90}Sr	^{137}Cs
КУ-1 [CS-1]	Озимая пшеница [Winter wheat]	Зерно [Grain]	146*	0,1	0,24
		Солома [Straw]	329	0,36	1,34
		Зерно [Grain]	128–168	0,17–0,22	0,27–0,46
КУ-2 [CS-2]	Естественные травы [Natural grass]	Солома [Straw]	256–503	0,30–0,41	0,94–1,60
		Зеленая масса [Green mass]	375	1,2	1,7
		Зерно [Grain]	167–691	0,5–1,9	0,9–2,3
КУ-3 [CS-3]	Озимая пшеница [Winter wheat]	Зерно [Grain]	151	0,16	0,54
		Солома [Straw]	113–195	0,11–0,20	0,35–0,90
		Солома [Straw]	348	0,44	0,97
КУ-5 [CS-5]	Ячмень [Barley]	Зерно [Grain]	101–706	0,41–0,49	0,67–1,50
		Солома [Straw]	208	0,22	0,47
		Солома [Straw]	157–240	0,18–0,27	0,41–0,53
КУ-7 [CS-7]	Многолетние сеянные травы [Perennial grass]	Зеленая масса [Green mass]	401	0,49	1,12
		Зеленая масса [Green mass]	390–418	0,41–0,57	0,75–1,78
		Зеленая масса [Green mass]	643	3,7	1,8
КУ-5 [CS-5]	Озимая пшеница [Winter wheat]	Зерно [Grain]	449–955	2,8–4,3	1,0–2,6
		Солома [Straw]	154	0,39	0,45
		Солома [Straw]	133–197	0,18–0,74	0,31–0,60
КУ-5 [CS-5]	Ячмень [Barley]	Зерно [Grain]	436	0,74	1,36
		Солома [Straw]	198–895	0,50–1,16	0,94–1,86
		Зерно [Grain]	115	0,68	0,31
КУ-5 [CS-5]	Тритикале [Triticale]	Солома [Straw]	98–132	0,65–0,71	0,25–0,36
		Солома [Straw]	223	1,31	2,0
		Зерно [Grain]	190–256	1,22–1,40	1,90–2,10
КУ-5 [CS-5]	Озимая пшеница [Winter wheat]	Зерно [Grain]	145	0,17	0,27
		Солома [Straw]	132–163	0,15–0,21	0,08–0,37
		Солома [Straw]	350	0,39	0,99
КУ-7 [CS-7]	Ячмень [Barley]	Зерно [Grain]	127–630	0,35–0,43	0,89–1,11
		Солома [Straw]	150	0,14	0,23
		Солома [Straw]	180	0,54	1,07
КУ-7 [CS-7]	Многолетние сеянные травы [Perennial grass]	Зеленая масса [Green mass]	209	0,15	0,35
		Зеленая масса [Green mass]	144–296	0,13–0,17	0,31–0,39
		Зеленая масса [Green mass]	344	0,35	1,48
КУ-7 [CS-7]	Сорго [Sorghum]	Зеленая масса [Green mass]	136–457	0,27–0,39	1,30–1,63
		Зеленая масса [Green mass]	488	1,16	1,06
		Зеленая масса [Green mass]	287–758	0,48–2,3	0,87–1,20
КУ-7 [CS-7]	Естественные травы [Natural grass]	Зеленая масса [Green mass]	315	0,44	0,87
		Зеленая масса [Green mass]	306–324	0,37–0,51	0,81–0,92
		Зеленая масса [Green mass]	335	1,70	1,22
КУ-7 [CS-7]	Многолетние сеянные травы [Perennial grass]	Зеленая масса [Green mass]	165–495	0,53–2,70	0,56–2,30
		Зеленая масса [Green mass]	394	0,76	1,21
		Зеленая масса [Green mass]	291–601	0,58–0,90	0,87–1,70

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

объясняется как сортовыми особенностями растений, так и погодными условиями, а также дозами применения агро-мелиорантов в разные годы исследований, что в определенной степени повлияло на миграцию радионуклидов. Например, различия в накоплении естественных радионуклидов в зерне для одной и той же культуры в разные годы составили 1,1–2,1 раза, а для техногенных – 1,1–4,6 раза, при этом ни на одном контрольном участке не были зафиксированы тренды по увеличению во времени содержания ^{90}Sr и ^{137}Cs в данной сельскохозяйственной продукции. Даже максимальные значения удельной активности техногенных радионуклидов в продовольственном зерне (^{90}Sr – 0,74 и ^{137}Cs – 0,90 Бк/кг) были в 55 раз для ^{90}Sr и в 65 раз для ^{137}Cs ниже действующих нормативов (СанПиН 2.3.2.1078-01 и СанПиН 2.3.2.2650-10).

В кормах для сельскохозяйственных животных (солома, естественные и сеянные травы) радионуклиды накапливаются в большей степени по сравнению с зерном, что связано с биологическими особенностями растений. Так, в соломе зерновых с контрольных участков среднее содержание ^{90}Sr варьировало в диапазоне 0,35–1,31 Бк/кг и ^{137}Cs – 0,97–2,0 Бк/кг, а в зеленой массе трав с контрольных участков и контрольных пунктов этот диапазон составлял 0,44–3,7 Бк/кг для ^{90}Sr и 0,87–1,8 Бк/кг для ^{137}Cs соответственно (см. табл. 4). За весь рассматриваемый 18-летний период наблюдений максимально зафиксированные

уровни удельной активности ^{90}Sr в соломе были в 130 раз ниже норматива по содержанию этого радионуклида в кормах (180 Бк/кг по ВП 13.5.13/06-01), а по ^{137}Cs эта разница составила 190 раз (норматив 400 Бк/кг). Максимальные уровни содержания ^{90}Sr в траве были в 12 раз ниже норматива (50 Бк/кг по ВП 13.5.13/06-01), а ^{137}Cs – почти в 40 раз (норматив 100 Бк/кг). В целом, представленные данные показывают, что продукция растениеводства, производящаяся в регионе размещения Ростовской АЭС, полностью соответствует радиологическим нормативам с большими коэффициентами запаса и не оказывает влияния на формирование дополнительной дозовой нагрузки на население.

При радиационно-экологическом мониторинге всегда особое внимание уделяется продуктам питания местного производства с минимальной технологической кулинарной переработкой. Анализ результатов многолетних наблюдений показывает, что при нормативе СанПиН 2.3.2.2650-10 по содержанию ^{90}Sr 40 Бк/кг в овощах, картофеле и бахчевых, максимальные уровни удельной активности данного радионуклида в этих видах пищевой продукции, производящейся в регионе РАЭС, в 45 раз ниже установленного лимита. Максимальные уровни содержания ^{137}Cs в овощах, картофеле и бахчевых в 80 раз ниже норматива (80 Бк/кг) СанПиН 2.3.2.2650-10 (табл. 5). При довольно большом наборе пищевой растениеводческой продукции, произ-

Таблица 5

Содержание естественных и техногенных радионуклидов в продуктах питания, произведенных в регионе размещения Ростовской АЭС в 2001–2018 гг., Бк/кг

[Table 5]

Content of natural and artificial radionuclides in foodstuffs which manufactured in the vicinity of the Rostov NPP (2001–2018), Bq/kg

Контрольный участок (пункт) [Control site (point)]	Продукт питания [Foodstuff]	^{40}K	^{90}Sr	^{137}Cs
КУ-4 [CS-4]	Лук перо [Green onion]	89	0,17	0,50
	Лук репка [Bulb onion]	53* 30–72	0,10 0,04–0,15	0,25 0,10–0,42
	Картофель [Potato]	122 81–153	0,15 0,06–0,28	0,34 0,10–1,00
	Томаты [Tomato]	109	0,07	0,01
	Баклажаны [Eggplant]	93 69–122	0,05 0,01–0,15	0,12 0,04–0,21
	Кабачки [Zucchini]	81 60–157	0,05 0,03–0,09	0,07 0,02–0,10
	Капуста [Cabbage]	83 46–143	0,09 0,05–0,17	0,12 0,04–0,20
	Морковь [Carrot]	106 57–137	0,13 0,07–0,19	0,19 0,09–0,31
	Перец [Bell pepper]	82 46–108	0,07 0,05–0,09	0,14 0,07–0,24
	Свекла столовая [Beetroot]	114 64–145	0,32 0,07–0,90	0,20 0,12–0,28
КУ-6 [CS-6]	Томаты [Tomato]	80 59–123	0,05 0,03–0,09	0,09 0,06–0,16
	Молоко [Milk]	127 40–180	0,02 0,01–0,06	0,06 0,01–0,16
КП-1 [CP-1]				

Контрольный участок (пункт) [Control site (point)]	Продукт питания [Foodstuff]	^{40}K	^{90}Sr	^{137}Cs
КП-2 [CP-2]	Молоко [Milk]	134 40–152	0,02 0,01–0,03	0,06 0,02–0,17
	Говядина [Beef]	63	0,02	0,07
КП-5 [CP-5]	Рыба лещ [Fish bream]	87	0,09	0,05

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

водящейся в регионе РАЭС, нельзя выделить какие-либо группы продуктов с повышенными уровнями накопления радионуклидов или имеющими тенденцию к такому увеличению. Содержание техногенных радионуклидов в продукции животноводства за весь 18-летний рассматриваемый период также было довольно низким. Так, в молоке максимальные уровни удельной активности ^{90}Sr были более чем в 400 раз ниже норматива СанПин 2.3.2.1078-01 (25 Бк/кг), а по ^{137}Cs (норматив 100 Бк/кг) эта разница оказалась еще выше – 600 раз. Одна проба говядины не может считаться репрезентативной, однако и в ней уровни содержания ^{90}Sr были чрезвычайно низкие. В действующем в настоящее время СанПиН 2.3.2.2650-10 ^{90}Sr в мясе не нормируется, а при сравнении данных мониторинга с более ранним нормативом СанПин 2.3.2.1078-01 (50 Бк/кг) уровни содержания этого радионуклида в говядине были в 2,5 тыс. раз ниже установленного лимита. По нормативу СанПиН 2.3.2.2650-10 для ^{137}Cs (200 Бк/кг) содержание данного радионуклида в пробе говядины было почти 3 тыс. раз меньше лимита. Аналогичная картина наблюдается и по рыбе из Цимлянского водохранилища. Содержание в пробе леща ^{90}Sr было более чем в 1 тыс. раз ниже норматива СанПин 2.3.2.1078-01 (100 Бк/кг) и в 2,5 тыс. раз ниже норматива по ^{137}Cs (130 Бк/кг).

Достаточно хорошая сходимость полученных нами результатов мониторинга пищевой продукции из региона РАЭС обнаруживается с данными радиационно-гигиенического мониторинга ФГУН НИИРГ. Так, для периода 2007–2009 гг. в [9] представлены результаты по содержанию ^{137}Cs в молоке из региона Ростовской АЭС в диапазоне 0,04–0,12 Бк/кг, в говядине – 0,1–0,2 Бк/кг и в овощах 0,05–0,09 Бк/кг, что практически полностью совпадает с полученными нами данными на более длительном временном промежутке. Результаты ФГБНУ ВНИИРАЭ по оценке содержания искусственных радионуклидов в пищевой продукции, произведенной в регионе РАЭС, также хорошо коррелируют и с результатами, полученными службами Роспотребнадзора на более широкой сети мониторинга всей Ростовской области [10]. Таким образом, можно констатировать, что пищевая продукция из региона РАЭС с момента пуска в 2001 г. первого энергоблока и по настоящее время полностью соответствует установленным в СанПиН нормативам по содержанию радионуклидов ^{90}Sr и ^{137}Cs и не оказывает влияния на формирование дополнительных доз внутреннего облучения у населения.

При прогнозировании накопления радионуклидов в сельскохозяйственной и пищевой продукции используются коэффициенты перехода (КП), равные отношению

концентрации радионуклида в сельскохозяйственных культурах (или кормах и продукции растениеводства) к плотности загрязнения почв. Анализ полученных при мониторинге результатов показывает, что коэффициенты перехода радионуклидов в сельскохозяйственную продукцию невелики, что обусловлено, в основном, высокой сорбционной способностью каштановых почв. Минимальными коэффициентами перехода характеризуются овощные культуры. КП ^{90}Sr в овощи в зависимости от вида продукции находятся в диапазоне 0,04–0,17, а для ^{137}Cs этот параметр варьирует в пределах 0,008–0,2 (Бк/кг)/(кБк/м²). Максимальные КП радионуклидов отмечены в сене трав. КП ^{90}Sr в естественные и многолетние сеянные травы находятся в диапазоне 0,75–2,2, а для ^{137}Cs этот показатель составляет 0,28–0,86 (Бк/кг)/(кБк/м²). Различия в коэффициентах перехода между овощами и травами достигают 50 раз, а в среднем составляют 10–20 раз. Следует отметить, что все виды культур накапливают в среднем в 2–5 раз больше ^{90}Sr по сравнению с ^{137}Cs .

В регионе размещения АЭС радионуклиды стационарного происхождения поступают в водоем-охладитель в составе сбросных вод и путем прямого осаждения выбросов из воздуха. Радионуклиды, попадающие в водоемы, перераспределяются в толще воды и обычно накапливаются в придонных отложениях, бентосе, водных растениях и рыбе. Согласно Нормам радиационной безопасности (НРБ-99/2009), уровни вмешательства при содержании в воде отдельных радионуклидов составляют: ^{90}Sr – 4,9 Бк/кг, ^{137}Cs – 11 Бк/кг. Результаты обследования трёх контрольных точек показывают, что содержание техногенных радионуклидов в воде Цимлянского водохранилища ниже уровня вмешательства по ^{90}Sr в 163 раза, а по ^{137}Cs – в 183 раза (табл. 6).

Содержание естественных радионуклидов в донных отложениях Цимлянского водохранилища близко коррелирует с таковыми в почвах региона наблюдения. Удельная активность техногенных радионуклидов в донных отложениях несколько ниже по сравнению с почвами. Таким образом, можно заключить, что радиозоологическая ситуация в Цимлянском водохранилище, имеющем важное хозяйственное значение для региона, является благополучной.

Полученные результаты мониторинга по содержанию техногенных радионуклидов в воде и продуктах питания (молоко, мясо, рыба, картофель, овощи) хорошо согласуются с данными радиационно-гигиенического мониторинга, проводимого в регионе РАЭС сотрудниками ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА РФ, представленными в работе [11].

Таблица 6

Содержание естественных и техногенных радионуклидов в воде и донных отложениях Цимлянского водохранилища в регионе размещения Ростовской АЭС в 2018 гг., Бк/кг

[Table 6]

Content of natural and artificial radionuclides in water and bottom sediments of Tsimlyansk reservoir in the vicinity of the Rostov NPP (2018), Bq/kg]

Контрольный пункт [Control point]	Вода [Water]			Донные отложения [Bottom sediments]				
	⁴⁰ K	⁹⁰ Sr	¹³⁷ Cs	⁴⁰ K	²²⁶ Ra	²³² Th	⁹⁰ Sr	¹³⁷ Cs
КП-3 [CP-3]	0,21	0,03	0,05	458	24,6	30,8	0,3	2,0
КП-4 [CP-4]	0,24	0,02	0,05	345	24,8	30,6	0,34	3,0
КП-5 [CP-5]	0,24	0,01	0,06	456	26,5	31,5	1,08	1,0

Заключение

Анализ 18-летних результатов наблюдений за радиэкологической обстановкой в регионе размещения Ростовской АЭС, полученных на сети радиационно-экологического мониторинга, позволяет сделать вывод о том, что эксплуатация РАЭС в штатном режиме не приводит к регистрируемому увеличению содержания радионуклидов в продукции сельского хозяйства, продуктах питания и объектах окружающей среды. Система радиационно-экологического мониторинга агроэкосистем должна являться неотъемлемой составляющей в общей системе радиационной безопасности в регионах размещения АЭС и других радиационно-опасных объектов.

При дальнейшем планировании работ по радиационно-экологическому мониторингу в регионе размещения РАЭС следует провести более детальный анализ перечня контролируемых дозообразующих радионуклидов, поступающих в окружающую среду в составе выбросов и сбросов станции. В работе [12] были сделаны консервативные оценки такого рода для РАЭС, которые показали, что вклад в суммарную дозу облучения населения, проживающего в регионе станции, от потребления продуктов питания может варьировать от 7,6 до 79%. Основными дозообразующими радионуклидами являются ¹³¹I (вклад в суммарную дозу 67–80%), ⁶⁰Co (10,9%), ¹³⁷Cs (7,0%) ¹³⁴Cs (1,3%). На основе данных по выбросам РАЭС в отдельные годы отмечен повышенный вклад в дозовую нагрузку от ИРГ (¹³³Xe, ¹³⁵Xe, ^{85m}Kr). Таким образом, вклады основных дозообразующих радионуклидов и путей облучения населения могут существенным образом варьировать в зависимости от состава атмосферных выбросов. В рамках реализации международного проекта МАГАТЭ INPRO ENV выполнен сравнительный анализ составов атмосферных выбросов различных АЭС и оценены дозы облучения населения [13]. Сделан вывод о возможной недооценке суммарной дозовой нагрузки на население в регионе расположения РАЭС в силу ограниченного состава контролируемых радионуклидов (⁶⁰Co, ¹³¹I, ¹³⁷Cs, ¹³⁴Cs и ИРГ) по сравнению с зарубежными АЭС. Также показана возможность влияния на формирование дозы внутреннего облучения биофильных радионуклидов, таких как ³H и ¹⁴C. На основе оценок [12, 13] можно сделать вывод о том, что состав контролируемых радионуклидов в составе выбросов РАЭС требует критического анализа и возможного до-

полнения. В этой связи представляется целесообразным совершенствование программы по радиационно-экологическому мониторингу в регионе размещения РАЭС.

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

Литература

1. Алексахин, Р.М. Актуальные экологические проблемы ядерной энергетики / Р.М. Алексахин // Атомная энергия. – 2013. – Т. 114, №5. – С. 243-248.
2. Большов, Л.А. Экологическая безопасность ядерной энергетики и топливных циклов / Л.А. Большов, Р.В. Арутюнян, И.И. Линге, С.В. Казаков // Бюллетень по атомной энергии. – 2004. – №5. – С. 61-65.
3. Организация государственного радиэкологического мониторинга агроэкосистем в зоне воздействия радиационно-опасных объектов. МУ-13.5.13-00. (утв. Минсельхозом РФ 7 августа 2000 г.) – М., 2000. – 28 с.
4. Радиационно-экологическая обстановка и социально-экономическое состояние региона Ростовской (Волгодонской АЭС). – Обнинск: ГНУ ВНИИХРАЭ, 2008. – 37 с.
5. 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: ВНИИХРАЭ, 2010. – 276 с.
6. 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, pp. 84-156.
7. Аветисян, С.Р. Естественные и искусственные радионуклиды в растительных объектах Ростовской области / С.Р. Аветисян, Е.А. Бураева, А.А. Гончаренко, А.М. Давыденко, Е.В. Дергачева, В.С. Нефедов, В.В. Стасов, А.Н. Триболина // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 2. – С. 533.
8. Малаева, Т.Ю. Радиационный контроль района размещения Ростовской АЭС / Т.Ю. Малаева // Глобальная ядерная безопасность. – 2012. – №4(5). – С. 7-13.
9. Прокопенко, С.И. Оценка радиационной обстановки в зоне наблюдения Волгодонской атомной электростанции за 2007-2009 гг. / С.И. Прокопенко, А.Н. Барковский, В.Ю. Голиков, М.В. Калинина, М.Ю. Соловьев // Радиационная гигиена. – 2010. – Т. 3, №3. – С. 47-50.
10. Соловьев, М.Ю. Опыт совершенствования радиационно-гигиенического мониторинга и радиационно-гиги-

- енической паспортизации на территории Ростовской области / М.Ю. Соловьев, М.В. Калинина, Т.В. Жукова // Радиационная гигиена. – 2010. – Т. 3, №1. – С. 40-44.
11. Шандала, Н.К. Состояние радиационно-гигиенической обстановки в районе размещения АЭС / Н.К. Шандала, И.П. Коренков, В.В. Романов // Медицинская радиология и радиационная безопасность. – 2015. – Т. 60, №2. – С. 15-21.
 12. Шарпан, Л.А. Оценка дозы облучения населения в результате атмосферных выбросов Ростовской АЭС / Л.А. Шарпан, Е.И. Карпенко, С.И. Спиридонов // Атомная энергия. – 2013. – Т. 115, №3. – С. 163-166.
 13. Спиридонов, С.И. Ранжирование радионуклидов и путей облучения по вкладу в дозовую нагрузку на население, формирующуюся в результате выбросов атомных электростанций / С.И. Спиридонов, Е.И. Карпенко, Л.А. Шарпан // Радиационная биология. Радиоэкология. – 2013. – Т. 53, №4. – С. 401-410.

Поступила: 19.04.2019 г.

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

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

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

Для цитирования: 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 (спецвыпуск). – С. 54-65. DOI: 10.21514/1998-426X-2019-12s-54-65.

Radioecological monitoring in the vicinity of Rostov NPP. The analysis of results of long-term investigations

Aleksey V. Panov, Nizametdin N. Isamov, Vladimir K. Kuznetsov

All Russian Institute of radiology and agroecology, Obninsk, Russia

The purpose of this work was to assess the influence of the Rostov NPP (consisting of 4 units with VVER-1000 reactors) on the radioecological situation in the region of the station location within 18 years from the start of the first power reactor. Based on the results of observations at the radioecological monitoring network established in 2001, which included seven control sites and five control points, the content of natural and artificial radionuclides in environmental objects, agricultural products and foodstuffs was analyzed. It was shown that over the entire period under consideration, the average content of ^{90}Sr in the soils of agroecosystems of the 15-km zone of influence of the Rostov NPP varied within 1.7-7.4 Bq/kg, and ^{137}Cs – 7.5-14.9 Bq/kg. It was not detected any trends to increase in the concentrations of artificial radionuclides in the soil throughout the considered territory. The variation range of the average content of natural radionuclides in soils was 561-634 Bq/kg for ^{40}K , 23.4-27.5 Bq/kg for ^{226}Ra and 32.7-35.9 Bq/kg for ^{232}Th . The average concentration of ^{90}Sr in the grain was in the range of 0.1-0.68 Bq/kg, and ^{137}Cs – 0.23-0.54 Bq/kg. Even the maximum specific activity values of artificial radionuclides in food grain were below the SanPiN standards 55 times for ^{90}Sr and 65 times for ^{137}Cs . The maximum levels of ^{137}Cs in vegetables and potatoes and vine crops were 80 times lower than the SanPiN standards. The maximum levels of specific activity of ^{90}Sr in milk were more than 400 times lower than the SanPiN standard (25 Bq/kg), and for ^{137}Cs (standard 100 Bq/kg) this difference was 600 times. Vegetable crops were characterized by minimal transfer factors (TFs) of radionuclides. TFs of ^{90}Sr in vegetables, depending on the product type, was in the range of 0.04-0.17, and for ^{137}Cs it was in the range of 0.008-0.2 (Bq/kg)/(kBq/m²). Maximum TFs of radionuclides were noted in grasses. TF of ^{90}Sr in natural and perennial grass was 0.75-2.2, and for ^{137}Cs it was 0.28-0.86 (Bq/kg)/(kBq/m²). The differences in transition factors between vegetables and grass reached 50 times, and on average, they were 10-20 times. It was noted that all types of crops accumulated ^{90}Sr on average 2-5 times more in comparison to ^{137}Cs ac-

Aleksey 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

accumulation. It was shown that the content of artificial radionuclides in the water of the Tsymlyansk reservoir is 163 and 183 times lower than the permissible level for ^{90}Sr and ^{137}Cs , respectively. The analysis of 18-year results of observations of the radioecological situation in the vicinity of the Rostov NPP allows to conclude that the operation of this NPP in normal mode and the commissioning of new power-generating units did not lead to a recorded increase in the content of artificial radionuclides in agricultural products, foodstuffs and environmental objects.

Key words: nuclear power plant, radioecological monitoring, radiation safety, radionuclides, agricultural products, foodstuffs, terrestrial agrarian ecosystems, freshwater ecosystems.

References

1. Aleksakhin R.M. Topical environmental problems of nuclear power. *Atomnaya energiya* = Atomic Energy, 2013; 114(5): 243-248. (In Russian).
2. Bolshov L.A., Arutyunyan R.V., Linge I.I., Kazakov S.V. Ecological safety of atomic energy and fuel cycles. *Byulleten po atomnoy energii* = Atomic Energy Bulletin, 2004; 5: 61-65. (In Russian).
3. 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).
4. Radiation ecological situation and the socio-economic situation of Rostov (Volgodonsk NPP). Obninsk, VNIISHRAE, 2008, 37 p. (In Russian).
5. 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 N.I. Sanzharova. Obninsk, VNIISHRAE, 2010, 276 p. (In Russian).
6. 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, pp. 84-156.
7. Avetisyan S.R., Buraeva E.A., Goncharenko A.A., Davydenko A.M., Dergacheva E.V., Nefedov V.S., Stasov V.V., Tribolina A.N. Natural and artificial radionuclides in the plants of the Rostov region. *Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya* = Modern problems of science and education, 2015; 2: 533 (In Russian).
8. Malaeva T.Yu. Radiation control of Rostov NPP region. *Globalnaya yadernaya bezopasnost* = Global nuclear safety, 2012; 4(5): 7-13 (In Russian).
9. Prokopenko S.I., Barkovsky A.N., Golikov V.Yu., Kalinina M.V. Soloviev M.Yu. Evaluation of the radiation situation in the observation area of the Volgodonsk nuclear power plant during 2007-2009. *Radiatsionnaya gigiena* = Radiation Hygiene, 2010; 3(3): 47-50 (In Russian).
10. Soloviev M.Yu., Kalinina M.V. Zhukova T.V. System of radiation hygienic monitoring and radiation hygienic passportization within the territory of the Rostov region. *Radiatsionnaya gigiena* = Radiation Hygiene, 2010; 3(1): 40-44 (In Russian).
11. Shandala N.K., Korenkov I.P., Romanov V.V. Radiation situation at the NPP Area. *Meditinskaya radiologiya i radiatsionnaya bezopasnost* = Medical radiology and Radiation safety, 2015; 60(2): 15-21 (In Russian).
12. Sharpan L.A., Karpenko E.I., Spiridonov S.I. Estimation of irradiation doses to the population from the atmospheric releases of the Rostov NPP. *Atomnaya Energiya* = Atomic Energy, 2013; 115(3): 163-166 (In Russian).
13. Spiridonov S.I., Karpenko Ye.I., Sharpan L.A. Ranking of radionuclides and pathways according to their contribution to the dose burden to the population resulting from NPP releases. *Radiatsionnaya biologiya. Radioekologiya* = Radiation biology. Radioecology, 2013; 53(4): 401-410 (In Russian).

Received: April 19, 2019

For correspondence: Aleksey V. Panov – Doctor of Biological Sciences, Professor of 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)

Nizametdin N. Isamov – Candidate of Biological Sciences, Leading Researcher of All Russian Institute of radiology and agroecology, Obninsk, Russia

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

For citation: Panov A.V., Isamov N.N., Kuznetsov V.K. Radioecological monitoring in the vicinity of Rostov NPP. The analysis of results of long-term investigations. *Radiatsionnaya Gygiena* = Radiation Hygiene, 2019, Vol. 12, No. 2 (special issue), pp. 54-65. (In Russian) DOI: 10.21514/1998-426x-2019-12-2s-54-65.