

**РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК**  
Институт геоэкологии

На правах рукописи

**БАЖЕНОВ Александр Викторович**  
**ЦЕЗИЙ-137 В ПОЧВАХ АРХАНГЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ**

**Специальность 25.00.36 - «Геоэкология»**

**Автореферат на соискание ученой степени  
кандидата геолого-минералогических наук**

Научный руководитель:  
кандидат геолого-минералогических  
наук Киселев Г.П.

Москва, 2001

Диссертация выполнена в Институте экологических проблем Севера Уральского  
отделения Российской Академии наук (г. Архангельск)

Научный руководитель - кандидат геолого-минералогических наук  
ведущий научный сотрудник  
Г.П. Киселев

Официальные оппоненты: - \_\_\_\_\_

- \_\_\_\_\_

Ведущая организация - \_\_\_\_\_

Защита состоится « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 200 \_\_\_\_ года в \_\_\_\_\_ часов на заседании  
диссертационного \_\_\_\_\_ совета \_\_\_\_\_ в

\_\_\_\_\_ по адресу: \_\_\_\_\_

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке \_\_\_\_\_

Автореферат разослан « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 200 \_\_\_\_ года.

Просим Вас принять участие в защите и направить отзыв на автореферат в 2-х  
экземплярах ученому секретарю диссертационного совета.

Ученый секретарь  
диссертационного совета,

Актуальность проблемы. С 1945 года, когда состоялось испытание первой атомной бомбы в США начались крупномасштабные испытания ядерного оружия на земле, под землей, в атмосфере и под водой, которые повлекли за собой глобальные выпадения техногенной радиоактивности по всему Земному шару. По данным И. Часникова (1995) за прошедшие 45 лет ядерных испытаний в атмосферу было выброшено радионуклидов, суммарная активность которых составила 6.3 трлн. Ки. Крупнейшая в мире авария на Чернобыльской АЭС привела к выбросу радиоактивности, оцениваемой 50 млн. Ки. (Таскаев, 1993), которые выпадали на поверхность земли и продолжают там находиться. При всем этом атомная энергетика продолжает развиваться, а новые взгляды многих ученых указывают на огромную перспективу ее использования и при освоении Севера, как главного источника тепла и света. Исследования в области радиационной безопасности стали в приоритетным направлением в экологии.

Опубликованные данные о распределении, динамике и миграции  $^{137}\text{Cs}$  в почвах Архангельской области малочисленны и не отражают реального радиоактивного загрязнения на Севере (относятся лишь к островной части территории области - архипелагу Новая Земля и архипелагу Земли Франца-Иосифа).

Отсутствие информации о техногенном радиоактивном загрязнении огромного Северного региона создавало социальную напряженность, а многие общественные организации под видом экологической защиты населения, рисовали мрачные картины. Это потребовало исследовать реальное распределение техногенной радиоактивности почв и донных отложений в регионе. Исследования были начаты в 1994 году и продолжаются в настоящее время.

Цель и задачи исследований. Заключается в том, чтобы установить пространственное распределение радиоцезия в генетических почвенных горизонтах и выяснить факторы влияющие на длительную миграцию  $^{137}\text{Cs}$  в почвах Архангельской области. Связи с этим поставлены следующие задачи. 1. Выяснить степень изученности техногенного радиоактивного загрязнения почв Архангельской области  $^{137}\text{Cs}$  путем обзора литературных источников по данной тематике. 2. Выполнить гамма-спектрометрический анализ почвенных образцов, отобранных в ходе экспедиционных работ. 3. Установить распределение  $^{137}\text{Cs}$  в почве и выявить факторы, влияющие на вертикальную и горизонтальную миграцию  $^{137}\text{Cs}$  в почвах при различных ландшафтно-биоклиматических и внутрипочвенных условиях. 4. Выявить зональность распределения  $^{137}\text{Cs}$  в почвах Архангельской области. 5. Установить пространственное распределение  $^{137}\text{Cs}$  в генетических почвенных горизонтах Архангельской области и оценить вероятные источники техногенного радиоактивного загрязнения почв и зоны с повышенной активностью  $^{137}\text{Cs}$ .

Научная новизна. 1. На основании оригинального материала впервые установлено распределение активности  $^{137}\text{Cs}$  в почвах Архангельской области в зависимости от глубины и по генетическим почвенным горизонтам. 2. Выявлен ряд факторов, оказывающих влияние на горизонтальную и вертикальную миграцию радиоцезия в почвах Архангельской области в различных ландшафтно-биоклиматических и внутрипочвенных условиях. 3. Выявлена почвенно-климатическая зональность распределения  $^{137}\text{Cs}$  в почвах Архангельской области. 4. Установлено пространственное распределение  $^{137}\text{Cs}$  в генетических горизонтах почв Архангельской области, отражающие техногенное радиоактивное загрязнение региона.

Основные защищаемы положения.

1. Изучение длительного пребывания радиоцезия в почвах региона показывает, что основная часть его удерживается в верхних перегнойно-аккумулятивных горизонтах до глубины 10-12 см, что соответствует лесной подстилке, дернине и органике, при этом часть радиоцезия проникает в нижележащие горизонты до глубины 1,2 м.

2. Распределение радиоцезия в почвах региона связано с почвенно-климатической зональностью. При этом перераспределение активности между верхними горизонтами в лесных почвах имеет следующую закономерность: в южной тундре максимум активности  $^{137}\text{Cs}$  находится в лесной подстилке, в северной тайге наблюдается равномерное распределение  $^{137}\text{Cs}$  между лесной подстилкой и гумусовым горизонтом, в средней тайге наблюдается перемещение радиоцезия в гумусовый горизонт. В луговых почвах природных подзон данная закономерность слабо выражена.

3. Показано, что горизонтальная и вертикальная миграция радиоцезия из верхних перегнойно-аккумулятивных горизонтов почв Архангельской области происходит в большей степени (вплоть до полного выноса) в поймах рек, на заливных лугах в время затопления их паводковыми водами, на склонах коренных террас, на вершинах моренных холмов и грядовых возвышенностей и в почвах подверженных антропогенному воздействию человека (сельскохозяйственная обработка, рекультивация, на вырубках). На выровненных участках вертикальная и горизонтальная миграция радиоцезия практически отсутствует.

4. Для Архангельской области установлены три аномальных зоны с повышенными значения радиоцезия: первая - в районе г.г. Котлас - Коряжма, вторая - в районе Архангельского промышленного узла, третья - в районе Беломорско-Кулойское плато - полуостров Канин. В первых двух зонах радиоцезий проникает в иллювиальный горизонт и почвообразующую породу, а в третьей зоне  $^{137}\text{Cs}$  полностью удерживается в верхних почвенных горизонтах.

Апробация работ. Основные положения работы доложены на III Международной конференции «Поморье в Баренц-регионе: экология, экономика, культура» в г. Архангельске

(1997 г.), на Всероссийском совещании и выездной научной сессии «Антропогенное воздействие на природу Севера и его экологические последствия» в г. Апатиты (1998 г.), на Международной конференции «Геодинамика и Геоэкология» в г. Архангельске (1999 г.), в научной работе «Особенности распределения  $^{137}\text{Cs}$  в почвах Архангельской области», отосланной на 11 конкурс, посвященный 275-летию Российской Академии наук в г. Москву (1999 г.), на Международной конференции «Поморье в Баренц-регионе на рубеже веков: экология, экономика, культура» в г. Архангельске (2000 г.), на III съезде Докучаевского общества почвоведов в г. Суздале (2000 г.), на XI съезде Русского географического общества и VI Сибирцевских чтениях в г. Архангельске (2000 г.), на Международной конференции «Биорад-2001: Биологические эффекты малых доз ионизирующей радиации и радиоактивное загрязнение среды» в г. Сыктывкаре (2001 г.), на Годичной сессии Научного совета РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии «Сергеевские чтения» в г. Москве (2001 г.)

Практическая ценность. Получен объемный оригинальный практический материал по техногенному радиоактивному загрязнению почв Архангельской области радиоцезием. Проведенные исследования позволяют районировать территорию по динамике поверхностного загрязнения территории Архангельской области. Полученные результаты исследований могут быть использованы для оценки экологического риска при проектировании ядерных объектов на территории области и при оценке состояния здоровья населения.

Публикации. Основные положения работы опубликованы в 19 научных работах (17 - в тезисах докладов и материалах международных конференций, 2 - статьи в научных сборниках).

Фактический материал. При написании работы использован оригинальный фактический и экспериментальный материал, собранный в результате экспедиционных работ и лабораторных исследований, проведенных автором в составе коллектива лаборатории экологической радиологии ИЭПС УрО РАН в 1994-2000 годах на территории Архангельской области.

Диссертация общим объемом 132 страницы состоит из введения, семи глав, заключения, списка литературы (из 133 наименований), 1 приложения; содержит 124 страницы машинописного текста, 14 таблиц, 25 рисунков.

Автор выражает глубокую признательность директору Института экологических проблем Севера УрО РАН, член-корр. РАН Ф.Н. Юдахину, научному руководителю, к.г.-м.н. Г.П. Киселеву и д.с.-х.н. Беляеву В.В. оказавшим активную поддержку предложенному направлению исследований и внесшим ряд ценных рекомендаций в ходе работы. Автор выражает благодарность директору Института биологии Коми НЦ (г. Сыктывкар) А.И. Таскаеву и с.н.с. И.И. Шуктомовой, оказавшим активную поддержку на первом этапе радиоэкологических

исследований. На разных этапах работ и в экспедициях принимали участие сотрудники лаборатории экологической радиологии ИЭПС УрО РАН к.г.-м.н. А.И.Малов, с.н.с. И.М. Киселева, м.н.с С.Б. Зыков, которым автор также выражает благодарность.

Содержание работы. В первой главе приводится краткая характеристика природных условий Архангельской области. Рассматриваются геологическое, глубинное строение, четвертичные отложения, общие черты рельефа, геоморфология, климат, гидрология и растительность, которые сформировали почвы Архангельской области. Во второй части первой главы дана характеристика почвенного покрова и систематический список почв тундровой и таежной зон Архангельской области с краткими диагностическими показателями. В размещении почв Архангельской области четко выражена зональность, на фоне которой часто наблюдается большая пестрота почвенного покрова, связанная с характером материнских пород, формами рельефа, условиями увлажнения и т.д. (Атлас Архангельской области, 1976). В основу исследований распределения  $^{137}\text{Cs}$  по почвенным зонам Архангельской области положена классификация почвенной зональности по Горячкину С.В (Горячкин, 1996), согласно которой почвенный покров Европейского Севера куда входит Архангельская область, разделяется на биоклиматические зоны по характеру верхних органогенных и органоминеральных, а также по свойствам иллювиально-гумусовых горизонтов. Основываясь на этих особенностях почвенного покрова на территории Архангельской области можно выделить две зоны: 1 – тундровая, которая подразделяется на три подзоны - высокоширотная тундровую, собственно тундровую, южно-тундровую, 2 – таежная зона, которая в свою очередь также подразделяется на три подзоны – северо-таежную, собственно среднетаежную, южно-среднетаежную.

В почвенном отношении *высокоширотная тундровая подзона* характеризуется более высокими скоростями обновления субстрата по сравнению с почвообразованием, а также наличием дерновых, иллювиально-гумусовых и оподзоленных горизонтов в благоприятных местообитаниях и наличием маломощных торфянистых горизонтов в понижениях.

*Собственно тундровая почвенная подзона* включает в себя основную часть архипелага Новая Земля, о. Вайгач и северную часть Югорского полуострова. В связи со значительно большим развитием растительного покрова доля синденудационных и синаккумулятивных почв в почвенном покрове Архангельской области сильно сокращается; преобладают тундрово-глеевые перегнойные и перегнойно-торфянистые почвы и появляются торфяники. Для мезоморфных почв характерно развитие дернового горизонта типа мулльмодер и признаков Al-Fe-гумусовой миграции (Игнатенко, 1979). Характерной особенностью почв этой подзоны является отсутствие или маломощность горизонтов подстилки (Горячкин, 1996).

В подзоне *южно-тундрового почвенного покрова* (п-ов Канин, Ненецкий АО) взаимодействие почвы и биоты приводит к образованию подстилки, где заметно возрастает интенсивность почвенных процессов. На дренированных, но не перевеваемых песках формируются Al-Fe-гумусовые подзолы, часто с перегнойным горизонтом, а на дренированных суглинках - почвы с подстилкой и дерново-грубогумусовым горизонтом. Преобладают по площади тундровые элювиально-глеевые торфяные и торфянистые почвы, как на суглинках, так и на песках. Кроме этого, для подзоны характерны мощные бугристые торфяники, перегнойно-глеевые почвы многочисленных проточных ложбин и почвы с горизонтом дернины и грубогумусовым горизонтом на склонах ложбин и малых рек (Горячкин, 1996).

Для *таежной зоны*, в целом характерно преобладание текстурно-дифференцированных (подзолистых, болотно-подзолистых) почв на суглинках и Al-Fe-гумусовых подзолов на песках и супесях, а также глеевых почв и торфяников. В связи с высокой регулирующей ролью леса, выравнивающим ветровой и инсоляционный режим, разнообразие почвенно-биотических взаимодействий в почвенном покрове заметно ниже, чем в тундре, причем, не столько на уровне комплексов, сколько на уровне мезосочетаний, что связано с величиной и проточностью-застойностью переувлажнения, характером почвообразующих пород и антропогенными нарушениями, заключающимися в косвенных (вырубки и лесные пожары, залужение) и прямых (распашка, мелиорация) воздействиях (Горячкин, 1996). Для мезоморфных почв северной тайги характерна максимальная мощность лесных подстилок для Европейского Севера в целом, повсеместные (за исключением карбонатных, гипсовых пород) проявления Al-Fe-гумусовой миграции, высокая потечность гумуса, приводящая к его более высокому содержанию в подзолистом горизонте, чем в иллювиально-гумусово-железистом и формирование весьма маломощных дерново-грубогумусовых горизонтов даже при евтрофности условий - карбонатные породы, травянистые послепожарные леса. В *собственно среднетаежной подзоне* почвенный покров практически сходен с северо-таежным, но отличается меньшей мощностью подстилок, меньшей потечностью гумуса, возникновением более мощного, чем в северной тайге гумусового горизонта при евтрофикации условий, а также меньшей долей оторфованных горизонтов и болотно-подзолистых почв в почвенном покрове в одинаковых литолого-геоморфологических условиях. *Подзона южно-среднетаежного почвенного покрова фрагментарно* встречается в самых южных районах Архангельской области. Для этого почвенного покрова, который в целом сходен с собственно среднетаежным, характерно наличие дерново-подзолистых почв, которые появились в связи с использованием в сельском хозяйстве подзолистых почв (Лебедева, Тонконогов, 1984) которые встречаются не только на пашне и под вторичными лесами, но и под еловыми. Вероятнее всего повышение

содержания гумуса и образование гумусового горизонта, как свидетельство бывшего агрогенеза этих почв, сыграло свою регулирующую роль в экосистеме (как правило, в напочвенном покрове увеличивается роль трав), и гумусовый горизонт теперь воспроизводится и под лесом. На известняках здесь встречаются дерново-карбонатные почвы.

Во второй главе дан обзор литературы по распределению и миграции  $^{137}\text{Cs}$  в почвах различных регионов России и мира по пяти направлениям:

1. *Ландшафтно-геохимические исследования миграции  $^{137}\text{Cs}$ .* Проведенными ландшафтно-геохимическими исследованиями установлено, что в ландшафтах Белоруссии, Украины, России, а также в странах Европы после аварии на Чернобыльской АЭС независимо от типа почвы основная масса  $^{137}\text{Cs}$  сосредоточена в верхнем 5-сантиметровом почвенном слое. Причиной является лесная подстилка, дернина и гумусовый горизонт, которые служат первичным биогеохимическим барьером на пути миграции  $^{137}\text{Cs}$ . Существуют различия в скорости вертикальной и горизонтальной миграции  $^{137}\text{Cs}$  в различных ландшафтах. Скорость миграции увеличивается в ряду: почвы возвышенных ландшафтов - почвы низменных ландшафтов - пахотные почвы. Факторами, влияющими на скорость миграции  $^{137}\text{Cs}$  являются: связанность с органическим веществом, интенсивность процессов выщелачивания, степень гумусированности почвы, физико-химический и механический состав почв (опесчанивание или оглеение нижележащих горизонтов), влажность почв. (Анохин, Ламакина, 1989, Бондарь и др., 1989, Егорова, 1989, Ильин, 1989, Коробова и др., 1989, Мицкевич и др., 1989, Молчанова и др., 1989, Павлоцкая и др., 1989, Соколов и др., 1989, Матишов, 1994, Иванов и др., 1997).

2. *Распределение и миграция  $^{137}\text{Cs}$  в почвах.* Согласно полученным результатам, многообразие ландшафтно-биоклиматических и внутрипочвенных условий, морфологические особенности почв указывают на то, что особенности перераспределения и скорость вертикальной и горизонтальной миграции  $^{137}\text{Cs}$  в почвах зависят от целого ряда факторов: а) скорости распада первичных радиоактивных частиц (Алексеев и др., 1989); б) скорости просачивания атмосферных осадков (фильтрационная способность почвы, удерживаемость осадков кронами деревьев) (Андреева и др., 1989, Буравлев и др., 1989, Новикова, 1989); в) удерживающей способности грунтов (механический состав, состав минералов) (Андреева и др., 1989); г) плотности поверхностного слоя почвы (Новикова, 1989); д) степени увлажненности (Давыдов, 1989); е) влияния корневой системы растительности (тонкие физиологически активные (сосущие) корни удерживают до 50%  $^{137}\text{Cs}$ ) (Марей, 1974, Yakyshev, 1995, Фирсова и др., 1998); ж) связанности  $^{137}\text{Cs}$  с гумусовыми, фульво- и низкомолекулярными кислотами и их соединениями с железом и алюминием, а также их гидроксидами; з) наличия первичных и вторичных биогеохимических барьеров (нижняя часть лесной подстилки, бурые микрозоны в

горизонте  $A_2$ , гумусово-железистые пленки, мостики, перемычки на зернах песка, ржавые субгоризонтальные прожилки с конкрециями и микроагрегатами, сцементированные гумусово-железистые соединения, рыхлоструктурное мелкодисперсное вещество в горизонте В) (Русанова, 1998); и) коэффициента сорбции крупнодисперсными компонентами бурых гумусовых кислот (полугидроморфные почвы) (Русанова, 1998); к) наличия в почвенном горизонте нейтральной среды и высокой степени насыщенности основаниями ; л) рельефа (Ратников, 1989, Кочан и др., 1995, Линник и др., 1995).

По степени удерживаемости  $^{137}\text{Cs}$  в почвенном слое 0-10 см составлен следующий ряд: подзолистые (90-99%) - аллювиальные луговые суглинистые (97%) - серые лесные подзолистые (90%) - черноземно-луговые (70-86%), дерново-подзолистые (61-76%), красные, солончаковые (75%) - почвы с песчаным составом (автоморфного типа) (62%) - пойменные почвы (30-70%) - торфяно-болотные, торфянисто-болотные (15-22%) - пахотные почвы (15%). В автоморфных почвах скорость вертикальной миграции ниже, чем в гидроморфных (Круглов и др., 1995, Линник и др., 1995). Миграция  $^{137}\text{Cs}$  при переходе от нормального типа увлажнения к избыточному увеличивается от 78 до 85% (Мартюшов, 1996). Миграция  $^{137}\text{Cs}$  проходит по ионообменному механизму. Кроме этого через год с момента радиоактивных выпадений преобладает истинная диффузия. Весной и осенью в период сквозного промывания почвы миграция  $^{137}\text{Cs}$  возможна по магистральным каналам (Семенютин и др., 1989, Силантьев и др., 1989). В луговых экосистемах коэффициенты миграции уменьшаются в ряду: болотные почвы - низинные почвы - пойменные почвы - почвы суходольных лугов (Санжарова и др., 1996). В степных экосистемах: лугово-болотные - светло-каштановые - лугово-каштановые почвы (Давыдов, 1989). В почвах смешанных лесов скорость вертикальной миграции выше, чем в хвойных (сосновых), благодаря более интенсивным процессам трансформации органического вещества (Мамихин, 1989, Щеглов и др., 1989, Favaris, 1995).

3. *Формы нахождения  $^{137}\text{Cs}$  в почвах и их роль в миграции элементов.* Анализ почвенных образцов, проведенный авторами работ по исследованию форм нахождения  $^{137}\text{Cs}$  в различных почвах показывает следующее: а) значительная доля  $^{137}\text{Cs}$  сосредотачивается в растительном опаде и фракциях тонкозернистого песка и пыли (80-96%) (Агапкина, Тихомиров, 1989, Бондарь и др., 1989); б) в почвах  $^{137}\text{Cs}$  образует водорастворимые (органические и неорганические), коллоидные формы, входит в состав органо-минерального комплекса. По мере выщелачивания переходит в обменные формы (Рыбалко и др., 1989); в) преобразование форм  $^{137}\text{Cs}$  в почвах можно представить схемой: "частица" - ионная - водорастворимая - обменная - слабосорбированная – необратимопоглощенная (Бондаренко, 1993); г) в зависимости от типа почвы и глубины содержание  $^{137}\text{Cs}$  в прочносвязанной (фиксированной, труднорастворимой)

форме может составлять 50-99%, в водорастворимой - 1-8%, в обменной - 0,4-50%, кислоторастворимой - 0,4-20% (Молчанова, Караваева, 1989, Новикова и др., 1989, Петряев и др., 1989, Самчук и др., 1989); д) органическое вещество способствует миграции  $^{137}\text{Cs}$  вследствие образования отрицательно заряженных комплексных соединений Fe и Al с фульво- и низкомолекулярными соединениями (Горяченкова и др., 1989); е) при постоянном промывном режиме верхнего почвенного слоя (несколько суток)  $^{137}\text{Cs}$  из водонерастворимого состояния может переходить в водорастворимое (Силантьев и др., 1989); ж) обнаружена высокая селективность  $^{137}\text{Cs}$  на монтмориллонитовых и каолинитовых глинах. Гидрофлюиды, наоборот не удерживают  $^{137}\text{Cs}$  (Кольненьков, 1989, Кузнецов, Генералова, 1989); з) содержание кислоторастворимого  $^{137}\text{Cs}$  в песчаных почвах выше содержания в них обменного  $^{137}\text{Cs}$  и количество его уменьшается по мере перехода от песчаных почв к супесчаным и суглинистым. В торфяно-болотных и торфяноглеевых почвах, подстилаемых песками, его значительно больше, что свидетельствует о способности песчаных почв легче отдавать часть необменного  $^{137}\text{Cs}$  по сравнению с супесчаными и суглинистыми почвами (т.е. в песчаных почвах больше доступного растениям  $^{137}\text{Cs}$ ) (Марей, 1974).

4. *Миграция  $^{137}\text{Cs}$  в системе почва-растение-животные-человек.* Процесс поступления  $^{137}\text{Cs}$  в растения сложный и зависит от целого ряда взаимосвязанных факторов, таких как физико-химические свойства радионуклида, физико-химические свойства почвы и физиологические особенности растений (Марей, 1974), а так же физико-химическими свойствами выпадающих аэрозолей (Василенко, 1999). В луговых биоценозах на различных типах почв от дерново-подзолистых до мелиоративных торфяных накопление  $^{137}\text{Cs}$  происходит в следующем порядке (по убыванию активности) в исследованных растительных семействах: щавели - крапивные - осоковые - клевера - злаки - розоцветные (Будкевич, 1989). В лесных биоценозах накопление  $^{137}\text{Cs}$  в чернике и бруснике составляет следующий ряд (в порядке убывания): сосняки - ельники - березняки - дубравы. Причем брусника накапливает  $^{137}\text{Cs}$  активнее, чем черника (Ермакова, 1989); в) многолетние травы накапливают  $^{137}\text{Cs}$  больше, чем сельскохозяйственные культуры, благодаря высокому запасу подземной фитомассы (Фирсова и др., 1998); г) накопление  $^{137}\text{Cs}$  в лишайниках варьирует от 5,6 до 600-700 Бк/кг сухого веса и зависит от их видового состава, местоположения в рельефе и процессов аэрации (Матишов, 1994); д) некоторые микроэлементы (например N, P, K) вносимые в почву в определенных дозах снижают поступление  $^{137}\text{Cs}$  в растения на 57,1-61,8% - у многолетних трав, на 48,6-62,7% - в зернах ячменя (Щугля и др., 1989); е) интенсивное агрохимическое обеспечение снижает поступление  $^{137}\text{Cs}$  в растения (Елишевич и др., 1989); ж) на песчаных почвах накопление  $^{137}\text{Cs}$  растениями выше, чем на тяжелых суглинистых, что связано со снижением прочности сорбции.

Увеличение мелкодисперсных (особенно илистых) почвенных фракций в почвах, снижает поступление  $^{137}\text{Cs}$  в растения, в связи с высокой их адсорбционной способностью и большим содержанием глинистых минералов (Марей, 1974); 3) большое влияние на интенсивность миграции  $^{137}\text{Cs}$  в растения оказывает избыточное увлажнение почвы в зоне активных корней, что связано с изменением состава почвенного раствора в сторону накопления одновалентных катионов, а следовательно увеличиваются и скорости миграции катионов (Марей, 1974).

Дальнейшее «путешествие»  $^{137}\text{Cs}$  по пищевым цепочкам в организм человека протекает с загрязненными нуклидом продуктами питания животного происхождения. Еще в больших количествах радиоцезий накапливается в мышечных тканях гидробионтов. Основным источником радиоцезия для населения России до аварии на ЧАЭС являлись молочные и зерновые продукты, после аварии - молочные и мясные (Василенко, 1999).

5. *Пространственное распределение  $^{137}\text{Cs}$  в почвах различных регионов.* Пространственное распределение  $^{137}\text{Cs}$  в почвах зависит от расстояния от источника выброса, рельефа и типа биогеоценоза (хвойный, лиственный лес, луг, болото, пашня) (Фирсова и др., 1998), а также от циркуляции атмосферы (направления движения воздушных масс) (Киселев, 1996). Активность  $^{137}\text{Cs}$  в северном полушарии значительно выше, чем в южном, благодаря большому количеству ядерных испытаний и доминированию атмосферного переноса запад-восток (Иванов, 1997). Атмосферная циркуляция север-юг также оказывает существенное влияние на привнос  $^{137}\text{Cs}$  в Арктику (Киселев, 1996). Активность  $^{137}\text{Cs}$  в почвах архипелага Новая Земля в 3 раза выше, чем в Гренландии, на Аляске и в Мурманской области, но практически не отличается от уровней загрязнения в средних широтах (Иванов, 1997). В полярных областях северного полушария существует специфическая картина "пятнистости" в накоплении  $^{137}\text{Cs}$  (Матишов, 1994). Авария на ЧАЭС внесла большой вклад в радиоактивное загрязнение Европы и Западной Арктики по сравнению с полярными областями за Уралом. Однако радиоактивное загрязнение верхнего слоя почвы  $^{137}\text{Cs}$  в регионе оз. Байкал увеличилось на 5-10% (Ветров, 1993).

В третьей главе представлена программа работ, объекты, методика и объем проведенных исследований. В процессе проведения исследований основным объектом изучения являлся  $^{137}\text{Cs}$ , содержащийся в генетических горизонтах почв Архангельской области, которые сформировались в различных ландшафтно-климатических условиях. Изучение активности  $^{137}\text{Cs}$  в генетических горизонтах проводилось по почвенным разрезам.

Научными сотрудниками лаборатории экологической радиологии ИЭПС УрО РАН с 1994 по 2000 г.г. проведен ряд экспедиционных работ по исследованию радиоактивности почв на территории Архангельской области. В результате было опробовано 149 точек, в которых были заложены: 79 почвенных разрезов до материнской почвообразующей породы, 29 разрезов,

включающих иллювиальный горизонт В, 40 разрезов включающих верхний аккумулятивный почвенный горизонт А. Из них отобрано более 700 образцов, которые исследованы в лаборатории экологической радиологии ИЭПС УрО РАН.

Методика определения активности гамма-излучающих радионуклидов в счетных образцах основана на регистрации спектров гамма-излучения, испускаемого веществом счетного образца, с последующей обработкой на ПЭВМ. Программа обработки спектрограмм базируется на методиках измерений, разработанных и утвержденных в Центре Метрологии Ионизирующих Излучений ГМЦ»ВНИИФТРИ» Госстандарта РФ. Итогом применения методики является определение значений активности гамма-излучающих радионуклидов в счетном образце и расчет погрешности каждого измерения (Антропов и др., 1996).

В четвертой главе рассмотрены закономерности распределения  $^{137}\text{Cs}$  в почвах Архангельской области. Почвы Архангельской области обладают целым рядом специфических особенностей, которые характерны только для северных территорий - медленная скорость разложения органического вещества в суровых климатических условиях, интенсивный вынос всех химических элементов из горизонта  $A_2$  (в почвах, где развит процесс подзолообразования), близкое залегание от поверхности вечной мерзлоты (в тундровых почвах) и т.д. В связи с этим анализ закономерностей вертикального распределения активности  $^{137}\text{Cs}$  в почвах Архангельской области по различным параметрам представляет значительный интерес для будущих исследований с точки зрения изучения динамики и миграции  $^{137}\text{Cs}$  в почвах региона.

На основании полученных данных построен график распределения  $^{137}\text{Cs}$  в зависимости от глубины (Рис. 1) который показывает, что активность его в почвах на территории исследуемого региона неодинакова.

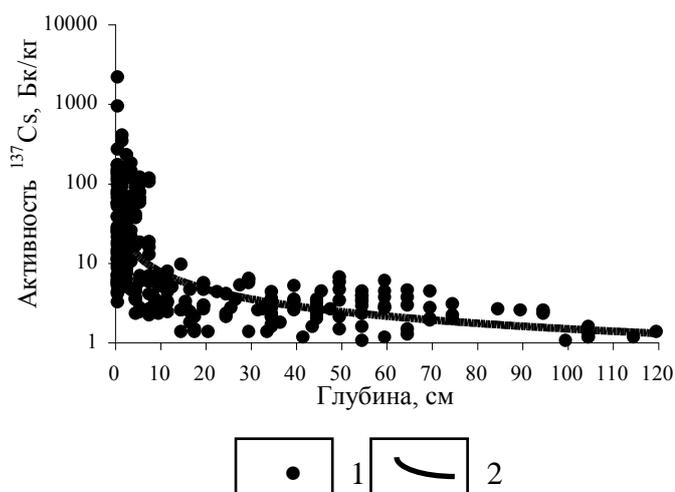


Рис. 1. Общее распределение активности  $^{137}\text{Cs}$  в почвах собственно тундры, южной тундры, северной, средней тайги Архангельской области в зависимости от глубины. 1 - измеренные значения; 2 - расчетная кривая изменения активности  $^{137}\text{Cs}$ .

Максимальное содержание  $^{137}\text{Cs}$  независимо от типа почвы, сосредоточено в верхней части профиля и с глубиной убывает. В почвообразующей материнской породе на глубине более 120 см концентрация радиоцезия достигает предельно измеряемых гамма-спектрометром «Прогресс» величин - 2-3 Бк/кг.

Полученные данные распределения активности  $^{137}\text{Cs}$  в профилях различных почв Архангельской области указывают на устойчивое закрепление его в верхней части почвенного профиля, представленного разлагающимися растительными остатками и органическом веществе, переплетенном корнями, которые составляют верхнюю часть почвенного профиля и служат первичным биогеохимическим барьером. Определенная часть  $^{137}\text{Cs}$ , проникающая вниз по почвенному разрезу накапливается на глубине 50-70 см, где расположен иллювиальный горизонт являющийся вторым геохимическим барьером на пути миграции радиоцезия.

С целью определения возможного направления радиоактивного загрязнения проведен анализ распределения активности  $^{137}\text{Cs}$  в верхних перегнойно-аккумулятивных почвенных горизонтах почв природных подзон территории Архангельской области.

Данное распределение установлено по средним значениям активности  $^{137}\text{Cs}$  для следующих почвенных подзон: собственно тундры, южной тундры, северной и средней тайги. Полученные результаты указывают на увеличение активности  $^{137}\text{Cs}$  с юга на север, причем, в южной тундре средняя активность  $^{137}\text{Cs}$  в 6.2 раза выше, чем в северной тайге и в 10.2 раза выше чем в средней тайге. В подзоне собственно тундры активность радиоцезия ниже, чем в южной тундре, но в 1,6 - 3,1 раза выше относительно таежной зоны (Баженов и др., 1999). Более низкие значения в верхних перегнойно-аккумулятивных горизонтах собственно тундры (на о. Вайгач), обусловлены атмосферным переносом большей части радиоактивности после взрывов на Новой Земле на определенные расстояния. Только часть активности радиоцезия довольно быстро (в течение нескольких часов) осаждается на поверхности почвы в районе взрыва (Марей, 1974). В связи с тем, что определенная часть радиоцезия уже мигрировала с поверхности почвенно-растительного покрова нами проанализировано соотношение распределения средних значений активности  $^{137}\text{Cs}$  в лесной подстилке (дернине) и гумусовом горизонте в тундровых, лесных и луговых почвах природных подзон Архангельской области. Диаграмма, представленная на рис. 2 показывает, что наблюдается изменение соотношения активности радиоцезия между верхним и гумусовым горизонтами в природных подзонах Архангельской области. В почвах собственно тундровой подзоны (Рис.2, 1) на о. Вайгач средняя активность  $^{137}\text{Cs}$  составляет 100-120 Бк/кг и его распределение между горизонтами, практически одинаковое. Наблюдается лишь незначительное увеличение активности в

гумусовом горизонте, что, по-видимому обусловлено маломощностью почв (мощность верхних горизонтов составляет в среднем 1-3 см), их заболоченностью и временным фактором.

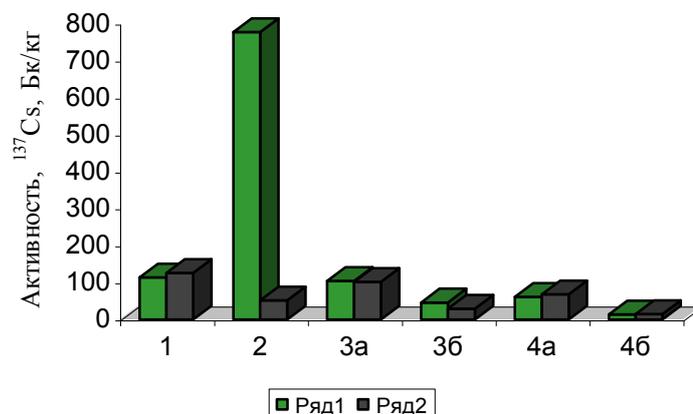


Рис.2. Соотношение средних значений активности  $^{137}\text{Cs}$  (Бк/кг) в лесной подстилке (дернине) и гумусовом горизонте в почвах природных подзон Архангельской области, 2000 г.: 1 - собственно тундровая подзона (о. Вайгач), 2 - южно-тундровая подзона, 3 - северная тайга (3а - лесные почвы, 3б - луговые почвы), 4 - средняя тайга (4а - лесные почвы, 4б - луговые почвы). Ряд 1 - лесная подстилка (или дернина в луговых почвах), Ряд 2 - гумусовый горизонт.

Даже при суровых климатических условиях радиоцезий в большей своей части переместился с поверхности в гумусовый горизонт. В почвах южно-тундровой подзоны (на полуострове Канин) (Рис.2, 2) наблюдается устойчивое накопление радиоцезия в лесной подстилке. В лесных почвах северно-таежной (Рис. 2, 3а) и среднетаежной (Рис. 2, 4а) подзоны Архангельской области мощность лесной подстилки и гумусового горизонта увеличивается уже до 5-15 см, а в отдельных случаях до 20-25 см. В лесных почвах северной тайги наблюдается равномерное распределение активности  $^{137}\text{Cs}$  между исследованными горизонтами. В лесных почвах средней тайги максимум активности  $^{137}\text{Cs}$  перемещается в гумусовый горизонт. Относительно исследованных горизонтов в почвах собственно тундровой зоны, в северной и средней тайге полученное распределение обусловлено, прежде всего смягчением климатических условий и увеличением скорости разложения органического вещества. В луговых почвах активность радиоцезия в дернине и гумусовом горизонте в 2-2,5 раза ниже, чем в лесных почвах, что связано с приуроченностью данных почв к речным поймам, где повышается вероятность горизонтальной миграции  $^{137}\text{Cs}$  с паводковыми водами.

Для большей части территории Архангельской области характерно чередование холмисто-рядовых и холмисто-котловинных возвышенностей с частой сменой различных материнских пород, а также плоских междуречных равнин, с различной степенью увлажненности и плоских, преимущественно низменных, заболоченных равнин и впадин. На

побережье Белого и Баренцева морей преобладают низменные приморские террасированные равнины с участками холмисто-котловинных и грядовых возвышенностей. Речные поймы крупных рек области (Северная Двина, Онега, Пинега, Вага, Кулой) имеют плоскую, часто террасированную поверхность. Для всех типов исследованных ландшафтов характерно варьирование значений активности радиоцезия в верхних перегнойно-аккумулятивных почвенных горизонтах. Наиболее высокие средние значения активности  $^{137}\text{Cs}$  получены для верхних перегнойно-аккумулятивных горизонтов почв низменных приморских равнин и плоских морских террас южной части полуострова Канин и южного берега о. Вайгач (200-2000 Бк/кг). В верхних перегнойно-аккумулятивных горизонтах почв холмисто-котловинных и грядовых возвышенностей и речных пойм происходит более интенсивный вынос поступающего из атмосферы  $^{137}\text{Cs}$ . Почвы, распространенные на холмисто-грядовых залесенных возвышенностях формируются в условиях преобладания осадков над испаряемостью, что обуславливает необходимый для их формирования промывной тип водного режима, на участках с хорошим дренажем, без притока влаги с окружающих территорий (в автоморфных условиях). Их профиль формируется под воздействием нисходящих токов кислых почвенных растворов, обуславливающих распад и вынос продуктов распада первичных и вторичных минералов и илистой фракции, а с ними и радиоцезия. Миграция  $^{137}\text{Cs}$  происходит вместе с органикой, под воздействием поверхностного стока во время выпадения атмосферных осадков, преимущественно в летний период и весной, с талыми водами. Вынесенный вместе с органикой из верхних горизонтов почв возвышенных ландшафтов радиоцезий задерживается в почвах, сформированных на плоских и низинных междуречных равнинах и террасах, где его средняя активность в 4-8 раз выше, чем в почвах на возвышенных участках. Радиоцезий, поступающий в почвы речных пойм с возвышенностей и речных террас выносится в речную сеть в период затопления их паводковыми водами (Киселев, Баженов и др, 1999, Юдахин и др., 2000).

Для подзолистого горизонта  $A_2$ , как и для верхних перегнойно-аккумулятивных горизонтов, также характерно варьирование активности радиоцезия в различных почвах. Но активность радиоцезия в десятки раз ниже, чем в верхних горизонтах. Максимальное среднее значение активности  $^{137}\text{Cs}$  в горизонте  $A_2$  зафиксировано для дерново-подзолистых почв. Далее по убыванию активности  $^{137}\text{Cs}$  идут сильно-, средне-, и слабоподзолистые почвы. Минимальное среднее значение получено для подзолистого горизонта торфянисто-подзолистых почв, которое в 3 раза ниже, чем для дерново-подзолистых почв. Такие различия в содержании радиоцезия определяются интенсивностью промывания почвы и потечностью гумусовых частиц, с которыми перемещается радиоцезий.

Активность  $^{137}\text{Cs}$  в иллювиальном горизонте (В) почв Архангельской области, как и выше лежащих горизонтах изменяется в достаточно широком диапазоне от 2 до 20-25 Бк/кг. Проведенные нами исследования по возможности связывания радиоцезия с окислами железа, которые концентрируются в иллювиальном горизонте, как это указывалось в работе (Русанова, 1998) не дали положительной корреляции. Иллювиальные горизонты в различных районах Архангельской области, имеющие высокую степень ожелезнения, существенно различаются по активности радиоцезия. Доминирующим фактором, оказывающим влияние на закрепление  $^{137}\text{Cs}$  в иллювиальном горизонте по нашему мнению, является гранулометрический состав горизонта. В супесчаных горизонтах средняя активность радиоцезия составляет 3.9 Бк/кг, в песчаных - 4.2 Бк/кг, в легкосуглинистых - 6.5 Бк/кг, в среднесуглинистых - 9 Бк/кг сухого веса. Анализ распределения радиоцезия в иллювиальном горизонте показывает, что в условиях региона накопление  $^{137}\text{Cs}$  зависит от количества глинистых частиц, что согласуется с данными, полученными для других регионов в работах (Бондарь и др., 1989, Ушаков, 1996).

Для почв, сформировавшихся в естественных условиях средние значения активности  $^{137}\text{Cs}$  в 5-13 раз выше, чем в городских почвах и антропогенно нарушенных. Это указывает на то, что из техногенных ландшафтов происходит усиленный вынос радиоцезия, а в целинных почвах он может длительное время сохранять высокую концентрацию в верхних перегнойно-аккумулятивных горизонтах (Юдахин и др., 2000).

В пятой главе даются первичные результаты о влиянии естественного изотопа  $^{40}\text{K}$  в почвах на распределение радиоцезия в генетических горизонтах почв Архангельской области и поступление его в растительность. На основании общего объема 5-ти летних наблюдений (с 1994 по 2000 г.г.) и анализа более 500 оригинальных проб, получена взаимосвязь между распределением радиоцезия и естественного изотопом  $^{40}\text{K}$  в почвах Архангельской области, приведенная на рис. 3.

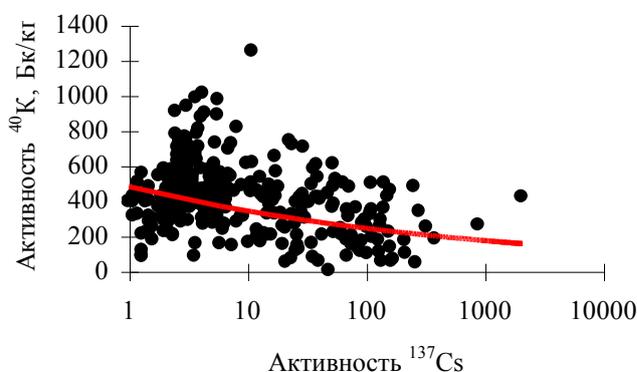


Рис. 3. Суммарная зависимость активности  $^{137}\text{Cs}$  от активности  $^{40}\text{K}$  (Бк/кг) в почвах Архангельской области (2000 г.).

Построенный график зависимости между распределением  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{40}\text{K}$  (Рис. 3) показывает, что при увеличении активности радиоцезия в почвах в целом по Архангельской области, независимо от типа почвы наблюдается тенденция к снижению активности  $^{40}\text{K}$ . Для  $^{137}\text{Cs}$  характерно снижение его активности в генетических горизонтах вниз по почвенному разрезу с максимальными средними значениями активности в верхних перегнойно-аккумулятивных горизонтах - лесной подстилке, дернине, гумусе. Для  $^{40}\text{K}$  наблюдается обратная картина. Происходит увеличение его активности с глубиной с максимумом накопления в иллювиальном горизонте. Зональный анализ показывает, что общее увеличение активности  $^{40}\text{K}$  с севера на юг не играет особой роли при распределении  $^{137}\text{Cs}$  в почве.

Тем не менее генетические горизонты почв Архангельской области содержат различное количество  $^{40}\text{K}$  и  $^{137}\text{Cs}$ . При рассмотрении зависимости  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{40}\text{K}$  по разным генетическим горизонтам получена следующая картина. В лесной подстилке и дернине (рис. 4, а) наблюдается полученная ранее зависимость. При увеличении активности радиоцезия в лесной подстилке или дернине, активность  $^{40}\text{K}$  снижается. В гумусовом горизонте зависимость еще сохраняется, но выражена уже не так четко как в вышележащем горизонте (Рис. 4, б).

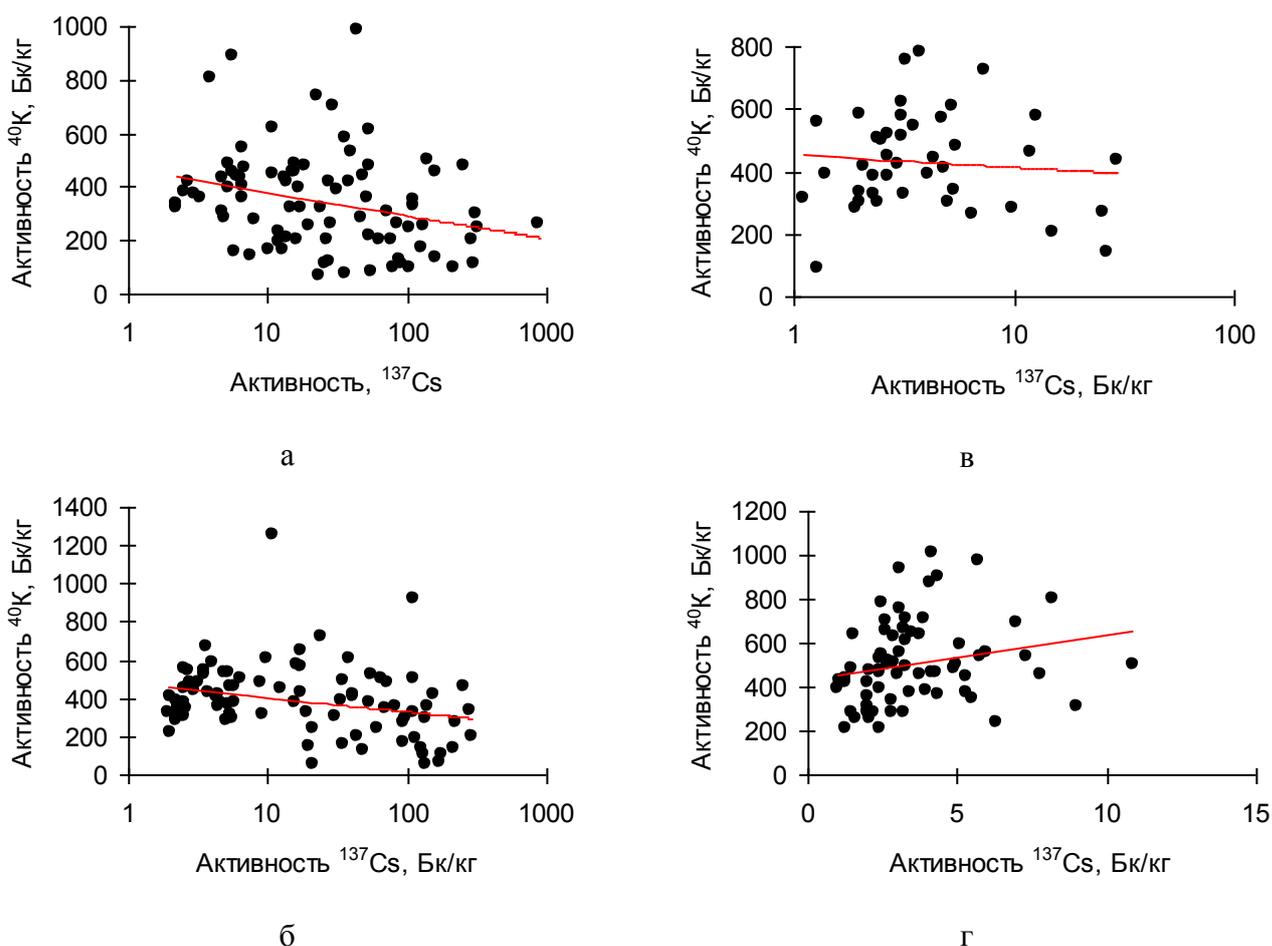


Рис. 4. Зависимость активности  $^{137}\text{Cs}$  от  $^{40}\text{K}$  (Бк/кг) в генетических горизонтах почв Архангельской области, 2001 г.: а - лесная подстилка и дернина, б - аккумулятивно-гумусовый

горизонт, в - подзолистый горизонт, г - иллювиальный горизонт.

В подзолистом горизонте активность радиоцезия уже практически не влияет на содержание  $^{40}\text{K}$  (Рис.4, в). В иллювиальном горизонте наблюдается обратная картина (Рис.4, г). При увеличении активности  $^{40}\text{K}$  (до 1000-1100 Бк/кг) активность радиоцезия также увеличивается. В верхних почвенных горизонтах (лесная подстилка, дернина и гумусовый горизонт), где расположена основная масса корней растительности существующая тенденция снижения активности  $^{40}\text{K}$  при увеличении активности  $^{137}\text{Cs}$ , что увеличивает в этих горизонтах вероятность поступления последнего через корневую систему в растительность. В иллювиальном горизонте высокое содержание свободного  $^{40}\text{K}$ , по-видимому препятствует проникновению радиоцезия в корневую систему, что приводит здесь к его накоплению.

В связи с тем, что верхние (органические) горизонты почв Архангельской области имеют сильноокислую реакцию ( $\text{pH}=3,5-4$ ), а нижерасположенные минеральные - близкую к нейтральной или нейтральную реакцию ( $\text{pH}=5,5-6$ ) предполагается, что это может приводить к взаимодействию  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{40}\text{K}$  и влиять на поступление их в растительность. Полученные нами результаты, характерны не только для почв Архангельской области, но и для почв других территорий (Радиоактивность и пища человека, 1971), т.е. процессы внутрипочвенного взаимодействия  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{40}\text{K}$  могут быть сходны с такими же условиями в других районах и других почвах.

В шестой главе демонстрируется горизонтальная миграция радиоцезия на примере одной из развитых речных долин на Европейском Севере - Северной Двины. На протяжении 600 км по долине реки Северная Двина нами сделано 24 поперечных почвенных профиля вкrest долины реки. Общая закономерность распределения  $^{137}\text{Cs}$  в профиле речной долины показана на рис. 5, из которого следует, что при равномерном выпадении происходит интенсивный вынос этого изотопа со склонов и низкой поймы в реку, где частично происходит его осаждение в непромытых песках и илах.

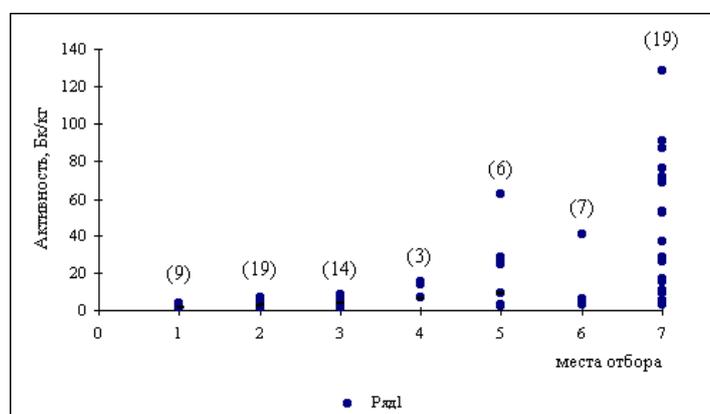


Рис.5. Распределение активности  $^{137}\text{Cs}$  по профилю речной долины на глубине 0-0.1 м. Места отбора: 1 - донные отложения; 2 - низкая пойма; 3 - пойма; 4 - бровка высокой поймы; 5 -

высокая пойма; 6 - склон коренной террасы; 7 - коренная терраса; Ряд 1 - замеренные значения, в скобках указано количество.

При равномерном осаждении техногенных радиоактивных изотопов на поверхность, со временем имеет место значительное очищение поймы и низкой поймы от них. Вынесенный из поймы,  $^{137}\text{Cs}$  осаждается в донных отложениях, мигрирует в дельту реки и Белое море. Часть изотопов  $^{137}\text{Cs}$  вынесена из почв, распахиваемых площадей и заливных лугов в результате сельскохозяйственных работ. На лесных участках  $^{137}\text{Cs}$  прочно удерживается в верхних почвенных горизонтах (0-10 см) (Киселев и др, 1999). Об этом свидетельствуют данные, по детальному изучению распределения радиоцезия в долине р. Большая Юра (Беломорско-Кулойское плато), представленные в таблице 1.

Таблица 1.

Распределение активности  $^{137}\text{Cs}$  (Бк/кг сухой массы) в верхних перегнойно-аккумулятивных горизонтах почв Архангельской области в зависимости от высоты их залегания над урезом воды и степени затопления паводковыми водами (на примере Беломорско-Кулойское плато), 2000 г.

Место отбора, высота до уреза воды (h)	Название почвы	Степень затопления	Активность $^{137}\text{Cs}$ в верхних перегнойно-аккумулятивных горизонтах	
			$A_0$ ( $A_d$ )	$A_0A_1$ ( $A_1$ )
1	2	3	4	5
Вершина моренного холма, h=6 м.	среднеподзолистая песчаная	не затопляемая	80,4	303,7
У подошвы моренного холма, h=2 м	среднеподзолистая суглинистая	не затопляемая	93,1	345,5
Сенокосный луг, h=1 м.	пойменная дерново-глеевая суглинистая	полное затопление	(43,9)	(111,3)

Согласно данным таблицы 14 полученные результаты показывают, что вынос  $^{137}\text{Cs}$  с паводковыми водами из почв речных пойм как крупных, так и небольших рек на затопляемых территориях в 2-3 раза выше, чем плоскостной смыв с атмосферными осадками. Увеличение скорости миграции радиоцезия из верхних почвенных горизонтов речных пойм происходит за счет интенсивного промывания почвенного профиля, о чем указывалось для данного района в работе (Киселев и др, 1999).

В седьмой главе по построенному пространственному распределению  $^{137}\text{Cs}$  в почвах Архангельской области показано, что:

1. Наиболее подверженными техногенному радиоактивному загрязнению на всей территории области являются верхние перегнойно-аккумулятивные горизонты - лесная подстилка, дернина и гумусовый горизонт, с максимумом накопления в лесной подстилке - на полуострове Канин, в гумусовом горизонте - северо-западнее г. Котлас и на Беломорско-Кулойском плато.

2. В настоящее время в этих горизонтах формируются отдельные центры повышенной активности и обозначается широкая аномальная зона, которая протягивается в субмеридианальном направлении с северо-востока на юго-запад..

3. Ране рядом авторов (Чомчоев, 1993, Логачев, 1998) показана схема направления движения радиоактивных облаков, которые могли оказать наибольшее влияние на масштабы и степень радиоактивного загрязнения различных регионов СССР. При этом преобладающими направлениями движения радиоактивных облаков после атмосферных ядерных испытаний были северное - восточное - южное. По их мнению вся «грязь», выпавшая на территории страны после испытаний ядерного оружия на Северном полигоне, сформировала две группы максимумов, «пятен» радиоактивных выпадений: первая - в акватории Карского моря, вторая - между городами Якутском и Верхоянском. Наши исследования выявляют еще одно такое «пятно» радиоактивного загрязнения, но уже на Европейском Севере России. Предположительно при столкновении радиоактивных облаков с континентальными воздушными массами на границе океан-континент часть из них меняло свое направление, и выпадения происходили на побережье Баренцева моря, полуострове Канин и далее на запад. Далее, с удалением от источника взрывов, радиоцезий поступал на почвенный покров уже с атмосферными осадками и в результате глобальных выпадений, что определяется снижением его активности в лесной подстилке и дернине с удалением от источника взрывов.

4. Аномальный центр, сформировавшийся северо-западнее г. Котлас, по-видимому, связан с вторичной эмиссией радиоцезия в результате переработки Котласким ЦБК огромного количества ранее загрязненной древесины. Эта гипотеза подтверждается рядом работ, например (Тихомиров, и др., 1989) исследовавшими лесные ландшафты Украинского Полесья, сделаны выводы о том, что в период радиоактивных выпадений и в последующее время после аварии на ЧАЭС до 60-90% радионуклидов было задержано растительным ярусом. В течение 2-х лет после аварии на фоне общего снижения активности в древесном ярусе отмечалось возрастание накопления  $^{137}\text{Cs}$  в ассимилирующих органах путем возрастания поступления радиоцезия через корневую систему в надземную часть древесных растений.

5. В подзолистом горизонте, для которого характерны интенсивные процессы вымывания всех химических элементов, наблюдается резкое снижение активности  $^{137}\text{Cs}$  для всей территории области. Это позволяет говорить о том, что поступление радиоцезия в подзолистый горизонт либо незначительно, либо он сразу вымывается из него. Выявленные аномальные центры в подзолистом горизонте севернее и южнее г. Архангельска привязаны к аномальным центрам в верхних перегнойно-аккумулятивных горизонтах. Кроме этого в подзолистом горизонте почв этого района области наблюдается присутствие значительного количества органики.

6. Иллювиальный горизонты и почвообразующие породы в почвах Архангельской области не накапливают радиоцезия.

Заключение. Под влиянием природных процессов и антропогенного воздействия человека произошло перераспределение долгоживущих техногенных радионуклидов (радиоцезия) в почвах Архангельской области и в настоящее время их распределение представляет мозаичную картину в регионе.

В результате гамма-спектрометрического изучения содержания радиоцезия в генетических почвенных горизонтах установлено, что с момента интенсивного его поступления (начало ядерных испытаний) и до настоящего времени максимальная активность радиоцезия по-прежнему удерживается в лесной подстилке, дернине и гумусовом горизонте естественных почв. При этом имеют место повышенные значения активности  $^{137}\text{Cs}$  в нижележащих слоях в отдельных почвах с маломощным гумусовым горизонтом.

Выявлена почвенно-климатическая зональность распределения радиоцезия в верхних почвенных горизонтах природных подзон Архангельской области. В лесных почвах природных подзон региона, под влиянием климатических факторов (смягчении климатических условий с севера на юг) происходит перемещение активности радиоцезия из лесной подстилки в гумусовый горизонт. В южных районах области этот процесс протекает более интенсивно.

Показано, что горизонтальная и вертикальная миграция радиоцезия из верхних перегнойно-аккумулятивных горизонтов почв Архангельской области происходит в большей степени (вплоть до полного выноса) в поймах рек, на заливных лугах в время затопления их паводковыми водами, на склонах коренных террас, на вершинах моренных холмов и грядовых возвышенностей и в почвах, подверженных антропогенному воздействию человека (сельскохозяйственная обработка почвы, рекультивация, на вырубках). На выровненных естественных ландшафтах вертикальная и горизонтальная миграция радиоцезия практически отсутствует.

Для Архангельской области установлены три аномальных зоны с повышенными значениям радиоцезия: первая - в районе г.г. Котлас - Коряжма, вторая - в районе Архангельского промышленного узла, третья - в районе Беломорско-Кулойское плато - полуостров Канин. В первых двух зонах радиоцезий проникает в иллювиальный горизонт и почвообразующую породу, а в третьей зоне  $^{137}\text{Cs}$  полностью удерживается в верхних почвенных горизонтах. В почвах долин крупных рек Северной Двины, Пинеги и Онеги активность радиоцезия близка к фоновым значениям, что указывает на его интенсивный вынос.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Киселев Г.П., Баженов А.В. Радиоактивные элементы в почвах Ильинско-Подомского района //Поморье в Баренц-регионе: экология, экономика, культура. Тезисы докладов III международной конференции. Архангельск, 1997. С.48.

2. Виноградова Е.Л., Баженов А.В., Киселев Г.П. Зависимость активности Cs-137 от минерального остатка почв средней тайги //Поморье в Баренц-регионе: экология, экономика, культура. Тезисы докладов III международной конференции. Архангельск, 1997. С.25.

3. Баженов А.В., Максимовская С.А. Исследование распределения радиоактивных элементов в естественных и техногенных условиях. //IX Международные научные Ломоносовские чтения. Тезисы докладов. Архангельск, 1997. С. 164-165.

4. Киселев Г.П., Баженов А.В. Торий-232, Радий-226, Калий-40, Цезий-137 в почвах Архангельской области. //Антропогенное воздействие на природу Севера и его экологические последствия. Всероссийское совещание и выездная научная сессия. Тез. докладов. Апатиты, Мурманская область, 22-25 июня, 1998 года. С.173-174.

5. Киселев Г.П., Баженов А.В., Максимовская С.А. Радиоактивность почв в Архангельской области. //X Международные научные Ломоносовские чтения. Тез. докладов. Архангельск, 1998 г. С. 19.

6. Баженов А.В. Последствия ядерного века. //Экология-98. Конференция молодых ученых и специалистов. Тез. докладов. 23-25 июня 1998 года, Архангельск. Архангельск, 1998. С.65-66.

7. Киселев Г.П., Баженов А.В., Малов А.И., Зыков С.Б. Характеристика радиоактивности почв и донных отложений бассейна реки Северная Двина. //Экология Северной Двины. Сб. ст.. Архангельск, 1999. С.120-126.

8. Баженов А.В., Юдахин Ф.Н., Киселев Г.П. Распределение  $^{137}\text{Cs}$  в почвах северной, средней и средне южной тайги Архангельской области. //Геодинамика и Геоэкология. Мат. Междунар. конференции. Архангельск, 1999. С.21-23.

9. Ф.Н. Юдахин, А.В. Баженов, Г.П. Киселев Закономерности распределения радиоцезия в почвах Архангельской области. //СЕВЕР: ЭКОЛОГИЯ. Сб. науч. трудов. Екатеринбург, 2000 г..

C.7-18.

10. Г.П. Киселев, И.М. Киселева, С.Б. Зыков, А.В. Баженов, А.И. Малов Радиоактивные изотопы в донных осадках Белого моря. //СЕВЕР: ЭКОЛОГИЯ. Сб. науч. трудов. Екатеринбург, 2000 г. С.18-30.

11. А.В. Баженов, Г.П. Киселев, С.Б. Зыков Вертикальное распределение  $^{137}\text{Cs}$  в почвах Беломорско-Кулойского плато. //Поморье в Баренц-регионе на рубеже веков: экология, экономика, культура. Мат. Междунар. конференции. Архангельск, 2000 г.. С. 20-21.

12. Г.П. Киселев, С.Б. Зыков, А.В. Баженов, И.М. Киселева Радиоактивность донных отложений дельты Северной Двины. //Поморье в Баренц-регионе на рубеже веков: экология, экономика, культура. Мат. Междунар. Конференции. Архангельск, 2000 г.. С. 106-108.

13. Ф.Н. Юдахин, Г.П. Киселев, А.В. Баженов Гамма-активность естественного и антропогенного происхождения в почвах Архангельского региона (Северо-Западная Россия). //Поморье в Баренц-регионе на рубеже веков: экология, экономика, культура. Мат. Междунар. конференции. Архангельск, 2000 г.. С. 275-276.

14. Киселев Г.П., Баженов А.В. Особенности распределения и миграции  $^{137}\text{Cs}$  в почвах Европейского Севера. //VI Сибирцевские чтения. Тез. докладов. Архангельск, 30-31 августа 2000 года. С. 89-90.

15. Г. П. Киселев, А.В. Баженов Особенности пространственного распределения  $^{137}\text{Cs}$  в почвах Европейского Севера. //III съезд Докучаевского общества почвоведов. Тез. докладов. Суздаль, 11-15 июля, 2000 года. С.163-164.

16. А.В. Баженов, Г.П. Киселев, А.И. Малов, С.Б. Зыков Особенности миграции  $^{137}\text{Cs}$  в почвах долины реки Северная Двина. //III съезд Докучаевского общества почвоведов. Тез. докладов. Суздаль, 11-15 июля, 2000 года. С. 133-134.

17. Киселев Г.П., Баженов А.В.  $^{137}\text{Cs}$  в почвах Европейского Севера России. //Сергеевские чтения. Научный Совет РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии. Мат. годичной сессии. Москва, 22-23 марта 2001 года. Вып. 3. Москва «ГЕОС», 2001 г. С. 281-284.

18. Киселев Г.П., Баженов А.В., Зыков С.Б., Киселева И.М.  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{40}\text{K}$  в почвах Европейского Севера. //Международная конференция БИОРАД-2001: Биологические эффекты малых доз ионизирующей радиации и радиоактивное загрязнение среды. Тез. докладов. Сыктывкар, 20-24 марта 2001 года. С. 139-140.