На правах рукописи

КУЗЬМЕНКОВА НАТАЛЬЯ ВИКТОРОВНА

МИГРАЦИЯ И АККУМУЛЯЦИЯ ^{137}Cs В ЛАНДШАФТАХ СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ КОЛЬСКОГО ПОЛУОСТРОВА

25.00.36 – геоэкология

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата географических наук

Москва – 2010

Работа выполнена на кафедре рационального природопользования географического факультета Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова и в Институте геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН (ИГЕМ)

Научный руководитель: кандидат географических наук,
доцент, Воробьева Татьяна Александровна

Официальные оппоненты: доктор географических наук,
Линник Виталий Григорьевич
Институт геохимии и аналитической химии им.
В.И. Вернадского РАН (ГЕОХИ)

доктор химических наук,
Калмыков Степан Николаевич
химический факультет МГУ имени М.В.Ломоносова

Ведущая организация: Институт геоэкологии РАН

Защита состоится «___» ноября 2010 г. в 15 часов на заседании совета по защите докторских и кандидатских диссертаций Д 501.001.13 в Московском государственном университете имени М.В.Ломоносова по адресу: 119991, Москва, ГСП-1, Ленинские горы, МГУ имени М.В.Ломоносова, географический факультет, 18-й этаж, ауд. 1807.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке географического факультета МГУ имени М.В.Ломоносова на 21-м этаже.

Автореферат разослан «___» октября 2010 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета Горбунова И.А.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследований. Радиоактивные вещества и радиоактивное излучение оказывают значительное влияние на биосферу Земли, формируя радиационный фон. Широкое и интенсивное изучение поведения радиоактивных веществ в окружающей среде и их воздействие на организмы началось в начале 1950-х гг. Это связано с появлением и испытанием атомного и термоядерного оружия в атмосфере. Негативное воздействие на здоровье человека радиоактивных веществ, попавших в среду в результате ядерных испытаний, проявилось достаточно быстро. Выделяют два основных направления радиогеоэкологии: 1) изучение воздействия радиоактивного излучения на особи, популяции, биоценозы и биогеоценозы; 2) исследование поведения радиоактивных веществ в окружающей среде и процессы распространения радиоактивного загрязнения.

Изучение радиоэкологической обстановки на Кольском полуострове актуально в связи с большой концентрацией здесь потенциальных источников радиационного загрязнения. Начиная с 1960-х гг. отработанное ядерное топливо, извлеченное из реакторов атомных подводных лодок и ледоколов, помещалось в промежуточные хранилища на территории Мурманской области. Наличие в регионе действующих радиационно-опасных предприятий увеличивает опасность загрязнения. Одним из таких предприятий является судоремонтный завод (СРЗ) «Нерпа», специализирующийся с 1992 г. на утилизации выведенных из эксплуатации атомных подводных лодок военно-морского флота РФ и являющийся потенциальным источником аэротехногенного загрязнения окружающей среды искусственными радионуклидами.

Особую значимость в условиях риска радиоактивного загрязнения приобретают количественные оценки воздействия техногенных радионуклидов на компоненты окружающей среды, а также направление, скорость миграции и аккумуляции загрязняющих веществ. Особенно актуален ландшафтно-геохимический анализ изучаемой территории, включая ландшафтно-геохимическое профилирование и ландшафтно-геохимическое картографирование, позволяющий оценить реальные изменения компонентов ландшафта.

Изучение закономерностей поведения отдельных искусственных радионуклидов занимает особое место среди важнейших направлений современной радиогеоэкологии. Большой период полураспада (32 года) и способность ^{137}Cs практически полностью поглощаться почвами любого состава обусловили выбор этого радионуклида в качестве

индикатора радиоактивного загрязнения на территории северо-западной части Кольского полуострова.

Цель диссертационной работы – определить особенности миграции и концентрации ^{137}Cs в южно-тундровых ландшафтах и дать оценку воздействия радиационно-опасных объектов на окружающую среду. Для достижения поставленной цели решались следующие **задачи**:

- проанализировать эколого-географические особенности территории северо-западной части Кольского полуострова;
- составить крупномасштабную карту элементарных ландшафтов территории исследования;
- выявить особенности радиальной и латеральной миграции ^{137}Cs в элементарных ландшафтах изучаемой территории;
- определить границы зоны влияния СРЗ «Нерпа» на окружающую среду;
- оценить радиационное состояние почв и лишайников северо-западной части Кольского полуострова.

Объект исследования – системы элементарных ландшафтов, расположенные в 30-ти километровой зоне вокруг СРЗ «Нерпа». **Предметом исследования** являются особенности миграции и аккумуляции ^{137}Cs в элементарных ландшафтах южной тундры.

Методологической базой исследований являются ландшафтно-геохимические принципы, разработанные А.И. Перельманом, М.А. Глазовской, Н.С. Касимовым; методы изучения миграции и аккумуляции радионуклидов, отраженные в работах Э.В. Соботович, Г.Н. Бондаренко, В.Г. Линника, Е.В. Квасниковой, В.И. Величкина, Е.Н. Никифоровой, В.А. Алексеенко и др.; методы радиоэкологии, заложенные в трудах В.И. Вернадского, А.П. Виноградова, Р.М. Алексахина, Ю.А. Израэля, Д.А. Криволуцкого, развитые О.А. Барсуковым, Ф.А. Тихомировым, Л.Г. Бязровым, В.Г. Румыниным, М.Г. Нифонтовой, А.И. Щегловым, О.В. Цветновой, A Rigol, A Likar, и др.; радиохимические исследования Ф.И. Павлоцкой и Э.Б. Тюрюкановой, Н.В. Титаевой, A. Tessier, G. Smith, а также Т.А. Горяченковой, В.М. Прохорова, Ю.А. Сапожникова, Б.Ф Мясоедова, А.В. Коноплева и др.; подготовка картографического материала основывалась на трудах М.А. Глазовской, М.И. Герасимовой, И.П. Гавриловой, М.Д. Богдановой, Е.Н. Борисенко, Т.А. Воробьевой, и др.

В работе использованы следующие **методы исследований**: ландшафтно-геохимический, сравнительно-географический, картографический, химико-аналитический, математико-статистический. Полевые исследования включали отбор почвенных проб из всех генетических горизонтов и проб лишайников на всех точках наблюдения, где их проективное покрытие составляло более 50%. Параллельно с полевыми работами проводились камеральные, включавшие составление таблиц маршрутных описаний, работу с картами по разработке маршрутов и точек опробования. В ходе экспедиции отобранные пробы подвергались первичной обработке и подготовке к транспортировке. Заключительный этап проходил в Москве в лаборатории ИГЕМ РАН, где осуществлялась обработка отобранных проб почв и лишайников для проведения химического анализа. Для определения содержания ^{137}Cs в компонентах окружающей среды использовался радиометрический метод на сцинтилляционном гамма-спектрометре (детектор – NaJ(Tl)160×160 мм с колодцем 55×110 мм). Формы нахождения ^{137}Cs в различных типах почв определялись радиохимическим методом последовательной экстракции, разработанном на кафедре радиохимии химического факультета МГУ имени М.В.Ломоносова. Для ландшафтно-геохимического анализа латерального и вертикального распределения радионуклидов использованы геоинформационные технологии (пакеты AUTO CAD map 3D и ArcGis).

Фактические материалы. Основу диссертации составили материалы экспедиционных исследований автора, выполненных в рамках НИР ИГЕМ РАН. За период 2004–2009 гг. в 30-ти километровой зоне вокруг СРЗ «Нерпа» отобрано 651 проба почв и 170 образцов лишайников на 301 точке. Опробование проводилось на разной удаленности от источника загрязнения с учетом направлений переноса воздушных масс, углов наклонов и экспозиции склонов. В пробах почв определялись: содержание гумуса, механический состав, pH. В работе также использовались результаты анализов объектов внешней среды СРЗ «Нерпа» - радиоактивность аэрозолей воздуха, радиоактивность атмосферных выпадений, средняя удельная активность радионуклидов в морской воде, средняя удельная активность радионуклидов в донных осадках, выполненных лабораторией отдела ядерной и радиационной безопасности завода.

Научная новизна. В работе решена важная научная задача – определены особенности миграции и концентрации ^{137}Cs в специфических южно-тундровых ландшафтах северо-западной части Кольского полуострова, имеющая большое значение для геоэкологии. Составлена крупномасштабная карта элементарных ландшафтов на территорию исследования. Впервые созданы карты удельных активностей радионуклидов в зоне влияния СРЗ «Нерпа», отражающая особенности пространственного распространения ^{137}Cs, и карта радиационного загрязнения территории. Рассчитаны фоновые содержания радионуклидов для подбуров, подзолов, глееземов и лишайников рода *Cladonia* и *Cetraria* северо-западной части Кольского полуострова. Изучены формы содержания ^{137}Cs в вертикальном профиле основных типов почв исследуемой территории. Впервые исследованы латеральная и радиальная миграция ^{137}Cs в геохимических ландшафтах в условиях мелкосопочника северо-западного побережья Кольского залива. Дана оценка влияния радиационно-опасного предприятия СРЗ «Нерпа» на почвы и лишайники.

Защищаемые положения:

1. Поверхностно аккумулятивный характер вертикального распределения ^{137}Cs в исследуемых почвах обусловлен наличием в профиле почв сорбционного и щелочного геохимических барьеров. Основная часть ^{137}Cs сосредоточена в органогенном горизонте, где происходит сорбция радиоактивного цезия гумусовым веществом. Максимальные значения удельных активностей ^{137}Cs зависят от мощности горизонта О, не превышающей 20 см, и распространяются на разную глубину в различных типах почв. При смене сильнокислой обстановки на слабокислую происходит резкое уменьшение количества водорастворимого (мобильного) ^{137}Cs.

2. Процессы латерального перераспределения концентраций ^{137}Cs выражены слабо. Сорбционная способность органогенного горизонта почв, большое количество (до 90%) кислоторастворимой и нерастворимой физико-химических форм нахождения ^{137}Cs в них, существенно затрудняют миграцию радиоактивного цезия и препятствуют его перемещению в подчиненные ландшафты. Результаты латеральной миграции проявлены только в трансэлювиально-аккумулятивных ландшафтах, для которых коэффициент латеральной дифференциации больше 1.

3. Концентрации ^{137}Cs в органогенных горизонтах почв и лишайниках автономных ландшафтов позволяют выделить зону влияния СРЗ «Нерпа» на компоненты окружающей

среды на расстоянии 14-16 км. Удельные активности ^{137}Cs внутри выделенной зоны превышают рассчитанную для территории исследования фоновую величину более чем в 2 раза. Радиоэкологическое состояние компонентов экосистем южнотундровых ландшафтов внутри зоны влияния оценивается как удовлетворительное. Среднее содержание ^{137}Cs в почвах составляет в среднем 7% от предельно допустимой для РФ.

4. Высокие содержания ^{137}Cs в почвах и лишайниках автономных и трансэлювиально-аккумулятивных ландшафтах, сформированных на изверженных и метаморфических породах, позволяют считать данные ландшафты индикационными при геоэкологической оценке территорий вокруг радиационно-опасных предприятий, находящихся в пределах тундровой и лесотундровой природных зон Кольского полуострова.

Практическая значимость работы. Проведенные исследования дают новую информацию о миграции и концентрации ^{137}Cs в различных геохимических обстановках региона. Составленная карта удельных активностей радиоактивного цезия в почвах и лишайниках служит основой для выявления районов повышенной радиационной опасности. Полученные результаты использованы в рамках программ исследований Росатома РФ по повышению ядерной, радиационной и экологической безопасности России, а также в рамках базовой темы ИГЕМ РАН. Крупномасштабная карта элементарных ландшафтов передана в лабораторию ядерной и радиационной безопасности СРЗ «Нерпа» и используется для проведения мониторинга окружающей среды. Рассчитанные значения фоновых содержаний ^{137}Cs в различных типах почв могут быть использованы для сравнения удельных активностей в сходных природных условиях. Результаты работы могут быть применены при экологической экспертизе радиационно-опасных объектов, для принятия решений в чрезвычайных ситуациях. Результаты работы также используются в учебном процессе на кафедре рационального природопользования географического факультета МГУ в рамках курса «Комплексное экологическое картографирование», а также в курсовых и дипломных работах.

Апробация работы Результаты работы докладывались на региональных и международных конференциях: XII и XIII Международной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Ломоносов 2005», «Ломоносов 2006» (Москва), ежегодной конференции молодых ученых и специалистов Государственного университета по землеустройству (Москва, 2005), научно-практическая конференция «Вузовская наука –

региону» (Вологда, 2006), Второй Российской школе по радиохимии и ядерным технологиям (Озерск, 2006), Российских конференциях по радиохимии (Дубна, 2006, Москва 2009), Международной научной конференции «Геохимия биосферы» (Москва, 2006), Международных конференциях: по Геохимии, «Гольдшмидт» (Кельн, 2007), по радиоэкологии и радиоактивности окружающей среды (Берген, 2008), Всероссийской научной конференции с международным участием «Окружающая среда и устойчивое развитие регионов: новые методы и технологии исследований» (Казань, 2009), Первом Международном конгрессе молодых ученых в науках о Земле (Пекин, 2009)

Публикации. По материалам диссертации опубликовано 19 работ, в том числе 1 статья в издании перечня ВАК. А также 2 статьи в иностранных изданиях. Результаты работы вошли в 6 отчетов по темам НИР ИГЕМ РАН.

Структура и объем работы. Работа состоит из введения, 5 глав, заключения, списка используемой литературы, включающего 228 наименований. Объем работы 156 страниц, включая 59 рисунков, 8 таблиц, 5 карт.

Благодарности. Автор выражает глубокую признательность научному руководителю к.г.н. доценту Т.А. Воробьевой, член.-корр РАН, В.И. Величкину, сотрудникам лаборатории радиогеологии и радиогеоэкологии ИГЕМ РАН А.Ю. Мирошникову за помощь в организации и проведении экспедиционных исследований и к.г-м.н. Е.Н. Борисенко. Автор благодарен академику РАН Н.С. Касимову, профессорам Е.И. Голубевой, А.В. Евсееву за консультации во время написания работы; коллективам кафедры рационального природопользования и кафедры геохимии ландшафтов и географии почв, и особенно д.г.н. Н.Е. Кошелевой. Автор признателен коллективу экологического отдела СРЗ «Нерпа» и прежде всего его руководителю О.Б. Никитиной. Благодарит аналитиков за помощь в проведении лабораторных анализов, за радиометрический анализ – А.Л. Керзина, за радиохимические анализы почв – И.Э. Власову.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** отражена актуальность темы, определены цель и задачи исследования, обоснованы объект и предмет исследований, сформулированы основные положения, составляющие предмет защиты, показана научная новизна и практическая значимость работы.

ГЛАВА 1. Эколого-географическая характеристика территории исследования

Территория исследования располагается за полярным кругом, в тундровой и лесотундровой природных зонах, на западном берегу Кольского залива, к северо-западу от города Мурманска. Она характеризуется сильно-расчлененным рельефом, низкими температурами, непродолжительным вегетационным периодом, муссонным характером переноса воздушных масс, определяющим сезонную смену направления ветра, значительным количеством атмосферных осадков и низкой испаряемостью, маломощным почвенным покровом, растительностью, обладающей высокой сорбционной емкостью. Климатические условия на территории в совокупности с геолого-геоморфологическими факторами являются причиной переувлажнения почвенно-грунтовой толщи и проявлению заболачивания, характерного для отрицательных элементов рельефа и равнинных территорий.

По геологическим условиям район относится к северной части Балтийского кристаллического щита. В геологическом строении района принимают участие кристаллические породы архейского возраста. Местами они выходят на поверхность и перекрываются рыхлыми четвертичными отложениями мощностью от 0,1 до 10,0 м и более. Почвообразующие породы – моренные отложения последнего валдайского оледенения и морские отложения (Никонов, 1989), являются отличительной особенностью региона исследования от большей части Кольского полуострова. Почвенный покров территории представлен подзолами, подбурами, глееземами и торфяными почвами (Таргульян, 1971; Переверзев, 2004; Лукина, Никонов, 1996). Для почв исследуемых ландшафтов характерна повышенная кислотность, особенно верхних горизонтов, большое количество органического вещества, промывной режим, умеренная восстановительная реакция. Все это определяет способность почв к поглощению загрязняющих веществ из атмосферы и особенности миграции и аккумуляции радиоактивного цезия в них. Растительность представлена в основном лесотундровыми березовыми редколесьями и криволесьями, кустарничковыми лишайниковыми и травяно-кустарничковыми зеленомошными.

Особое внимание в главе уделено ландшафтно-геохимической характеристике региона. По классификации А.И. Перельмана (1975), исследуемые ландшафты относятся к южнотундровым ландшафтам кислого класса. Это «кислая» южная тундра в области

ледникового сноса, активной неотектоники и широкого распространения изверженных и метаморфических пород. На основе анализа геолого-геоморфологических условий, абсолютных и относительных высот, особенностей гидрографической сети выделяются автономные и подчиненные геохимические ландшафты. Господствующее гипсометрическое положение в рельефе автономных ландшафтов, не подверженных влиянию соседних с ними подчиненных ландшафтов, позволяет рассматривать их как индикаторные при оценке количества радиационно-химических загрязнителей, поступающих в природные ландшафты из атмосферы.

Среди районов Арктического региона Кольский полуостров является наиболее подверженным потенциальной опасности загрязнения техногенными радионуклидами. Это обусловлено: 1) его географическим положением на пути аэрозольного и морского переноса загрязняющих веществ из западных и южных регионов; 2) расположением на его территории большого количества радиационно-опасных объектов военного и гражданского назначения; 3) радионуклидными загрязнениями, связанными с деятельностью предприятий, перерабатывающих U-Th-содержащее сырье; 4) локальными очагами радиоактивного загрязнения, возникшими в результате ядерных взрывов, проводившихся в народно-хозяйственных целях. Наряду с местными источниками радиоактивного выпадения существенна роль новоземельских ядерных взрывов в атмосфере, осуществленных в 1953–1962 гг. В 1986 г. определенное влияние на общий радиационный фон оказала чернобыльская авария (Матишов, 2001).

Судоремонтный завод “Нерпа” расположен на берегу бухты Кут Кольского залива в 30-ти километрах к северо-западу от крупного морского порта и железнодорожной станции Мурманск. С 1994 г. СРЗ "Нерпа" является основным предприятием на Кольском полуострове по утилизации подводных лодок, выведенных из состава Военно-морского Флота. На территории завода имеется открытая площадка для хранения твердых радиоактивных отходов (ТРО) площадью 500 м^2, расположенная в ста метрах от побережья. В настоящее время там размещено около 250 тонн ТРО (заполненость на 100%), которые хранятся как в стандартных герметически заваренных контейнерах, так и в специализированных для крупногабаритного оборудования.

ГЛАВА 2. Загрязнение окружающей среды техногенными радионуклидами

В главе проводится обзор литературы по воздействию техногенных радионуклидов на окружающую среду. Начало радиоэкологичеких исследований относится к 1920-1930 гг., когда было установлено, что естественные радионуклиды накапливаются растениями (Вернадский, Виноградов, Ферсман и др.). В середине XX в. человечество столкнулось с новой опасностью – в результате ядерных взрывов загрязнение окружающей среды стало увеличиваться за счет поступления в нее таких радиоактивных изотопов, как ^{90}Sr, ^{137}Cs, ^{131}I и др. Впервые закономерности поступления и распределения искусственных радионуклидов в почвах в зависимости от ландшафтно-геохимических условий местности, а также состояние и формы нахождения их в глобальных выпадениях, были исследованы Ф.И Павлоцкой, Э.Б. Тюрюкановой и другими сотрудниками Института геохимии и аналитической химии В.И. Вернадского.

Одни из первых фундаментальных радиоэкологических исследований проводились при ликвидации последствий радиационной аварии на ПО «Маяк» 29 сентября 1957 г. Результаты многолетних исследований на территории восточно-уральского радиоактивного следа (ВУРС) (Тихомиров, 1972) свидетельствуют о высокой радиационной устойчивости природных экосистем. Следующий этап радиоэкологических исследований связан с ликвидацией последствий аварии на Чернобыльской атомной электростанции 1986 г. (Израэль, 2000; Линник, 1991 и др.), когда стали уделять внимание выявлению факторов, влияющих на миграцию радионуклидов в агроландшафтах и разработке защитных мер по снижению скорости их миграции (Алексахин, Нарышкин, 1977; Криволуцкий, 1983; Романов, 1993; Тихомиров, 1978 и др.), а впоследствии комплексному радиоэкологическому изучению лесных экосистем (Shcheglov, Tsvetnova, Klyashtorin, 2001). По результатам этих исследований был создан атлас радиационного загрязнения территории СНГ и Западной Европы. Основное содержание атласа представлено картами, отображающими распределение территорий, в различной степени загрязненных ^{137}Cs, и относительно «чистых» территорий, на которых загрязнение обусловлено глобальными выпадениями (Израэль, Квасникова и др., 2007).

В настоящее время исследования ландшафтной дифференциации техногенных радионуклидов при аэральном и водном поступлении проводятся на стационарных полигонах и профилях. Основное назначение ландшафтно-радиационного мониторинга –

выявление связи радионуклидного загрязнения с ландшафтным строением территории (Линник, 2007). Составляются математические модели зависимости степени миграции ^{137}Cs от различных факторов, таких как формы содержания радионуклидов, влагообмен в ландшафте, физико-химические свойства почв и др. (Моисеев, 1994; Кудряшов, 1993; Арутюнян, 1993).

В главе дан обзор по экологической геохимии ^{137}Cs. Цезий – щелочной элемент Ia группы Периодической системы. Как и все другие элементы он имеет одну степень окисления (1+) и в растворах присутствует в виде катиона Cs^+. Катион цезия обладает наибольшим радиусом среди других простых катионов. Соединения цезия в целом хорошо растворимы. Элементом-носителем для его радиоактивных изотопов в биосфере является калий, так как стабильный цезий – достаточно редкий элемент. Без носителя радионуклиды Cs ведут себя в растворах как радиоколлоиды. Известно 34 изотопа цезия с массовыми числами от 114 до 148, из них только один - ^{133}Cs стабильный, остальные – радиоактивны (Титаева, 2000). Его поступление в компоненты природной среды происходит в процессе хранения и транспортировки радиоактивных веществ водным или атмосферным путем (Барсуков, 2003).

Почвы и лишайники – индикаторы радиоактивного загрязнения природной среды. Почва является одним из основных компонентов природы, где происходит локализация искусственных радионуклидов. В следствии интенсивного очищения приземного воздуха от примесей радионуклиды быстро оседают на растительный и почвенный покров. Возможно также поступление в почву радионуклидов и после их сброса в речные системы. Почва интенсивно сорбирует радионуклиды, являясь, таким образом, мощным их депонентом (Likar et al, 2001). Начальные и основные фазы водной миграции радионуклидов происходят в почвенном покрове, где они участвуют в процессах, которые объединены в четыре основные группы (Алексеенко, 2000): 1) химическое и биологическое преобразование вещества; 2) трансформация форм нахождения радионуклидов без относительного изменения положения в почве; 3) перемещение вещества и энергии в почве; 4) вынос радионуклидов в растительность и грунтовые воды.

Исследования поведения радиоактивных изотопов в компонентах экосистем основываются на изучении процессов миграции и аккумуляции различных форм радионуклидов в разных геохимических условиях. Поведение радионуклидов в почве зависит от: формы поступления радионуклида, прежде всего степени растворимости;

геохимических свойств радионуклида; физико-химических свойств почвы, которые определяются ее механическим составом, количеством органического вещества, ландшафтными и геологическими условиями.

ГЛАВА 3. Методы радиоэкологических исследований северо-западной части Кольского полуострова

Изучение природных ландшафтов на территории исследования проводилось в соответствии с разработанной в ИГЕМ РАН методикой, которая включает: 1) выявление и характеристику реальных и потенциальных источников радионуклидного загрязнения; 2) комплексное изучение ландшафтно-геохимических систем, включая соподчиненные элементарные ландшафты, в составе которых изучаются растительность, почвенные горизонты, поверхностные и грунтовые воды, донные осадки болот, озер, рек; 3) выявление и изучение природных и техногенных геохимических барьеров; 4) исследование и оценку распределения радиоактивных и стабильных загрязнителей в каждом элементарном ландшафте, включая растительность, почвенные и подпочвенные горизонты; 5) составление разномасштабных эколого-геохимических карт.

В ходе полевых работ 2004–2009 гг. были проведены радиоэкологические исследования прилегающей к СРЗ «Нерпа» территории с отбором проб почв и лишайников для определения содержания в них радионуклидов, получаемых преимущественно с атмосферными осадками. Для оценки латерального распределения ^{137}Cs на изучаемой территории было заложено 8 катен. При выборе расположения точек опробования учитывалась удаленность их от СРЗ «Нерпа», преобладающее направление переноса воздушных масс, а также особенности ландшафтно-геохимической структуры территории (рис. 1). Удельные активности ^{137}Cs определялись радиометрическим методом. Исследование форм нахождения ^{137}Cs позволило выделить четыре фракции радиоактивного цезия, характеризующиеся различной прочностью связей с почвенным субстратом – водорастворимую, связанную с органикой, кислоторастворимую и нерастворимую.

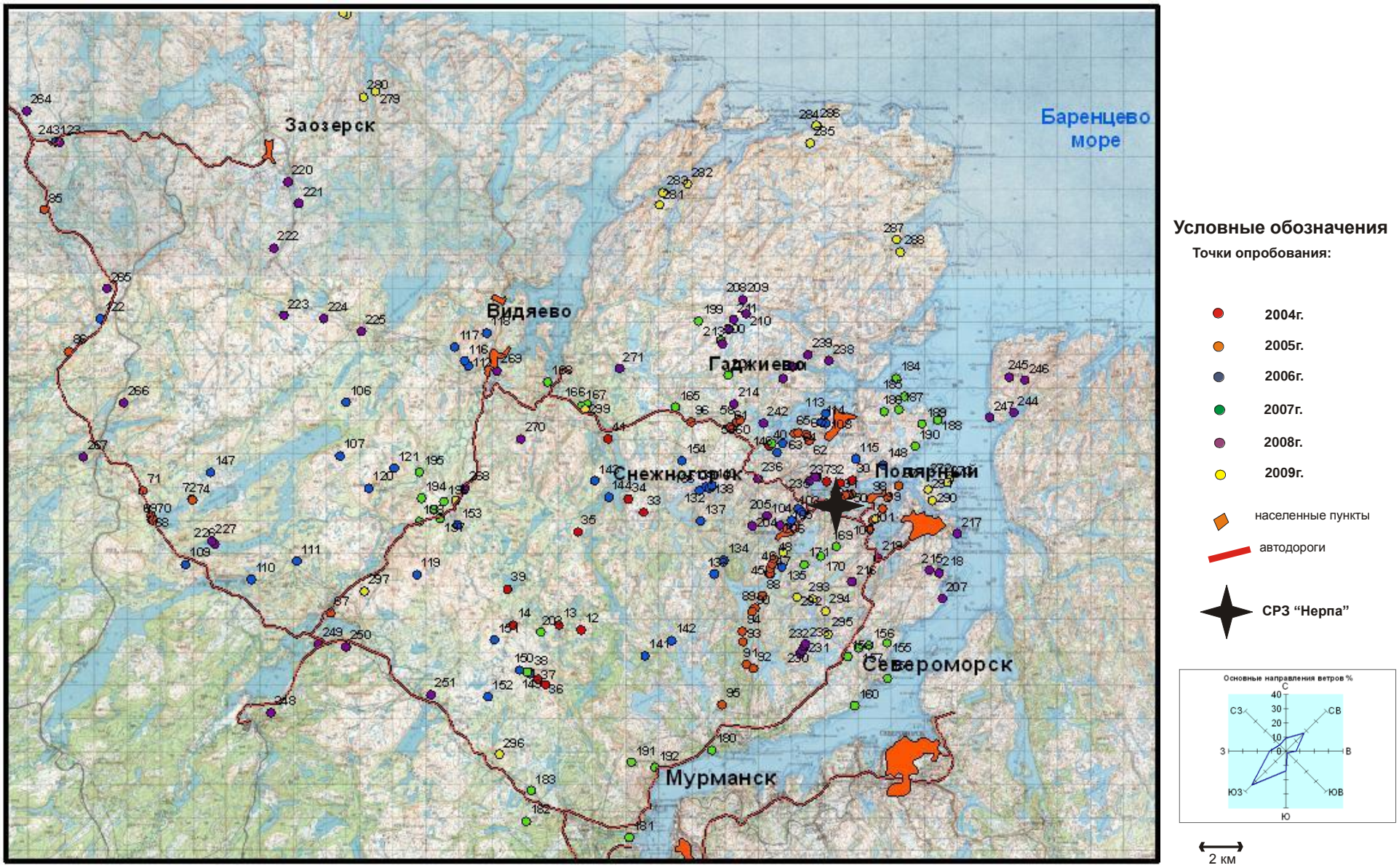

Рис. 1. Карта фактического материала

Сопряженный анализ различных картографических источников и обработка собранной обширной и многоплановой информации проводились на основе геоинформационных технологий (Auto CAD 3D map, ArcGis). Такой подход позволил: провести пространственный анализ распределения искусственных радионуклидов в тундровых[и лесотундровых ландшафтах; синтезировать полученную информацию; совместить различные картографические слои и атрибутивные данные. Для этого была разработана и создана специализированная объектно-ориентированная картографическая база данных о пространственной структуре ландшафтов, эколого-радиохимических свойствах территории исследования, особенностях миграции и накопления искусственных радионуклидов (табл. 1).

Таблица 1. Состав и содержание картографической базы данных

Источники составления карт	Создаваемые цифровые карты	Содержание созданных карт
Карты: топографическая, геологическая, четвертичных отложений, геоморфологическая, растительности, почв Космические снимки	Геохимических ландшафтов, выделенных по условиям рельефа масштаба	Дифференциация территории на автономные, трансэлювиальные, трансаккумулятивные, супераквальные и аквальные ландшафты с морфологической характеристикой рельефа, почвенного и растительного покрова
Топографические карты Карты элементарных ландшафтов Данные GPS	Фактического материала	Расположение точек опробования на территории исследования
Карты: почвенная (свойства почв, факторы почвообразования); четвертичных отложений; Полевые описания точек опробования, результаты химических анализов почв	Элементарных ландшафтов масштаба	Почвенно-геохимические условия миграции и аккумуляции искусственных радионуклидов (щелочно-кислотные и окислительно-восстановительные свойства, типы водного режима) Радиальные и латеральные барьеры
Карты: экономико-географическая, промышленных объектов, транспорта, энергетики	Потенциальные источники загрязнения	Размещение объектов – потенциальных источников радиационного загрязнения
Карты: элементарных ландшафтов; почвенно-геохимическая, фактического материала Результаты радиометрического анализа почвенных и растительных проб	Радиоактивное загрязнение ландшафтов	Различные уровни содержаний удельных активностей искусственных радионуклидов в автономных и подчиненных ландшафтах

ГЛАВА 4. Особенности миграции радиоактивного цезия в почвах и лишайниках

Условия переноса и накопления загрязнителей последовательно анализировались в масштабах конкретных промплощадок отдельных объектов и окружающих их территорий, подвергающихся загрязнению. Каждый уровень детальности анализа и обобщения фактического материала нашел отражение на ландшафтно-геохимических картах разных масштабов.

Научной основой при составлении крупномасштабной карты элементарных ландшафтов (рис. 2-3) послужили теория геохимических ландшафтов и учение о геохимических барьерах. Исследования опирались на учении об элементарных геохимических ландшафтах в представлении Б.Б. Полынова (1956), развитое в дальнейшем А.И. Перельманом (1975) и М.А. Глазовской (1984). При составлении карт проводился морфологический анализ рельефа. В зависимости от характера рельефа ландшафты были дифференцированы по катене от водораздельных поверхностей до долин рек и озер и представлены геохимическими ландшафтами от автономных до субаквальных. Выделение геохимических ландшафтов проводилось с учетом различных типов почв, растительного покрова, условий естественного увлажнения, уровня грунтовых вод, минералогического состава почв и подстилающих пород, наличия или отсутствия техногенного воздействия. На основе анализа выделенных по условиям рельефа ландшафтов района влияния СРЗ «Нерпа» можно сделать следующие выводы: значительную часть территории – около 40%, занимают трансаккумулятивные ландшафты; супераквальные занимают примерно 30%; субаквальные – 20%; наименьшую площадь занимают автономные и трансэлювиальные ландшафты – примерно 10% территории. Это говорит о том, что на территории исследования преобладают больше процессы аккумуляции, чем миграции элементов.

Автономные, элювиальные ландшафты занимают господствующее положение на средних высотах 200 м. над уровнем моря. На данных ландшафтах под скалистой, безлесой тундрой с пятнами воронично-мохово-лишайниковых ассоциаций сформировались подбуры, подбуры глеевые и торфяно-подбуры глеевые на изверженных и метаморфических почвообразующих породах и моренных отложениях. Они характеризуются окислительной обстановкой, кислыми условиями, промывным типом водного режима. На данных ландшафтах выделяются сорбционный латеральный и щелочной радиальный геохимические барьеры.

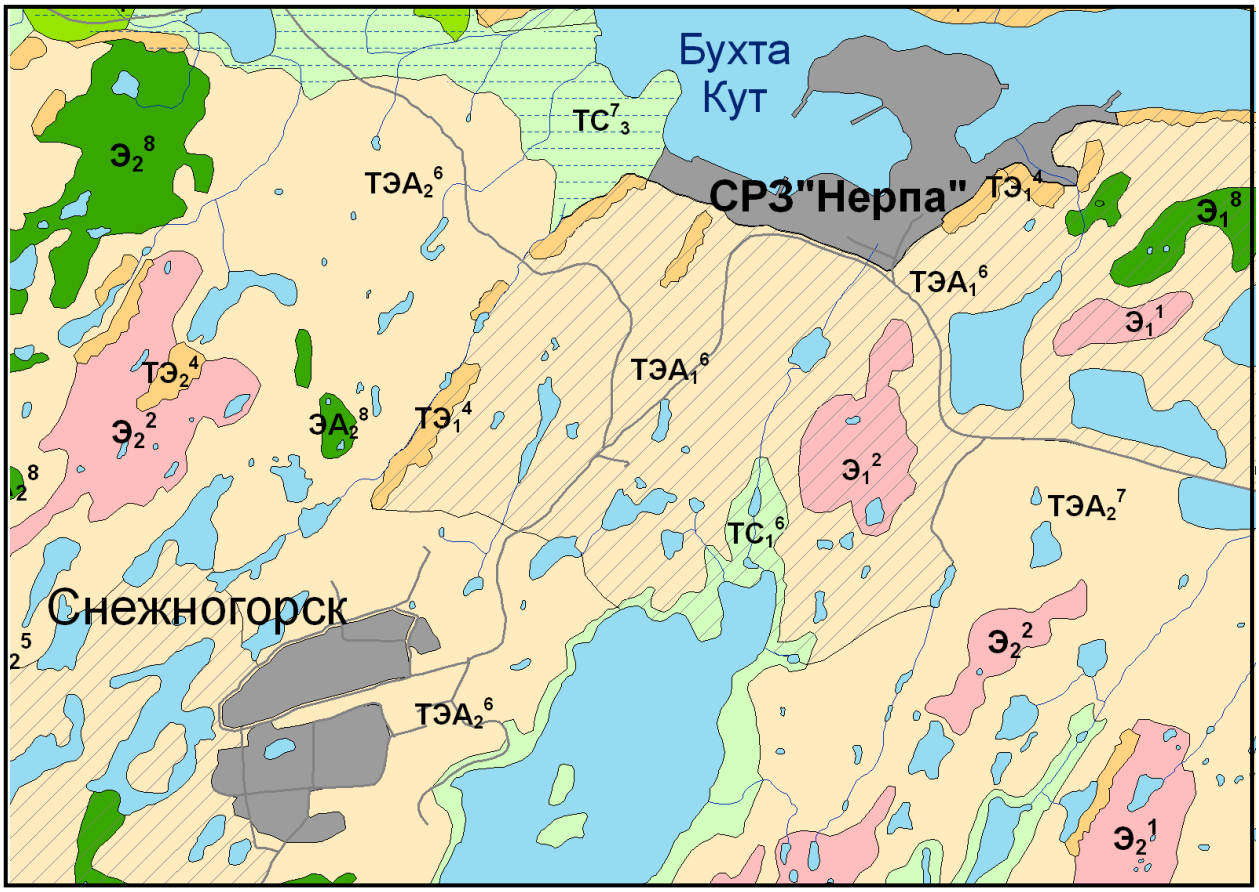

Рис. 2. Фрагмент карты элементарных ландшафтов

Почвенно-растительный покров / Элементарные ландшафты			Элювиальные ЭА		Транс Элюв. ТЭ		Транс Эл.-аккум. ТЭА		Транс Суперакв. ТС			Акк.но-суперакв. АС	
			Рельеф										
			Вершины сопок		Крутые склоны		Пологие склоны		Долины и поймы рек			Поймы озер	
			Подстилающие породы										
Растительность	Почвы		изверженные и метаморфические	моренные отложения	изверженные и метаморфические	моренные отложения	изверженные и метаморфические	моренные отложения	изверженные и метаморфические	моренные отложения	морские отложения	изверженные и метаморфические	моренные отложения
			$ЭА_1$	$ЭА_2$	$ТЭ_1$	$ТЭ_2$	$ТЭА_1$	$ТЭА_2$	$ТС_1$	$ТС_2$	$ТС_3$	$СА_1$	$СА_2$
тундра мелкоерниковая воронично пушицево-лишайниковая	подбуры глеевые, оподзоленные, иллювиально-железистые, иллювиально-гумусовые	$Э_1^2$	$ЭА_1^2$	$ЭА_2^2$									
тундра разнотравно-зеленомошно-лишайниковая	подзолы, иллювиально-железистые, иллювиально-гумусовые, глееватые	$Э_1^4$			$ТЭ_1^4$	$ТЭ_2^4$	$ТЭА_1^4$	$ТЭА_2^4$					
тундра ерниковая воронично-моховая	торфяно-подзолы глеевые, иллювиально-гумусовые, иллювиально-железистые	$Э_1^6$					$ТЭА_1^6$	$ТЭА_2^6$	$ТС_1^6$	$ТС_2^6$			
тундра ивняково-ерниковая бруснично-черничная с участием сосны	глееземы, типичные, оподзоленные, перегнойные	$Э_1^7$					$ТЭА_1^7$	$ТЭА_2^7$	$ТС_1^7$	$ТС_2^7$	$ТС_3^7$		
болота верховые багульниково-сфагновые	торфяно-олиготрофные, типичные ,остаточно-эутрофные	$Э_1^8$	$ЭА_1^8$	$ЭА_2^8$									
болота низинные ивово-ольховые осоково-разнотравные	торфяно-эутрофные, типичные, перегнойно-торфные	$Э_1^9$										$СА_1^9$	$СА_2^9$
Антропогенный ландшафт													
Аквальный ландшафт													

Рис. 3. Фрагмент легенды карты элементарных ландшафтов

Подчиненные ландшафты представлены трансэлювиальными, трансэлювиально-аккумулятивными, транс-супераквальными и аккумулятивно-супераквальными. На них сформировался довольно пестрый спектр почв от подбуров глеевых до торфяно-эутрофных. Среди подчиненных геохимических ландшафтов выделяются трансэлювиально-аккумулятивные, занимающие наибольшую площадь на территории исследования. К ним приурочены подзолы, подзолы глеевые и глееземы, сформировавшиеся под травяно-березово-вороничными ассоциациями на почвообразующих изверженных и метаморфических породах, а также морских и моренных отложениях. Данные ландшафты отличаются окислительно-восстановительной обстановкой с кислыми и слабокислыми почвами, промывным с периодическим переувлажнением режимом. В них выделяются механический и глеевый латеральные, сорбционный и кислый радиальные барьеры.

Для изучения процессов миграции и аккумуляции радиоактивного цезия было необходимо узнать в какой форме он присутствует в исследуемых почвах. Для этого было выделено 4 последовательно выщелоченные фракции – водорастворимая, связанная с органикой, кислоторастворимая и нерастворимая (рис. 4). В зависимости от состояния и форм нахождения в выпадениях радионуклиды в различной степени связываются с почвой и участвуют в дальнейшем в процессах миграции в самой почве и в системе почва-растение, а также поглощаются растениями при непосредственном попадании на надземные органы.

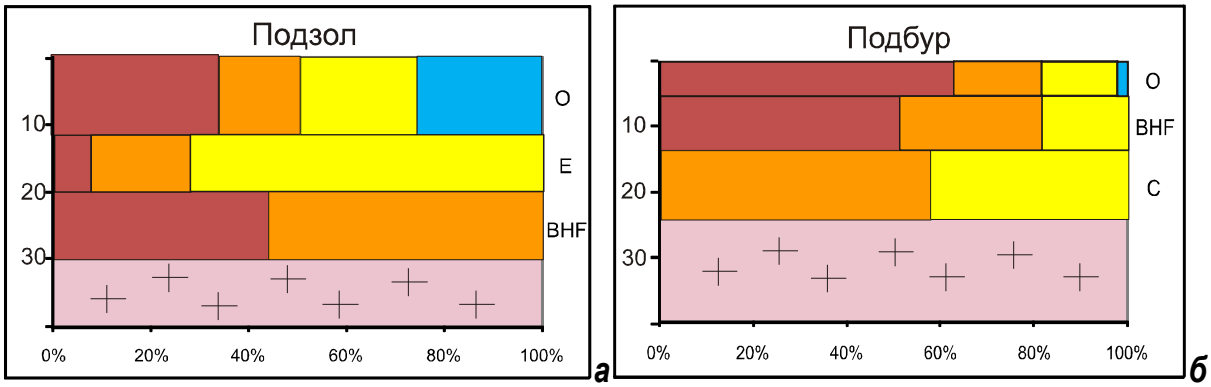

Рис. 4. Распределение ^{137}Cs между выделенными фракциями по профилям подзола иллювиально-железистого (а) и подбура (б).

Фракции: *- водорастворимая* *- связанная с органикой*
- кислотораствримая *- сухой остаток*
- почвообразующая порода (гранит)

Влияние физико-химических особенностей почв на характер распределения радиоактивного цезия по формам содержания проявляется отчетливее при сравнении их в отдельных генетических горизонтах. В профиле подзола (рис. 4а) выявлено самое большое содержание водорастворимого цезия – 24%. В горизонте BHF не обнаружено радиоактивного цезия, связанного с органикой. Радиоактивный цезий в нерастворимой фракции содержится во всех почвенных горизонтах. В профиле подбура (рис. 4б) количество ^{137}Cs, связанного с органикой, невелико — от 3 до 12%. Количество кислоторастворимого цезия в профиле колеблется от 31 до 64%, постепенно увеличиваясь сверху вниз по профилю. Количество нерастворимого цезия постепенно уменьшается вниз по профилю.

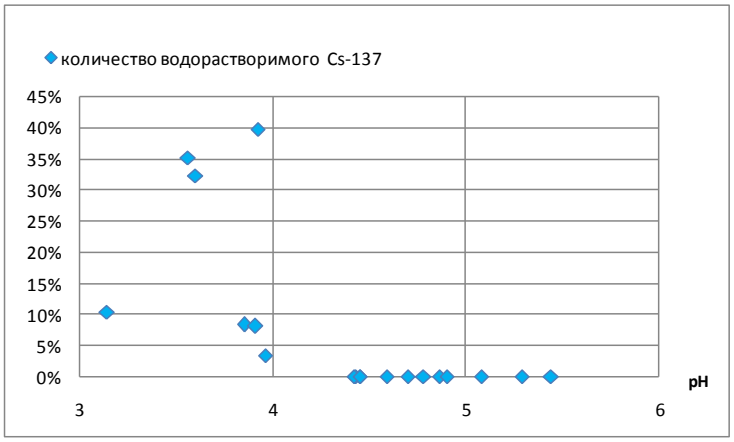

Рис. 5. Зависимость водорастворимого ^{137}Cs от щелочно-кислотных условий среды

Выявлена зависимость выделения водорастворимого ^{137}Cs и щелочно-кислотных условий среды (рис. 5). В поверхностных почвенных горизонтах (О) наблюдается более кислая обстановка, чем в нижележащих (минеральных) горизонтах. Кислотность горизонта А0 – 3,7 а горизонтов BHF и Е – 4,7 и 4,5 соответственно. При резкой смене сильнокислой обстановки (pH менее 4) на слабокислую (pH 4–5) образовывается щелочной геохимический барьер и происходит резкое уменьшение количества водорастворимого ^{137}Cs. Щелочной барьер не позволяет радиоактивному цезию мигрировать вниз по почвенному профилю, что увеличивает интенсивность его миграции по латерали.

Исследование радиальной миграции показало, что основная часть ^{137}Cs сосредоточена в органогенном горизонте, не превышающем по мощности 20 см в зависимости от типа почв. В типичном подзоле основные количества радиоцезия, в том числе и аномальные, располагаются в горизонте мощностью до 10–12 см (в среднем 64 Бк/кг). Снижение содержаний радионуклида в минеральных горизонтах до 8 Бк/кг происходит постепенно, но достаточно заметно (рис. 6). В типичном подбуре основные удельные активности ^{137}Cs располагаются в горизонте 18–22 см (рис. 7). Среднее содержание в нем – 62 Бк/кг, приблизительно такое же, как и в подзоле. В нижних горизонтах концентрации ^{137}Cs резко

снижаются до 1–3 Бк/кг. В глееземах органогенный горизонт, содержащий основное количество ^{137}Cs, имеет мощность до 20 см.

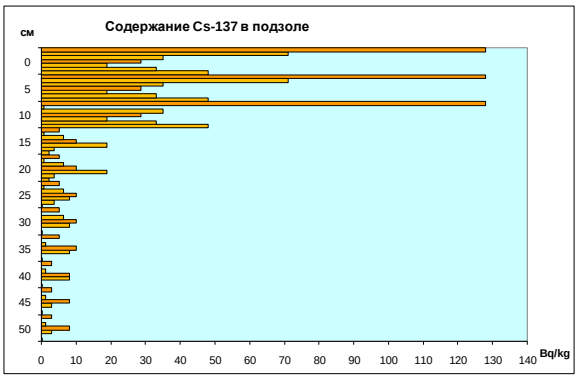

Рис. 6. Распределение ^{137}Cs по профилю подзола

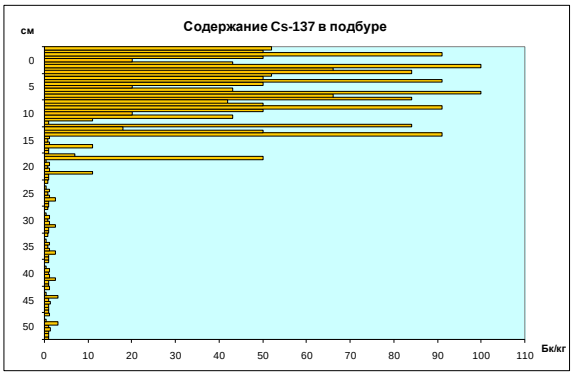

Рис. 7.Распределение ^{137}Cs по профилю подбура

Среднее содержание радиоцезия в нем составляет 54 Бк/кг. Проникновение этого радиоизотопа в нижние горизонты составляет не более 10% и измеряется 1–5 Бк/кг. На формирование геохимической аномалии здесь оказывает влияние сорбция радиоактивного цезия гумусовым веществом. Высокие содержания удельных активностей в минеральной части профиля подзолов в отличие от подбуров связаны с щелочно-кислотными условиями. В горизонтах О и Е подзолов величины pH могут снижаться до 3,5 и 3,0 и только ниже горизонта BHF они приближаются к слабокислой реакции. В условиях сильнокислой обстановки ^{137}Cs активно мигрирует по всему почвенному профилю.

Изучение латеральной миграции ^{137}Cs проводилось в ландшафтно-геохимических профилях. Всего на территории было исследовано 8 катен. Из них 3 располагаются в 5-ти километровой зоне СРЗ «Нерпа», 3 – 15-ти километровой и 2 – 50-ти километровой. На рисунке 8 приведены данные о распределении ^{137}Cs в ландшафтно-геохимической катене к юго-западу от СРЗ «Нерпа» и основные химические характеристики типичных почв исследуемой территории. Отмечено, что все почвы имеют повышенную кислотность верхних горизонтов и различное содержание органического вещества в нем (от 10 до 98%). На профиле выполнено 6 почвенных разрезов в различных геохимических обстановках. Изучались иллювиально-железистые подзолы и подбуры на изверженных и метаморфических породах. Почвы катены имеют избыточное увлажнение. С уменьшением абсолютной высоты меняется растительный покров от скалистой, безлесой тундры с пятнами воронично-мохово-лишайниковых ассоциаций до березово-лиственично-бруснично-черничной ассоциации. Перепад высот между самой высокой и самой низкой точками отбора составляет 48,4 м. Из характеристики почв катены можно сделать

следующие выводы: в гранулометрическом составе почв преобладает фракция песка (1,0-0,25) и мелкого песка (0,25-0,05). Меньшее количество частиц относится к пыли (0,05-0,01) и средней пыли (0,01-0,005) и самое малое количество частиц от 0,7 до 6,37% относится к глинистой и илистой фракции. По некоторым данным (Сапожников, 2006) даже небольшое содержание иллита в почве приводит к прочному связыванию ^{137}Cs. Характеристика щелочно-кислотных условий и количество органического вещества показывает, что увеличение pH происходит от верхних горизонтов к нижним и варьируется от 3,85 до 5,44. Содержание органического вещества в верхних почвенных горизонтах значительно и, как правило, на порядок превосходит его содержание в нижних, варьируя от 45,08 до 0,67%.

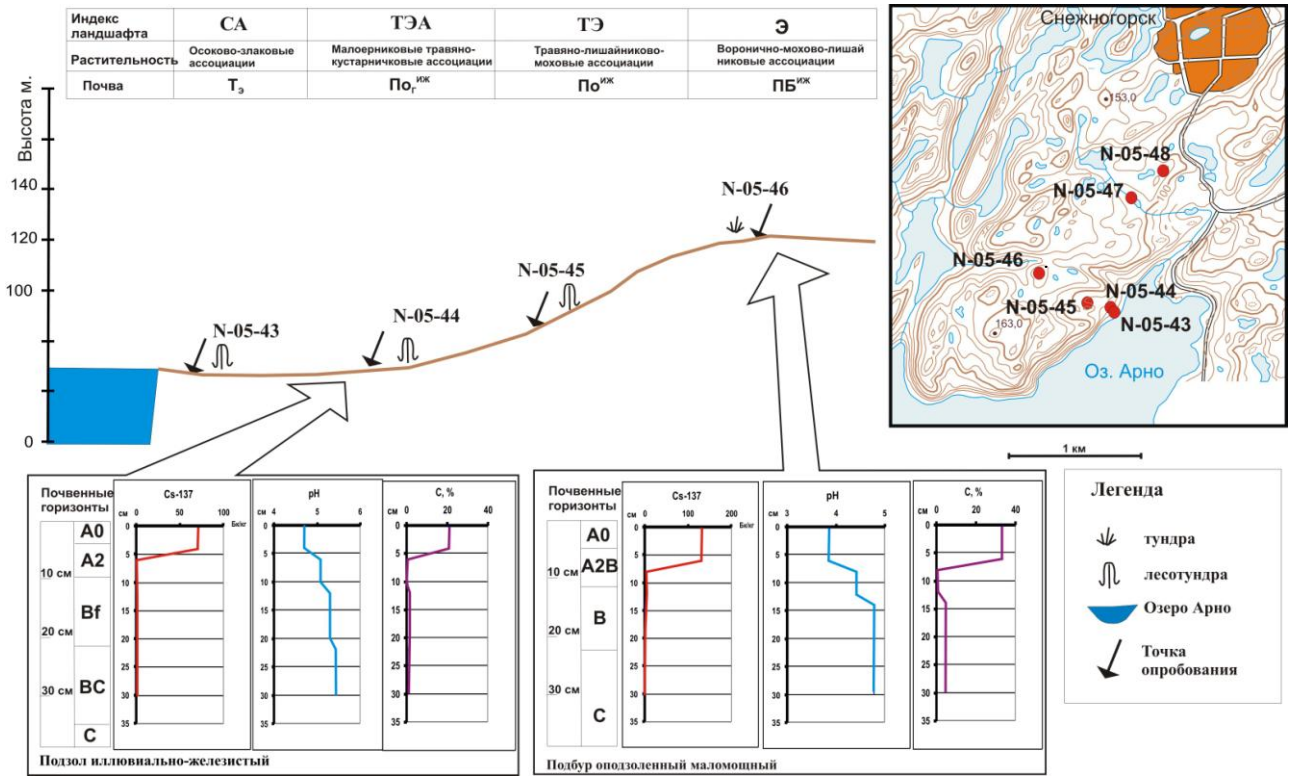

Рис. 8. Ландшафтно-геохимическая катена к юго-западу от СРЗ «Нерпа» (в качестве примера приводятся характеристики 2-х почвенных разрезов)

Характер латерального распределения ^{137}Cs выявлялся с помощью коэффициента латеральной дифференциации (*L*), представляющего собой отношение содержания элемента в подчиненном ландшафте к его содержанию в автономном. Коэффициент латеральной дифференциации для супераквальных ландшафтов равен 0,22, для трансэллювиально-аккумулятивных – 1,54, для трансэллювиальных – 0,54. Таким образом *L* больше 1 выявлен только для трансэллювиально-аккумулятивных ландшафтов. Все это указывает на слабую латеральную миграцию ^{137}Cs.

Определение форм нахождения ^{137}Cs в основных типах почв северо-западной части Кольского полуострова выявило основную тенденцию зависимости количества водорастворимого цезия от условий рельефа. В транзитных ландшафтах обнаружено большее количество водорастворимой фракции в органическом почвенном горизонте, чем в автономных и супераквальных ландшафтах. Такая зависимость может указывать на большую миграционную способность радиоактивного цезия на склонах, чем на вершинах и поймах.

ГЛАВА 5. Геоэкологическая оценка радиационного состояния ландшафтов северо-западной части Кольского полуострова

Оценка пространственного распределения удельной активности ^{137}Cs проводилась по результатам радиометрического анализа проб органогенных горизонтов почв и лишайников автономных ландшафтов (*Cladonia, Cetraria*), как наиболее надежных индикаторов радиоактивного загрязнения. На основе анализа пространственного распределения ^{137}Cs на изучаемой территории, были выделены следующие уровни удельных активностей: 0–50, 50–100, 100–150, 150–200, более 200 Бк/кг. Самые высокие уровни удельных активностей зафиксированы в трансэллювиально-аккумулятивных ландшафтах в непосредственной близости от СРЗ и площадки временного хранения средне-активных отходов «Сайда».

Для выявления зоны влияния завода была проведена статистическая обработки всего массива данных по ^{137}Cs и вычислена его обобщенная нормализованная средняя, величина которой составляет 50,3 Бк/кг с погрешностью 2,7 Бк/кг. Затем проведена оценка данных распределения ^{137}Cs на территории в радиусе 50 км от промплощадки завода. При этом в анализируемый массив были включены содержания ^{137}Cs в пробах из верхнего горизонта почв автономных ландшафтов 5-ти, 10-ти, 15-ти, 20-ти и 50-ти километровых зон, окружающих территорию промплощадки. В пределах каждой из выделенных зон были рассчитаны средние значения содержаний ^{137}Cs и построена соответствующая диаграмма (рис. 9).

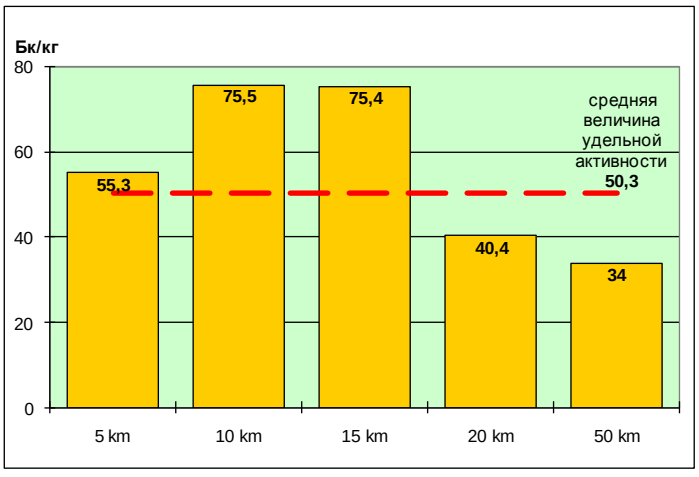

Рис. 9. Средние содержания ^{137}Cs (Бк/кг) в верхних почвенных горизонтах автономных ландшафтов в зависимости их удаленности от СРЗ «Нерпа»

Анализ данных показал, что средние удельные активности не превышают нормализованную среднюю в 20-ти и 50-ти километровых зонах. Наиболее контрастной является граница между зонами 15 и 20 км. Предположительно именно здесь проходит граница влияния завода на окружающую среду. Внутри зоны влияния удельные концентрации ^{137}Cs, достигающие 75,5 Бк/кг, складываются из его фоновых количеств и ^{137}Cs, привнесенного с территории промплощадки, в пределах которой осуществляется утилизация атомных подводных лодок.

Изучение распределения ^{137}Cs в лишайниках родов *Cetraria* и *Cladonia* на исследуемой территории выявило ряд особенностей (рис. 10). Средние содержания ^{137}Cs в *Cetraria* составляют 64,5 Бк/кг и 44,5 Бк/кг в 15-ти и 50-ти километровых зонах соответственно.

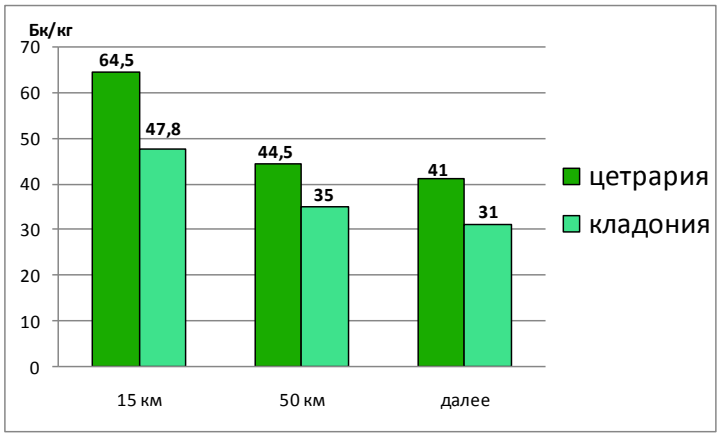

Рис. 10. Распределение ^{137}Cs в лишайниках в зависимости от удаленности от СРЗ «Нерпа»

Примерно такой же характер территориального распределения абсолютных показателей и у *Cladonia:* 47,8 Бк/кг в 15-ти километровой зоне, 35 Бк/кг в 50-ти километровой зоне. Показано, что лишайник рода *Cetraria* поглощает в среднем в 1,4 раза больше ^{137}Cs, чем *Cladonia*. Радиоактивность всех изученных проб лишайников из района расположения СРЗ «Нерпа» существенно ниже (на 80–85%) предельно допустимой величины 480 Бк/кг, установленной для организмов (Бязров, 2005).

Оценка радиационного состояния почв и лишайников территории исследования была несколько затруднена из-за отсутствия предельно допустимых концентраций ^{137}Cs в них. Поэтому в работе дан обзор существующих количественных показателей радиационного контроля и допустимых уровней в различных компонентах природной среды. В федеральном законе РФ «О социальной защите граждан, подвергшихся воздействию радиации вследствие катастрофы на Чернобыльской АЭС» N 1244-1 от 15 мая 1991 г. указано, что участок земной поверхности является радиоактивно-загрязненным, если плотность загрязнения местности ^{137}Cs превышает 37 000 Бк/м^2 или 1 Ки/км^2. В результате расчета измеренные удельные активности (Бк/кг) были переведены в площадные показатели (Ки/км^2). Средние содержания ^{137}Cs в пробах почв, отобранных в районе

расположения СРЗ «Нерпа», существенно ниже предельно допустимых величин. На территории исследования средняя плотность загрязнения ^{137}Cs соответствует 0,07 Ки/км^2.

При анализе аккумулятивной способности элементарных ландшафтов по отношению к ^{137}Cs использовались органогенные горизонты почв и лишайники с концентрациями, превышающими рассчитанную для всех типов почв фоновую величину равную 34 Бк/кг. Обнаружилось, что коэффициент концентрации (Кс) ^{137}Cs в автономных ландшафтах составляет 2,8, а в – трансэлювиально-аккумулятивных 3,2 (рис. 11). Это указывает на высокую аккумулятивную способность нижних частей склонов и слабо выраженные процессы латеральной миграции ^{137}Cs.

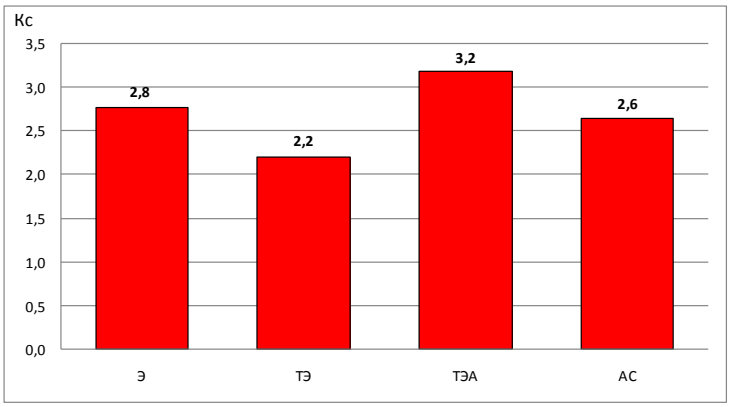

Рис. 11. Коэффициент концентрации ^{137}Cs для элементарных ландшафтов (названия элементарных ландшафтов см. на рис.3 «Фрагмент легенды карты элементарных ландшафтов»)

Максимальные концентрации ^{137}Cs в зоне влияния СРЗ «Нерпа» приурочены к ландшафтам, в которых почвообразующими выступают изверженные и метаморфические породы. Активное действие латеральных и радиальных геохимических барьеров обуславливает крепкое связывание радиоактивного цезия с субстратом. Оценка пространственного распределения ^{137}Cs в элементарных ландшафтах выявила пятнистый характер радиоактивных выпадений. Большинство пятен находится в непосредственной близости от объектов антропогенного воздействия. К таким территориям относятся побережье Сайда губы, побережье Оленьей губы, пос. Полярный и г Снежногорск.

Таким образом, высокие содержания ^{137}Cs в почвах автономных и трансэлювиально-аккумулятивных ландшафтов, сформированных на изверженных и метаморфических породах, позволяют считать данные ландшафты индикационными при геоэкологической оценке территорий вокруг ядерно-радиационноопасных предприятий, в пределах тундровой и лесотундровой природных зон Кольского полуострова.

Основные выводы

1. Климатические условия совместно с геолого-геоморфологическими факторами обусловили возможность переноса, осаждения и накопления искусственных радионуклидов на территории исследования. Почвы мурманских южно-тундровых ландшафтов, которые характеризуются как кислые, органогенные, гидроморфные образования с умеренной восстановительной реакцией, обладают повышенной способностью к поглощению загрязняющих веществ из атмосферы.

2. Исследования радиальной миграции показало, что основное количество ^{137}Cs (от 80 до 92%) сконцентрировано в верхнем органогенном почвенном слое мощностью не более 20 см. Максимальные значения удельных активностей ^{137}Cs распространяются на различную глубину в соответствии с мощностью горизонта О в различных типах почв. Выявлен различный характер уменьшения содержаний ^{137}Cs для подзолов и подбуров. Высокие содержания удельных активностей в минеральной части профиля подзолов в отличие от подбуров связаны с щелочно-кислотными условиями. В горизонтах О и Е подзолов величины pH могут снижаться до 3,5 и 3,0 соответственно, и только ниже горизонта BHF они приближаются к слабокислой реакции. В условиях сильнокислой обстановки подзолов ^{137}Cs активней мигрирует по всему почвенному профилю.

3. Процессы латерального перераспределения ^{137}Cs в элементарных ландшафтах выражены слабо. Коэффициент латеральной дифференциации больше 1 выявлен только для трансэлювиально-аккумулятивных ландшафтов. Удельные активности ^{137}Cs в подчиненных ландшафтах, как правило меньше, либо равны его содержанию в автономных.

4. Составленная серия разномасштабных эколого-геохимических карт на локальном и региональном уровнях исследования позволила выявить особенности распределения ^{137}Cs на исследуемой территории, определить степень воздействия СРЗ «Нерпа» на компоненты окружающей среды и оценить радиоэкологическое состояние почв и лишайников.

5. На основе математико-статистического анализа определены фоновые концентрации ^{137}Cs, которые составляют: в подзолах– 44 Бк/кг (Se=5,7); в подбурах – 32,5 Бк/кг (Se=6,1); в глееземах – 38,3 Бк/кг (Se=6,2).

6. Средние содержания ^{137}Cs в пробах лишайников, отобранных в районе расположения СРЗ «Нерпа», существенно ниже предельно допустимых величин. Лишайник рода *Cetraria* поглощает в среднем в 1,4 раза больше ^{137}Cs, чем *Cladonia*.

7. Анализ содержаний ^{137}Cs в органогенном почвенном горизонте и лишайниках автономных ландшафтов позволил выделить зону влияния деятельности СРЗ «Нерпа» на окружающую среду на расстоянии 14-16 км. Удельные активности ^{137}Cs внутри выделенной зоны превышают рассчитанную для территории фоновую величину более чем в 2 раза.

8. Средние содержания ^{137}Cs в пробах почв существенно ниже предельно допустимых величин. По существующим нормам, участок земной поверхности является радиоактивно-загрязненным, если плотность загрязнения местности ^{137}Cs превышает 37 000 Бк/м^2 или 1 Ки/км^2. На территории исследования средняя плотность загрязнения ^{137}Cs соответствует 0,07 Ки/км^2.

СПИСОК ОСНОВНЫХ ПУБЛИКАЦИЙ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

В изданиях, рекомендованных ВАК:

1**. Кузьменкова Н.В.** Оценка радиационного состояния почв и лишайников северо-западного побережья Кольского залива // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. География. – 2009. – № 2. – С. 32–36.

В других изданиях:

2**. Kuzmenkova N.**, Miroshnikov A., Vorobyova T. «Accumulation and migration of ^{137}Cs in the tundra landscapes (North-West of Kola Peninsula)» / Radioprotection, 2009. Vol. 44. (5). P. 103–106.

3. Velichkin V.I., Borisenko Ye.N., Miroshnikov A.Yu, Myskin V.I., **Kuzmenkova N.V.**, and Chudnyavtseva I.I. Evalution of radiation ecology status around russia nuclear and radiation enterprise based on landscape-geochemical research // Cleaning up sites contaminated with radioactive materials: international workshop proceedings, 2009. P. 33–42.

4.Воробьева Т.А. **Кузьменкова Н.В**. Значение ландшафтно-геохимических карт в изучении миграции искусственных радионуклидов // Тр. Всерос. науч. конф.«Окружающая среда и устойчивое развитие регионов: новые методы и технологии исследований». – Казань,2009. – С. 262–267.

5. **Кузьменкова Н.В.** Мирошников А. Ю. Закономерности миграции и аккумуляции ^{137}Cs в геохимических ландшафтах района СРЗ «Нерпа» (Кольский полуостров) // Тез. докл. II Рос. школа по радиохимии и ядерным технологиям. – Озерск, 2006. – С. 62–65.

6. **Кузьменкова Н.В**. Мирошников А. Ю. Радионуклиды в тундровых ландшафтах левобережья Кольского залива // Геохимия биосферы (к 90-летию А.И.Перельмана). Сб. докл. Междунар. науч. конф. Москва, 15–18 ноября 2006 г. – Смоленск: Ойкумена, 2006. – С 174–176.

7.Величкин В.И., Борисенко Е.Н.. Мирошников А.Ю., Мыскин В.И., **Кузьменкова Н.В**., Чуднявцева И.И. Геохимические ландшафты и их радиоэкологическое состояние в районах размещения ядерно-радиационных предприятий России //. Геохимия биосферы (к 90-летию А.И.Перельмана). Сб. пленар. докл. Междунар. науч. конф. Москва, 15–18 ноября 2006 г. – Смоленск: Ойкумена, 2006. – С. 1–17.