На правах рукописи

ПЕРЕВОЛОЦКИЙ Александр Николаевич

РАДИАЦИОННО-ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОБСТАНОВКА В ЛЕСНЫХ БИОГЕОЦЕНОЗАХ: ДИНАМИКА, ФАКТОРЫ, ПРОГНОЗ (НА ПРИМЕРЕ РЕГИОНА АВАРИИ ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АЭС)

Специальность 03.01.01 – радиобиология

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание учёной степени доктора биологических наук

Обнинск – 2013

Работа выполнена в Государственном научном учреждении "Всероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной радиологии и агроэкологии" Российской академии сельскохозяйственных наук

Научный консультант	доктор биологических наук, профессор, академик Российской академии сельскохозяйственных наук **Алексахин Рудольф Михайлович**
Официальные оппоненты:	доктор биологических наук, старший научный сотрудник, главный научный сотрудник лаборатории экологии широколиственных лесов ФГБУН Институт лесоведения РАН (Московская обл., Успенское) **Романовский Михаил Георгиевич**
	доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник кафедры радиоэкологии и экотоксикологии факультета почвоведения МГУ им. М.В. Ломоносова (г. Москва) **Мамихин Сергей Витальевич**
	доктор биологических наук, профессор, заведующий лабораторией математического моделирования и программно-информационного обеспечения ГНУ ВНИИСХРАЭ Россельхозакадемии (г.Обнинск) **Спиридонов Сергей Иннокентьевич**
Ведущая организация	Украинский НИИ сельскохозяйственной радиологии Национального университета биоресурсов и природопользования Украины (г.Киев)

Защита диссертации состоится "___" _____20__ года, в ___ часов на заседании совета по защите диссертаций Д 006.068.01 при Государственном научном учреждении "Всероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной радиологии и агроэкологии" Российской академии сельскохозяйственных наук по адресу: 249032 Калужская обл., г. Обнинск, 109-км Киевского шоссе, ВНИИСХРАЭ. Факс:+7(48439)68066.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Государственного научного учреждения "Всероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной радиологии и агроэкологии"

Автореферат разослан "___" _____20___ г.

Ученый секретарь
диссертационного совета О.А. Шубина

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность исследований. Поступление искусственных радионуклидов в лесные биогеоценозы в результате глобальных радиоактивных выпадений, а также штатных и аварийных выбросов предприятий ядерного топливного цикла сопряжено с перераспределением исследуемых веществ между компонентами экосистем с последующим накоплением в звеньях-аккумуляторах, в том числе и пищевых продуктах леса.

Особую остроту проблема радиоактивного загрязнения лесных экосистем и использования лесохозяйственной продукции приобрела после аварии на Чернобыльской АЭС в 1986 г. Более 40000 км^2 лесных насаждений Беларуси, Украины и России оказались загрязнены ^{137}Cs > 37 кБк/м^2 и около 500 км^2 – >1480 кБк/м^2, что потребовало выработки особых подходов к ведению хозяйства в загрязненных лесах. В их основу был положен ряд параметров радиоактивного загрязнения (мощность дозы γ-излучения, плотность загрязнения почвы, удельная активность в лесной продукции), на которых и базируется с середины 90-х гг. регламентация лесохозяйственного производства на загрязненных радионуклидами территориях. К настоящему времени, благодаря многочисленным научным исследованиям, проведенным в СНГ и за рубежом, знания о миграции радионуклидов в лесах существенно расширены, однако для научно обоснованного и радиационно-безопасного ведения лесного хозяйства на загрязненных радионуклидами территориях весьма актуальны обобщения и систематизации материалов по поведению радионуклидов в лесных экосистемах, определению основных закономерностей формирования радиоэкологической обстановки, включающих оценку параметров многолетней динамики и основных факторов, определяющих распределение радионуклидов в лесах на отдаленном этапе после радиоактивных выпадений.

Цель исследований – изучить многолетнюю динамику, основные факторы формирования радиоэкологической обстановки в лесных биогеоценозах и спрогнозировать радиоактивное загрязнение основных компонент лесных экосистем на отдаленном этапе после радиоактивных выпадений.

Задачи исследований:

- проанализировать многолетнюю динамику параметров радиационной обстановки (мощности дозы внешнего γ-излучения, плотности загрязнения корнеобитаемого слоя почвы) и накопления радионуклидов основными компонентами лесных биогеоценозов (коэффициентов перехода и активности радионуклидов в компонентах биогеоценоза) для применения в прогнозных моделях распределения радионуклидов в лесных насаждениях;

- изучить влияние эдафических условий произрастания (плодородия и условий увлажнения почвы – типа условий местопроизрастания или типа лесорастительных условий) на распределение радионуклидов между основными компонентами лесных биогеоценозов для оценки использования некоторых видов лесных ресурсов (древесина, лесные ягоды и березовый сок) в информационных системах поддержки принятия управленческих решений;

- разработать новые подходы к использованию некоторых видов лесных ресурсов с учетом влияния эдафических условий произрастания на накопление ими радионуклидов на радиоактивно загрязненных территориях.

Объект исследований: лесные биогеоценозы основных лесообразующих пород, произрастающих в различных типах лесорастительных условий.

Предмет исследований: закономерности формирования радиационно-экологической обстановки и перераспределения радионуклидов в лесных биогеоценозах.

Положения диссертации, выносимые на защиту:

- параметры неравномерности плотности загрязнения почвы ^{137}Cs и мощности дозы γ-излучения лесных кварталов и выделов (коэффициент вариации не превышает 40%) вследствие радиоактивных аварийных выпадений Чернобыльской АЭС, которые необходимо учитывать при проведении радиационных обследований участков леса для последующего отнесения к зонам радиоактивного загрязнения и планирования лесохозяйственной деятельности;

- в многолетней динамике мощности дозы внешнего γ-излучения в лесных биогеоценозах экспериментально выделены два основных этапа : начальный этап в течение первых лет после выпадений с периодом полууменьшения мощности дозы менее 1.5 года и последующий этап, характеризующийся преобладанием в спектре γ -излучения ^{137}Cs с периодом полууменьшения исследуемого показателя менее 20 лет. На величину мощности дозы внешнего γ-излучения в лесных биогеоценозах оказывают влияние эдафические условия произрастания насаждений;

- эдафические условия произрастания лесных биогеоценозов определяют интенсивность перехода ^{137}Cs и ^{90}Sr в элементы фитомассы основных лесообразующих пород, некоторые виды лесных ягод и в березовый сок: накопление обоих радионуклидов снижается в 2-4 раза при повышении плодородия почвы, а увеличение увлажнения почвы определяет снижение накопления ^{90}Sr до 2 раз и повышение накопления ^{137}Cs до 6 раз, что имеет важное практическое значение при планировании использования лесных ресурсов и для биогеоценологии при оценке вовлечения радионуклидов в биологический круговорот лесными экосистемами;

- многолетняя динамика коэффициентов перехода радионуклидов для элементов надземной фитомассы определяется биологическими и абиотическими факторами, в ней выделяются период интенсивного поверхностного очищения элементов непосредственно экспонированных к выпадениям в течение первых двух лет после радиоактивных выпадений, период интенсивного корневого поступления в последующие 5-10 лет, период установления квазиравновесного распределения радионуклидов в системе "почва-древесное растение";

- результаты математико-статистических расчетов допустимых плотностей загрязнения почвы долгоживущими радионуклидами, обеспечивающие получение древесины основных лесообразующих пород и некоторых видов пищевой продукции леса с заданными вероятностями превышения нормативов РДУ и их применение в информационной системе поддержки принятия управленческих решений.

Научная новизна результатов заключается в комплексной оценке радиационно-экологической обстановки в лесных биогеоценозах Республики Беларусь на отдаленном этапе после аварии на ЧАЭС, установлении влияния на перераспределение ^{137}Cs и ^{90}Sr между компонентами лесных биогеоценозах лесотипологических и лесоводственных факторов и прогнозированием радиоактивного загрязнения хозяйственно-ценных компонент лесных биогеоценозов с применением вероятностного подхода при оценке превышения допустимых нормативов, что представлено совокупностью следующих доказанных положений:

- впервые для лесных насаждений Республики Беларусь выполнена оценка многолетней динамики снижения мощности дозы внешнего γ-излучения;

- впервые установлено влияние типа лесорастительных условий на величину мощности дозы внешнего γ-излучения в лесных биогеоценозах;

- впервые для лесных биогеоценозов Республики Беларусь установлен диапазон коэффициентов вариации мощности дозы и плотности загрязнения почвы ^{137}Cs на "дальнем" следе радиоактивных выпадений;

- показано влияние лесотипологического фактора на миграцию ^{137}Cs и ^{90}Sr в вертикальном профиле лесных почв;

- выделены три этапа в многолетней динамике накопления ^{137}Cs в надземной фитомассе основных лесообразующих пород с определением факторов, влияющих на параметры накопления на различных этапах;

- впервые экспериментально доказано влияние эдафических факторов (типа лесорастительных условий) на изменение коэффициентов перехода и суммарного запаса ^{137}Cs и ^{90}Sr для древесины основных лесообразующих пород в лесных биогеоценозах Республики Беларусь;

- впервые в Республике Беларусь проведены экспериментальные исследования по изучению влияния эдафических факторов на накопление радионуклидов некоторыми видами пищевой продукции леса (березовый сок, черника, земляника);

- спрогнозировано радиоактивное загрязнение некоторых компонент лесных биогеоценозов (древесина основных лесообразующих пород, некоторые виды лесных ягод) с применением вероятностного подхода превышения допустимых нормативов.

Теоретическая значимость заключается в получении новых комплексных теоретических данных по многолетней динамики мощности дозы внешнего γ-излучения, параметрам вариации радиационной обстановки в лесных кварталах и выделах, оценке параметров миграции радионуклидов в вертикальном профиле почвы, накоплении и вовлечении в биологический круговорот ^{137}Cs и ^{90}Sr компонентами лесных биогеоценозах в различных эдафических условиях.

Практическая значимость диссертационного исследования определяется разработкой и внедрением практических документов в производственную деятельность ГУ "Беллесрад" Министерства лесного хозяйства Республики Беларусь для ведения лесного хозяйства на радиоактивно загрязненных территориях, что подтверждено актами внедрения результатов научно-исследовательской работы :

- "Инструкция по отнесению лесных кварталов к зонам радиоактивного загрязнения" и ТКП "Радиационный контроль. Обследование земель лесного фонда. Порядок проведения. = Радыяцыйны кантроль. Абследванне земляў лясного фонду. Парадак правядзення : ТКП 240-2010 (02080);

- Республиканские допустимые уровни содержания цезия-137 в древесине, продукции из древесины и древесных материалов и прочей непищевой продукции лесного хозяйства (РДУ/ЛХ-2001). – 2.6.1.10-1-01-2001;

- прогнозная модель в информационной системе RadForView ГУ "Беллесрад" Министерства лесного хозяйства Республики Беларусь для лесохозяйственных единиц Полесско-Приднепровского комплекса лесных массивов, обеспечивающая получение данных по плотности загрязнения почвы, удельной активности ^{137}Cs и вероятности превышения нормативов РДУ/ЛХ-2001 в лесоматериалах и древесном топливе основных лесообразующих пород в зависимости от эдафических условий произрастания;

- "Рекомендации по оптимизации лесопользования в условиях радиоактивного загрязнения. № 000080 от 26 ноября 2007 г. ", определяющие допустимые плотности загрязнения почвы ^{137}Cs для получения

лесоматериалов, соответствующих нормативам РДУ/ЛХ-2001 в различных лесорастительных районах Республики Беларусь;

- предложения по мероприятиям радиоэкологического мониторинга лесных биогеоценозов на территориях, загрязненных вследствие радиационных аварий и катастроф, дифференцированные по времени с момента радиоактивного загрязнения лесных насаждений;

- учебное пособие "Радиоэкология", которое рекомендовано Научно-методическим центром учебной книги и средств обучения Министерства образования Республики Беларусь в качестве пособия для студентов биологических специальностей высших учебных заведений.

Апробация результатов диссертации. Основные результаты и научные выводы диссертации были представлены и докладывались на II, III и VI Радиобиологических съездах (Киев, 1993; Москва, 1997, 2010); V Международной научно-технической конференции "Чернобыль-96. Итоги 10 лет работ по ликвидации последствий аварии на ЧАЭС" (Зеленый Мыс, Украина, 1996); Международной научно-практической конференции "Современные проблемы использования почвенных ресурсов и повышение их производительной способности" (Горки, 1997); VI Конференции EuroMAB национальных комитетов Европы и Северной Америки (Минск, 1998); Международной научной конференции "Лес, наука, молодежь" (Гомель, 1999); Международной конференции "Пятнадцать лет Чернобыльской катастрофы. Опыт преодоления" (Киев, 2001); II съезда Белорусского общества почвоведов " Почвы и их плодородие на рубеже столетий" (Горки, 2001); IX Международного экологического симпозиума "Урал атомный, Урал промышленный" (Екатеринбург, 2001); Международных научных семинарах "Радиоэкология Чернобыльской Зоны" (Славутич, Украина, 2004 и 2006 гг.); Международном семинаре по современным проблемам лесной радиоэкологии (Гомель, 2000); Международной научной конференции «Радиация и экосистемы» (Гомель, 2008); XXXVIII радиоэкологических чтениях, посвященных действительному члену ВАСХНИЛ В.М. Клечковскому (Обнинск, Российская Федерация, 25-28 ноября 2009 г.).

Опубликованность результатов. По теме диссертации опубликовано 70 печатных работах, из них 1 личная монография (14.8 авторских листа), 2 коллективные монографии (62 а.л.), 3 учебных пособия (17.4 а.л.), автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата наук (1 а.л.), 10 статей в научных журналах перечня ВАК РФ (5.4 а. л.), 1 статья в иностранном журнале (1.5 а.л.), 12 статей в иных научных журналах (6.5 а.л.), 18 статей в научных сборниках (9.5 а.л.), 7 материалов конференций и симпозиумов (2.5 а.л.), 14 – в тезисах докладов съездов и конференций (1.1 а.л.), 1 патент. Общий объем опубликованных материалов – 121.7 авторских листа.

Диссертационная работы выполнена при поддержке следующих научных программ: исследований Национальной академии наук Беларуси по влиянию ионизирующего излучения на природно-растительные сообщества (номера государственной регистрации 19951417, 19961686), Государственной программы фундаментальных исследований "Лесные биогеоценозы" (20015086), в рамках направлений 3 и 6 Государственной программе Республики Беларусь по минимизации и преодолению последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС на 1996-2000, 2001-2005 и 2006-2010 гг. (19961072, 19973937, 19981937, 19993413, 20003217; 20015181, 20015182, 20022125, 20022127, 2003864, 2004355, 2005512, 2006484, 2007708, 2008485, 20090465) Государственных научно-технических программ "Леса Беларуси и их рациональное использование" (19973221, 19993829, 20014039), договоров с Министерством лесного хозяйства Республики Беларусь (19961850, 19983796, 19982798, 19993416)

Личный вклад соискателя. Автор, как научный руководитель работ по темам (№№ГР 19973221, 19982798, 19993414, 20003217, 20015182, 20014039, 20022127) и ответственный исполнитель работ по темам (№№ГР 19951417, 19961072, 19961850, 19961686, 19973937, 19981937, 19993416, 19993829, 19994042, 20015181, 20015086, 20022125, 2007708, 2008485) формулировал идеи исследований, планировал и осуществлял полевые эксперименты, проводил математико-статистическую обработку полученных результатов по распределению радионуклидов в лесных биогеоценозах и разработку прогнозных моделей радиоактивного загрязнения продукции леса, выполнял анализ полученных закономерностей, готовил отчеты о научно-исследовательских работах, осуществлял написание научных работ и диссертации.

Структура и объем диссертации Диссертационная работа состоит из введения, общей характеристики, семи глав, заключения, библиографического списка и приложений. Работа изложена на 335 страницах машинописного текста, содержит 69 таблиц (37 с.), 68 рисунков (32 с.), 11 приложений (33 с.). Библиографический список включает 504 источника литературы, из них 98 - на иностранных языках.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первой главе приведены результаты анализ источников и путей поступления продуктов деления в окружающую среду, особенности их распределения в лесных насаждениях и уровни содержания долгоживущих техногенных радионуклидов (^{137}Cs и ^{90}Sr) в компонентах лесных

биогеоценозов вследствие глобальных и аварийных радиоактивных выпадений. Показано, что наиболее существенным источником поступления радионуклидов, обусловившим глобальное радиоактивное загрязнение окружающей среды, явились испытания ядерного оружия (1945-1980 гг.), а определяющим путем распространения в окружающей среде – мелкодисперсные и растворимые аэральные радиоактивные выпадения из тропосферного и стратосферного резервуаров (Пути миграции…, 1999, с. 29; Sources and effects…, 2000, p. 193; Крупные радиационные аварии, 2001). В локальных и региональных масштабах важную роль в формировании радиоактивного загрязнения окружающей среды могут сыграть высокоактивные аварийные выбросы предприятий ядерного топливного цикла (например, аварии на НПО "Маяк" в 1957 г. и Чернобыльской АЭС в 1986 г.). Их отличительными особенностями по сравнению с глобальными выпадениями явились относительно небольшие высоты переноса радиоактивных веществ различной дисперсности и влияние на этот процесс метеорологических условий, рельефа местности и подстилающей поверхности (Орлов М.Ю. и др., 1992; Поликарпов Г.Г., Ааркрог А., 1993).

Приведены уровни радиоактивного загрязнения компонент лесного биогеоценоза основными дозообразующими радионуклидами глобальных выпадений (^{90}Sr, ^{95}Zr + ^{95}Nb, ^{106}Ru и ^{137}Cs): удельные активности в древесине для европейской части СССР не превышали 1 Бк/кг воздушно-сухой массы; в хвое, листьях и коре – < 20 Бк/кг, в лесных грибах, мхе и подстилке – < 200 Бк/кг. Такие уровни содержания радионуклидов не требовали ограничения на потребление продукции лесного хозяйства по соображениям радиационной безопасности.

Аварийные радиоактивные выпадения определили существенное повышение уровней загрязнения долгоживущими радионуклидами сопредельных территории. Вследствие аварии на НПО "Маяк" в 1957 г. 750 км^2 лесных насаждений были загрязнены ^{90}Sr > 5.6 кБк/м^2 при максимальных уровнях загрязнения до 150 МБк/м^2. После аварии на Чернобыльской АЭС в 1986 г. > 40000 км^2 лесных насаждений Беларуси, Украины и России загрязнены ^{137}Cs свыше 37 кБк/м^2 и около 500 км^2 – >1480 кБк/м^2. Радиоактивное загрязнение компонент лесных биогеоценозов потребовало детального анализа закономерностей распределения радионуклидов в лесах, оценки его роли как фактора облучения, разработки систем лесопользования и радиационного контроля на загрязненных территориях. При этом ведение лесного хозяйства планировалось с использованием принципов обоснованности, оптимальности и допустимости (ALARA), на которых базируется современная система дозовых ограничений.

При достаточно успешном решении ряда проблем ведения лесного хозяйства, что нашло отражение в соответствующих регламентирующих документах, остаются открытыми ряд научных проблем, реализация которых позволит усовершенствовать ряд мероприятий лесного хозяйства на загрязненных территориях. К ним следует отнести исследования многолетней динамики параметров радиационно-экологической обстановки и накопления радионуклидов компонентами лесных биогеоценозов в различных эдафических условиях, что является научной основой для оптимизации использования лесных ресурсов на отдаленном этапе после аварийных выпадений. Решение данных задач рассмотрено в настоящем диссертационном исследовании.

Вторая глава посвящена описанию объектов и методик проведения радиоэкологических исследований в лесных биогеоценозах. В основу исследований положен биогеоценотический подход, предусматривающий изучение миграции искусственных радионуклидов в различных типах лесных сообществ, исходя из принципа "от частного к общему" с выделением звеньев лесной экосистемы более мелкого масштаба, нежели биогеоценотического. При этом наибольшую актуальность имеет параметризация перехода в системе "почва-растение" в различных эдафических условиях и рассмотрение представителей различных таксонов (древесные растения, кустарнички, царства грибов).

Радиоэкологические исследования проведены на постоянных и временных пробных площадях радиоактивно загрязненных лесных насаждений, характеризующихся различным породным составом и типами условий местопроизрастания, в соответствии общепринятыми методиками в области лесной экологии и биогеоценологии в Ветковском и Чечерском спецлесхозе Гомельского ПЛХО и Полесском государственном радиационно-экологическом заповеднике (Полесско-Приднепровский лесорастительного района), Лунинецком лесхозе Брестского ПЛХО (Бугско-Полесском лесорастительного района) и Костюковичском опытном лесхозе Могилевского ПЛХО (Оршанско-Могилевского лесорастительного района).

На пробных площадях выполнялось исследование параметров радиационной обстановки (мощности дозы внешнего γ-излучения, поверхностной активности радионуклидов в лесных почвах и их распределения в почвенных слоях). Изучение накопления радионуклидов проводились в насаждениях основных лесообразующих пород: сосны обыкновенной (*Pinus silvestris* L.), ели европейской (*Picea abies* L.), березы бородавчатой (*Betula pendula* Roth.), ольхи черной (*Alnus glutinosa* L.), осины (*Populus tremula L.*) и дуба черешчатого (*Quercus robur* L.). Состав, возраст и принадлежность к различным типам условий местопроизрастания в насаждениях различного

породного состава определялась задачами исследований. Отбор проб лесных ягод (плодов и фитомассы), плодовых тел грибов и березового сока производился на "дальнем" следе радиоактивного загрязнения в насаждениях Ветковского спецлесхоза. Исследованы наиболее типичные для Белорусского Полесья виды ягод: черника (*Vaccinium myrtillus* L.) и земляника лесная (*Fragaria vesca* L.), а из лесных шляпочных базидиомицетов - дождевик жемчужный (*Lycoperdon perlatum* Pers.), гриб-зонтик пестрый (*Macrolepiota procera* (Scop. ex Fr.) Sing.), опенок осенний (*Armillariella mellea* (Fr.) P. Karst.), рядовка серая (*Tricholoma portentosum* (Fr.) Quel.), подберезовик (*Leccinum scabrum* (Bull. ex Fr.)), лисичка обыкновенная (*Cantharellus cibarius* Fr.), белый гриб (*Boletus edulis* (Bull. ex Fr.)), груздь черный (*Lactarius necator* (Fr.) Karst), волнушка розовая (*Lactarius torminosus* (Shaeff. ex Fr.) S.F. Gray), сыроежки (*Russula* sp.), зеленка (*Tricholoma flavovirens* (Fr.) Lund.), масленок поздний (*Suillus luteus* (Fr.) S. F. Gray.), свинушка тонкая (*Paxillus involutus* (Batsch. ex Fr.) Fr.), польский гриб (*Xerocomus badius* (Fr.) Kuhner).

В третьей главе проанализирована многолетняя динамика формирования радиационной обстановки в лесных насаждениях после радиоактивных выпадений.

Мощность дозы внешнего γ-излучения в лесных насаждениях удовлетворительно описывается двухкомпонентной экспоненциальной зависимостью (корреляционное отношение между наблюдаемыми и спрогнозированными значениями превышает 0.99 при относительной ошибке прогноза менее 1.7%). Снижение мощности дозы в первые годы после аварии происходило с периодом полуумеьшения 1.2-1.4 года при преобладании в загрязнении территории ^{144}Ce, а по мере удаления от АЭС и увеличении вклада в загрязнение ^{137}Cs период полуумеьшения достигал 2.2 года. С середины 90-х гг., после распада короткоживущих радионуклидов, мощность дозы внешнего γ-излучения в воздухе снижается с периодом полуумеьшения 15-18 лет независимо от зоны радиоактивного загрязнения.

На отдаленном этапе после аварийных радиоактивных выпадений влияние на изменение мощности дозы внешнего γ-излучения оказывают условия местопроизрастания лесных насаждений, что связано с различной интенсивностью миграции в вертикальном профиле почвы ^{137}Cs при различных условиях увлажнения (таблица 1). Величина мощности экспозиционной дозы внешнего γ-излучения, нормированная на 37 кБк/м^2 плотности загрязнения ^{137}Cs, находится в пределах 3-5 мкР/ч и достоверно зависит от эдафических факторов (гигротопа и трофотопа) – критерий Фишера F=4-5 при уровне значимости $p<0.01$, а каждый из факторов определяет не менее чем 4% дисперсии мощности дозы.

Таблица 1 - МЭД в различных типах условий местопроизрастания, нормированная на поверхностную активность ^{137}Cs в почве ([мкР/ч]/[37 кБк/м^2])

Координаты эдафической сетки		Трофотоп			
		A	B	C	Д
Гигротоп	2	4.99±0.13	4.71±0.27	4.45±0.28	4.22±0.20
	3	4.13±0.26	3.91±0.26	4.65±0.27	3.28±0.32
	4	3.32±0.13	3.57±0.28	4.14±0.27	3.41±0.35
	5	3.15±0.16	3.45±0.31	4.17±0.29	-

Четвертая глава посвящена анализу и прогнозу распределения ^{137}Cs и ^{90}Sr в вертикальном профиле почв лесных насаждений в различных эдафических условиях. Выполнены оценки неравномерности радиоактивного загрязнения участков леса. Типичным диапазоном коэффициентов вариации плотности радиоактивного загрязнения почвы и мощности дозы внешнего γ-излучения в лесных кварталах "дальнего" следа аварийных выпадений Чернобыльской АЭС является 15-35%. Установлена тесная корреляционная связь между варьированием отдельных характеристик радиоактивного загрязнения, что позволяет оценивать неравномерность поверхностной активности ^{137}Cs в почве по величине мощности дозы γ-изучения ($r=0.56\pm0.12$ при $p<0.001$).

По истечению почти 20 лет после радиоактивных выпадений лесная подстилка остается мощным биогеохимическим слоем, удерживающим радионуклиды. При этом активность радионуклидов в подстилке снижается с десятков до единиц процента от общей активности в почве при увеличении доли лиственных пород в древесном и подлесочном ярусе и изменении режима увлажнения почвы от автоморфного к полугидроморфному и гидроморфному, что связано с повышением скорости минерализации опада. На примере сосновых насаждений показано влияние мощности лесной подстилке на содержание радионуклидов (при возрастании мощности от 2 до 13 кг/м^2 активности ^{137}Cs и ^{90}Sr повышаются от 10 до 80% общей в вертикальном профиле почвы). Для сосняков установлено влияние эдафических условий произрастания (повышение плодородия почвы в ряду эдафотопов А2-В2-С2 определяет снижение активности ^{137}Cs и ^{90}Sr с 9% до 5% на 1 кг лесной постилки).

Переход радионуклидов из подстилки в нижележащие почвенные слои определяется многими факторами и связан с постепенной минерализацией растительных остатков. Среднегодовые "потери" ^{137}Cs из лесной подстилки в 1991-2001 гг. составили от 2.5-3% на почвах с автоморфным режимом увлажнения до 7-10% на полугидроморфных и гидроморфных почвах величины запаса в этом почвенном горизонте. Ежегодное увеличение

активности в 10-15 и 15-20 см слоях минеральной части почвы достигает 17% от значения предыдущего года при автоморфном режиме увлажнения и 24% – при полугидроморфном и гидроморфном.

Расчеты параметров двухкомпонентного квазидиффузионного уравнения миграции радионуклидов в вертикальном профиле почвы свидетельствуют об определяющем влиянии эдафических факторов на исследуемый процесс (таблица 2 и 3). "Быстрый" коэффициент квазидиффузии ^{137}Cs увеличивается с ~10×10^{-8} см^2/с в почвах автоморфного режима увлажнения до 22×10^{-8} см^2/с для почв полугидроморфного, а "медленный" – от 3-6×10^{-9} см^2/с до 70×10^{-9} см^2/с, соответственно. В черноольховых насаждениях гидроморфного режима увлажнения коэффициенты квазидиффузии ^{137}Cs остаются в диапазоне от 2×10^{-7} до 10^{-6} см^2/с.

Таблица 2 – Параметры двухкомпонентного квазидиффузионного уравнения миграции радионуклидов в вертикальном профиле почв

Насаждения, режим увлажнения почвы	Время после аварии, лет	Параметры уравнения (2)				Вклад в миграцию		Коэффициент корреляции между наблюдаемым и фактическими запасами
		A_f, $n\times10^{-3}$ см$^{-1}$	M_f, $n\times10^{-8}$ см^2/с	A_s, $n\times10^{-3}$ см$^{-1}$	M_s, $n\times10^{-8}$ см^2/с	"быстрая"	"медленная"	
^{137}Cs								
Ельники, ап	5	1.50	10.8	5.00	0.57	23.1	76.9	0.980±0.044
	15	2.64	4.87	3.85	0.19	40.6	59.4	0.996±0.020
Сосняки, ап	5	1.42	11.0	5.00	0.32	22.2	77.8	0.994±0.025
	15	2.60	4.06	5.08	0.15	33.9	66.1	0.991±0.029
Смешанные, ап	5	0.75	9.76	5.00	0.44	13.0	87.0	0.949±0.071
	15	1.00	4.40	6.10	0.21	14.1	85.9	0.859±0.114
Сосняки, пп	5	1.94	14.8	6.87	1.83	22.0	78.0	0.975±0.050
Лиственные, пп	5	5.31	13.5	3.22	1.42	62.2	37.8	0.984±0.039
	15	7.00	8.98	2.00	1.94	77.8	22.2	0.890±0.102
Черноольшанники, гп	5	2.07	22.0	6.96	7.05	22.9	77.1	0.981±0.044
	15	1.16	100	9.27	5.42	11.1	88.9	0.839±0.122
^{90}Sr								
Ельники, ап	15	6.27	4.18	1.70	0.25	78.7	21.3	0.948±0.071
Сосняки , ап	15	6.65	6.50	0.75	0.012	89.8	10.2	0.996±0.020
Смешанные, ап	15	6.26	5.04	0.95	0.024	86.7	13.3	0.989±0.033
Лиственные, пп	15	5.66	4.74	1.01	0.008	84.9	15.1	0.995±0.023
Черноольшанники, гп	15	9.09	8.43	1.00	0.002	99.9	0.10	0.854±0.116

Примечание : применены следующие сокращения для обозначения режимов увлажнения почвы лесных биогеоценозов: ап – автоморфный, пп – полугидроморфный, гп – гидроморфный.

Коэффициент "быстрой" квазидиффузии ^{90}Sr через 15 лет после радиоактивных выпадений находится в диапазоне 4-8×10^{-8} $см^2/с$, при вкладе "быстрой" составляющей миграции до 80%, однако в черноольшанниках вклад данного вида миграции возрастает до 99%. С 1991 по 2001 гг. произошло почти 3 кратное снижение коэффициентов квазидиффузии ^{137}Cs при автоморфном и полугидроморфном режимах увлажнения почвы.

Повышение плодородия почвы на каждую градацию эдафической сетки в свежем гигротопе определяет слабые изменения "быстрого" и "медленного" коэффициентов квазидиффузии ^{137}Cs (M_f ~ 4×10^{-8} $см^2/с$ и M_s ~0.8×10^{-9} $см^2/с$ при повышении вклада последнего в миграционный процесс до ~ 80%). Для ^{90}Sr установлено снижение M_f с 7.8×10^{-7} до 9.8×10^{-8}, а M_s от ~8.7×10^{-9} $см^2/с$ до ~3.5×10^{-10} $см^2/с$ при преобладании "быстрой" миграции (>60%).

Таблица 3 – Параметры двухкомпонентного квазидиффузионного уравнения миграции ^{137}Cs и ^{90}Sr в вертикальном профиле почвы лесных насаждений различных эдафотопов

Эда-фо-топ	Параметры уравнения				Параметры адекватности расчетных и фактических данных		
	"Быстрая" компонента		"Медленная" компонента		Корреля-ционное отношение	Уровень значи-мости	Относительная ошибка прог-нозирования, %
	Вклад, %	M_f, n×10^{-7} $см^2/с$	Вклад, %	M_s, n×10^{-9} $см^2/с$			
^{137}Cs							
A2	30±6	0.39±0.07	70±15	0.73±0.18	0.992	<0.001	6.18
A3	46±7	7.92±2.12	54±11	15.2±3.81	0.998	<0.001	5.11
B2	24±4	0.47±0.09	76±16	1.22±0.31	0.995	<0.001	8.03
C2	22±5	0.37±0.09	78±10	0.78±0.19	0.779	0.03	18.9
^{90}Sr							
A2	74±11	7.80±2.22	26±6	8.69±2.12	0.850	0.001	11.8
A3	72±18	3.16±0.71	28±6	0.92±0.28	0.973	0.004	10.2
B2	64±15	1.51±0.31	36±7	4.68±1.09	0.992	<0.001	5.21
C2	66±13	0.98±0.24	34±7	0.35±0.08	0.983	0.001	11.3

Рассчитанный с помощью параметров двухкомпонентного квазидиффузионного уравнения период полуочищения 0-20 см слоя почвы от ^{137}Cs и ^{90}Sr составляет 24-26 лет с вкладом миграционных процессов <15%. Для 0-10 см слоя предполагается снижение периодов полуочищения от ^{90}Sr с 18-20 лет на почвах с автоморфным и полугидрморфным режимами увлажнения до 14 лет при гидроморфном режиме с соответствующим увеличением вклада миграционных процессов в удаление радионуклида с 37 до 47%. Период полуочищения 0-10 см слоя почвы от ^{137}Cs снижается по мере повышения режима увлажнения почвы от автоморфного к гидроморфному с 28 до 16 лет при увеличении вклада миграционных процессов до 47%.

В пятой главе рассмотрены основные этапы распределения радиоактивных выпадений в лесных биогеоценозах, многолетняя динамика коэффициентов перехода радионуклидов для элементов фитомассы древесных растений, а также влияние факторов, определяющих переход радионуклидов в системе "почва-древесное растение".

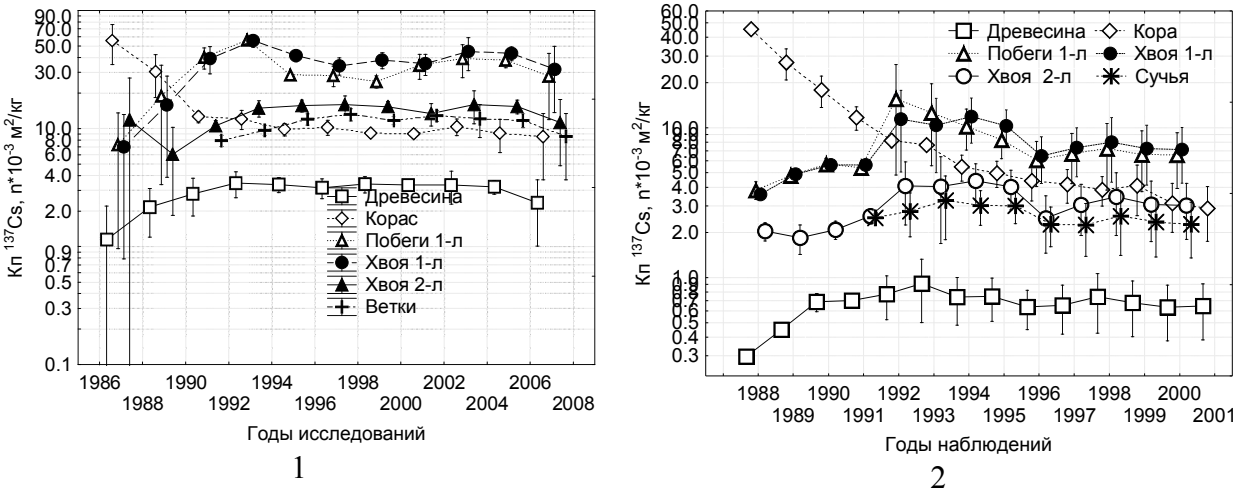
На примере сосновых насаждений выделены три этапа в многолетней динамике радиоактивного загрязнения древесного яруса (рисунок 1):

- интенсивного механического и биологического очищения поверхностно загрязненных элементов надземной фитомассы в течение первого года после поступления радионуклидов в биогеоценоз;

- интенсивного корневого поступления ^{137}Cs в надземную фитомассу в течение 6-8 лет с момента радиоактивных выпадений;

- установления квазиравновесного распределения ^{137}Cs в системе "почва-древесное растение", отличающегося относительно постоянными параметрами накопления.

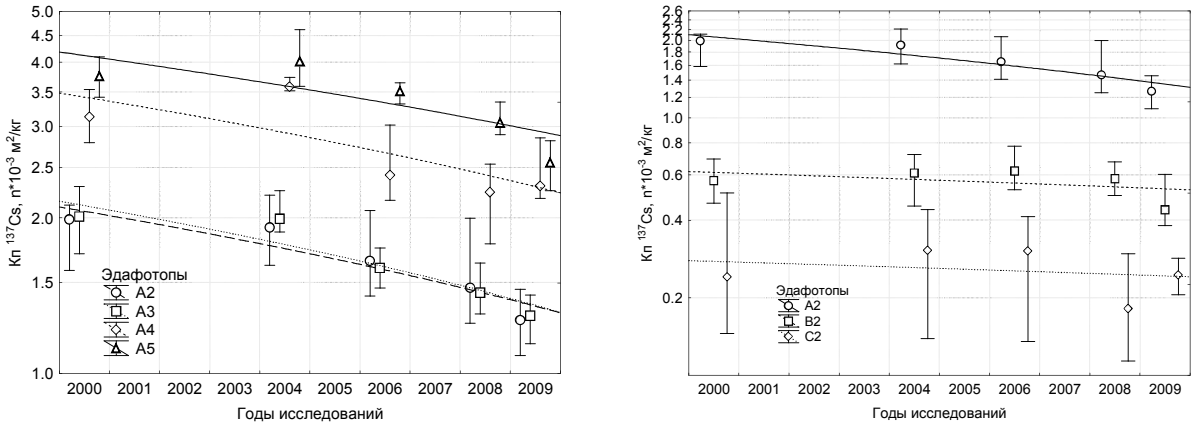
Для древесины сосны в 90-х гг. коэффициент перехода ^{137}Cs стабилизировался на уровне 2-2.5×10^{-3} $м^2$/кг на "ближнем" и 0.7-1.5×10^{-3} $м^2$/кг на "дальнем" следах радиоактивных выпадений (рисунок 1). При установленных различиях в коэффициентах перехода ^{137}Cs и ^{90}Sr для древесины сосны в различных условиях произрастания, многолетняя динамика параметров накопления для них по истечению 15-23 лет с момента выпадений незначительно варьируют со слабой тенденцией к снижению (рисунки 2 и 3).



1 2

1-"ближний" след выпадений, 2 – "дальний" след

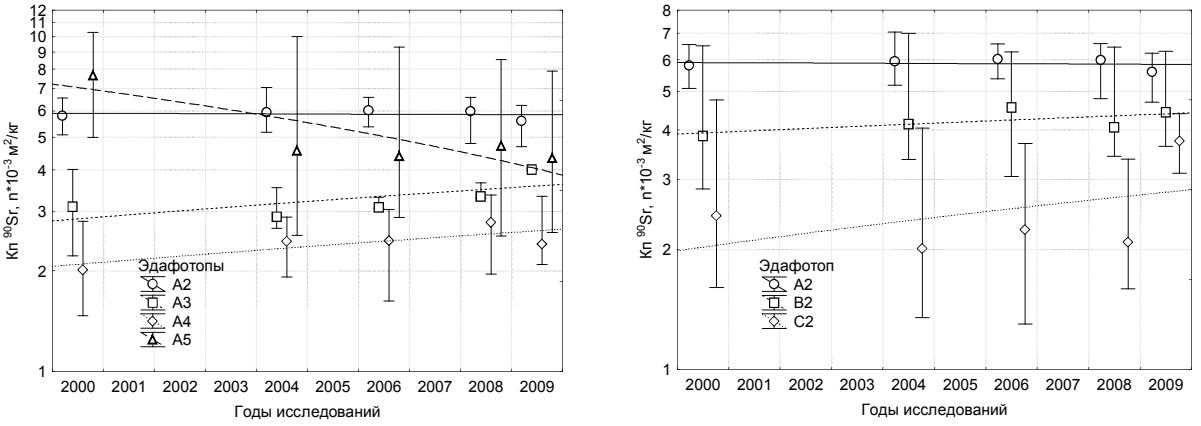
Рисунок 1 - Многолетняя динамика Кп ^{137}Cs для элементов надземной фитомассы сосновых насаждений II класса возраста



1 **2**

1 – A2-A4; 2 – A2-C2

Рисунок 2 – Многолетняя динамика Кп ^{137}Cs для окоренной древесины сосны в типичных эдафотопах



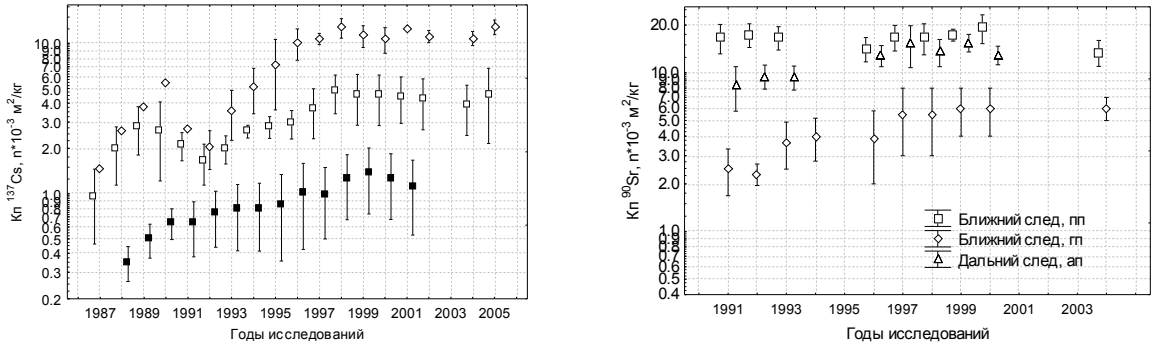
1 **2**

1 – A2-A4; 2 – A2-C2

Рисунок 3 - Многолетняя динамика Кп ^{90}Sr для окоренной древесины сосны в типичных эдафотопах

На этапе интенсивного корневого поступления и установления квазиравновесного распределения радионуклидов в системе "почва-древесное растение" динамику коэффициентов перехода ^{137}Cs и ^{90}Sr для элементов надземной фитомассы определяют биологические (видовые различия древесных растений по накопительной способности радионуклидов) и абиотические (условия увлажнения и плодородия почвы, тип ландшафта) факторы (рисунки 1-6). При этом в типичных эдафотопах установлена быстрая стабилизация коэффициентов перехода (в течение первых 4 лет после поступления радионуклидов в биогеоценоз) с последующими слабовыраженными изменениями для ели (в диапазоне 0.5-0.8×10^{-3} м^2/кг по ^{137}Cs и 7-11×10^{-3} м^2/кг по ^{90}Sr) и осины (3-4×10^{-3} м^2/кг на "ближнем" и 1-2×10^{-3} м^2/кг на "дальнем" следах радиоактивных выпадений по ^{137}Cs.

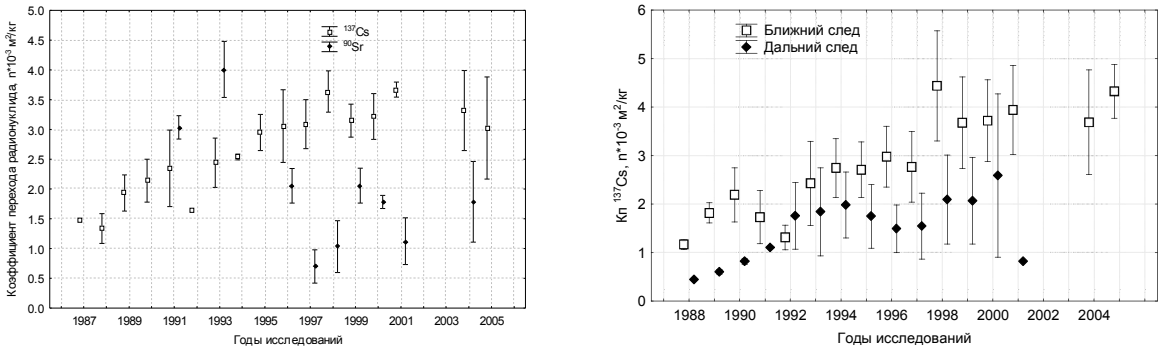
Установлено 3-5 кратное увеличение коэффициентов перехода ^{137}Cs и ^{90}Sr для древесины березы, дуба и ольхи с достижением максимума в конце 90-х гг. и последующей стабилизацией на постоянном уровне (рисунки 4 и 5).



1 2

1 - ^{137}Cs, 2 - ^{90}Sr

Рисунок 4 – Динамика Кп радионуклидов для древесины березы



1 2

1 - ^{137}Cs и ^{90}Sr для дуба, 2 – ^{137}Cs для ольхи черной

Рисунок 5 – Динамика Кп радионуклидов для древесины

Установлено достоверное влияние эдафических факторов на накопление и активность ^{137}Cs и ^{90}Sr для элементов надземной фитомассы древесных растений. Повышение условий увлажнения почвы в ряду свежие-влажные-сырые-мокрые гигротопы определяет увеличение Кп ^{137}Cs для древесины до 4 раз ($F>65$ при $p<0.01$, с силой влияния фактора >25%) и снижение по ^{90}Sr до 5 раз ($F>74$ при $p<0.01$, с силой влияния фактора >47%). Изменение плодородия почвы в ряду боры-субори-сложные субори-дубравы определяет снижение в 3-5 раз коэффициентов перехода обоих радионуклидов для древесины ($F>9$ при $p<0.01$, а сила влияния этого фактора на величину коэффициента перехода превышает 16%). Активность ^{137}Cs в древесине и коре лесообразующих пород в исследованных типах условий местопроизрастания находится в диапазоне от 1 до 4% от общего запаса радионуклида в лесной экосистеме и достоверно изменяется в зависимости от плодородия и условий увлажнения почвы ($F>8$ при $p<0.01$, сила влияния фактора >40%), при этом максимальные величины наблюдаются в сырых и мокрых гигротопах, а минимальных - в свежих и богатых эдафотопах.

Активность ^{90}Sr в древесине и коре различается по исследованным породам: наибольший диапазон значений отмечен у березы, дуба и осины – от 15% до 25%, а минимальный диапазон – у сосны, ели и ольхи – 2-11%. Максимальные значения активностей радионуклида в указанных диапазонах наблюдаются в наиболее бедных и свежих эдафотопах, а минимальные – в богатых и сырых-мокрых, что подтверждается результатами дисперсионного анализа ($F=10-25$ при $p<0.01$, сила влияния фактора до 67%).

Выявлены межвидовые различия в накоплении радионуклидов. В чистых насаждениях различных типов условий местопроизрастания ранжированные ряды по величине накопления ^{137}Cs в древесине и коре имеют следующий вид: ель > сосна > осина > береза и дуб. Максимальным накоплением ^{90}Sr древесиной и корой характеризуется береза и осина, а минимальным – дуб и сосна. Поскольку типичные условия местопроизрастания для ольхи черной (С4-5 и Д4) являются нетипичными для других пород, то это не позволяет провести корректное сравнение ее накопительной способности по отношению к другим породам.

На этапе установления квазиравновесного состояния в распределении радионуклидов в лесных биогеоценозах ранжированный ряд по величинам коэффициентов перехода ^{137}Cs для элементов фитомассы имеет следующий вид: хвоя текущего года (листья) и 1-летние побеги > хвоя прошлогодняя > сучья с корой > кора ствола > древесина ствола. При этом различия между минимально и максимально накапливающими органами (древесиной ствола и ассимилирующими органами текущего года формирования) достигают 15-кратной величины по ^{137}Cs. Для ^{90}Sr наибольшее накопление характерно в хвое прошлого год формирования и коре ствола, несколько меньше в побегах текущего года и сучьях, а минимальное – в окоренной стволовой древесине

В ходе исследований варьирования накопления ^{137}Cs элементами надземной фитомассы основных лесообразующих пород одного класса роста и развития в идентичных лесорастительных условия было установлено, что коэффициент вариации коэффициентов перехода достигает 50%. Вариабельность накопления радионуклидов древесными растениями следует учитывать при прогнозировании радиоактивного загрязнения древесины в информационных системах поддержки принятия управленческих решении.

Изучена структура загрязненности ^{137}Cs и ^{90}Sr древесины и коры основных лесообразующих пород в радиальном направлении ствола и на различных высотах деревьев: от комля к вершине у древесных пород удельная активность ^{137}Cs и ^{90}Sr в древесине увеличивается на 40-60%.

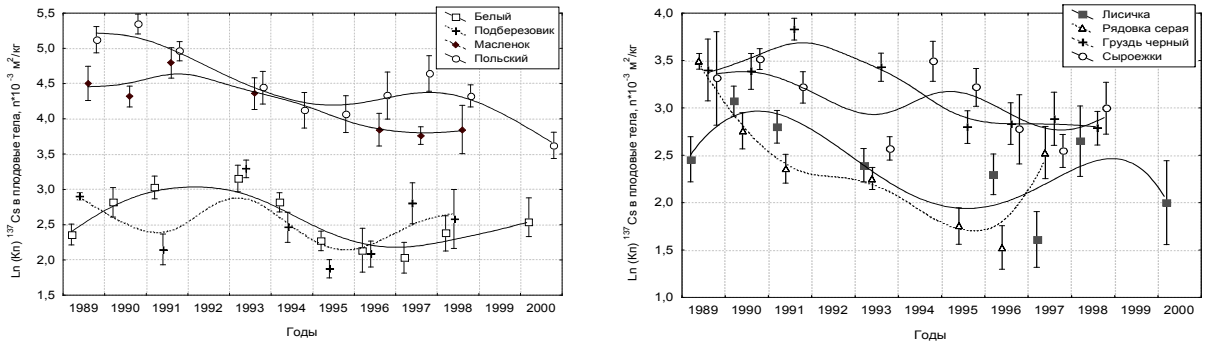
Установлены корреляционные связи между удельной активностью радионуклидов в различных органах и тканях древесных растений, что позволяет оценить содержание радионуклидов во всех элементах фитомассы,

исходя из радиоактивного загрязнения индикаторных элементов (например, коры или хвои текущего года формирования).

Проанализировано накопление ^{137}Cs и ^{90}Sr древесины и коры разновозрастных сосновых насаждений. Не выявлено достоверных различий по накоплению ^{137}Cs между 20, 40, 60 и 100 летними насаждениями, для которых коэффициент перехода радионуклида находиться в диапазоне $1\text{-}2\times10^{-3}$ м^2/кг. По ^{90}Sr установлено достоверное снижение коэффициента перехода для древесины от 20 летних ($12\text{-}16\times10^{-3}$ м^2/кг) к 60 и 100 летним насаждениям ($4\text{-}8\times10^{-3}$ м^2/кг.).

В шестой главе проанализированы многолетняя динамика перехода радионуклидов в некоторые виды пищевой продукции леса и влияние эдафических факторов на накопление ^{137}Cs и ^{90}Sr на отдаленном этапе после радиоактивных выпадений.

Показано, что лесные шляпочные грибы продолжают оставаться наиболее сильными накопителями ^{137}Cs. Многолетняя динамика коэффициентов перехода ^{137}Cs для лесных грибов достоверно описывается сложной аддитивно-мультипликативной зависимостью (рисунок 6). При общем тренде снижения коэффициента перехода наблюдаются периодическое увеличение исследуемого параметра.



1 2

Рисунок 6 – Фактические и спрогнозированные данные по многолетней динамике Ln(Кп) ^{137}Cs для плодовых тел грибов

Эдафические условия произрастания насаждений являются фактором, определяющим накопление ^{137}Cs и ^{90}Sr черникой и земляникой. При повышении плодородия почв на каждую градацию эдафической сетки снижаются коэффициенты перехода ^{137}Cs для ягод черники от 8.5×10^{-3} м^2/кг в боровых до 4×10^{-3} м^2/кг в суборевых трофотопах ($F=51.6$ при $p<0.001$, сила влияния фактора 15%) и ягод земляники от 1.5×10^{-3} м^2/кг в А2 до 0.2×10^{-3} м^2/кг в С2 ($F=35.7$ при $p<0.001$, сила влияния фактора 55%). Накопление ^{90}Sr ягодами земляники практически не зависит от плодородия почвы и находится на уровне 10×10^{-3} м^2/кг.

Изменение увлажнения почвы от свежих к влажным и далее к сырым-мокрым гиротопам определяет увеличение коэффициентов перехода ^{137}Cs для ягод черники: от 5×10^{-3} м^2/кг в эдафотопе А2 до 15×10^{-3} м^2/кг в эдафотопе А5 ($F=54$ при $p<0.001$, а сила влияния фактора достигает 49%). Коэффициент перехода ^{90}Sr при аналогичном повышении увлажнения почвы снижается от 2×10^{-3} м^2/кг (А2) до 0.6×10^{-3} м^2/кг в (А5). Многолетняя динамика коэффициентов перехода ^{137}Cs для ягод черники и земляники в наиболее типичных условиях произрастания удовлетворительно описывается двухкомпонентной экспоненциальной зависимостью (рисунок 7).

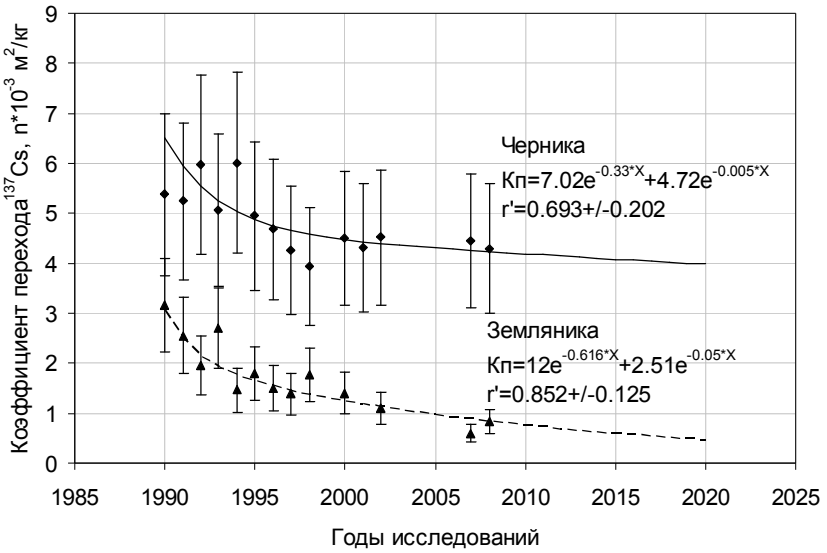
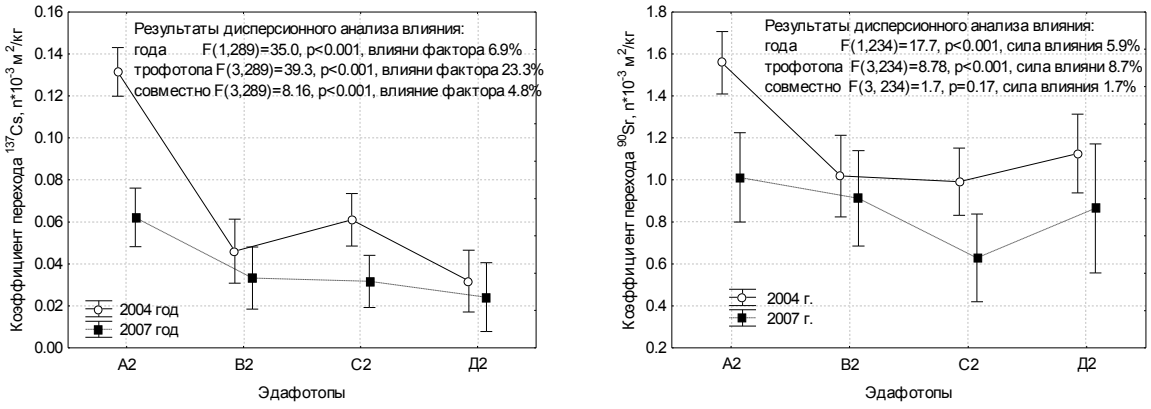


Рисунок 7 – Многолетняя динамика Кп ^{137}Cs для черники и земляники

В течение последних 10 лет наблюдаются относительно постоянные параметры перехода ^{137}Cs в ягоды черники, с большой вероятностью коэффициент перехода радионуклида составит $3\text{-}6\times10^{-3}$ м^2/кг, и для земляники – $0.5\text{-}1.5\times10^{-3}$ м^2/кг. Коэффициент перехода ^{90}Sr стабилизировался на уровне $10\text{-}15\times10^{-3}$ м^2/кг для ягод земляники и $0.8\text{-}2\times10^{-3}$ м^2/кг для ягод черники в типичных для данных видов условиях произрастания.

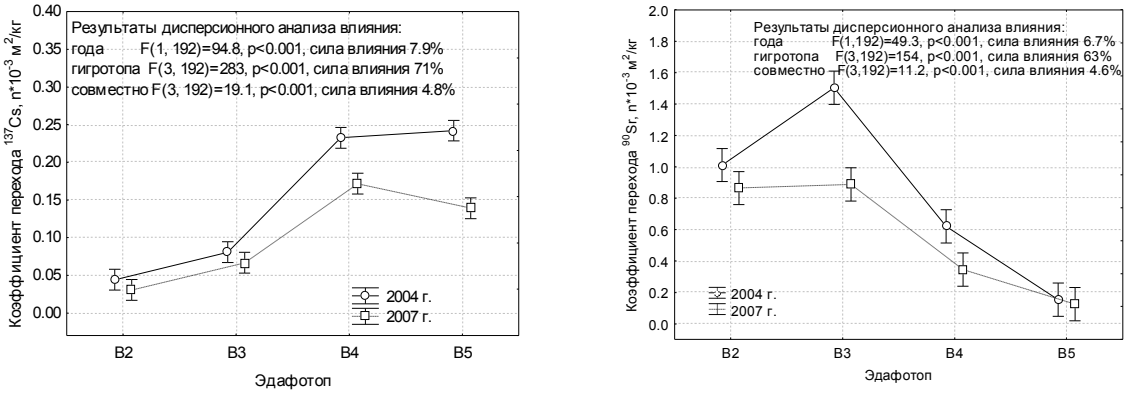
Показано определяющее влияние эдафических условий на накопление радионуклидов березовым соком. В свежем гигротопе повышение плодородия почвы в ряду боровые – суборевые - сложные суборевые - дубравные трофотопы определяет достоверное снижение коэффициента перехода ^{137}Cs от 0.13×10^{-3} м^2/кг до 0.03×10^{-3} м^2/кг и ^{90}Sr – от 1.86×10^{-3} м^2/кг до 1×10^{-3} м^2/кг (рисунок 8 и 9). В суборевом трофотопе с увеличением увлажнения почвы в ряду свежие-влажные-сырые-мокрые гигротопы установлено достоверное возрастание коэффициента перехода ^{137}Cs с 0.04×10^{-3} м^2/кг до 0.24×10^{-3} м^2/кг и снижение ^{90}Sr – с 0.96×10^{-3} м^2/кг до 0.16×10^{-3} м^2/кг. По всем эдафотопам более низкие коэффициенты перехода отмечены в 2007 г.



1 2

1 – ^{137}Cs ; 2 – ^{90}Sr

Рисунок 8 – Влияние плодородия почвы на Кп радионуклидов для березового сока



1 2

1 – ^{137}Cs ; 2 – ^{90}Sr

Рисунок 9 – Влияние плодородия почвы на Кп радионуклидов для березового сока

В седьмой главе рассмотрены основные концептуальные подходы к ведению лесного хозяйства в условиях радиоактивного загрязнения и пути совершенствования методической базы проведения радиоэкологических исследований, проанализированы возможные пути реабилитации лесных насаждений, предложено планирование использования лесных ресурсов на радиационно-типологической основе.

На первом этапе после аварийных радиоактивных выпадений основной целью ведения лесного хозяйства является сохранение и усиление роли леса как аккумулятора радиоактивных выпадений и предотвращение вторичного переноса радионуклидов на сопредельные территории при минимизации доз внешнего облучения для работников лесного хозяйства. В связи со значительным поверхностным радиоактивным загрязнением надземной фитомассы лесных растений на данном этапе целесообразно временно отказаться от лесопользования в зонах радиоактивного загрязнения с преобладанием в составе выпадений коротко- и среднеживущих радионуклидов, за исключением противопожарных и лесозащитных

мероприятий, а также не проводить захоронение сильно загрязненных древостоев.

На отдаленном этапе после аварийных выпадений главной задачей ведения лесного хозяйства в условиях радиоактивного загрязнения является определение параметров радиоактивного загрязнения лесных насаждений, сохранение и усиление роли леса как аккумулятора аварийных выпадений, предотвращение вторичного переноса радионуклидов на сопредельные территории, оптимизация использования лесных ресурсов.

Предложены пути совершенствования методик проведения радиоэкологического мониторинга лесных насаждений в условиях радиоактивного загрязнения. В первый год после аварийных выпадений при преимущественно аэральном характере радиоактивного загрязнения рекомендуется осуществлять отбор образцов элементов фитомассы непосредственно экспонированных к выпадениям с периодичностью не менее 2 раз в неделю, что позволит отследить динамику ее загрязнения. На этапе интенсивного корневого поступления рекомендуется ежегодный отбор образцов элементов фитомассы с одних и тех же модельных деревьев (древесину с 20-30 деревьев с помощью приростного бурава, кору – 5-10, ассимилирующие органы, побеги и сучья с не менее чем 5 деревьев). На этапе установления квазиравновесного распределения радионуклидов рекомендуется отбор проб фитомассы с периодичностью один раз в 3-5 лет, что позволит существенно (до 5 раз) снизить затраты на проведение радиоэкологического мониторинга.

Разработана и внедрена методика оценки неравномерности радиоактивного загрязнения кварталов леса, предусматривающие порядок и периодичность проведения детальных и производственных радиационных обследований с определением плотности загрязнения почвы ^{137}Cs, оценки неравномерности загрязнения исходя из мощности дозы внешнего γ-излучения, измеренной по периметру квартала и отнесения квартала леса к соответствующей зоне радиоактивного загрязнения в зависимости от неравномерности его загрязнения.

Предложены коэффициенты для экспресс-оценки удельной активности ^{137}Cs в окоренной и неокоренной древесине основных лесообразующих пород исходя из загрязненности коры ствола данным радионуклидом.

Основой для оптимизации использования лесных ресурсов являются достоверные различия в коэффициентах перехода радионуклидов для древесины основных лесообразующих пород и некоторых видов пищевой продукции леса в различных типах условий местопроизрастания, что позволит в условиях радиоактивного загрязнения на этапе планирования лесопользования определить перечень лесных насаждений, в которых

возможно получение продукции соответствующей нормативам (РДУ-99 или РДУ/ЛХ-2001).

Показано, что наибольшие ограничения на заготовку среди видов пищевой продукции леса должны коснуться грибов-аккумуляторов ^{137}Cs (польский, масленок осенний, свинушка тонкая) в их типичных условиях произрастания: 25% вероятность превышения норматива РДУ-99 возможна при плотности загрязнения почвы > 3 кБк/м^2 (> 0.08 Ки/км^2).

В типичных эдафотопах для черники (А3, А4 и В4) при плотности загрязнения почвы ^{137}Cs < 20 кБк/м^2 (< 0.5 Ки/км^2) возможно превышение норматива РДУ-99 с вероятностью <25%. Критичными к накоплению ^{137}Cs остаются мокрые гигротопы А5, где при плотности загрязнения почвы свыше 10 кБк/м^2 статистически значима вероятность превышения норматива в ягодах черники. Значительный переход ^{90}Sr в ягоды земляники требует ограничения их потребления практически при фоновых уровнях загрязнения радионуклидом почвы – 3-6 кБк/м^2 (0.08-0.16 Ки/км^2).

Выполнены расчеты допустимых плотностей загрязнения почвы для заготовки древесины с заданными вероятностями превышения норматива (РДУ/ЛХ-2001) для основных лесообразующих пород в различных условиях произрастания (таблица 4).

В бедных и относительно бедных эдафотопах получение неокоренной древесины основных лесообразующих пород, соответствующей нормативу РДУ/ЛХ-2001 740 Бк/кг возможно в I зоне радиоактивного загрязнения (до 185 кБк/м^2 по ^{137}Cs). Повышение плодородия почвы к сложным судубравам и дубравам определяет возможность получения древесины, соответствующей нормативу в III зоне радиоактивного загрязнения (до 1480 кБк/м^2 по ^{137}Cs). Повышение увлажнения почвы от свежих к влажным и далее к сырым гигротопам определяет увеличение накопления ^{137}Cs в древесине и вероятность превышения допустимого норматива на содержание в ней радионуклида даже в Ia зоне радиоактивного загрязнения (до 74 кБк/м^2).

На примере Ветковского спецлесхоза показана возможность оптимизации главного лесопользования с применением предложенного метода оценки допустимой плотности загрязнения ^{137}Cs древесины основных лесообразующих пород для различных типов условий местопроизрастания (таблица 5). Затраты на проведение радиационных обследований лесосек только в Ветковском спецлесхозе можно сократить в 3.7 раза для территории с плотностью загрязнения ^{137}Cs 1-15 Ки/км^2 и в 5.5 раз для территории 1-40 Ки/км^2. Это достигается путем исключения из перечня обследуемых предполагаемых лесосек тех из них, для которых вероятность превышения норматива по содержанию ^{137}Cs в древесине пренебрежимо мала (< 5 %) и участков леса для которых вероятность превышения весьма значима (> 75 %).

Соответственно, рекомендуется обследовать 114 из 423 выделов в I-II зонах радиоактивного загрязнения и 167 из 673 – в I-III. Важно отметить, что рассмотрен самый загрязненный лесхоз Республики, но поскольку минимальная вероятность превышения норматива РДУ/ЛХ-2001 в древесине прогнозируется, как правило, при плотностях загрязнения почвы 1-5 Ки/км^2, то наибольший эффект от внедрения предложенных методов оценки лесопользования будет достигаться в лесхозах, находящихся на данных территориях.

Таблица 4 - Допустимые плотности загрязнения почвы ^{137}Cs для удельной активности древесины сосны с заданной вероятностью превышение норматива (740 Бк/кг)

Эдафотоп	Вероятность превышения норматива РДУ/ЛХ-2001, %	Плотность загрязнения почвы ^{137}Cs	
		кБк/м^2	Ки/км^2
А2	< 5	< 169	< 4.6
	< 25	< 235	< 6.3
	> 75	> 465	> 12.6
А3	< 5	< 154	< 4.0
	< 25	< 195	< 5.3
	> 75	> 418	> 11.3
А4	< 5	< 103	< 2.8
	< 25	< 133	< 3.6
	> 75	> 280	> 7.0
В2	< 5	< 470	< 12.7
	< 25	< 635	< 17.2
	> 75	> 1300	> 35
С2	< 5	< 1110	< 30
	< 25	< 1480	< 40
	> 75	> 3030	> 82

Таблица 5 – Распределение выделов со спелыми и приспевающими насаждениями по вероятности превышения норматива 740 Бк/кг в Ветковском спецлесхозе

Древесная порода	Вероятность превышения норматива, %	В зонах радиоактивного загрязнения					
		I-II (1-15 Ки/км^2)			I-III (1-40 Ки/км^2)		
		Количество выделов	Общая площадь, га	Запас, м^3	Количество выделов	Общая площадь, га	Запас, м^3
По всем лесообразующим породам	<5	72	257.1	55895	76	245.9	53349
	5-75	114	516.5	113110	167	646.6	138673
	>75	237	997.3	193342	673	2296.4	466776
	Всего	423	1770.9	362347	916	3188.9	658798

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные научные результаты диссертации:

На основании результатов комплексных многолетних радиоэкологических исследований в лесных биогеоценозах, направленных на изучение радиационной обстановки и миграции радионуклидов в системах "лесная подстилка-почва", "почва-растение" сделаны следующие выводы:

1) Впервые для лесных насаждений Республики Беларусь выполнена оценка многолетней динамики снижения мощности дозы внешнего γ-излучения. В первые годы после радиоактивных выпадений период полууменьшения мощности дозы на "ближнем" следе составлял 1.2-1.4 года и ~2.2 года на "дальнем" следе радиоактивных выпадений, что было связано с различным парциальным вкладом среднеживущих радионуклидов в спектре γ-излучения. По истечению более чем 6 лет после выпадений период полууменьшения мощности дозы не превышает 18 лет независимо от следа радиоактивных выпадений [1, с.40; 6, с.18-19; 5; 15; 24; 32; 51; 55]. Впервые установлено, что при равной плотности загрязнения почвы ^{137}Cs мощность дозы внешнего γ-излучения выше в 1.3-1.5 раза в свежих гигротопах по сравнению с сырыми и мокрыми [1, с. 42; 55], что связано с различной интенсивностью миграции радионуклида в вертикальном профиле почвы [1, с.107-108; 2; 9; 10; 11; 16; 30; 47; 53; 63].

2) Впервые для лесных биогеоценозов Республики Беларусь, загрязненных аварийными радиоактивными выбросами ЧАЭС, установлен диапазон коэффициентов вариации мощности дозы и плотности загрязнения почвы ^{137}Cs на "дальнем" следе радиоактивных выпадений (15-35%). Неравномерность радиоактивного загрязнения кварталов леса необходимо учитывать при их отнесении к зонам радиоактивного загрязнении [1, с.47-55; 6, с.35; 33].

3) Распределение радионуклидов в вертикальном профиле лесных почв соответствует экспоненциальной зависимости и определяется рядом факторов, наиболее важными из которых являются эдафические условия произрастания лесных биогеоценозов [1, с. 65-66; 2; 3, с.86; 6, с.38; 9; 10; 11; 18; 24; 27; 30; 36; 45; 47; 53; 55; 56; 57; 62; 65; 66].

Изменение режима увлажнения почвы от автоморфного к гидроморфному определяет увеличение интенсивность выноса ^{137}Cs из лесной подстилки в 2-4 раза, вклада "быстрой" компоненты миграции до 70% и "быстрого" коэффициента квазидиффузии до 100×10^{-8} см^2/сек, до 26 лет снижается период полуочищения корнеобитаемого слоя почвы при возрастании миграционных процессов в вынос ^{137}Cs до 13%. Для ^{90}Sr при

таком же изменении условий увлажнения "быстрый" коэффициент квазидиффузии возрастает до 8×10^{-8} см^2/с, а его вклад – до 90% [1, с. 108-111; 16].

Повышение плодородия почвы от боровых к дубравным трофотопам определяет снижение активности ^{137}Cs и ^{90}Sr в лесной подстилке, уменьшение обоих коэффициентов квазидиффузии радионуклидов, увеличение периода полуочищения поверхностного корнеобитаемого слоя почвы до 27 лет при снижении вклада миграционных процессов в удаление ^{137}Cs до 9% [1, с. 108-111; 16]. Полученные данные о миграции радионуклидов в вертикальном профиле почвы являются основой для подготовки прогнозных моделей радиоактивного загрязнения древесины и некоторых видов пищевой продукции леса.

4) Выделены три этапа многолетней динамики радиоактивного загрязнения древесного яруса лесных биогеоценозов вследствие аварийных выпадений [1, с. 122; 6, с. 57-58; 7; 18; 31; 33; 34; 41; 46; 50; 59; 61; 66]: интенсивного механического и биологического очищения поверхностно загрязненных элементов надземной фитомассы в течение первого года после радиоактивных выпадений; интенсивного корневого поступления ^{137}Cs в надземную фитомассу в течение последующих 6-8 лет с 5-8-кратным увеличением содержания радионуклидов для всех частей древесного растения; установления квазиравновесного распределения радионуклидов между компонентами лесного биогеоценоза и в системе "почва-растение". На втором и третьем этапах (интенсивного накопления и установления квазиравновесного распределения в биогеоценозе) изменения удельной активности радионуклидов в элементах фитомассы связаны с биологическими (видовые различия древесных растений по накопительной способности радионуклидов) и абиотическими (условия увлажнения и плодородия почвы, тип ландшафта) факторами [1, с.139-141, с.148-150, с.165-170; 23; 35; 38; 52; 68].

Впервые для лесных биогеоценозов Республики Беларусь установлена быстрая стабилизация (в течение первых 5 лет с момента радиоактивных выпадений) коэффициентов перехода ^{137}Cs и ^{90}Sr для древесины ели, осины и сосны в наиболее характерных для них условиях произрастания [1, с.166]. При этом для сосны коэффициенты перехода ^{137}Cs и ^{90}Sr по истечению 14-24 лет с момента поступления радионуклидов в лесной биогеоценоз претерпевают незначительное варьирование со слабой тенденцией к снижению [42; 67].

Для древесины березы, дуба и ольхи, произрастающих на почвах с полугидроморфным и гидроморфным режимами увлажнения, установлено 3-5- кратное увеличение коэффициентов перехода ^{137}Cs и ^{90}Sr на протяжении

12-15 лет с момента радиоактивных выпадений и с последующей стабилизацией на постоянном уровне [1, с.166-167].

5) Впервые экспериментально доказано снижение до 5 раз коэффициентов перехода ^{137}Cs и ^{90}Sr для древесины основных лесообразующих пород в лесных биогеоценозах Республики Беларусь при повышении плодородия почвы от боровых к дубравным трофотопам. До 4 раз увеличиваются коэффициенты перехода ^{137}Cs для древесины и до 5 раз снижаются по ^{90}Sr при повышении увлажнения почвы в ряду свежие – влажные – сырые – мокрые гигротопы [1, с.165-168; 6, с. 61-62; 8; 9; 25; 26; 28; 29; 45; 54; 63].

Впервые установлено снижение активности ^{137}Cs в древесине и коре основных лесообразующих пород от 6% до 1% общей в биогеоценозе по мере повышения плодородия почвы и снижения ее увлажнения. Активность ^{90}Sr в древесине и коре различается по основным лесообразующим породам: наибольший диапазон значений отмечен у березы, дуба и осины – от 15% до 25%, а минимальный диапазон – у сосны, ели и ольхи – 2-11%. Наибольшие значения активностей радионуклида из вышеприведенных диапазонов наблюдаются в наиболее бедных и свежих эдафотопах, а минимальные – в богатых и сырых-мокрых [1, с.158-160; 6, с. 61-62; 8; 9; 12; 14; 25; 26; 28; 29; 31; 39; 42; 52; 54; 63].

6) Впервые в условиях Республики Беларусь установлено снижение в 2-5 раз коэффициентов перехода ^{137}Cs и ^{90}Sr для некоторых видов лесных ягод и березового сока при повышении плодородия почвы от боровых к дубравным трофотопам. Увеличение увлажнения почвы от свежих к мокрым гигротопам определяет увеличение параметров накопления ^{137}Cs в исследуемые виды пищевой продукции леса до 6 раз и снижение по ^{90}Sr – до 5 раз [1, с. 192-193, с. 196-202; 19; 21; 22; 43; 64; 68; 69].

Многолетняя динамика коэффициентов перехода ^{137}Cs для некоторых видов плодовых тел шляпочных грибов аппроксимирована сложной аддитивно-мультипликативной зависимостью [1, с. 185-189; 17; 20; 60]. Коэффициенты перехода ^{137}Cs для ягод черники и земляники в наиболее типичных условиях произрастания удовлетворительно описываются двухкомпонентной экспоненциальной зависимостью [1, с. 195; 6, с. 68; 13; 17; 44; 49; 58], и в течение последних 10 лет коэффициенты перехода практически стабилизировались.

Рекомендации по практическому применению

1) Разработаны и внедрены в производственную деятельность ГУ "Беллесрад" для ведения лесного хозяйства на радиоактивно загрязненных территориях "Инструкция по отнесению лесных кварталов к зонам радиоактивного загрязнения" и ТКП "Радиационный контроль. Обследование земель лесного фонда. Порядок проведения. = Радыяцыйны кантроль. Абследванне земляў ляснога фонду. Парадак правядзення : ТКП 240-2010 (02080)", предусматривающие порядок проведения радиационных обследований кварталов леса, периодичность обследований лесного фонда, порядок детальных и производственных обследований с определением плотности загрязнения почвы ^{137}Cs, оценки неравномерности загрязнения исходя из мощности дозы внешнего γ-излучения, измеренной по периметру квартала и отнесения квартала леса к соответствующей зоне радиоактивного загрязнения в зависимости от неравномерности его загрязнения (акт внедрения результатов научных исследований 21 января 2010 г.).

2) Разработаны и внедрены допустимые уровни содержания ^{137}Cs в лесоматериалах (Республиканские допустимые уровни содержания цезия-137 в древесине, продукции из древесины и древесных материалов и прочей непищевой продукции лесного хозяйства (РДУ/ЛХ-2001). – 2.6.1.10-1-01-2001) для применения в лесохозяйственном производстве на радиоактивно загрязненной территории Республики Беларусь на отдаленном этапе после аварийных выпадений с учетом коэффициентов перехода радионуклида в системе "почва-древесное растение" и установленных закономерностей в распределении радионуклидов по органам и тканям основных лесообразующих пород (акт внедрения результатов научных исследований от 11 февраля 2010 г.).

3) Разработана и внедрена в информационную систему RADFORVIEW для лесохозяйственных единиц Полесско-Приднепровского комплекса лесных массивов прогнозная модель, обеспечивающая получение достоверных данных по плотности загрязнения почвы, удельной активности ^{137}Cs и вероятности превышения нормативов РДУ/ЛХ-2001 в лесоматериалах и древесном топливе основных лесообразующих пород в зависимости от эдафических условий произрастания лесных биогеоценозов для обоснования принятия управленческих решений при планировании использования древесины на радиоактивно-загрязненных территориях (акт внедрения от 25 февраля 2010 г.). Применение прогноза загрязнения древесины основных лесообразующих пород с учетом их эдафических условий произрастания в информационной системе при планировании лесопользования позволяет

снизить трудозатраты на проведение радиационных обследований лесосек главного пользования в пределах одного лесхоза более чем в 3.7 раза.

Данные по коэффициентам перехода ^{137}Cs для древесины основных лесообразующих пород в различных типах лесорастительных условий на территории Ветковского, Гомельского, Костюковичского и Лунинецкого лесхозов применены при разработке "Рекомендаций по оптимизации лесопользования в условиях радиоактивного загрязнения. № 000080 от 26 ноября 2007 г. ", определяющих допустимые плотности загрязнения почвы ^{137}Cs для получения лесоматериалов, соответствующих нормативам РДУ/ЛХ-2001 в различных лесорастительных районах Республики Беларусь (акт внедрения от 18 февраля 2010 г.).

Разработаны и внедрены в хозяйственную деятельность Полесского государственного радиационно-экологического заповедника "Рекомендации по определению допустимых плотностей загрязнения почвы ^{137}Cs для планирования ограниченного объёма использования древесины с нормативным содержанием цезия-137 в Полесском государственном радиационно-экологическом заповеднике", предназначенные для определения объёма древесины основных лесообразующих пород в зависимости от условий произрастания с нормативным содержанием ^{137}Cs при планировании ограниченного лесопользования на данной территории при плотности загрязнения почвы до 40 Ки/км^2.

4) Разработана и внедрена в информационную систему RADFORVIEW для лесохозяйственных единиц Полесско-Приднепровского комплекса лесных массивов прогнозная модель, обеспечивающая получение достоверных данных по плотности загрязнения почвы, удельной активности ^{137}Cs и вероятности превышения нормативов РДУ-99 в лесных ягодах в зависимости от эдафических условий произрастания лесных биогеоценозов для обоснования принятия управленческих решений при планировании использования пищевой продукции леса на радиоактивно-загрязненных территориях (акт внедрения от 28 января 2010 г.).

5) Подготовлено и внедрено в учебный процесс кафедры лесохозяйственных дисциплин биологического факультета УО ГГУ им. Ф. Скорины учебное пособие по радиационной экологии леса "Основы ведения лесного хозяйства в условиях радиоактивного загрязнения", применяемое при преподавании курса "Радиационное лесоводство" и содержащее новые данные по масштабам радиоактивного загрязнения, радиобиологическим эффектам в лесных насаждениях, закономерностям миграции радионуклидов в лесных биогеоценозах на различных этапах после радиоактивных выпадений.

6) Разработаны предложения по мероприятиям радиоэкологического мониторинга лесных биогеоценозов на территориях, загрязненных вследствие радиационных аварий и катастроф, дифференцированные по времени с момента радиоактивного загрязнения лесных насаждений, обеспечивающие повышение точности данных радиоэкологического мониторинга до 2 раз за счет применения современных методических подходов и снижению затрат на проведение радиоэкологического мониторинга леса на отдаленном этапе после радиоактивных выпадений от 2 до 5 раз за счет оптимизации периодичности отбора образцов компонент биогеоценоза [24; 27; 29; 42; 48].

7) Разработано учебное пособие "Радиоэкология", которое рекомендовано Научно-методическим центром учебной книги и средств обучения Министерства образования Республики Беларусь в качестве пособия для студентов биологических специальностей высших учебных заведений [4; 5].

8) Разработан пробоотборник для послойного извлечения образцов грунта, применяемый с целью определения удельной активности радионуклидов в вертикальном профиле почвы (пат. 3793 Республики Беларусь [70]).

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Монография

1. Переволоцкий, А.Н. Распределение ^{137}Cs и ^{90}Sr в лесных биогеоценозах / **А.Н. Переволоцкий.** – Гомель: РНИУП "Институт радиологии", 2006. – 255 с.

Коллективные монографии в соавторстве:

2. Ипатьев, В.А. Лес и Чернобыль (Лесные экосистемы после аварии на Чернобыльской АЭС, 1986-1994 гг.). / В.А. Ипатьев, И.М. Булавик, **А.Н. Переволоцкий** [и др.]; под ред. В.А. Ипатьева. – Минск:МНПП "Стенер", 1994. – 248 с.

3. Ипатьев, В.А. Лес. Человек. Чернобыль. Лесные экосистемы после аварии на Чернобыльской АЭС: состояние, прогноз, реакция населения, пути реабилитации / В.А. Ипатьев, И.М. Булавик, **А.Н. Переволоцкий**, [и др.]; под общ. ред. акад. В.А.Ипатьева. - Гомель: Ин-т леса НАН Беларуси, 1999. - 454 с.

Учебные пособия

4. Переволоцкий, А.Н. Радиоэкология / **А.Н. Переволоцкий,** А.В. Гаврилов, И.М. Булавик, В.И. Толкачев // Учебное пособие. – Гомель: Изд-во ГГУ, 1997. - 90 с.

5. Переволоцкий, А.Н. Радиоэкология / **А.Н. Переволоцкий**, А.В. Гаврилов, И.М. Булавик // Пособие для студентов биологич. специальностей высших учебных заведений. – Минск: НПООО "Пион", 2000. - 112 с.

6. Переволоцкий, А.Н. Основы ведения лесного хозяйства в условиях

радиоактивного загрязнения / **А.Н. Переволоцкий,** И.М. Булавик – Минск: Белгослес, 2003. – 144 с.

Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата наук

7. Переволоцкий, А.Н. Закономерности миграции ^{137}Cs в основных компонентах сосняка мшистого Гомельского Полесья: автореф. дисс.... канд. с.-х. наук: 06.03.03 / **А.Н. Переволоцкий**: Институт леса НАН Беларуси. - Гомель, 1995. - 22 с.

Статьи в научных журналах перечня ВАК Российской Федерации

8. Переволоцкий, А.Н. Накопление ^{137}Cs и ^{90}Sr древесиной березы бородавчатой (B*etula pendula* Roth.) в различных условиях местопроизрастания / **А.Н. Переволоцкий**, И.М. Булавик, Т.В. Переволоцкая [и др.] // Радиац. биология. Радиоэкология, 2005. – Т. 45, №4. – С.498–505.

9. Переволоцкий, А.Н. Особенности распределения ^{137}Cs и ^{90}Sr в почве и накопления древесиной и корой сосны (*Pinus silvestris* L.) в различных условиях местопроизрастания / **А.Н. Переволоцкий**, И.М. Булавик, Т.В. Переволоцкая [и др.] // Радиац. биология. Радиоэкология, 2007. – Т. 47, №4. – С. 463–470.

10. Переволоцкий, А.Н. Прогнозная оценка накопления ^{137}Cs в древесине сосновых насаждений "ближнего" следа радиоактивных выпадений Чернобыльской АЭС / **А.Н. Переволоцкий**, И.М. Булавик, Т.В. Переволоцкая [и др.] // Радиац. биология. Радиоэкология, 2007. – Т. 47, №6. – С. 1-7.

11. Переволоцкая, Т.В. О влиянии подтопления на распределение ^{137}Cs и ^{90}Sr в лесном биогеоценозе / Т.В. Переволоцкая, И.М. Булавик, **А.Н. Переволоцкий** // Радиац. биология. Радиоэкология, 2009. – Т. 49, №3. – С.291–301.

12. Переволоцкий, А.Н. Обоснование ведения системы радиоэкологического мониторинга в лесных биогеоценозах на различных этапах после аварийных радиоактивных выпадений / **А.Н. Переволоцкий,** Т.В. Переволоцкая // Радиац. биология. Радиоэкология. 2012. – Том 52. № 3. – С.312-316.

13. Переволоцкая, Т.В. К вопросу о применении вероятностного подхода при оценке загрязнения пищевой продукции леса ^{137}Cs / Т.В. Переволоцкая, **А.Н. Переволоцкий** // Радиация и риск, 2012. – Том 21. №3. – С. 91-96.

14. Переволоцкий, А.Н. Оценка вовлечения ^{137}Cs в биологический круговорот сосновыми биогеоценозами // **А.Н. Переволоцкий,** Т.В. Переволоцкая // Радиац. биология. Радиоэкология. 2012. – Том 52. № 4. – С.401-408.

15. Переволоцкий, А.Н.К вопросу о многолетней динамике мощности дозы внешнего γ-излучения в лесных биогеоценозах / **А.Н. Переволоцкий** // Радиация и риск, 2012. – Том 21. №4. – С. 61-65.

16. Переволоцкий, А.Н. Прогнозирование вертикального распределения ^{137}Cs и ^{90}Sr в лесных почвах Республики Беларуси / **А.Н. Переволоцкий,** Т.В. Переволоцкая // Радиац. биология. Радиоэкология, 2012. Том 52. № 6. – С.625-635.

17. Переволоцкий, А.Н. Оценка содержания ^{137}Cs в лесных грибах и ягодах в зоне штатных выбросов Белорусской АЭС / **А.Н. Переволоцкий,** Т.В. Переволоцкая // Радиация и риск, 2013. – Том 22. № 2. – С. 61-65.

Статьи в иностранных научных журналах

18. Forest and Chernobyl: Forest ecosystems after the Chernobyl nuclear power plant accident:1986-1994. V. Ipatyev, I. Bulavik, **A. Perevolotsky [et al]**. Journal of Environmental Radioactivity, 42, 1999. – P.9-38.

Статьи в иных научных журналах

19. Переволоцкий, А.Н. Особенности накопления ^{90}Sr и ^{90}Y в березовом соке / **А.Н. Переволоцкий**, И.М. Булавик, Л.Г. Диденко // Весці НАН Беларусі.. Сер. біял. навук. – 2001. – №4. – С. 27-31.

20. Переволоцкий, А.Н. Некоторые особенности накопления ^{137}Cs съедобными грибами / **А.Н. Переволоцкий** // Известия ГГУ им. Ф.Скорины: Биология. – Гомель, 2002. – №4 (13). – С. 66 -72.

21. Переволоцкий, А.Н. Определение удельной активности ^{137}Cs в пробах малого объема с помощью бета-гамма-спектрометра El-1315 / **А.Н. Переволоцкий**, В.А. Собченко // Известия Гомельского гос. университета. Биология. – 2002. - №4 (13). – С. 112-117.

22. Собченко, В.А. Мохообразные как фактор накопления ^{137}Cs в лесных экосистемах / В.А. Собченко, О.М. Храмченкова, **А.Н. Переволоцкий** // Известия Гомельского гос. университета. Биология. – 2002. - №3 (12). – С. 21-35.

23. Булавик, И.М. О вариабельности накопления ^{137}Cs сосной обыкновенной / И.М. Булавик, **А.Н. Переволоцкий** // Весці НАН Беларусі. Сер. біол. навук. – 2003. – № 1. – С. 24–29.

24. Переволоцкий, А.Н. Динамика дозовых показателей в "ближней" и "дальней" зонах аварийных выпадений / **А.Н. Переволоцкий**, И.М. Булавик // Весці НАН Беларусі. Сер. фіз.-техн. навук. – 2004. – №1. – С. 108–113.

25. Переволоцкий, А.Н. Роль березовых насаждений в биогенной аккумуляции ^{137}Cs и ^{90}Sr / **А.Н. Переволоцкий** // Известия ГГУ им. Ф.Скорины: Биология. – Гомель, 2005. – №4 (31). – С. 127-129.

26. Переволоцкий, А.Н. Использование древесины в загрязненных радионуклидами лесных насаждениях / **А.Н. Переволоцкий**, И.М. Булавик, Т.В. Переволоцкая, Л.А. Паскробко, С.Н. Андруш // Лесное и охотничье хозяйство. – 2005. №2. – С. 16-18.

27. Булавик, И.М. Современное состояние радиоэкологических исследований в лесах / И.М. Булавик, **А.Н. Переволоцкий** // Лесное и охотничье хозяйство. – 2006. №.1 – С. 21-23.

28. Переволоцкий, А.Н. Влияние эдафических факторов на накопление радионуклидов древесными растениями / **А.Н. Переволоцкий**, И.М. Булавик, Т.В. Переволоцкая [и др.] // Природные ресурсы. - 2008. - №1. - С. 47-56

29. Переволоцкий, А.Н. Накопление ^{137}Cs и ^{90}Sr древесиной и корой дубовых и черноольховых насаждений в различных типах условий местопроизрастания / **А.Н. Переволоцкий**, И.М. Булавик, Т.В. Переволоцкая, [и др.] // Весці НАН Беларусі. Сер. біял. навук.- 2008. - №2. - С. 69-73.

30. Переволоцкая, Т.В. О влиянии изменений уровня грунтовых вод на

вертикальную миграцию ^{137}Cs и ^{90}Sr в лесных почвах / Т.В. Переволоцкая, **А.Н. Переволоцкий**, И.М. Булавик // Природные ресурсы. - 2009. - №2. - С. 26-32.

Сборники научных трудов

31. Переволоцкий, А.Н. Миграция и накопление радионуклидов в сосновых насаждениях / **А.Н. Переволоцкий**, И.М. Булавик, А.З. Гайдуль // Сб. науч. тр./ Ин-т леса НАН Беларуси. – Гомель, 1995. – Вып.43: Проблемы лесоведения и лесоводства. – С.40-59.

32. Булавик, И.М. Динамика радиационной обстановки в лесных экосистемах / И.М. Булавик, **А.Н. Переволоцкий** // Сб. науч. тр./ Ин-т леса НАН Беларуси. – Гомель, 1997. – Вып.45: Проблемы лесоведения и лесоводства. – С.194-200.

33. Переволоцкий А.Н. Мозаичность радиоактивного загрязнения лесных экосистем / **А.Н. Переволоцкий**, И.М. Булавик, А.З. Гайдуль // Сб. науч. тр. / Ин-т леса НАН Беларуси. – Гомель, 1997. – Вып 46: Лесная наука на рубеже XXI века. – С. 419-421.

34. Булавик, И.М. Многолетняя динамика накопления радионуклидов древесным ярусом лесных фитоценозов / И.М. Булавик, **А.Н. Переволоцкий** // Сб. науч. тр./ Ин-т леса НАН Беларуси. – Гомель, 1998. – Вып.49: Проблемы лесоведения и лесоводства. – С.126-136.

35. Булавик, И.М. Влияние различных факторов на накопление ^{137}Cs древесными растениями / И.М. Булавик, **А.Н. Переволоцкий** // Сб. науч. тр./ Ин-т леса НАН Беларуси. – Гомель, 1998. – Вып.49: Проблемы лесоведения и лесоводства. – С.148-160.

36. Булавик, И.М. Влияние различных способов подготовки почвы на накопление ^{137}Cs в ассимилирующих органах сосновых культур / И.М. Булавик, А. З. Гайдуль, **А.Н. Переволоцкий** // Сб. науч. тр./ Ин-т леса НАН Беларуси. – Гомель, 1999. – Вып.50: Проблемы лесоведения и лесоводства. – С. 271-279.

37. Переволоцкая, Т.В. Применение дискриминантного анализа в лесном хозяйстве / Т.В. Переволоцкая, **А.Н. Переволоцкий** // Сб. науч. тр./ Ин-т леса НАН Беларуси. – Гомель, 1999. – Вып.50: Проблемы лесоведения и лесоводства. – С. 329-336.

38. Булавик, И.М. Содержание ^{137}Cs в пиломатериалах / И.М. Булавик, **А.Н. Переволоцкий**, Н.А. Потылкин // Сб. науч. тр./ Ин-т леса НАН Беларуси. – Гомель, 2000. – Вып.51: Проблемы лесоведения и лесоводства. – С. 202-222.

39. Булавик, И.М. Радиоэкологические основы дифференцированного лесопользования на загрязненных радионуклидами территориях / И.М. Булавик, **А.Н. Переволоцкий**, Н.А. Потылкин // Сб. науч. тр./ Ин-т леса НАН Беларуси. – Гомель, 2001. – Вып.53: Проблемы лесоведения и лесоводства. – С. 410-415.

40. Переволоцкий, А.Н. Многолетняя динамика накопления ^{137}Cs и ^{90}Sr сосной обыкновенной / **А.Н. Переволоцкий,** И.М. Булавик, Н.А. Потылкин // Сб. науч. тр. / Ин-т леса НАН Беларуси. – Гомель, 2001. – Вып.53: Проблемы лесоведения и лесоводства. – С. 175-179.

41. Булавик, И.М. Структура загрязненности неокоренной древесины ^{137}Cs / И.М. Булавик, **А.Н. Переволоцкий**, Н.А. Потылкин // Сб. науч. тр./ Ин-т леса НАН

Беларуси. – Гомель, 2001. – Вып.52: Проблемы лесоведения и лесоводства. – С. 120-135.

42. Переволоцкий, А.Н. Анализ многолетней динамики накопления ^{137}Cs и ^{90}Sr древесиной и корой сосны обыкновенной в различных типах условий местопроизрастания / **А.Н. Переволоцкий**, Т.В. Переволоцкая // Сб. науч. тр. / Ин-т леса НАН Беларуси. – Гомель, 2010. – Вып.70: Проблемы лесоведения и лесоводства. – С. 467-478.

43. Переволоцкий, А.Н. Оценка накопления ^{137}Cs и ^{90}Sr ягодами черники и земляники в различных типах условий местопроизрастания / **А.Н. Переволоцкий**, Т.В. Переволоцкая // Сб. науч. тр. / Ин-т леса НАН Беларуси. – Гомель, 2010. – Вып.70: Проблемы лесоведения и лесоводства. – С. 479-491.

44. Булавик, И.М. Накопление Cs-137 в пищевой продукции леса / И.М. Булавик, **А.Н. Переволоцкий** // Сб. науч. тр./ Полесская АЛНИС. – Житомир, 1996. – Вып. 4: Проблемы экологии леса и лесопользования на Полесье Украины. – С.31-35.

45. Булавик, И.М. Миграция ^{137}Cs в лесных почвах Белорусского Полесья / И.М. Булавик, **А.Н. Переволоцкий** // Сб. науч. тр./ Полесская АЛНИС. – Житомир, 1998. – Вып.5: Проблемы экологии леса и лесопользования на Полесье Украины. – С. 14–21.

46. Булавик, И.М. Сравнительное содержание ^{137}Cs в древесине и коре сосняков разного возраста / И.М. Булавик, **А.Н. Переволоцкий** // Сб. науч. тр./ Полесская АЛНИС. – Житомир, 2006. – Радиоэкология лесов и лесное хозяйство Полесья Украины. – С. 55-65.

47. Переволоцкая, Т.В. Параметры миграции ^{137}Cs и ^{90}Sr в почвах сосновых насаждений различных типов условий местопроизрастания / Т.В. Переволоцкая, **А.Н. Переволоцкий**, И.М. Булавик [и др.] / Сб. науч. тр. / Полесский ф-л УкрНИИЛХа. – Киев: Фитосо-циоцентр, 2006. – Радиоэкология лесов и лесное хозяйство Полесья Украины.– С. 42–47.

48. Переволоцкий, А.Н. Научное обоснование использования древесины в загрязненных радионуклидами лесах на радиационно-типологической основе (на примере сосны обыкновенной) / **А.Н. Переволоцкий**, Т.В. Переволоцкая // Сб. научн. тр. XXXVIII радиоэкологических чтений посвященных действительному члену ВАСХНИЛ В.М. Клечковскому, 25-28 ноября 2009 г., Обнинск, ВНИИСХРАЭ. - Обнинск: ВНИИСХРАЭ, 2010 – С. 84-101.

Материалы конференций и семинаров

49. Булавик, И.М. Накопление радионуклидов в пищевой продукции леса / И.М. Булавик, **А.Н. Переволоцкий**, В.М. Сурта // Чернобыль-96. Итоги 10 лет работ по ликвидации последствий аварии на ЧАЭС.: материалы V Межд. науч.-техн. конф., Зеленый мыс, 18-22 апреля 1996 г. – Зеленый Мыс, 1996. – С. 256.

50. Булавик, И.М. Миграция и накопление ^{137}Cs в лесных экосистемах / И.М. Булавик, **А.Н. Переволоцкий,** А.З. Гайдуль // Чернобыль-96. Итоги 10 лет работ по ликвидации последствий аварии на ЧАЭС.: материалы V Межд. науч.-техн. конф., Зеленый мыс, 18-22 апреля 1996 г. – Зеленый Мыс, 1996. – С. 263.

51. Perevolotsky, A. Dynamics and prediction of dose parameters in Forest

Ecosystems / **A. Perevolotsky**, I. Bulavik // Use and Conservation of Biological Resources: Sixth Conference of MAB National Committees of Europe and North America (EuroMAB VI), Minsk, 1998. - P.204-207

52. Гайдуль, А.З. Распределение радионуклидов ^{90}Sr и ^{137}Cs в радиальном направлении ствола / А.З. Гайдуль, **А.Н. Переволоцкий**, И.М. Булавик // Лес, наука, молодежь: Материалы межд. науч. конф. (Гомель, 5-7 октября 1999 г.) : в 2 т / Ин-т леса НАН Беларуси. – Гомель, 1999. – Т. 2. – С.19-21.

53. Булавик, И.М. Состояние и проблемы "радиоактивных" лесов Беларуси / И.М. Булавик, **А.Н. Переволоцкий** // Лес. Человек. Чернобыль. Научные труды международного семинара по современным проблемам лесной радиоэкологии 14-15 ноября 2000 г.: Сб. ст. / Под ред. акад. В.А. Ипатьева и А.М. Дворника – Гомель: Ил НАН Беларуси, 2000. - С.11-25.

64. Переволоцкий А.Н. Формы нахождения радионуклидов в почве / **А.Н. Переволоцкий**, И.М. Булавик, Н.А. Потылкин // Почвы и их плодородие на рубеже столетий: материалы II съезда Белорусского общества почвоведов, посвященного 70-летию Белорусского научно-исследовательского института почвоведения и агрохимии (Минск, 25-29 июня 2001 г. в трех книгах). Книга 3 "Экологическое состояние почвенных ресурсов и их защита от деградации". – Горки, 2001. – С. 19-20.

55. Переволоцкий, А.Н. Дозовые нагрузки на древесные растения лесных биогеоценозов / **А.Н. Переволоцкий**, И.М. Булавик, Т.В. Переволоцкая // Радиация и экосистемы: Материалы Международной научной конференции / под общ. ред. Е.Ф. Конопли. – Гомель: РНИУП «Институт радиологии», 2008. –С. 67-70.

Тезисы докладов съездов и конференций

56. Булавик, И.М. Поведение радионуклидов в лесных экосистемах / И.М. Булавик, **А.Н. Переволоцкий** // Радиобиологический съезд, Киев, 20-25 сентября 1993 г.: в 5 ч. – Пущино, 1993. – Ч.1. – С. 157.

57. Булавик, И.М. Особенности накопления Cs-137 сосновыми насаждениями / И.М. Булавик, **А.Н. Переволоцкий**, А.З. Гайдуль // Радиобиология, радиоэкология, радиационная безопасность: тез. докл. III Съезда по радиационным исследованиям, Москва, 14-17 октября 1997 г.: в 3 т. – Пущино, 1997. – Т.II. – С.343-344.

58. Булавик, И.М. Пищевая продукция леса в условиях радиоактивного загрязнения / И.М. Булавик, **А.Н. Переволоцкий**, В.М. Сурта // Радиобиология, радиоэкология, радиационная безопасность: тез. докл. III Съезда по радиационным исследованиям, Москва, 14-17 октября 1997 г.: в 3 т. – Пущино, 1997. – Т.II. – С.344-345.

59. Булавик, И.М. Основные закономерности поведения радионуклидов в лесных экосистемах Беларуси / И.М. Булавик, **А.Н. Переволоцкий**, Н.В. Потылкин // Пятнадцать лет Чернобыльской катастрофы. Опыт преодоления: Тезисы докл. - Киев, 2001 г. – 2-115.

60. Переволоцкий, А.Н. Закономерности накопления ^{137}Cs съедобными грибами / А.Н. Переволоцкий, И.М Булавик // Пятнадцать лет Чернобыльской катастрофы. Опыт преодоления: Тезисы докл. - Киев, 2001 г. – 2-114.

61. Булавик, И.М. Многолетняя динамика накопления ^{137}Cs и ^{90}Sr в лесных экосистемах / И.М. Булавик, **А.Н. Переволоцкий**, Н.В. Потылкин // Урал атомный, Урал промышленный: тезисы докл. IX Межд. экологического симпозиума. – Екатеринбург, 2001 г. – С. 14-15.

62. Переволоций, А.Н. Накопление ^{137}Cs и ^{90}Sr древесными растениями в зависимости от различных факторов / **А.Н. Переволоцкий**, И.М. Булавик, Н.В. Потылкин // Урал атомный, Урал промышленный: тезисы докл. IX Межд. экологического симпозиума. – Екатеринбург, 2001 г. – С. 118-119.

63. Переволоцкий, А.Н. Накопление радионуклидов древесиной березы бородавчатой в различных условия местопроизрастания / **А.Н. Переволоцкий**, И.М. Булавик, Т.В. Переволоцкая [и др.]// Радиоэкология Чернобыльской Зоны: тез. докл. Межд. научн. семинара, 13-14 сентября 2004 г. – Славутич, Чернобыльский центр по проблемам ядерной безопасности, радиоактивных отходов и радиоэкологии, 2004. – С. 45.

64. Переволоцкий, А.Н. Накопление радионуклидов березовым соком в различных условиях местопроизрастания / **А.Н. Переволоцкий**, И.М. Булавик, Т.В. Переволоцкая [и др.] // Радиоэкология Чернобыльской Зоны: тез. докл. Межд. научн. семинара, 13-14 сентября 2004 г. - Славутич, Чернобыльский центр по проблемам ядерной безопасности, радиоактивных отходов и радиоэкологии, 2004. – С. 46.

65. Переволоцкий, А.Н. Распределение ^{137}Cs и ^{90}Sr в почве и накопление древесиной и корой сосны в различных условиях местопроизрастания / Радиоэкология Чернобыльской зоны: тез. докл. Междунар. научн. семинара 27-29 сентября 2006 г., Славутич, Украина / **А.Н. Переволоцкий**, И.М. Булавик, Т.В. Переволоцкая [и др.] // Славутич: Международная радиоэкологическая лаборатория, 2006. – С. 59-61.

66. Переволоцкий, А.Н. Прогноз содержания ^{137}Cs в древесине сосны обыкновенной на "ближнем" следе радиоактивных выпадений / **А.Н. Переволоцкий**, И.М. Булавик, Т.В. Переволоцкая [и др.] // Радиоэкология Чернобыльской зоны: тез. докл. Междунар. научн. семинара 27-29 сентября 2006 г., Славутич, Украина / Славутич: Международная радиоэкологическая лаборатория, 2006. – С. 62.

67. Переволоцкий, А.Н. Анализ многолетней динамики накопления ^{137}Cs и ^{90}Sr древесиной и корой сосны обыкновенной в различных типах условий местопроизрастания / **А.Н. Переволоцкий**, Т.В. Переволоцкая // VI Съезд по радиационным исследованиям (радиобиология, радиоэкология, радиационная безопасность): Тез. докл. съезда 25-28 октября 2010 г., Москва, Российская Федерация в 3 т. Том II (секции VIII-XIV) / Москва : Российский университет дружбы народов, 2010. – С. 57.

68. Переволоцкий, А.Н. Оценка накопления ^{137}Cs и ^{90}Sr ягодами черники и земляники в различных типах условий местопроизрастания / **А.Н. Переволоцкий,** Т.В. Переволоцкая // VI Съезд по радиационным исследованиям (радиобиология, радиоэкология, радиационная безопасность): Тез. докл. съезда 25-28 октября 2010 г.,

Москва, Российская Федерация в 3 т. Том II (секции VIII-XIV) / Москва : Российский университет дружбы народов, 2010. – С. 59.

69. Переволоцкий, А.Н. Некоторые аспекты радиоэкологического мониторинга лесных насаждений на различных этапах после аварийных выпадений / **А.Н. Переволоцкий,** Т.В. Переволоцкая // VI Съезд по радиационным исследованиям (радиобиология, радиоэкология, радиационная безопасность): Тез. докл. съезда 25-28 октября 2010 г., Москва, Российская Федерация в 3 т. Том II (секции VIII-XIV) / Москва : Российский университет дружбы народов, 2010. – С. 58.

Патент

70. Пробоотборник для послойного извлечения образцов грунта: пат. 3793 Респ. Беларусь, МПК(2006) G 01N 1/04 / И.М. Булавик, **А.Н. Переволоцкий**, Н.В. Дударева, С.А. Тагай; заявитель Республиканское научно-исследовательское унитарное предприятие "Институт радиологии". - № 0008509; заявл. 2006.12.07; опубл. 2007.08.30.

Abstract

RADIATION-ECOLOGICAL SITUATION IN FOREST BIOGEOCENOSES: DYNAMICS, FACTORS, FORECAST

A.N. Perevolotskiy

Key words: forest biogeocenoses, migration, ^{137}Cs, ^{90}Sr, activity, habitat types, edaphotops, elements of aboveground phytomass, transfer factors.

The purpose of research - to study long-term dynamic and the main factors forming radio-ecological situation in forest biogeocenosis and to forecast the radioactive contamination of the main components of forest ecosystems after the radioactive fallout on a distant stage.

Object of research – dominant forest species under different types of growing conditions.

Subject of research – regularities of radioecological situation formation and specifics of radionuclide redistribution in forest plantations.

Research results and their novelty: It is for the first time that the influence of edaphic factors (i.e. fertility and moisture conditions of soil) on formation of radiation-ecological situation (i.e. parameters of external γ-radiation dose rate, radionuclide migration in the vertical soil profile, ^{137}Cs and ^{90}Sr accumulation by phytomass elements of dominant forest-forming species, wild berries and birch sap) in forest biogeocenoses in the long-term period after accidental radioactive fallout has been determined. The specifics of long-term dynamics of radionuclide redistribution at different stages after radioactive fallout have been identified.

Degree of research utilization: The results of thesis researches have been implemented into forestry production on radioactively-contaminated territories of the Republic of Belarus: "Guidelines for assigning forest compartments to zones of radioactive contamination", Technical Code of common practice "Radiation control. Inspection of forest resources. Procedures.", RPL/FM, and Management Decision Support System RadForView.

Area of application: The State forest fund of the Republic of Belarus contaminated in the result of Chernobyl NPP accident.

Заказ _____ Тираж ____ Объем ___ п.л. Формат $60\times84^{1}/_{16}$

Печать_____
_____
Отпечатано в _____
_____