

ИТОГИ МНОГОЛЕТНЕГО МОНИТОРИНГА ТРАНСГРАНИЧНОГО ВОЗДУШНОГО ПЕРЕНОСА ТЕХНОГЕННЫХ РАДИОНУКЛИДОВ НА ТЕРРИТОРИЮ СВЕРДЛОВСКОЙ ОБЛАСТИ С ОБЪЕКТОВ ЯДЕРНОГО ТОПЛИВНОГО ЦИКЛА, РАСПОЛОЖЕННЫХ В ЧЕЛЯБИНСКОЙ ОБЛАСТИ

Институт экологии растений и животных Уральского отделения Российской академии наук
(Россия, г. Екатеринбург, ул. 8 Марта, д. 202)

В первые годы существования производственного объединения (ПО) «Маяк» из-за несовершенства используемого газоочистного оборудования существенный дополнительный вклад в облучение населения южной части Свердловской области внесли газоаэрозольные выбросы радионуклидов в атмосферу. ПО «Маяк» и сегодня продолжает оставаться источником радиоактивного загрязнения прилегающих территорий, сохраняется потенциальная угроза новых крупномасштабных радиационных катастроф. Нельзя полностью исключить возникновение каких-либо нештатных ситуаций на предприятии, а также вероятность трансграничного воздушного переноса радионуклидов с ранее загрязненных территорий. Цель исследования – провести контроль территории южной части Свердловской области, подверженной вероятному воздушному переносу радионуклидов с объектов ядерного топливного цикла, расположенных в Челябинской области. Разработана и апробирована концептуальная модель радиоэкологического мониторинга на пути трансграничного воздушного переноса радионуклидов на территорию Свердловской области с объектов ядерного топливного цикла, расположенных в Челябинской области. Она включает в себя определение содержания долгоживущих радионуклидов (^{90}Sr и ^{137}Cs) в объектах окружающей среды, которые играют роль природных планшетов. К ним можно отнести снежный покров, верхний 0–20 см слой почвы и воду открытых водоемов. Полученные результаты подтверждают, что текущие атмосферные выпадения в период 2004–2016 гг. не оказывали существенного влияния на радиационную обстановку подконтрольной территории. Почвы южной части Свердловской области и акватории озера Червяное и пруда д. Комарово характеризуются более высоким содержанием ^{90}Sr , что может являться следствием дополнительного радиационного загрязнения в предыдущие годы. Разработанная концептуальная модель радиоэкологического мониторинга может быть с успехом применена как для изучения влияния действующих предприятий ядерного топливного цикла на прилегающие территории, а также для организации защиты населения при различных радиационных авариях и нештатных ситуациях, связанных с неконтролируемым выходом радионуклидов в атмосферу или водные объекты.

Ключевые слова: чрезвычайная ситуация, радиобиология, радионуклиды, радиоактивное загрязнение, экология человека, трансграничный воздушный перенос, снежный покров, почва, вода открытых водоемов.

Введение

Существуют радиоэкологические проблемы, которые специфичны для Урала и делают этот регион совершенно особенным на земном шаре. В 1949 г. на севере Челябинской области был осуществлен пуск первого в СССР комплекса по наработке плутония и переработке делящихся материалов, на базе которого впоследствии было создано производственное объединение (ПО) «Маяк». Из-за несовершенства технологии, недостаточности знаний о поведении радиоактивных

веществ в окружающей среде, отсутствия эффективного решения проблемы обращения с радиоактивными отходами ПО «Маяк» явилось источником радиоактивного загрязнения территории и радиационного воздействия на население. В первые годы существования ПО «Маяк» из-за несовершенства используемого газоочистного оборудования существенный дополнительный вклад в облучение населения южной части Свердловской области внесли газоаэрозольные выбросы радионуклидов в атмосферу. Обус-

Трапезникова Вера Николаевна – канд. биол. наук, ст. науч. сотр., Институт экологии растений и животных Урал. отд-ния Рос. акад. наук (Россия, 620144, г. Екатеринбург, ул. 8 Марта, д. 202), e-mail: vera_zar@mail.ru;

Коржавин Александр Васильевич – канд. ветер. наук, зам. зав. отд. континентальной радиоэкологии, Институт экологии растений и животных Урал. отд-ния Рос. акад. наук (Россия, 620144, г. Екатеринбург, ул. 8 Марта, д. 202), e-mail: bfs_zar@mail.ru;

✉ Трапезников Александр Викторович – д-р биол. наук, зав. отд. континентальной радиоэкологии, Институт экологии растений и животных Урал. отд-ния Рос. акад. наук, засл. эколог России (Россия, 620144, г. Екатеринбург, ул. 8 Марта, д. 202), e-mail: vera_zar@mail.ru;

Платаев Анатолий Петрович – мл. науч. сотр., Институт экологии растений и животных Урал. отд-ния Рос. акад. наук (Россия, 620144, г. Екатеринбург, ул. 8 Марта, д. 202), e-mail: ty1985@mail.ru.

ловленная ими коллективная доза достигла 7,2 тыс. чел. · Зв [7].

До начала 1960-х годов радиоактивные вещества поступали с газоаэрозольными выбросами в атмосферу почти без очистки, поскольку рабочие проекты основных технологических заводов не предусматривали установки специального газоочистного оборудования. Основным технологическим принципом защиты атмосферы от выбросов радиоактивных веществ, заложенным в проект, являлся процесс разбавления и рассеивания радиоактивных газов и аэрозолей путем выброса их в атмосферу через высокие (до 150 м) трубы. Всего на ПО «Маяк» эксплуатировались 25 высоких и несколько сот низких источников выбросов [5].

Радиационное воздействие на население в результате выбросов радионуклидов в атмосферу прослеживалось на расстоянии до 60–70 км от ПО «Маяк». Оно включало внешнее облучение за счет радиоактивного облака и γ -излучающих радионуклидов, накапливавшихся на поверхности почвы, а также внутреннее облучение в результате поступления радионуклидов из облака через органы дыхания и потребления загрязнённой сельскохозяйственной продукции, производившейся на территориях, подвергшихся воздействию радиоактивных выпадений из атмосферных выбросов. Со временем мощность выбросов в атмосферу существенно снизилась в сотни и тысячи раз благодаря повышению эффективности систем газоочистки и усовершенствованию технологии. По данным ПО «Маяк», в настоящее время выбросы радионуклидов в атмосферу из труб предприятия в штатном режиме не оказывают заметного влияния на формирование радиационной обстановки и облучение населения. Вклад текущих выбросов в облучение жителей г. Озёрска в настоящее время не превышает 0,5 % [11].

Несмотря на существенное снижение уровня газоаэрозольных выбросов в атмосферу, ряд вопросов, связанных с возможностью воздушной миграции радиоактивных веществ, остаются актуальными и в настоящее время. Так, нельзя полностью исключить возникновение каких-либо нештатных ситуаций на предприятии, а также вероятность трансграничного воздушного переноса радионуклидов с ранее загрязнённых территорий.

До конца 1950-х годов на ПО «Маяк» и прилегающей территории уровни радиоактивного загрязнения объектов окружающей среды определяли по показателям суммарной α -, β - и γ -активности. Систематический радиаци-

онный мониторинг в зоне влияния ПО «Маяк» был организован в 1971 г., когда была развернута сеть пунктов контроля радиоактивных выпадений методом планшетов. К 1976 г. на территории мониторинга была окончательно сформирована схема пробоотбора. Территория была условно разделена на 16 сегментов (4 сектора по 4 сегмента в каждом) 5 азимутальными лучами (С, СВ, В, ЮВ, Ю) и 4 полукругами с радиусами 10, 20, 40 и 70 км. Пунктам контроля были присвоены номера [1].

Таким образом, схема радиоэкологического мониторинга ПО «Маяк» включает в себя контроль за территориями, расположенными в восточном, северо-восточном и юго-восточном направлениях и распространяется на расстояние до 70 км от предприятия. На основании этих данных в северо-восточном направлении на территории Свердловской области были выбраны реперные участки за пределами 70-километровой зоны мониторинга ПО «Маяк». Расположение реперных участков на территории Свердловской области, с одной стороны, является как бы логическим продолжением схемы мониторинга ПО «Маяк», а с другой – обеспечивает максимальный контроль территории вероятного аэрозольного переноса (рис. 1). Территориально они соответствуют населённым пунктам с непероточными или слабопероточными водоемами (озерами или искусственными водоемами). Известно, что по мере удаления от источника загрязнения интенсивность выпадений радиоактивных веществ уменьшается и приближается к фоновым уровням, характерным для данного региона. Для определения фоновых значений содержания радионуклидов в исследуемых объектах предложена контрольная точка (п. Малышево, Свердловская обл.), которая вынесена за зону влияния ПО «Маяк».

Предлагаемая нами модель радиоэкологического мониторинга трансграничного воздушного переноса техногенных радионуклидов на территорию Свердловской области включает в себя определение содержания долгоживущих дозообразующих радионуклидов: ^{90}Sr и ^{137}Cs в объектах окружающей среды, которые играют роль природных планшетов. К таким объектам можно отнести снежный покров, верхний 0–20 см слой почвы и воду открытых водоемов. Снежный покров аккумулирует газоаэрозольные выпадения предприятий ядерного топливного цикла (ЯТЦ) в осенне-зимний период, а почвенный – дает интегральную их характеристику. Водная поверхность открытых водоемов собирает атмосферные выпадения

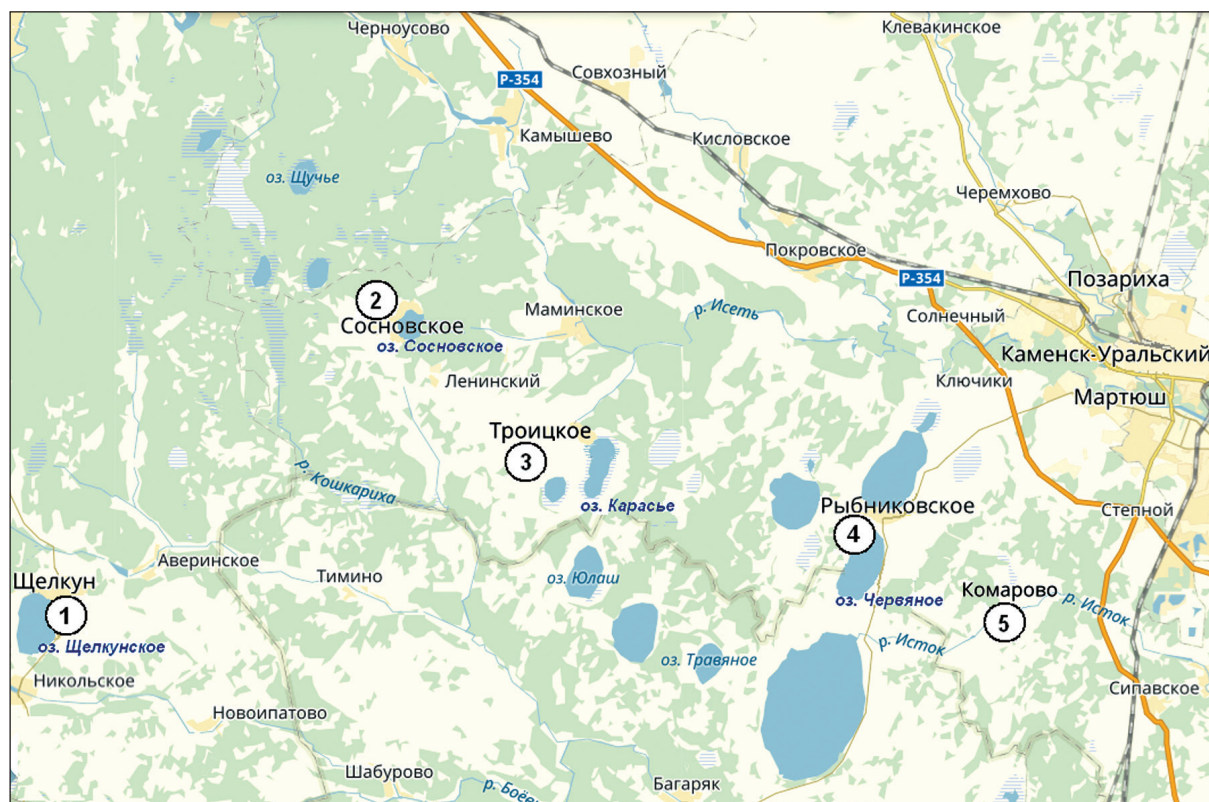


Рис. 1. Расположение реперных участков контроля на территории Свердловской области.

радионуклидов в течение всего года, а также с территории водосбора после таяния снега и с дождевыми водами.

Систематические мониторинговые наблюдения нами проводились с 2004 г., в данной работе представлены результаты за последние 5 лет.

Материал и методы

Отбор проб снега проводили в конце зимнего снегостояния (март – начало апреля) с участков размером 3×3 или 4×4 м в зависимости от глубины снежного покрова по две повторности в каждом реперном участке. Снег собирали в большие полиэтиленовые мешки, маркировали, перевозили на биофизическую станцию Института экологии растений и животных УрО РАН, где снег растапливали, талую воду сливали в алюминиевые фляги и сразу подкисляли азотной кислотой для предотвращения сорбции на стенках сосудов. Для получения достоверных результатов содержания радионуклидов в снежном покрове необходимо большое количество исходного материала, поэтому объем талой воды, полученной из одной пробы снега, составлял от 900 до 1200 л в зависимости от толщины снежного покрова.

Талую воду отфильтровывали через ватно-марлевые фильтры от механических при-

месей и выпаривали в специальных котлах до получения концентрата объемом 1–2 л, который также выпаривали в химической посуде до сухого остатка. Сухой остаток доводили до постоянной массы при температуре 450–500 °C и проводили измерения β - и γ -активности присутствующих радионуклидов.

Пробы воды из водоемов отбирали в алюминиевые фляги и также подкисляли азотной кислотой. Для получения объективных результатов все пробы воды отбирали в двух повторностях по 110–120 л в каждой. В лабораторных условиях пробы выпаривали до сухого остатка.

Отбор почвенных проб проводили по углам равностороннего треугольника с длиной стороны 10 м. В этом случае усредненная (из 3) проба представительно характеризует площадь 0,01 км². Эта методика была успешно использована на протяжении ряда лет при радиоэкологическом обследовании загрязненных территорий Уральского региона [3].

Пробы почвы отбирали из полнопрофильных разрезов. После заглубления разреза на необходимую глубину один край выравнивали и из него послойно отбирали пробы в виде рамки 20×20 см, последовательно снимая слои по 5 см до глубины 30 см. Пробы маркировали и упаковывали в двойные полиэ-

тиленовые пакеты для временного хранения и транспортировки. В лабораторных условиях пробы высушивали, взвешивали, перемалывали на шаровой мельнице и просеивали через сито с ячейкой 1 мм.

Для определения содержания ^{137}Cs в нативных образцах окружающей среды использовали инструментальные методы. Измерения проводили на низкофоновом полупроводниковом γ -спектрометре рентгеновского и γ -излучения «Dspec-jr» фирмы «Ortec» (США) с коаксиальной детекторной системой на базе высокоочищенного германия (HPGe) с эффективностью 40 %, по γ -линии радионуклида ^{137}Cs – 661,2 кэВ при ошибке измерения не более 10 % и нижнем пределе обнаружения 1 Бк/кг.

Определение ^{90}Sr в образцах с низкой активностью проводили радиохимическим методом. Измерение β -активности проводили на малофоновой установке УМФ-2000 с нижним пределом обнаружения 0,4 Бк/кг, статистической ошибкой измерения не более 10 %.

Статистическая обработка результатов заключалась в определении среднеарифметического значения и стандартного отклонения средней арифметической величины.

Результаты и их анализ

Содержание радионуклидов в снежном покрове. Плотность загрязнения снежного покрова ^{137}Cs и ^{90}Sr на протяжении 2012–2016 гг. представлена на рис. 2, 3. Прежде всего, следует отметить, что уровни содержания радио-

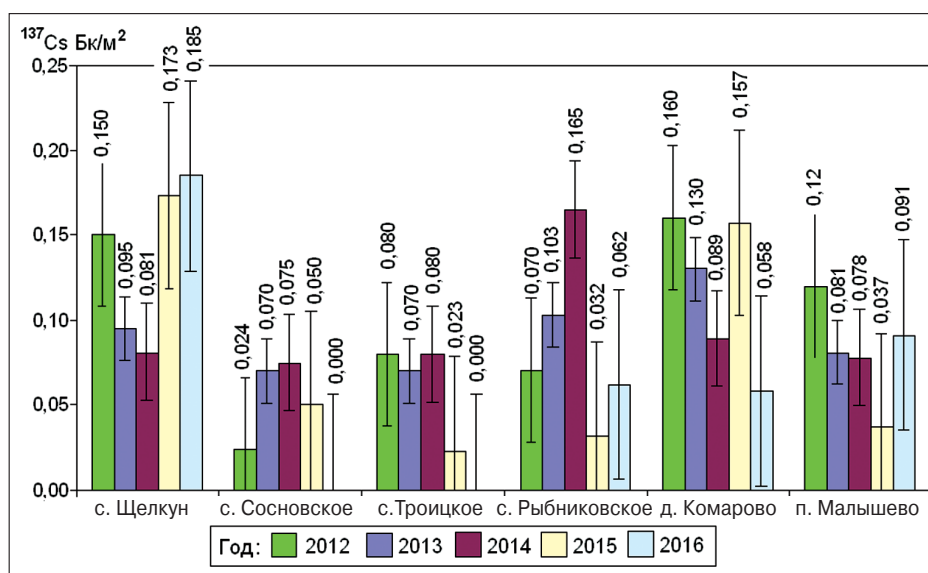


Рис. 2. Плотность загрязнения снежного покрова ^{137}Cs .

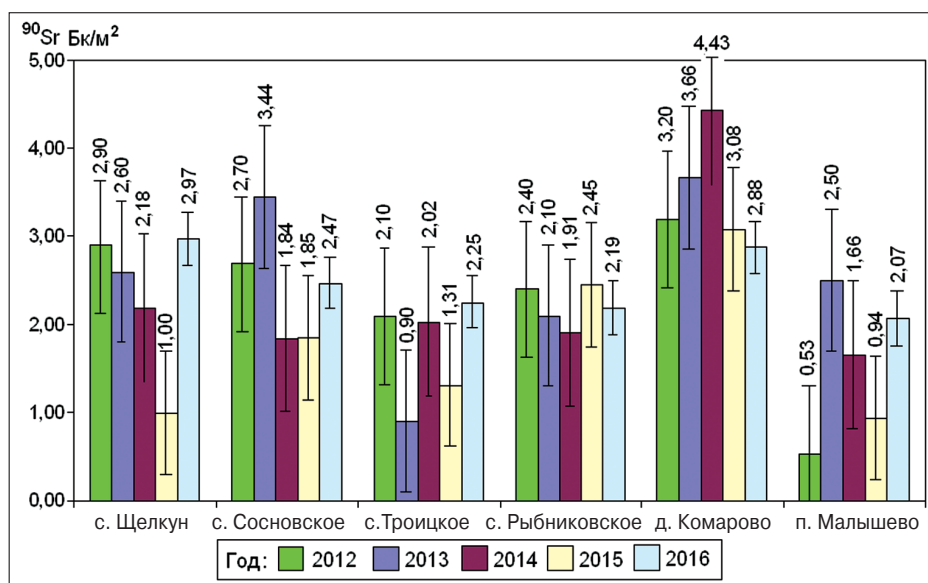


Рис. 3. Плотность загрязнения снежного покрова ^{90}Sr .

активных веществ в снежном покрове в разные годы не стабильны, могут существенно различаться даже в пределах одного реперного участка. Более наглядно подобные изменения заметны на примере диаграммы загрязнения снежного покрова ^{137}Cs (см. рис. 2). На реперных участках с. Сосновское, с. Троицкое и с. Рыбниковское в разные годы были отмечены случаи внезапного снижения содержания ^{137}Cs в снежном покрове в 2 раза и более. Как правило, это были спонтанные изменения, после чего показатели загрязнения снежного покрова возвращались к прежним уровням. Подобное явление было отмечено в 2015 г. и в контрольной точке, характеризующей уровень глобальных выпадений. В том же году наблюдалось снижение содержания ^{137}Cs на реперных участках с. Троицкое и с. Рыбниковское.

Из представленного массива данных можно выделить 2 реперных участка с относительно стабильными показателями, которые в большинстве случаев были несколько выше уровня контрольной точки (п. Малышево). Это реперные участки, расположенные в с. Щелкун и д. Комарово. Наиболее высокие показатели содержания ^{137}Cs были отмечены в 2015 и 2016 г. на реперном участке с. Щелкун – 0,173 и 0,185 Бк/м² соответственно. Так же на участке с. Рыбниковское в 2014 г. – 0,165 Бк/м² и на участке д. Комарово в 2012 г. – 0,160 Бк/м². Уровень глобальных выпадений ^{137}Cs в контрольной точке в указанные годы колебался в пределах от 0,037 до 0,091 Бк/м².

Уровень глобальных выпадений ^{90}Sr в контрольной точке за период наблюдения (2012–2016 гг.) составил от 0,53 до 2,2 Бк/м². Минимальное значение было получено в 2012 г., а максимальное – в 2013 г. На реперных участках плотность загрязнения снежного покрова по ^{90}Sr варьировала от 0,9 до 4,43 Бк/м². Более высокое содержание указанного радионуклида было зафиксировано в снежном покрове реперного участка д. Комарово в 2014 г. – 4,43 Бк/м². Также относительно стабильные показатели и в основном выше уровня контрольной точки были отмечены на реперных участках сел Сосновское и Рыбниковское. На реперных участках сел Щелкун и Троицкое содержание ^{90}Sr в снежном покрове не стабильно и различалось по годам.

Таким образом, за указанный период пока трудно выявить участки с явно выраженными признаками дополнительного загрязнения снежного покрова техногенными радионуклидами. Из реперных участков можно выделить точку в д. Комарово, где отмечены более вы-

сокие показатели загрязнения по сравнению с уровнем глобальных выпадений, но и здесь в 2016 г. содержание ^{90}Sr было ниже показателя контрольной точки, что не подтверждает наличие постоянного дополнительного радиоактивного загрязнения. Однозначно можно сказать, что имеет место временная вариабельность в виде всплесков и понижений на отдельных участках, которые, по всей видимости, связаны с рядом атмосферных явлений и неравномерным выпадением осадков на обследованной территории.

Очень важным показателем для понимания характера радиоактивного загрязнения и идентификации источника является анализ изотопных отношений. Такие характеристики, как отношения $^{90}\text{Sr}/^{137}\text{Cs}$, $^{239,240}\text{Pu}/^{90}\text{Sr}$, $^{239}\text{Pu}/^{240}\text{Pu}$ и ряд других, являются константными как для глобальных выпадений радиоактивных веществ при испытании ядерного оружия, так и при работе конкретных предприятий ядерного топливного цикла [8]. Изотопные отношения $^{90}\text{Sr}/^{137}\text{Cs}$ (таблица) показывают, что преобладающим элементом в снежном покрове является ^{90}Sr . Между величинами изотопных отношений на реперных участках и контрольной точке нет достоверных различий, поэтому можно предположить, что накопление техногенных радионуклидов в снежном покрове обусловлено в основном глобальными выпадениями.

В количественном отношении разница между плотностью загрязнения снежного покрова на реперных участках и глобальными выпадениями в контрольной точке составляет от нескольких целых Бк/м² по ^{90}Sr до десятых и сотых Бк/м² по ^{137}Cs , поэтому текущие выпадения пока не могут оказывать существенного влияния на радиационную обстановку подконтрольных территорий.

Плотность загрязнения почвенного покрова. Фоновый уровень радионуклидного загрязнения почвенно-растительного покрова сформировался в основном за счет гло-

Изотопные отношения $^{90}\text{Sr}/^{137}\text{Cs}$ в природных объектах реперных участков и контрольной точке (ед.)

Населенный пункт	Снежный покров	Почва 0–30 см	Вода открытых водоемов
с. Щелкун	19,09 ± 7,95	1,85 ± 0,83	21,88 ± 11,89
с. Сосновское	35,06 ± 10,36	1,67 ± 0,35	14,05 ± 4,08
с. Троицкое	30,21 ± 16,05	1,12 ± 0,69	15,46 ± 9,45
с. Рыбниковское	35,87 ± 22,76	1,61 ± 1,43	88,29 ± 49,92
д. Комарово	33,44 ± 13,63	1,42 ± 0,51	37,13 ± 20,27
п. Малышево (контроль)	20,94 ± 8,89	0,73 ± 0,47	12,39 ± 7,38

бального загрязнения биосферы в период массированного испытания ядерного оружия (1950–1960-е годы). По данным UNSCEAR [13], в поясе между 50° и 60° с. ш. интегральная плотность загрязнения ^{90}Sr с учетом радиоактивного распада составляет 1,5 кБк/м², соответственно уровень содержания ^{137}Cs в 1,6 раза выше – 2,4 кБк/м². В пределах Уральского региона, а также на большей части Свердловской области реальное содержание ^{90}Sr в почве составляет 1,6–1,8 кБк/м²; ^{137}Cs – 3–4 кБк/м²; что усредненно можно считать фоновыми значениями для Свердловской области [3]. Средняя для большого периода наблюдений (с 1960 по 1971 г.) величина соотношения $^{90}\text{Sr}/^{137}\text{Cs}$ в глобальных выпадениях равна 0,6 ед. [2].

При этом, содержание радионуклидов в почвах и их соотношение могут существенно различаться в зависимости от условий региона и характера антропогенных нагрузок. Так, по данным [6], проводивших исследования в различных почвенно-климатических зонах, в зоне средней тайги в Республике Саха (Якутия), в меньшей степени испытывающей антропогенное воздействие, запас радионуклидов в 0–30 см слое для ^{90}Sr составил 1,7–3,0 кБк/м², а для ^{137}Cs – 2,3–3,7 кБк/м², величина соотношения $^{90}\text{Sr}/^{137}\text{Cs}$ колебалась от 0,7 до 0,8 ед., приближаясь к таковым в глобальных выпадениях. Почвы геохимических сопряжений Южного Урала характеризуются повышенным содержанием ^{137}Cs (4,6–6,8 кБк/м²), что связано с дополнительным поступлением этого нуклида в почвенный покров в результате деятельности предприятий ядерно-энерге-

тического комплекса. Поэтому в качестве фоновых значений авторы рекомендуют принять следующие величины: для ^{90}Sr они находятся в пределах 1,2–3,0, а для ^{137}Cs – в зависимости от региона варьируют от 2,3 до 6,8 кБк/м².

Динамика загрязнения почвенного покрова техногенными радионуклидами на реперных участках и контрольной точке представлена на рис. 4, 5. Прежде всего, необходимо отметить, что отбор почвенных проб проводился ежегодно в одних и тех же точках, приблизительно в одно время, но при этом плотность загрязнения почвенного покрова даже в пределах одного реперного участка по годам может существенно различаться. Такая особенность связана с природной гетерогенностью данных объектов и неравномерным распределением радионуклидов в почвенных слоях. Так, плотность загрязнения почвенного покрова ^{137}Cs в контрольной точке в слое почвы 0–30 см колебалась в пределах от 614 до 2154 Бк/м². На реперных участках плотность загрязнения по данному радионуклиду была несколько выше. Более высокие показатели содержания ^{137}Cs были отмечены в разные годы на реперных участках с. Троицкое – 4013 Бк/м², с. Рыбниковское – 3866 Бк/м² и д. Комарово – 3026 Бк/м². В другие годы эти показатели на реперных участках были сопоставимы с контрольной точкой.

Разница по содержанию ^{90}Sr в почвах реперных участков и контрольной точки была более существенной. Если плотность загрязнения по ^{90}Sr в контрольной точке находилась в пределах от 349 до 1109 Бк/м², то на реперных участках она могла достигать до 4072 Бк/м²

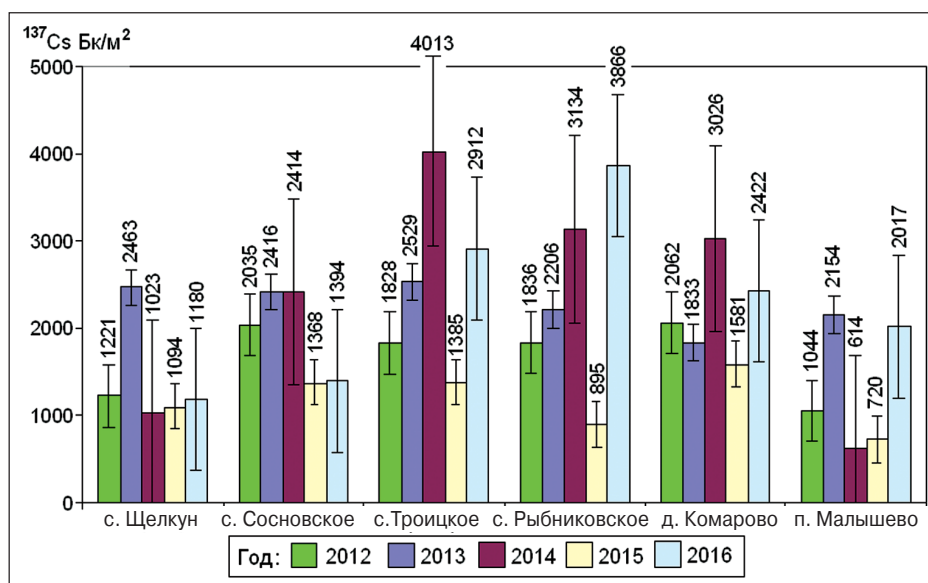
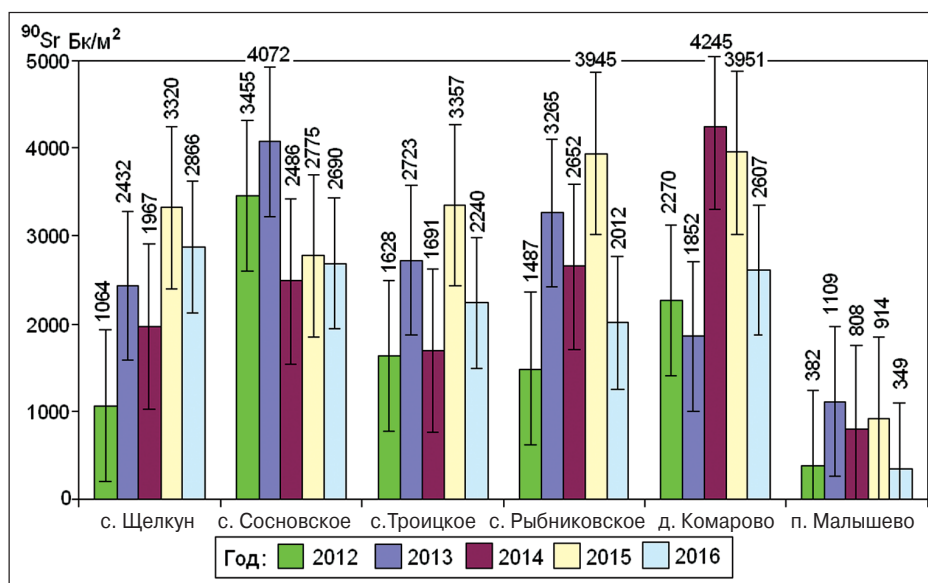


Рис. 4. Плотность загрязнения почвенного покрова ^{137}Cs .

Рис. 5. Плотность загрязнения почвенного покрова ^{90}Sr .

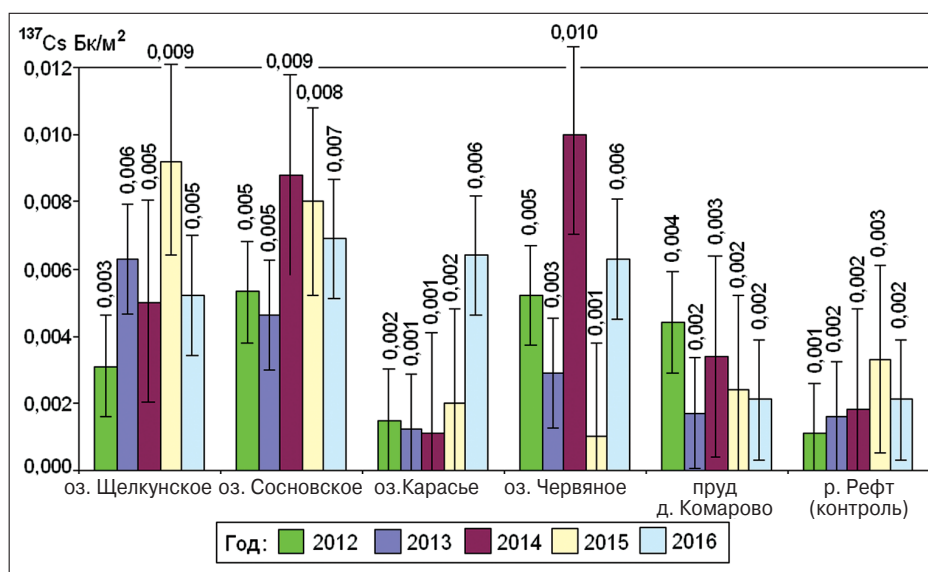
в с. Сосновское, 3945 Бк/м² – в с. Рыбниковское и 3951 Бк/м² – в д. Комарово.

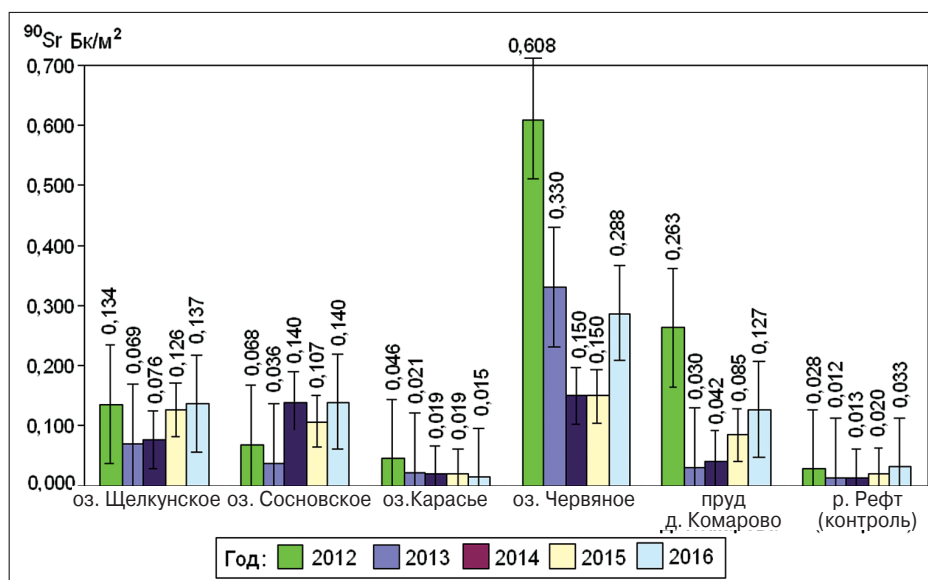
Анализ изотопных отношений (см. таблицу) показывает, что почвы южной части Свердловской области характеризуются повышенным содержанием ^{90}Sr . В контрольной точке (п. Малышево) изотопное отношение $^{90}\text{Sr} / ^{137}\text{Cs}$ за период наблюдения составило $(0,73 \pm 0,47)$ ед., что практически соответствует глобальным выпадениям. На всех реперных участках этот показатель был выше, чем в контрольной точке.

Содержание радионуклидов в воде открытых водоемов. Объемная активность радионуклидов в воде обследованных водоемов представлена на рис. 6, 7. Как показывают результаты исследований, более высокое со-

держание ^{137}Cs за период наблюдения было отмечено в воде озер Щелкунское, Червяное и Сосновское, несколько ниже в оз. Карасье, пруду в д. Комарово и р. Рефт (контрольная точка). Максимальные уровни содержания ^{137}Cs были отмечены в 2014 г. в воде озер Червяное – 0,010 Бк/л и Сосновское – 0,0088, и в 2015 г. в воде оз. Щелкунское – 0,0092 Бк/л.

Наиболее высокое содержание ^{90}Sr наблюдалось в воде оз. Червяное. Максимальное значение объемной активности радионуклида было зафиксировано в 2012 г., равное 0,608 Бк/л. Озеро Червяное находится на территории Восточно-Уральского радиационного следа, а основным компонентом из долгоживущих радионуклидов в данном ра-

Рис. 6. Объемная активность ^{137}Cs в воде открытых водоемов.

Рис. 7. Объемная активность ^{90}Sr в воде открытых водоемов.

диационном инциденте являлся именно ^{90}Sr , чем и объясняется несколько повышенное содержание радионуклида в воде данного водоема. Также несколько выше, чем в водоеме контрольной точки, содержание ^{90}Sr наблюдалось в воде озера Щелкунское и Сосновское. Стабильно низкое содержание ^{90}Sr за весь период наблюдения было отмечено в воде оз. Карасье и водоеме контрольной точки.

Более высокие значения изотопных отношений $^{90}\text{Sr}/^{137}\text{Cs}$ (см. таблицу) по сравнению с водоемом в контрольной точке были отмечены в воде оз. Червяное и водоеме д. Комарово. При этом изотопные отношения в воде оз. Червяное и пруда д. Комарово (88,3 и 37,1 ед. соответственно) по сравнению с изотопными отношениями при снеговых выпадениях в этих же точках (33,4–35,9 ед.) указывают на более раннее загрязнение акваторий озера и пруда ^{90}Sr .

Несмотря на имеющую место динамику, с точки зрения радиационной безопасности, обследованные водоемы, в целом, можно считать благополучными. Согласно НРБ-99/2009 [4], уровни вмешательства при содержании в воде отдельных радионуклидов составляют: ^{137}Cs – 11 Бк/кг, ^{90}Sr – 4,9 Бк/кг. Даже более высокие показатели содержания ^{137}Cs в озерах Червяное, Сосновское и Щелкунское на три порядка величин ниже уровня вмешательства. Самый высокий показатель содержания ^{90}Sr в воде оз. Червяное в 8 раз ниже уровня вмешательства.

Обсуждение. Радиоэкологическая обстановка на Урале неоднородна и в ряде районов весьма неблагоприятна. На территории Урала функционируют 13 крупных предприятий

и организаций, в состав которых входят такие особо радиационно-опасные и ядерно-опасные производства, как ПО «Маяк», Чепецкий механический завод, Уральский электрохимический комбинат, Белоярская атомная электростанция, спецкомбинат «Радон», Всероссийский научно-исследовательский институт технической физики им. Е.И. Забабахина и др. Наиболее опасное в этом смысле ПО «Маяк» в Челябинской области [9].

За период деятельности ПО «Маяк» произошли несколько крупных техногенных аварий, сопровождавшихся поступлением радиоактивных веществ в окружающую среду и загрязнением обширных территорий. Наиболее значимой для Свердловской области является авария 1957 г., когда в результате взрыва емкости для хранения нитроацетатных солей в окружающую среду было выброшено около 740 ПБк радиоактивных веществ, из которых 74 ПБк были рассеяны ветром в северо-восточном направлении, обусловив радиоактивное загрязнение северной части Челябинской, южной части Свердловской и небольшой территории Тюменской областей. Названная Восточно-Уральским радиоактивным следом, эта территория в границах минимально детектируемых уровней радиоактивного загрязнения ^{90}Sr 3,7 ПБк/км² образовала площадь около 20 тыс. км². В Свердловской области наибольшему радиоактивному загрязнению подверглись территории Каменского, Богдановического и Камышловского районов. В настоящий момент территория Восточно-Уральского радиоактивного следа в пределах Свердловской области включает

267 населенных пунктов, в том числе города Каменск-Уральский, Камышлов, Талицу и поселки городского типа Пышма, Троицкое [10].

При этом ПО «Маяк» и сегодня продолжает оставаться источником радиоактивного загрязнения прилегающих территорий, сохраняется потенциальная угроза новых крупномасштабных радиационных катастроф. В ходе деятельности предприятия нарабатано и депонировано на промплощадке беспрецедентное количество жидких и твердых радиоактивных отходов, суммарная активность которых превышает 1 млрд Ки (37 ЭБк) [12].

В этой связи разработка и внедрение модели постоянного радиоэкологического мониторинга территорий, граничащих с потенциально опасными объектами, представляется весьма актуальной. При разработке схемы радиоэкологического мониторинга были реализованы требования Федеральных законов: № 3-ФЗ от 09.01.1996 г. «О радиационной безопасности населения» и № 7-ФЗ от 10.01.2002 г. «Об охране окружающей среды», а также методических рекомендаций МР 2.6.1.27-2003 «Зона наблюдения радиационного объекта. Организация и проведение радиационного контроля окружающей среды» и др.

Разработка и внедрение указанной схемы происходили в несколько этапов. Так, с 2004 по 2006 г. проводили апробацию данной схемы, уточняли и корректировали расположение точек на территории области. В 2007 г. сотрудники отдела континентальной радиоэкологии Института экологии растений и животных Уральского отделения РАН совместно с Главным управлением гражданской защиты и пожарной безопасности по Свердловской области представили данную схему, и она была утверждена министром природных ресурсов Свердловской области как «Концептуальная модель радиоэкологического мониторинга на пути трансграничного воздушного переноса радионуклидов на территорию Свердловской области с объектов ядерного топливного цикла, расположенных в Челябинской области».

Предлагаемая концептуальная модель радиоэкологического мониторинга на границе Челябинской и Свердловской областей обеспечивает:

- слежение за поступлением радионуклидов с предприятий ядерного топливного цикла Челябинской области путем воздушного переноса на территорию Свердловской области;
- количественную оценку ежегодного поступления долгоживущих дозообразующих радионуклидов в окружающую среду в состав

ве газоаэрозольных выпадений от предприятий ядерного топливного цикла;

- оценку интегрального содержания радионуклидов в почвенно-растительном покрове;
- оценку радиоэкологического состояния водоемов, расположенных на территории области.

При организации схемы мониторинга были реализованы принципы непрерывности наблюдения в течение года, а также оценки как текущих, так и интегральных выпадений долгоживущих радионуклидов, что дает целостную картину радиоэкологической ситуации на обследованной территории. Разработанная концептуальная модель радиоэкологического мониторинга может быть с успехом применена как для изучения влияния на прилегающие территории действующих предприятий ядерного топливного цикла, а также может быть использована для организации защиты населения при различных радиационных авариях и нештатных ситуациях, связанных с неконтролируемым выходом радионуклидов в атмосферу или водные объекты.

Заключение

1. Загрязнение снежного покрова ^{90}Sr и ^{137}Cs на реперных участках и контрольной точке обусловлено в основном глобальными выпадениями. При этом имеет место временная вариабельность в виде всплесков и понижений на отдельных участках, которые, по всей видимости, связаны с рядом атмосферных явлений и неравномерным выпадением осадков на обследованной территории. Текущие выпадения пока не могут оказывать существенного влияния на радиационную обстановку подконтрольной территории.

2. Почвы южной части Свердловской области характеризуются более высоким содержанием ^{90}Sr , что может являться следствием дополнительного радиационного загрязнения в предыдущие годы. Величина соотношения $^{90}\text{Sr}/^{137}\text{Cs}$ в контрольной точке близка к таковой в глобальных выпадениях, на всех реперных участках этот показатель был существенно выше.

3. Объемная активность радионуклидов в воде открытых водоемов на 2–3 порядка величин ниже уровня вмешательства, предусмотренного НРБ-99/2009. Более высокое содержание ^{90}Sr отмечено в воде оз. Червяное, поскольку данный водоем находится на территории Восточно-Уральского радиоактивного следа. При этом содержание ^{90}Sr в воде данного озера в 8 раз ниже уровня вмешательства.

Литература

1. Бакуров А.С., Шейн Г.П., Аксенов Г.М., Ровный С.И. Обобщение многолетних результатов радиационного мониторинга в зоне влияния ПО «Маяк» // Опыт преодоления последствий техногенных аварий и развитие атомных технологий : материалы науч.-практ. конф. Челябинск : Урал. акад. гос. службы, 2007. С. 8–25.
2. Марей А.Н., Бархударов Р.М., Книжников В.А. [и др.]. Глобальные выпадения продуктов ядерных взрывов как фактор облучения человека. М. : Атомиздат, 1980. 250 с.
3. Молчанова И.В., Караваева Е.Н., Михайловская Л.Н. Радиоэкологические исследования почвенно-растительного покрова. Екатеринбург : УрО РАН, 2006. 87 с.
4. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009) : санитарно-эпидемиологические правила и нормативы (СанПиН 2.6.1.2523–09) : утв. и введ. 01.09.2009 г. М. : Федер. центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2009. 100 с.
5. Последствия техногенного радиационного воздействия и проблемы реабилитации Уральского региона / под общ. ред. С.К. Шойгу. М. : Комтехпринт, 2002. 287 с.
6. Трапезников А.В., Молчанова И.В., Караваева Е.Н., Трапезникова В.Н. Миграция радионуклидов в пресноводных и наземных экосистемах : в 2 т. Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2007. Т. II. 400 с.
7. Трапезников А.В., Трапезникова В.Н., Донник И.М., Шкуратова И.А. Радиоэкологическая ситуация в Уральском регионе : учеб.-метод. рекомендации. Екатеринбург : Урал. изд-во, 2006. 45 с.
8. Трапезников А.В., Трапезникова В.Н. Радиоэкология пресноводных экосистем. Екатеринбург : Изд-во УрГСХА, 2006. 390 с.
9. Урал и экология : учеб. пособие / под ред. А.М. Черняева, Б.А. Урванцева. Екатеринбург, 2000. 285 с.
10. Уткин В.И., Чеботина М.Я., Евстигнеев А.В., Любашевский М.Н. Особенности радиационной обстановки на Урале. Екатеринбург : УрО РАН, 2004. 190 с.
11. Челябинская область: ликвидация последствий радиационных аварий / под ред. А.В. Акеева. Челябинск : Юж.-Урал. кн. изд-во, 2006. 344 с.
12. Чуканов В.Н., Волобуев П.В., Дрожко Е.Г. [и др.]. Генезис и концепция Государственной программы Российской Федерации по радиационной реабилитации Уральского региона. Екатеринбург, 1993. 66 с.
13. UNSCEAR. Report of the United Nations Scientific Committee on the Effect of Atomic Radiation. New York : United Nations, 1988. 428 p.

Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией статьи.
Поступила 08.02.2017 г.

Для цитирования. Трапезникова В.Н., Коржавин А.В., Трапезников А.В., Платаев А.П. Итоги многолетнего мониторинга трансграничного воздушного переноса техногенных радионуклидов на территорию Свердловской области с объектов ядерного топливного цикла, расположенных в Челябинской области // Мед.-биол. и соц.-психол. пробл. безопасности в чрезв. ситуациях. 2017. № 1. С. 84–94. DOI 10.25016/2541-7487-2017-0-1-84-94.

The Results of the Long-Term Monitoring of the Cross-Border Air Transport of the Artificial Radionuclides to the Territory of the Sverdlovsk Region from the Nuclear Fuel Cycle Facilities Located in the Chelyabinsk region

Trapeznikova V.N., Korzhavin A.V., Trapeznikov A.V., Plataev A.P.

Institute of Plant and Animal Ecology, Russian Academy of Science, Ural branch
(8th March St., 202, Ekaterinburg, 620144, Russia)

Vera Nikolaevna Trapeznikova – PhD. Biol. Sci., Senior Research Associate of the Federal State budget science establishment Institute of Plant and Animal Ecology, Russian Academy of Science, Ural branch (8th March St., 202, Ekaterinburg, 620144, Russia), e-mail: vera_zar@mail.ru;

Aleksandr Vasil'evich Korzhavin – PhD. Vet. Sci., Deputy Head of the Continental radioecology Department of the Federal State budget science establishment Institute of Plant and Animal Ecology, Russian Academy of Science, Ural branch (8th March St., 202, Ekaterinburg, 620144, Russia), e-mail: bfs_zar@mail.ru;

✉ Aleksandr Viktorovich Trapeznikov – Dr. Biol. Sci., Head of the Continental radioecology Department of the Federal State budget science establishment Institute of Plant and Animal Ecology, Russian Academy of Science, Ural branch, honored ecologist of Russia (8th March St., 202, Ekaterinburg, 620144, Russia), e-mail: vera_zar@mail.ru;

Anatolij Petrovich Plataev – Junior Research Associate of the Federal State budget science establishment Institute of Plant and Animal Ecology, Russian Academy of Science, Ural branch (8th March St., 202, Ekaterinburg, 620144, Russia), e-mail: ty1985@mail.ru.

Abstract

Relevance. Due to the imperfection of the used gas cleaning equipment in the early years of the Production Association «Mayak» existence, the significant additional contribution to the exposure of the population of the south of the Sverdlovsk region were made by the gas and aerosol emissions of radionuclides into the atmosphere. Even today the PA «Mayak» continues to be a source of the radioactive contamination of the surrounding areas, and there is the potential threat of the new large-scale radiation disasters. It is impossible to completely eliminate the occurrence of any emergency situations in the enterprise, as well as the likelihood of the cross-border air transport of the radionuclides from the areas contaminated earlier.

Intention. To assess radiation background levels in the southern part of the Sverdlovsk region subject to the probable air transport of radionuclides from the nuclear fuel cycle facilities located in the Chelyabinsk region.

Methodology. The conceptual model of the radiation monitoring on the way of the cross-border air transport of radionuclides into the territory of Sverdlovsk region from the nuclear fuel cycle facilities located in the Chelyabinsk region was designed and tested. It includes the determination of the content of the long-lived radionuclides (^{90}Sr and ^{137}Cs) in the environmental objects playing the role of natural plates. These include snow cover, the upper layer of the soil (0-20 cm), and open ponds water.

Results and Discussion. The results confirm that the current atmospheric precipitates for the period of 2004–2016 had no significant effect on the radiation situation at the controlled territory. Soils of the southern part of the Sverdlovsk region and the waters of Chervyanoe lake and the ponds of Komarova village are characterized by a higher content of ^{90}Sr , that may result from the additional radiation contamination in the previous years.

Conclusion. The developed conceptual model of the radiation monitoring can be successfully used for studying the impact of the existing nuclear fuel cycle enterprises on the surrounding areas, and also for organizing the protection of the population in various radiation accidents and emergency situations involving the uncontrolled release of the radionuclides into the atmosphere or water objects.

Keywords: emergency, radiobiology, radionuclides, radioactive contamination, human ecology, transboundary air transport, snow cover, soil, open ponds water.

References

1. Bakurov A.S., Shein G.P., Aksenov G.M., Rovnyi S.I. Obobshchenie mnogoletnikh rezul'tatov radiatsionnogo monitoringa v zone vliyaniya PO «Mayak» [Summarizing of the long-term results of the radiation monitoring in the Production Association «Mayak» affected zone]. *Opyt preodoleniya posledstviy tekhnogennykh avari i razvitie atomnykh tekhnologii* [The experience of the consequences of technological accidents overcoming and the development of nuclear technologies]: Scientific. Conf. Proceedings. Chelyabinsk. 2007. Pp. 8–25. (In Russ.)
2. Marei A.N., Barkhudarov R.M., Knizhnikov V.A. [et al.]. Global'nye vypadeniya produktov yadernykh vzryvov kak faktor oblucheniya cheloveka [Global nuclear explosions products fall-out as a factor of human exposure]. Moskva 1980. 250 p.
3. Molchanova I.V., Karavaeva E.N., Mikhailovskaya L.N. Radioekologicheskie issledovaniya pochvenno-rastitel'nogo pokrova [Radioecological study of the soil and vegetative cover]. Ekaterinburg. 2006. 87 p. (In Russ.)
4. Normy radiatsionnoi bezopasnosti (NRB-99/2009) [Normy radiacionnoj bezopasnosti (NRB-99/2009)]: sanitarno-epidemiologicheskie pravila i normativy (SanPiN 2.6.1.2523-09) [Sanitary and epidemiological requirements and codes 2.6.1.2523-09]. Moskva. 2009. 100 p. (In Russ.)
5. Posledstviya tekhnogennogo radiatsionnogo vozdeistviya i problemy reabilitatsii Ural'skogo regiona [The consequences of the man-made radiation influence and the problems of rehabilitation of the Urals region]. Ed. S.K. Shoigu. Moskva. 2002. 287 p. (In Russ.)
6. Trapeznikov A.V., Molchanova I.V., Karavaeva E.N., Trapeznikova V.N. Migratsiya radionuklidov v presnovodnykh i nazemnykh ekosistemakh [Radionuclides migration in fresh-water and land ecological systems]: in 2 Vol. Ekaterinburg. 2007. Vol. II. 400 p. (In Russ.)
7. Trapeznikov A.V., Trapeznikova V.N., Donnik I.M., Shkuratova I.A. Radioekologicheskaya situatsiya v Ural'skom regione [Radioecological situation in the Urals region]. Ekaterinburg. 2006. 45 p. (In Russ.)
8. Trapeznikov A.V., Trapeznikova V.N. Radioekologiya presnovodnykh ekosistem [Radioecology of freshwater ecosystems]. Ekaterinburg. 2006. 390 p. (In Russ.)
9. Ural i ekologiya [The Urals and ecology]. Eds.: A.M. Chernyaev, B.A. Urvantsev. Ekaterinburg. 2000. 285 p. (In Russ.)
10. Utkin V.I., Chebotina M.Ya., Evstigneev A.V., Lyubashevskii M.N. Osobennosti radiatsionnoi obstanovki na Urale [Features of the radiation situation in the Urals]. Ekaterinburg. 2004. 190 p. (In Russ.)
11. Chelyabinskaya oblast': likvidatsiya posledstviy radiatsionnykh avari [Chelyabinsk region: the radiation accidents consequences elimination]. Ed. A.V. Akleev. Chelyabinsk. 2006. 344 p. (In Russ.)
12. Chukanov V.N., Volobuev P.V., Drozhko E.G. [et al.]. Genezis i kontseptsiya Gosudarstvennoi programmy Rossiiskoi Federatsii po radiatsionnoi reabilitatsii Ural'skogo regiona [The genesis and the concept of the State program of the Russian Federation on radiation rehabilitation of the Urals region]. Ekaterinburg. 1993. 66 p. (In Russ.)
13. UNSCEAR. Report of the United Nations Scientific Committee on the Effect of Atomic Radiation. New York : United Nations. 1988. 428 p.

Received 08.02.2017.

For citing: Trapeznikova V.N., Korzhavin A.V., Trapeznikov A.V., Plataev A.P. Itogi mnogoletnego monitoringa trans-granichnogo vozdušnogo perenosa tekhnogennykh radionuklidov na territoriyu Sverdlovskoi oblasti s ob'ektov yadernogo toplivnogo tsikla, raspolozhennykh v Chelyabinskoi oblasti. *Mediko-biologicheskoe i sotsial'no-psikhologicheskoe problemy bezopasnosti v chrezvychaynykh situatsiyakh*. 2017. N 1. Pp. 84–94. (In Russ.)

Trapeznikova V.N., Korzhavin A.V., Trapeznikov A.V., Plataev A.P. The Results of the Long-Term Monitoring of the Cross-Border Air Transport of the Artificial Radionuclides to the Territory of the Sverdlovsk Region from the Nuclear Fuel Cycle Facilities Located in the Chelyabinsk region. *Medico-Biological and Socio-Psychological Problems of Safety in Emergency Situations*. 2017. N 1. Pp. 84–94. DOI 10.25016/2541-7487-2017-0-1-84-94.