

# ВОПРОСЫ РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Научно-практический журнал  
ФГУП "ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ОБЪЕДИНЕНИЕ "МАЯК"  
Государственная корпорация по атомной энергии "Росатом"

Издаётся с 1996 г., периодичность – 4 номера в год  
№ 3 (59) 2010 г.

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР Ю.Г. МОКРОВ  
ЗАМЕСТИТЕЛЬ ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА И.Г. ТАНАНАЕВ

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ  
Е.Н. Аврорин, В.В. Адушкин, Р.М. Алексахин, С.В. Барапов, В.Н. Большаков,  
В.И. Величкин, Л.А. Ильин, Н.П. Лавёров, Б.Ф. Мясоедов, В.И. Осипов

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ  
А.В. Аклеев, Г.Ш. Баторшин, В.Ф. Горн, И.А. Иванов,  
С.Н. Калмыков, Н.А. Кошурникова, В.П. Медведев, С.А. Романов,  
П.М. Стукалов (отв. секретарь), В.Ф. Хохряков, В.В. Хохряков

## СОДЕРЖАНИЕ

### 1. РАДИОАКТИВНЫЕ ОТХОДЫ И ОКРУЖАЮЩАЯ СРЕДА

Якшин В.В., Князькина О.В., Тананаев И.Г., Цивадзе А.Ю., Логунов М.В., Смирнов И.В. Селективная экстракция цезия из сложных по химическому составу растворов с помощью новых экстрагентов на основе дibenзокраун- эфиров во фторорганических разбавителях	3
Зинин А.И., Зинина Г.А., Самсонова Л.М., Ястребков А.Ю. Оценка эффективности природоохранных мер по минимизации радиоактивного загрязнения правобережного канала Теченского каскада водоёмов	11
Попов И.Б., Иванов В.В., Кузнецов Д.Г., Ершов Б.Г. Влияние самооблучения на свойства боробазальтовых систем, содержащих компоненты радиоактивных отходов	27
Трапезников А.В., Коржавин А.В., Трапезникова В.Н. Исследование трансграничного переноса $^{90}\text{Sr}$ , $^{137}\text{Cs}$ и $^{239,240}\text{Pu}$ на территорию Свердловской области с объектов ядерного топливного цикла, расположенных в Челябинской области	34
Алой А.С., Иванов Е.Ю., Кузнецов Б.С., Баторшин Г.Ш., Елсуков С.Н., Бобылев А.И., Ряков А.В., Морозов И.И. Микроволновая переработка жидких среднеактивных отходов химико-металлургического производства	48
Воронина А.В., Семенищев В.С., Бетенеков Н.Д. Исследование химической и термической устойчивости матрицы на основе гидроксида титана для совместной иммобилизации радионуклидов цезия и стронция	54

УДК 574:539.16.047+[504.5:621.039.7] (470.54/.55)  
© 2010

## ИССЛЕДОВАНИЕ ТРАНСГРАНИЧНОГО ПЕРЕНОСА $^{90}\text{Sr}$ , $^{137}\text{Cs}$ И $^{239,240}\text{Pu}$ НА ТЕРРИТОРИЮ СВЕРДЛОВСКОЙ ОБЛАСТИ С ОБЪЕКТОВ ЯДЕРНОГО ТОПЛИВНОГО ЦИКЛА, РАСПОЛОЖЕННЫХ В ЧЕЛЯБИНСКОЙ ОБЛАСТИ

*А.В. Трапезников, А.В. Коржавин, В.Н. Трапезникова  
Россия, г. Екатеринбург, Институт экологии растений и животных УрО РАН*

Представлена концептуальная модель радиоэкологического мониторинга на пути трансграничного воздушного переноса радионуклидов на территорию Свердловской области с объектов ядерного топливного цикла, расположенных в Челябинской области, предусматривающая определение содержания долгоживущих дозообразующих радионуклидов:  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{239,240}\text{Pu}$  в объектах окружающей среды, играющих роль природных планшетов, к которым можно отнести снежный покров, верхний 0–15 см слой почвы и воду открытых водоёмов. Показано, что плотность загрязнения снежного покрова  $^{239,240}\text{Pu}$  на участках, расположенных на пути вероятного воздушного переноса, несколько выше, чем в контрольной точке, характеризующей уровень глобальных выпадений. Объемная активность  $^{239,240}\text{Pu}$  в воде открытых водоёмов и плотность загрязнения верхних слоев почвы на данных участках также несколько выше, чем в контрольной точке.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** ТРАНСГРАНИЧНЫЙ ВОЗДУШНЫЙ ПЕРЕНОС,  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{239,240}\text{Pu}$ , СНЕЖНЫЙ ПОКРОВ, ВОДА ОТКРЫТЫХ ВОДОЁМОВ, ПЛОТНОСТЬ ЗАГРЯЗНЕНИЯ, ВЕРХНИЕ СЛОИ ПОЧВЫ

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, спецкомбинаты "Радон", ВНИИТФ и др. Наиболее опасное в этом смысле ПО "Маяк" в Челябинской области [1].

За период деятельности ПО "Маяк" произошло несколько крупных техногенных катастроф, 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 рас-

сены ветром в северо-восточном направлении, обусловив радиоактивное загрязнение северной части Челябинской, южной части Свердловской и небольшой территории Тюменской областей. Названная Восточно-Уральским радиоактивным следом (ВУРС), эта территория в границах минимально детектируемых уровней радиоактивного загрязнения  $^{90}\text{Sr}$  – 3,7 ГБк/км<sup>2</sup> имела площадь около 20 тыс. км<sup>2</sup>. В Свердловской области наибольшему радиоактивному загрязнению подверглись территории Каменского, Богдановичского и Камышловского районов. В настоящий момент территория ВУРСа в пределах Свердловской области включает 267 населенных пунктов, в том числе города Каменск-Уральский, Камышлов, Талицу и поселки городского типа Пышма, Троицкое [2].

В первые годы существования ПО "Маяк" из-за несовершенства используемого газоочистного оборудования существенный дополнительный вклад в облучение населения южной части Свердловской области, проживающего

на территории ВУРСа, внесли газоаэрозольные выбросы радионуклидов в атмосферу [3].

До начала 1960-х гг. 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" эксплуатировалось 25 высоких и несколько сот низких источников выбросов. Радиоактивные нуклиды, поступающие в атмосферу из низких источников выбросов, производили загрязнение окружающей среды в непосредственной близости от зданий и сооружений, на которых они расположены. Влияние такого типа выбросов на загрязнение окружающей среды в районе проживания населения мало по сравнению с действием высоких источников, так как выбросы из последних распространялись на значительные расстояния. [4].

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  $\gamma$ -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 Озёрска в настоящее время не превышает 0,5 % [5].

Несмотря на существенное снижение уровня газоаэрозольных выбросов в атмосферу, ряд вопросов, связанных с воздушной миграцией радиоактивных веществ, остаётся актуальным и в настоящее время. Так, нельзя полностью исключить вероятность трансграничного воздушного переноса радионуклидов с предприятий ядерного топливного цикла, расположенных в Челябинской области, на территорию Свердловской области.

При анализе данных мониторинга специалисты ПО "Маяк" отмечают одну общую для всех лет закономерность – наличие района с повышенной плотностью выпадений, который непосредственно примыкает к предприятию с востока, северо-востока и юго-востока и может быть условно разделен на 3 зоны (рис. 1). Систематический радиационный 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) пятью азимутальными лучами (С, СВ, В, ЮВ, Ю) и четырьмя полуокружностями с радиусами 10, 20, 40 и 70 км. Пунктам контроля были присвоены номера [6].

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-км 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. 2). Территориально они соответствуют населенным пунктам с непроточными или слабопроточными водоёмами (озерами или искусственными водоёмами). Известно, что по мере удаления от источника загрязнения интенсивность выпадений радиоактивных веществ

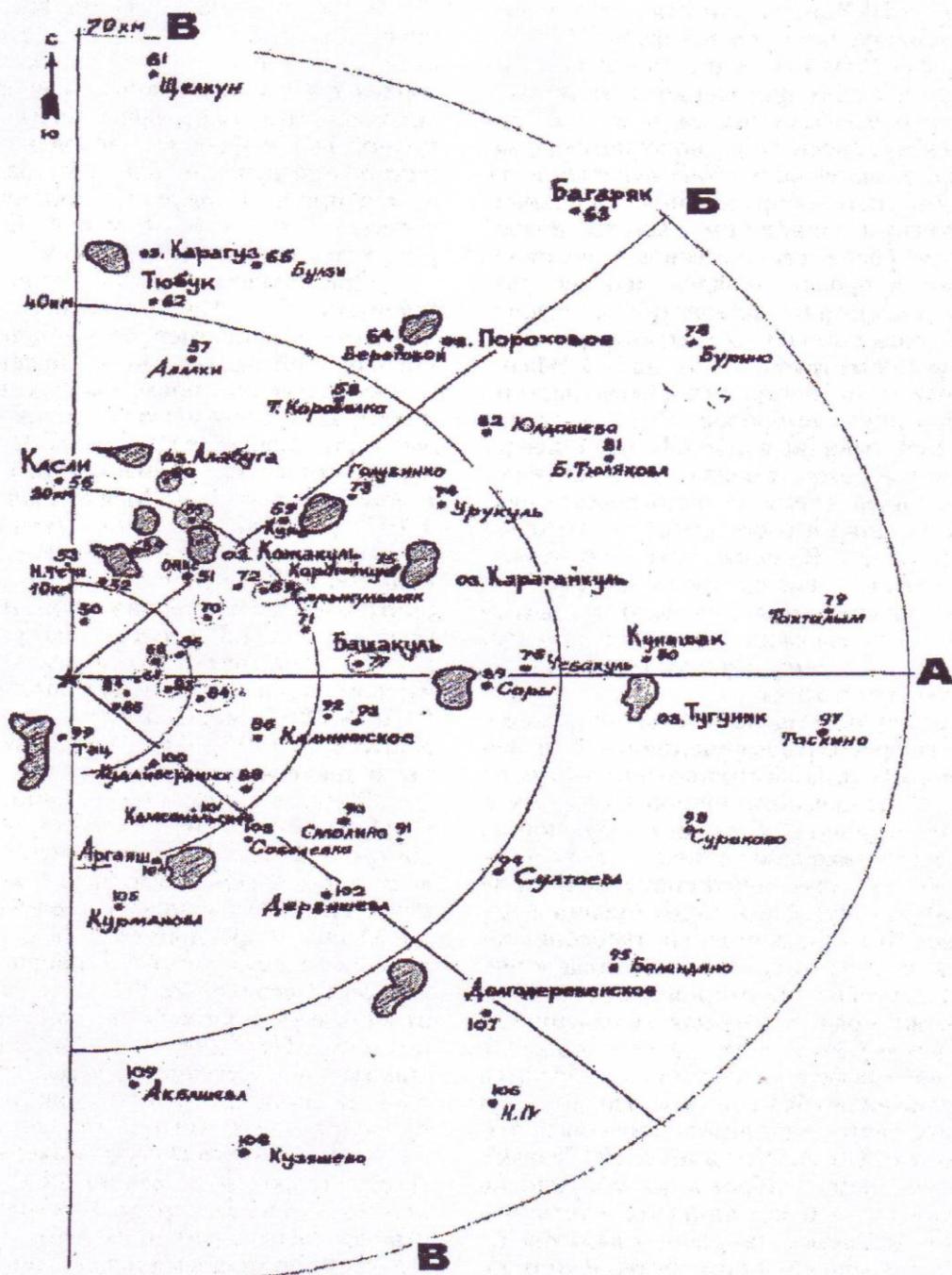


Рис. 1. Расположение районов с повышенной плотностью выпадений и пунктов контроля ПО "Маяк" на территории Челябинской области

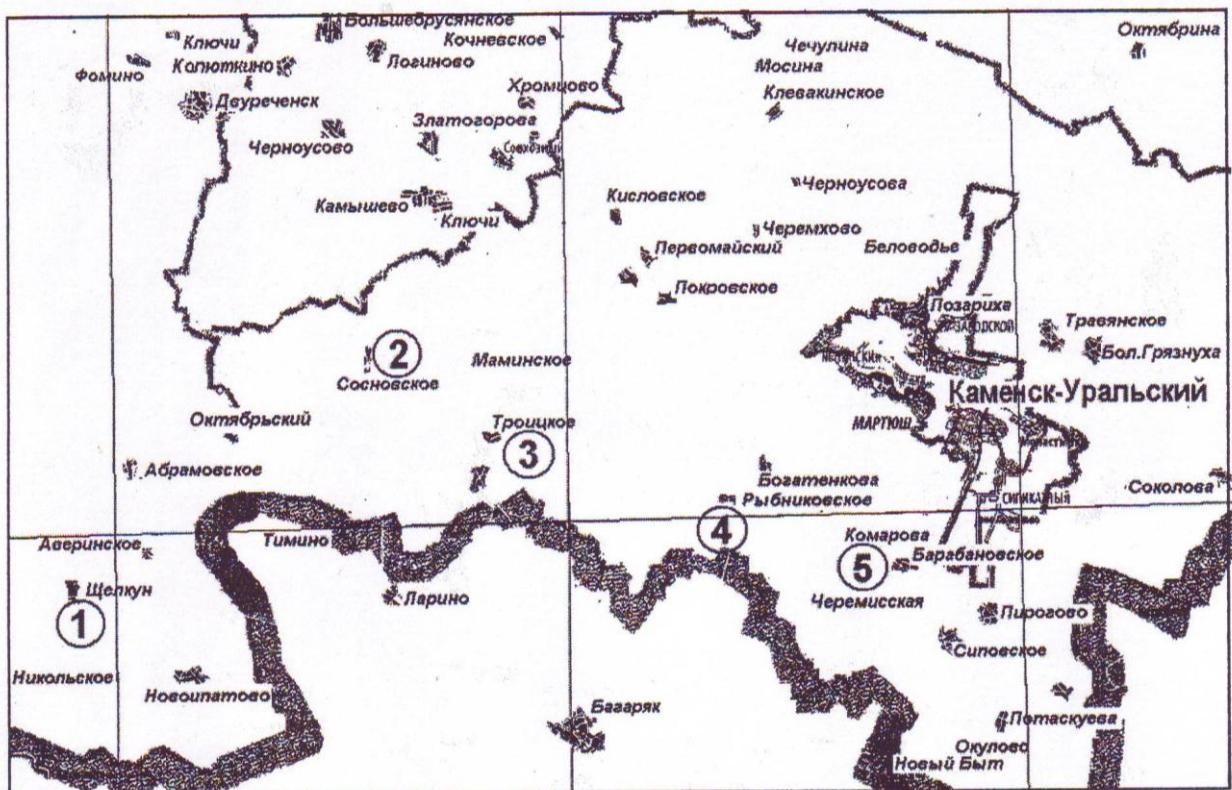


Рис. 2. Расположение реперных участков контроля на территории Свердловской области

уменьшается и приближается к фоновым уровням, характерным для данного региона. Для определения фоновых значений содержания радионуклидов в исследуемых объектах предложена "контрольная точка", которая вынесена за зону влияния ПО "Маяк" (рис. 3). Координаты точек на местности определяли при помощи спутниковой навигационной системы GPS (табл. 1).

С 2004 по 2006 гг. проводилась апробация данной схемы, уточнялось и корректировалось расположение точек на территории области. В 2007 г. сотрудниками Отдела континентальной радиоэкологии ИЭРиЖ УрО РАН совместно с Главным управлением гражданской защиты и пожарной безопасности Свердловской области была разработана концептуальная модель радиоэкологического мониторинга на пути трансграничного воздушного переноса

радионуклидов на территорию Свердловской области с объектов ядерного топливного цикла, расположенных в Челябинской области, которая была утверждена Министром природных ресурсов области.

Предлагаемая модель радиоэкологического мониторинга включает в себя определение содержания долгоживущих дозообразующих радионуклидов:  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{239,240}\text{Pu}$  в объектах окружающей среды, которые играют роль природных планшетов. К таким объектам можно отнести снежный покров, верхний 0–15 см слой почвы и воду открытых водоёмов. Снежный покров аккумулирует газоаэрозольные выпадения предприятий ЯТЦ в осенне-зимний период, а почвенный – даёт интегральную их характеристику. Водная поверхность открытых водоёмов собирает атмосферные выпадения радионуклидов в течение всего года, а также с территории

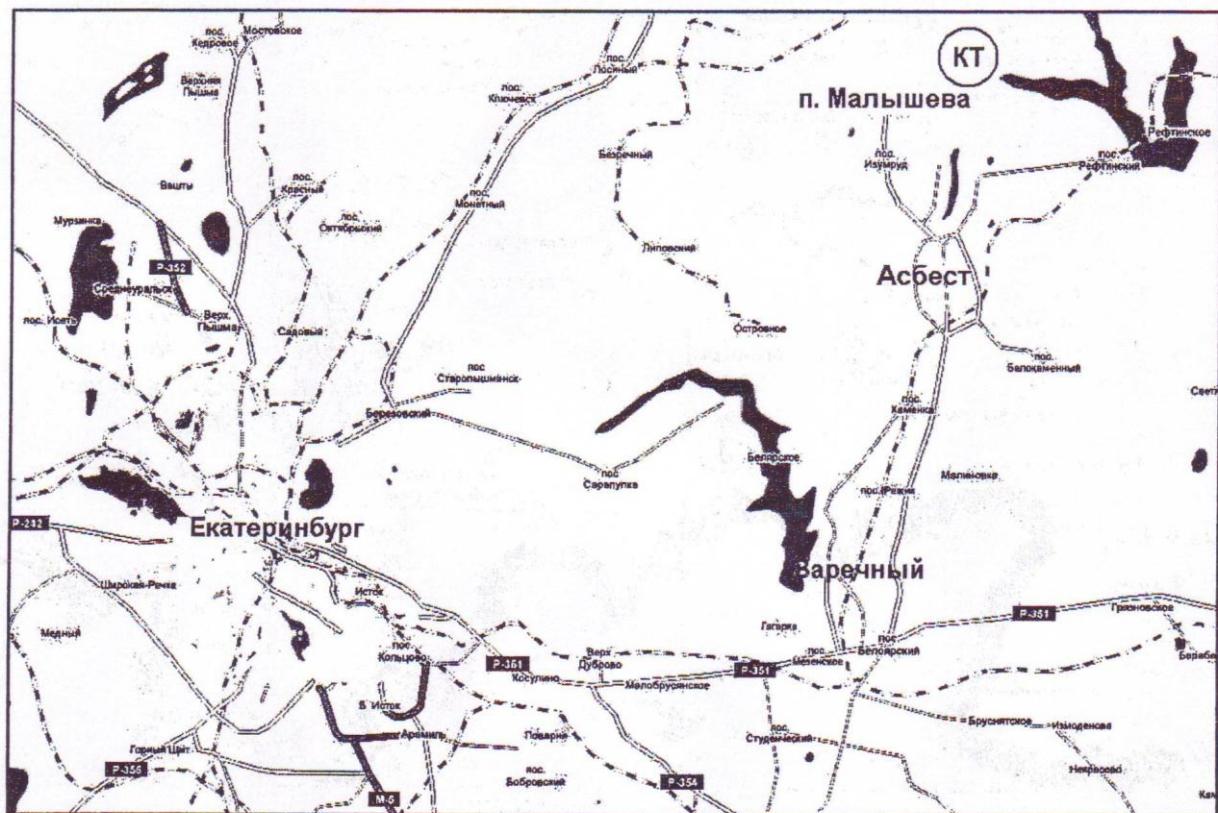


Рис. 3. Расположение контрольной точки (КТ)

Таблица 1

Географические координаты мест отбора проб

№ п/п	Место отбора проб	Географические координаты
1	Д. Комарова, Каменский район, пруд	N 56°18,762' E 61°47,748'
2	С. Щелкун, Сысертский район, оз. Щелкунское	N 56°16,638' E 60°55,492'
3	С. Сосновское, Каменский район, оз. Сосновское	N 56°26,715' E 61°15,111'
4	С. Троицкое, Каменский район, оз. Карасье	N 56°23,161' E 61°25,682'
5	Д. Рыбниково, Каменский район, оз. Червяное	N 56°20,350' E 61°39,437'
6	Пос. Малышева, Рефтинский пруд (контрольная точка)	N 57°05,657' E 61°29,400'

водосбора после таяния снега и с дождовыми водами, которые в дальнейшем аккумулируются в донных отложениях водоёмов.

### *1. Объекты, методы исследования и используемое оборудование*

Отбор проб снега проводился в конце зимнего снегостояния (март – начало апреля) с участков размером 3×3 м 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 соляной кислотой для предотвращения сорбции на стенках сосудов. Для получения достоверных результатов содержания радионуклидов в снежном покрове необходимо большое количество исходного материала, поэтому объём талой воды, полученной из одной пробы снега, составлял от 913 до 1125 л в зависимости от толщины снежного покрова.

Талую воду отфильтровывали через ватные фильтры от механических примесей и выпаривали в специальных котлах до получения концентрата объёмом 1–2 л, который также выпаривали в химической посуде до сухого остатка. Сухой остаток доводили до постоянного веса при температуре 450–500 °C и проводили измерения гамма-, бета- и альфа-активности присутствующих радионуклидов.

Пробы воды из водоёмов отбирали в алюминиевые фляги и также подкисляли соляной 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-х) пробы представительно характеризует площадь 0,01 км<sup>2</sup>. Эта методика была успешно использована на протяжении ряда лет при радиоэкологическом обследовании загрязненных территорий Уральского региона и опубликована в работе [7].

Пробы грунтов отбирали из полнопро-

фильных 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 30–35 см в зависимости от характера грунта. Пробы маркировали и упаковывали в двойные полиэтиленовые пакеты для временного хранения и транспортировки. В лабораторных условиях пробы высушивали, взвешивали, перемалывали на шаровой мельнице и просеивали через сито с ячейкой 1 мм.

Измерение активности <sup>137</sup>Cs проводили на гамма-спектрометре фирмы "Canberra Packard" (Model S400 Genie-PC Spectroscopy System, США) с германиевым детектором коаксиального типа с рабочим объёмом кристалла 117 см<sup>3</sup> и энергетическим разрешением 1,77 КэВ по гамма-линии радионуклида <sup>137</sup>Cs – 661,2 КэВ, помещенным в штатную свинцовую защиту и охлаждаемым с помощью криостата с жидким азотом. Программное обеспечение OS ½ при ошибке измерения не более 5–15 %.

Содержание <sup>90</sup>Sr в снеге определяли непосредственно в образцах сухого остатка или на оксалатных концентратах послеadioхимического выделения суммарного осадка оксалатов стронция и кальция. Измерения бета-активности проводили на гамма-бета спектрометре со сцинтилляционным детектором с программным обеспечением "Прогресс" или на малофоновой установке УМФ-2000. Пределы обнаружения <sup>137</sup>Cs в природных объектах с учетом методов подготовки проб составляли: 1 Бк/кг в почвах и 0,1 Бк/м<sup>3</sup> в воде, <sup>90</sup>Sr – соответственно – 0,6 Бк/кг и 5 Бк/м<sup>3</sup>.

Для определения содержания изотопов плутония в пробах почвы и воды использовали модифицированную методику, разработанную сотрудниками RISØ National Laboratory (Дания) [8]. Она включает в себя: выщелачивание образца смесью кислот; 2-х кратную очистку раствора на ионообменной колонке; электролитическое осаждение и альфа спектрометрию полученных образцов. Определение изотопного состава полученного образца проводили на спектрометре типа Alpha Analyst с полупроводниковыми детекторами (PIPS) и программным обеспечением GENIE-2000. Ошибка счета не превышала 15 %, а нижний предел определения составлял 0,1 Бк/кг.

## 2. Результаты исследования, их анализ и обсуждение

### 2.1. Содержание радионуклидов в снежном покрове

Плотность загрязнения снежного покрова  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  на протяжении 2006–2009 гг. представлена на рис. 4 и 5. По соотношению плотности загрязнения реперных участков и контрольной точки можно сказать, что присутствие  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  на обследованных участках в основном являются следствием глобальных выпадений и соответствует общему уровню выпадений на территории Свердловской области. Конечно, 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. Следует обратить внимание на определенную нестабильность количественных показателей радионуклидов в снежном покрове участков с.

Сосновское и с. Рыбниковское, но пока эти данные не подтверждаются статистической закономерностью и требуют дальнейшего изучения.

Совершенно иная картина наблюдается при анализе плотности загрязнения снежного покрова  $^{239,240}\text{Pu}$  (рис. 6). В 2008 г. в снежном покрове населенных пунктов Сосновское, Троицкое, Рыбниковское было отмечено увеличение содержания данного радионуклида. Так, на участке в районе с. Сосновское плотность загрязнения снежного покрова  $^{239,240}\text{Pu}$  по сравнению с предыдущим годом увеличилась в 8,8 раза, а по отношению к показателю 2006 г. – в 38 раз. В снежном покрове участка с. Рыбниковское содержание  $^{239,240}\text{Pu}$  в 2008 г. возросло в 68 раз, и было в 27 раз выше по сравнению с контрольной точкой. При этом следует отметить, что в 2008 г. наблюдалось некоторое увеличение содержания  $^{239,240}\text{Pu}$  и в контрольной точке. Но по сравнению с реперными участками оно увеличилось всего в 2,7 раза.

В 2009 г. было отмечено снижение плотности загрязнения снежного покрова  $^{239,240}\text{Pu}$

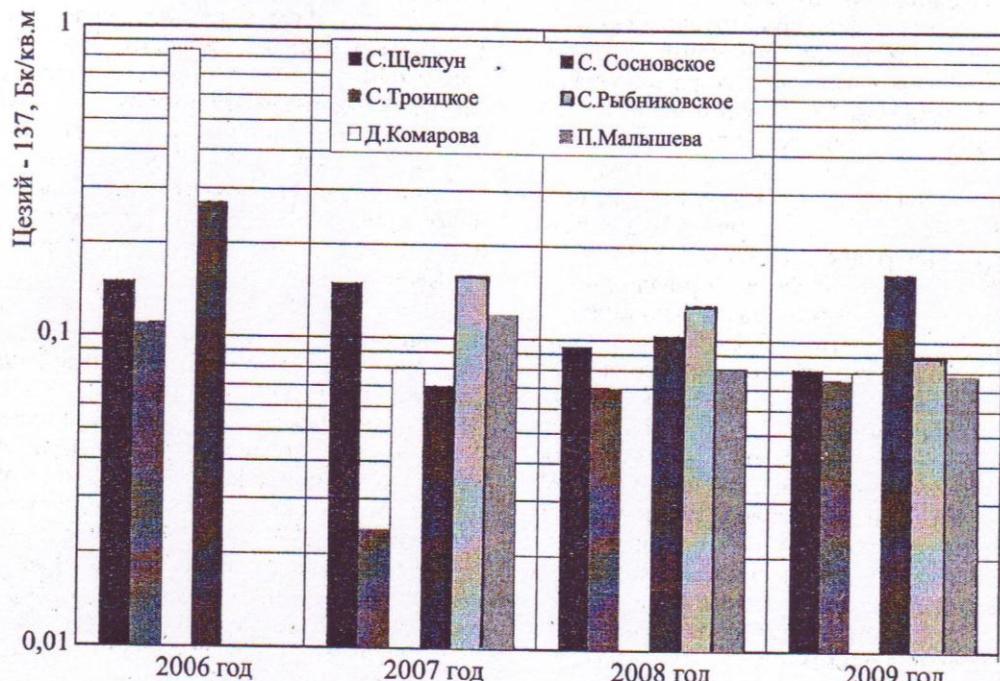


Рис. 4. Плотность загрязнения снежного покрова  $^{137}\text{Cs}$  в 2006–2009 гг.

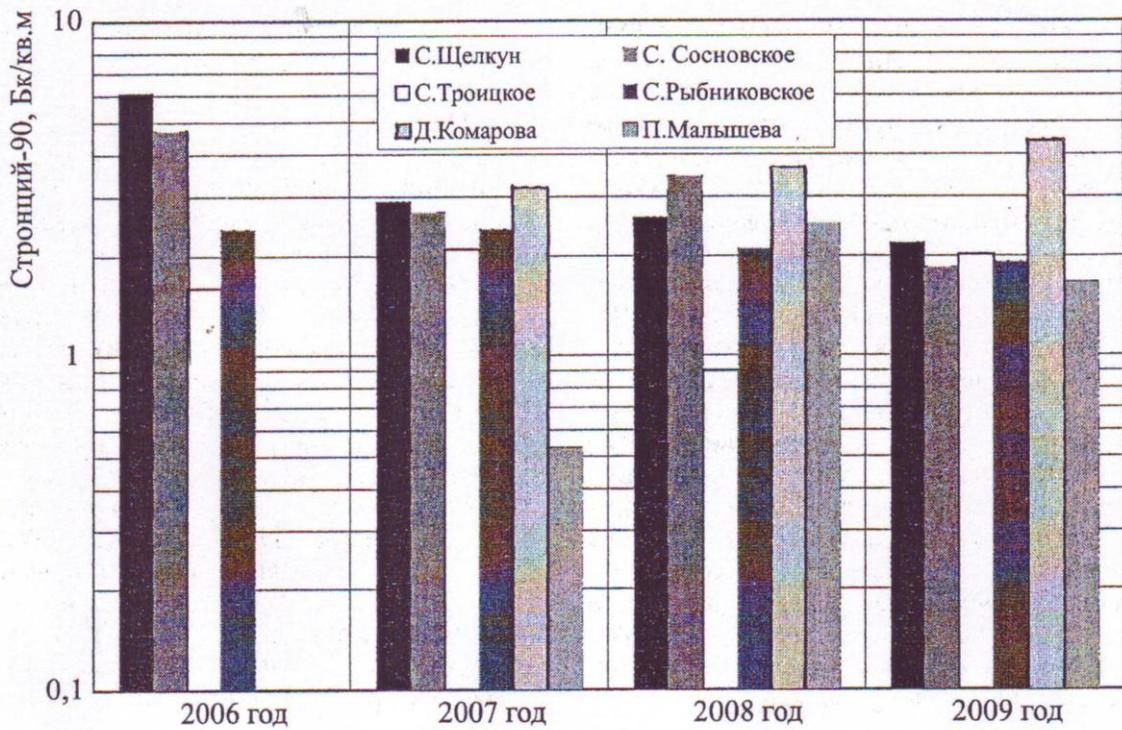


Рис. 5. Плотность загрязнения снежного покрова  $^{90}\text{Sr}$  в 2006–2009 гг.

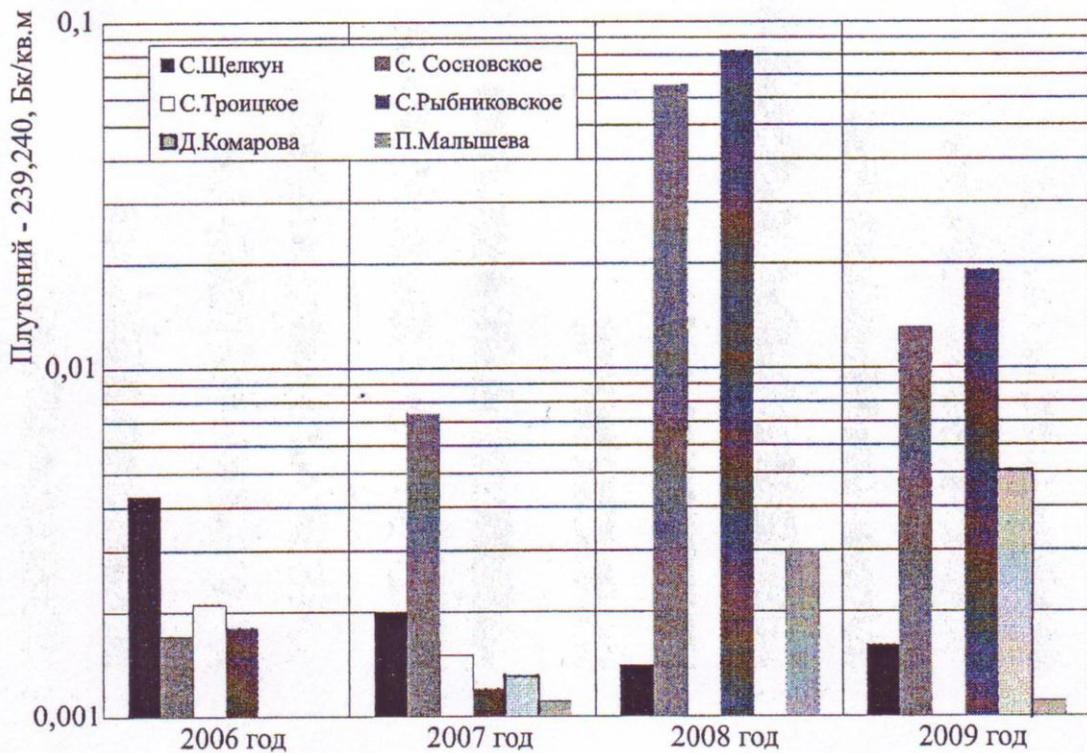


Рис. 6. Плотность загрязнения снежного покрова  $^{239,240}\text{Pu}$  в 2006–2009 гг.

реперных участков в районе населенных пунктов Сосновское, Троицкое, Рыбниковское. При этом на участке с. Троицкое, содержание  $^{239,240}\text{Pu}$  в снежном покрове оказалось ниже уровня определения. На участках Сосновское и Рыбниковское отмечено снижение содержания  $^{239,240}\text{Pu}$  по сравнению с предыдущим годом в 5 и 4,3 раза, соответственно. В контрольной точке, характеризующий уровень глобальных выпадений, также произошло снижение уровня  $^{239,240}\text{Pu}$  в 3 раза и приблизилось к показателю 2007 г. В 2009 г. было отмечено увеличение плотности загрязнения снежного покрова в д. Комарова, где в предшествующем году содержание данного радионуклида было ниже уровня определения.

В количественном отношении показатели плотности загрязнения снежного покрова  $^{239,240}\text{Pu}$  являются минимальными, соответствуют сотым и тысячным долям Бк в расчете на квадратный метр и пока не могут оказывать существенного влияния на радиационную обстановку исследованных участков.

## 2.2. Содержание радионуклидов в воде открытых водоёмов

На рис. 7, 8 и 9 представлена динамика объемной активности радионуклидов в воде исследованных водоёмов за три последних года. Как показывают результаты исследований, наиболее низкое содержание  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  в течение трехлетнего периода наблюдалось в воде оз. Карасье в районе с. Троицкое. Объемная активность  $^{137}\text{Cs}$  в воде водоёмов реперных участков вполне сопоставима с контрольной точкой. В 2009 г. наметилась некоторая тенденция повышения содержания  $^{137}\text{Cs}$  в воде озер Сосновское и Червяное. Дальнейшее развитие ситуации в водоёмах покажут результаты исследований последующих лет. Наиболее высокое содержание  $^{90}\text{Sr}$  было отмечено в воде оз. Червяное. Это вполне объяснимо, поскольку данный водоём находится на территории ВУРСа, а основным компонентом из долгоживущих радионуклидов в данном радиационном инциденте являлся

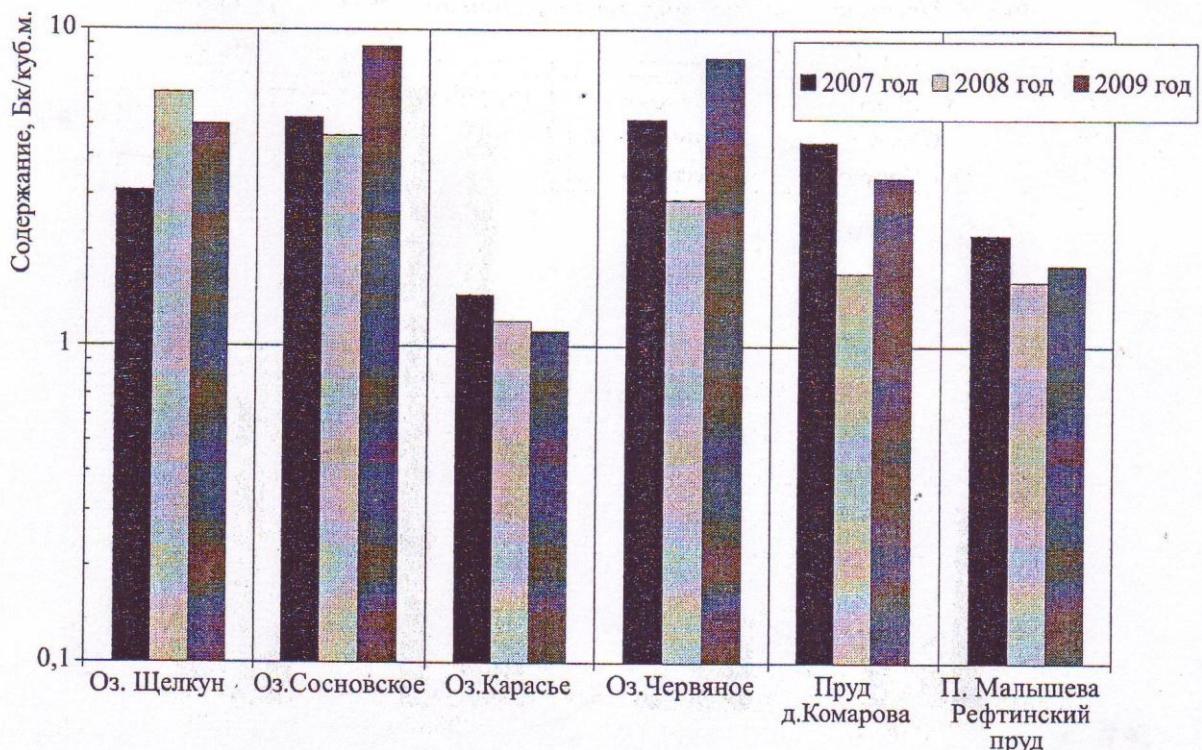


Рис. 7. Объемная активность  $^{137}\text{Cs}$  в пробах воды открытых водоёмов в 2007–2009 гг.

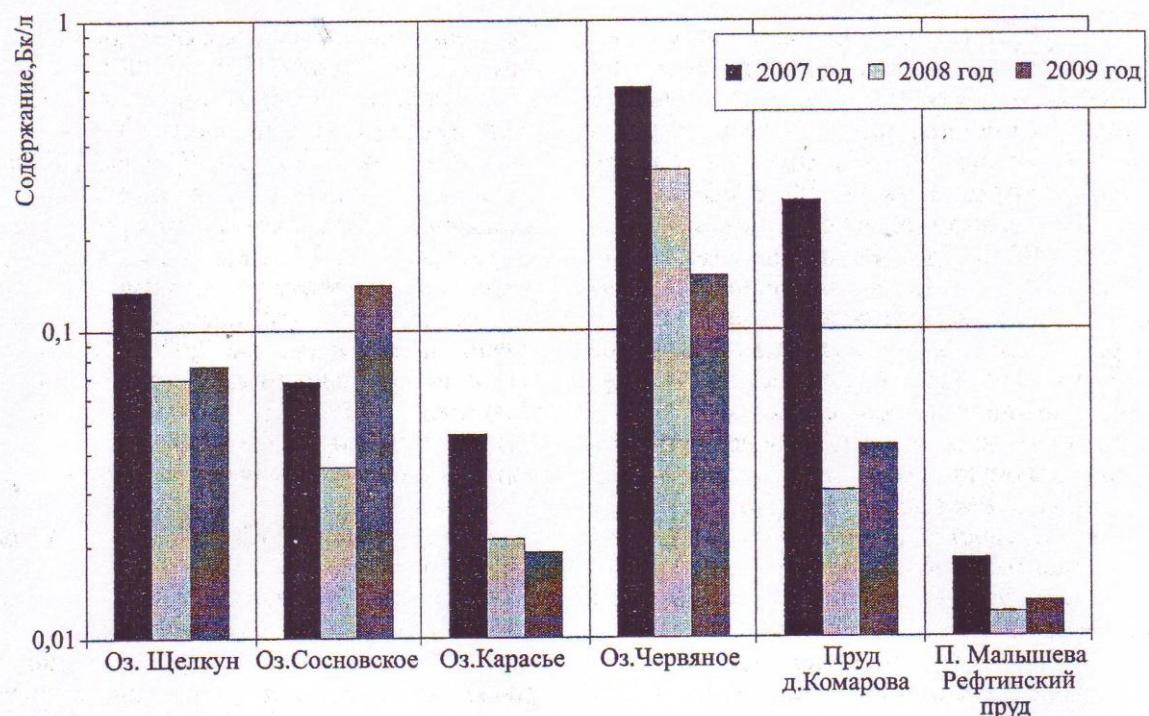


Рис. 8. Объемная активность  $^{90}\text{Sr}$  в пробах воды открытых водоёмов в 2007–2009 гг.

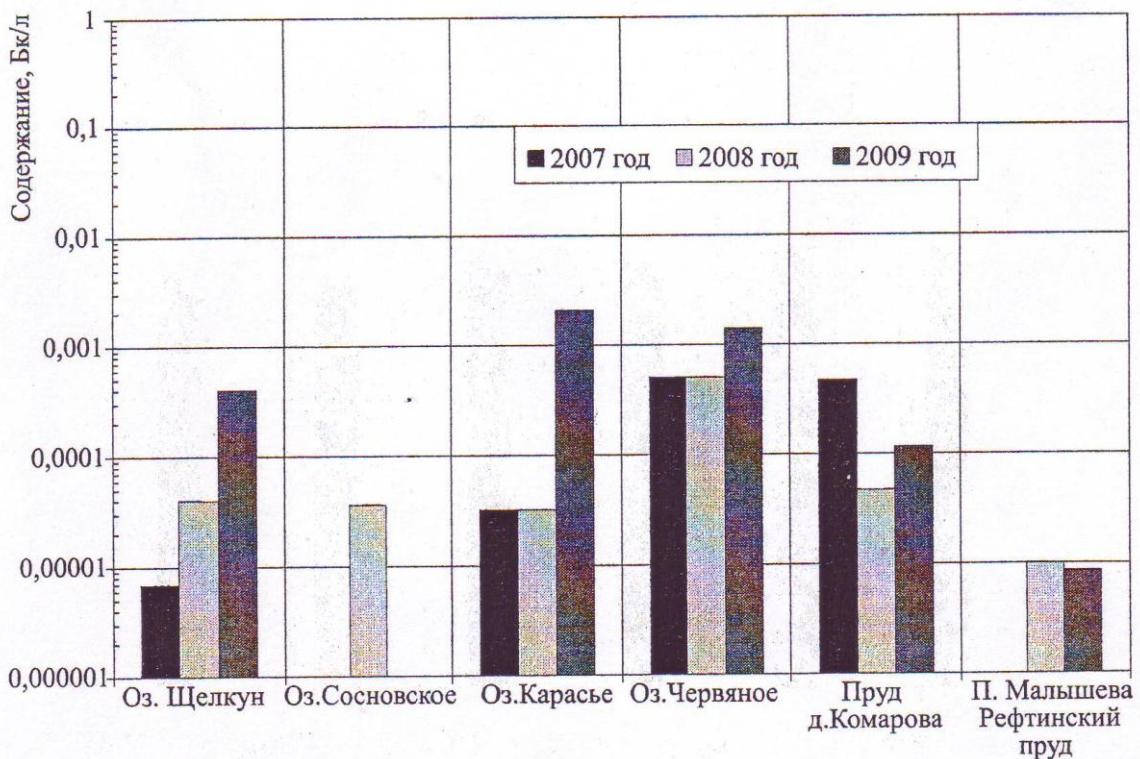


Рис. 9. Объемная активность  $^{239,240}\text{Pu}$  в пробах воды открытых водоёмов в 2007–2009 гг.

именно  $^{90}\text{Sr}$ . При этом прослеживается некоторая положительная тенденция снижения объемной активности  $^{90}\text{Sr}$  в воде оз. Червяное на протяжении последних трех лет. Стабильно низкое содержание  $^{90}\text{Sr}$  наблюдается в водоёме контрольной точки. Также в 2009 г. было отмечено незначительное повышение объемной активности  $^{239,240}\text{Pu}$  в воде озер Карасье и Червяное. Не исключено, что данное повышение вызвано некоторым увеличением содержания  $^{239,240}\text{Pu}$  в атмосферных осадках в предыдущем году, которое было зафиксировано по содержанию данного радионуклида в снежном покрове. После схода снежного покрова с водосборной территории часть радионуклидов могла попасть в воду и способствовать повышению содержания  $^{239,240}\text{Pu}$  в воде озер. Следует также отметить определенную негативную тенденцию постепенного повышения концентрации  $^{239,240}\text{Pu}$  в воде оз. Щелкун на протяжении последних трех лет.

Несмотря на представленную динамику, с точки зрения радиационной безопасности обследованные водоёмы в целом можно считать

благополучными. Согласно Нормам радиационной безопасности (НРБ-99/2009) уровни вмешательства при содержании в воде отдельных радионуклидов составляют:  $^{137}\text{Cs}$  – 11 Бк/кг,  $^{90}\text{Sr}$  – 4,9 Бк/кг,  $^{239,240}\text{Pu}$  – 0,55 Бк/кг. Наиболее высокое содержание  $^{137}\text{Cs}$  отмечено в озерах Червяное и Сосновское, которое составило, соответственно, 8,1 и 8,8 Бк/м<sup>3</sup>, что на три порядка величин ниже уровня вмешательства. В тех же водоёмах наблюдалось более высокое содержание  $^{90}\text{Sr}$ , равное 0,15 и 0,14 Бк/кг, что также значительно ниже допустимого уровня. Объемная активность  $^{239,240}\text{Pu}$  составила от тысячных долей Бк/л и ниже, что также на два порядка ниже уровня вмешательства.

### 2.3. Содержание $^{137}\text{Cs}$ , $^{90}\text{Sr}$ и $^{239,240}\text{Pu}$ в почве

Динамика плотности загрязнения почвы радионуклидами за ряд лет представлена на рис. 10–12. Как видно из представленных графиков, плотность поверхностного загрязнения реперных участков  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  не стабильна по

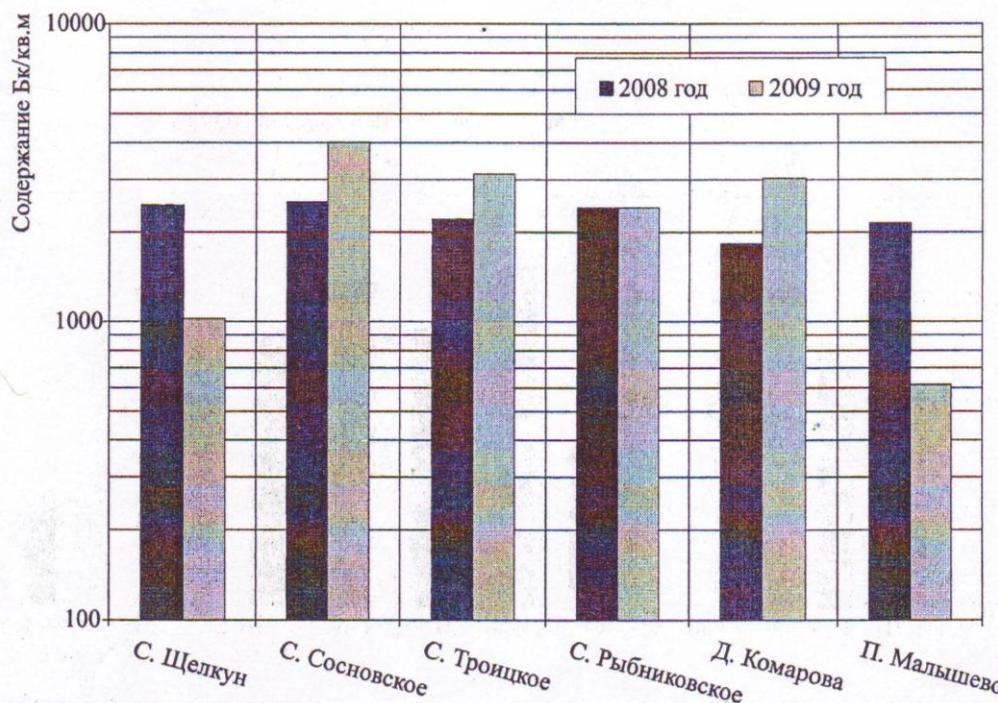


Рис. 10. Поверхностное загрязнение реперных участков контроля  $^{137}\text{Cs}$  в 2008–2009 гг.

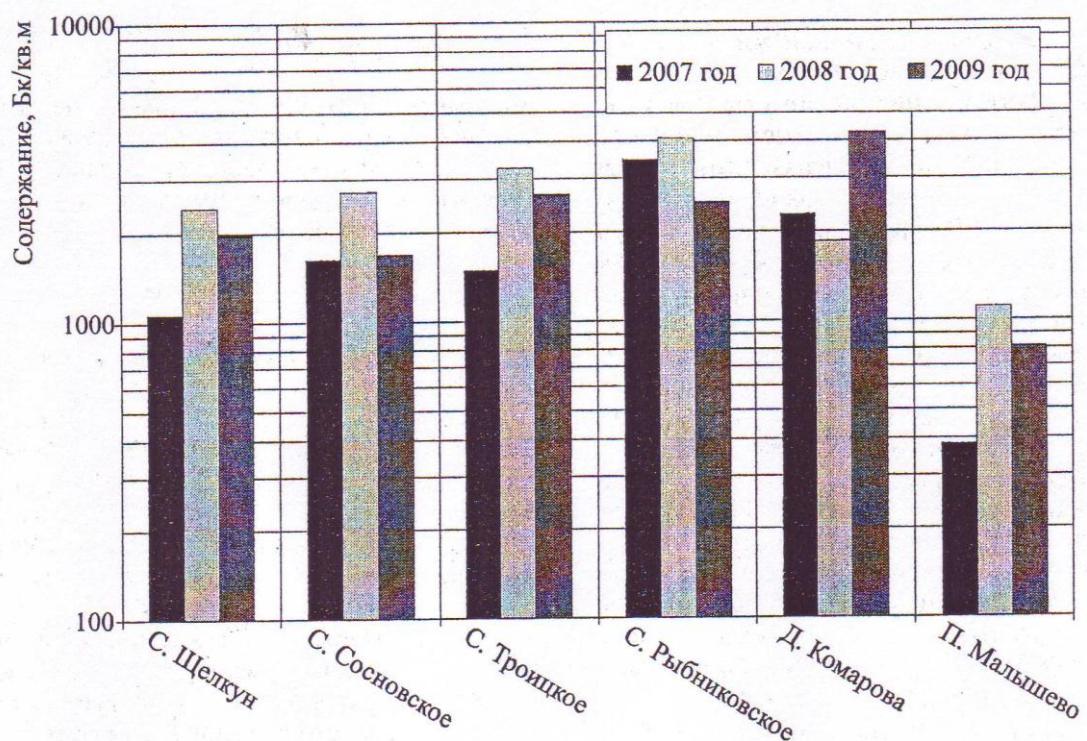


Рис. 11. Поверхностное загрязнение реперных участков контроля  $^{90}\text{Sr}$  в 2007–2009 гг.

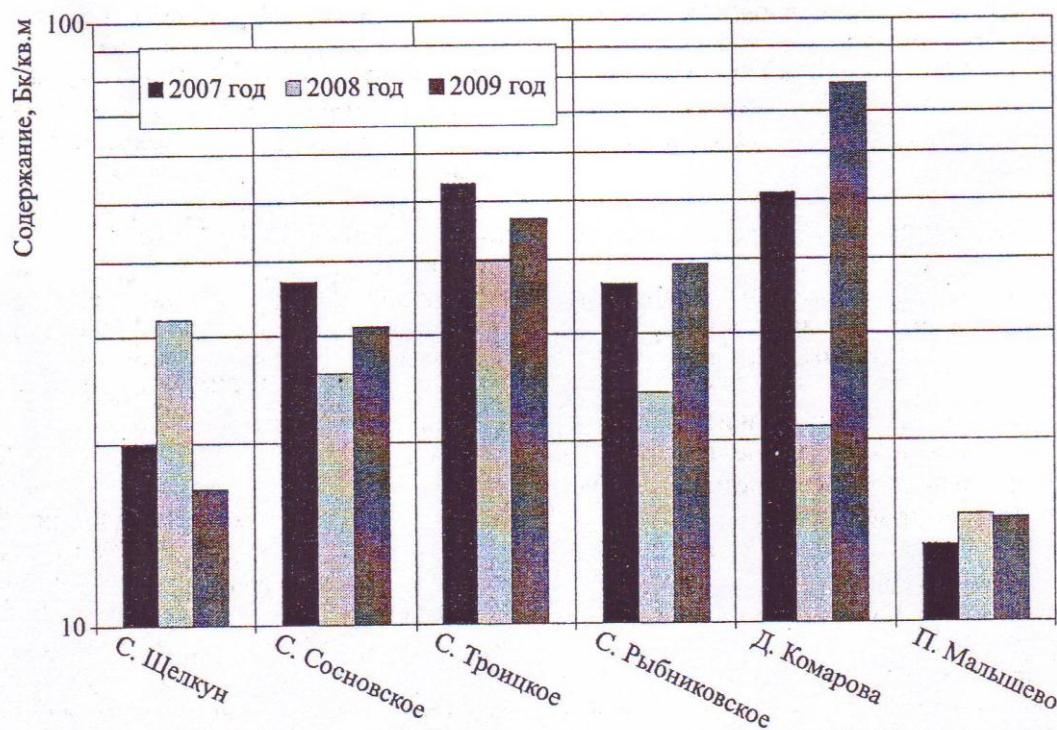


Рис. 12. Поверхностное загрязнение реперных участков контроля  $^{239,240}\text{Pu}$  в 2007–2009 гг.

годам, сопровождается единичными подъемами и снижениями и отражает природную неравномерность распределения радионуклидов в почвенных слоях. Более информативным является график поверхностного загрязнения почвы  $^{239,240}\text{Pu}$ . Участки с более высокой плотностью загрязнения  $^{239,240}\text{Pu}$  расположены в районе населенных пунктов Сосновское, Троицкое, Рыбниковское, а с 2009 г. и Комарова, что в определенной степени совпадает с данными по содержанию радионуклида в снежном покрове.

Фоновый уровень радионуклидного загрязнения почвенно-растительного покрова сформировался в основном за счет глобального загрязнения биосфера в период массированного испытания ядерного оружия (1950–60-е гг.). В настоящее время его оценка представляет довольно трудную задачу, так как в регионах с высокой техногенной нагрузкой, как правило, имеются источники дополнительного поступления радионуклидов в окружающую среду. Это подтверждают данные об уровнях глобальных выпадений на участках в разных почвенно-климатических зонах.

В пределах Уральского региона, а также на большей части Свердловской области реальное содержание  $^{90}\text{Sr}$  в почве составляет 1,6–1,8 кБк/м<sup>2</sup>;  $^{137}\text{Cs}$  – 3–4 кБк/м<sup>2</sup>; изотопов Pu – 80–200 Бк/м<sup>2</sup>, что усреднённо можно считать фоновыми значениями для Свердловской области [7].

Следует отметить, что плотность поверхностного загрязнения почв даже в пределах одного региона может существенно различаться. Так, только за один сезон на территории Свердловской области нами получены значения плотности загрязнения  $^{137}\text{Cs}$  от 614 до 4013 Бк/м<sup>2</sup>, по  $^{90}\text{Sr}$  от 808 до 4245 Бк/м<sup>2</sup>, по  $^{239,240}\text{Pu}$  от 14,8 до 77,9 Бк/м<sup>2</sup>. Значительные колебания поверхностного загрязнения почв отражают природную гетерогенность, характерную для объектов природной среды и зависят от многих факторов, включая характеристику самой почвы, особенности рельефа местности и радиационную ситуацию, сложившуюся за предыдущие годы.

Наиболее низкие уровни загрязнения отмечены в контрольной точке, а более высокая плотность загрязнения почв наблюдалась на участке д. Комарова, где в 2009 г. содержание

$^{137}\text{Cs}$  составило 3026 Бк/м<sup>2</sup>,  $^{90}\text{Sr}$  – 4245 Бк/м<sup>2</sup> и  $^{239,240}\text{Pu}$  – 77,9 Бк/м<sup>2</sup>. Немного ниже уровня поверхности загрязнения на участках Рыбниковское, Троицкое и Сосновское. При этом плотность загрязнения на всех реперных участках в среднем соответствовала уровням, принятым для нашего региона.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Плотность загрязнения снежного покрова  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{137}\text{Cs}$  на реперных участках сопоставима с контрольной точкой, что может являться следствием глобальных выпадений. Плотность загрязнения снежного покрова  $^{239,240}\text{Pu}$  на участках в н.п. Троицкое, Рыбниковское и Комарова выше, чем в контрольной точке. Таким образом, на данных участках в зимний период возможны выпадения  $^{239,240}\text{Pu}$ , отличающиеся от уровня глобальных выпадений. В количественном отношении плотность загрязнения снежного покрова  $^{239,240}\text{Pu}$  минимальна и соответствует тысячным долям Бк в расчете на квадратный метр.

2. Объемная активность радионуклидов в воде открытых водоёмов на два-три порядка величин ниже уровня вмешательства. Более высокое содержание  $^{90}\text{Sr}$  отмечено в воде оз. Червяное, поскольку данный водоём находится на территории ВУРСа. Объемная активность  $^{137}\text{Cs}$  в воде водоёмов реперных участков сопоставима с контрольной точкой. В 2009 г. отмечено незначительное повышение объемной активности  $^{239,240}\text{Pu}$  в воде озер Карасье и Червяное, что, возможно, связано с ростом атмосферных выпадений  $^{239,240}\text{Pu}$  на данных участках, зафиксированное по изменению содержания данного радионуклида в снежном покрове.

3. Плотность загрязнения почвенного покрова составила по  $^{137}\text{Cs}$  от 614 до 4013 Бк/м<sup>2</sup>, по  $^{90}\text{Sr}$  от 808 до 4245 Бк/м<sup>2</sup>, по  $^{239,240}\text{Pu}$  от 14,8 до 77,9 Бк/м<sup>2</sup>. На всех реперных участках плотность загрязнения была несколько выше, чем в контрольной точке, но в целом, соответствовала уровням, принятым для Уральского региона. Участки с более высоким содержанием  $^{239,240}\text{Pu}$  в почве отмечены в районе населенных пунктов Сосновское, Троицкое, Рыбниковское, а с 2009 г. и Комарова, что в основном совпадает с данными по содержанию радионуклида в снежном покрове.

*Работа выполнена при финансовой поддержке грантов РФФИ № 10-05-00516-а, 10-08-96021-р\_урал а и интеграционного проекта с СО РАН № 09-С-4-1019.*

## ЛИТЕРАТУРА

1. Урал и экология: Учебное пособие / Под ред. А.М. Черняева, Б.А. Урванцева. – Екатеринбург, 2000. – С. 57–66.
2. Особенности радиационной обстановки на Урале / В.И. Уткин, М.Я. Чеботина, А.В. Евстигнеев, М.Н. Любашевский. – Екатеринбург: УрО РАН, 2004. – С. 90–107.
3. Трапезников А.В., Трапезникова В.Н., Донник И.М., Шкуратова И.А. Радиоэкологическая ситуация в Уральском регионе: Учебно-методические рекомендации. – Екатеринбург: Уральское изд-во, 2006. – 45 с.
4. Последствия техногенного радиационного воздействия и проблемы реабилитации Уральского региона / Под общ. ред. С.К. Шойгу. – М.: Изд-во "Комтхехпринт", 2002. – 287 с.
5. Челябинская область: ликвидация последствий радиационных аварий / Под общ. ред. А.В. Аклеева. – Челябинск: Юж.-Урал. кн. изд-во, 2006. – С. 11–13.
6. 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 научно-практической конференции, посвященной 50-летию аварии на ПО "Маяк". Челябинск, 25–26 сентября 2007 г. – Челябинск: Челябинский институт ФГОУ ВПО "Уральская академия государственной службы", 2007. – С. 8–25.
7. Молчанова И.В., Караваева Е.Н., Михайловская Л.Н. Радиоэкологические исследования почвенно-растительного покрова. – Екатеринбург: УрО РАН, 2006. – 87 с.
8. Chen Q., Aarkrog A., Nielsen S.P. et al. Determination of Plutonium in environmental samples by controlled valence in anion exchange // J. Radioanalyt. and Nuclear Chem. – 1993. – V. 172. – No. 2. – P. 281–288.