



На правах рукописи

ШАМШУРИНА ЕВГЕНИЯ НИКОЛАЕВНА

**ВЛИЯНИЕ МАССОПЕРЕНОСА НА ПРОСТРАНСТВЕННОЕ
РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ^{137}Cs В ПОЧВАХ МАЛЫХ ВОДОСБОРОВ
ЛЕСОСТЕПНОЙ ЗОНЫ
(на примере Курской области)**

«03.00.27» - почвоведение

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата биологических наук

Москва, 2009

Работа выполнена на кафедре радиозэкологии и экотоксикологии факультета почвоведения Московского Государственного Университета им. М.В. Ломоносова.

Научный руководитель: доктор биологических наук,
профессор А.И. Щеглов

Официальные оппоненты: доктор биологических наук,
профессор В.В. Демидов

доктор географических наук,
В.Г. Линник

Ведущая организация: Всероссийский научно-исследовательский
институт земледелия и защиты почв от эрозии,
г.Курск.

Защита диссертации состоится « 22 » декабря 2009г. в 15 ч. 30 мин. в аудитории М-2 на заседании диссертационного совета Д 501.001.57 при МГУ им. М.В. Ломоносова на факультете почвоведения по адресу: 119991, Москва, ГСП-1, Ленинские горы, МГУ им. М.В. Ломоносова, факультет почвоведения.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке факультета почвоведения МГУ им. М.В.Ломоносова.

Автореферат разослан «__» ноября 2009г.

Приглашаем Вас принять участие в обсуждении диссертации на заседании диссертационного совета или присылать отзывы на автореферат в 2-х экземплярах, заверенные печатью, по адресу: 119991, ГСП-1, Москва, Ленинские горы, МГУ, факультет почвоведения, ученому секретарю диссертационного совета.

Ученый секретарь
диссертационного совета
доктор биологических наук



А.С. Никифорова

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы.

Последствия аварии на Чернобыльской АЭС (ЧАЭС) вызвали повышенный интерес к проблемам перемещения техногенных радионуклидов в ландшафте, их миграции в почве и в системе «почва-растение». Наиболее экологически значимый в настоящее время радионуклид ^{137}Cs имеет техногенное происхождение и не должен содержаться в незагрязненных природных объектах даже в микроскопических количествах. Вместе с тем, вследствие глобальных выпадений и аварийных выбросов, ^{137}Cs массово поступил в природные экосистемы на всей территории России. Присутствие ^{137}Cs в окружающей среде полностью определяется антропогенной нагрузкой на экосистемы, которая характеризуется значительной пространственной неоднородностью. При этом первоначальные уровни загрязнения и распределения ^{137}Cs в экосистемах со временем претерпевают изменения, обусловленные радиоактивным распадом элемента, а также процессами его вертикальной и латеральной миграции. Все это определяет важность изучения поведения экотоксиканта в почвах и других компонентах наземных ландшафтов.

Курская область находится в лесостепной зоне и является важнейшим сельскохозяйственным районом России. Густая расчлененность лесостепи овражно-балочной сетью определяет преобладание среди наземных ландшафтов балочных водосборов. Малые водосборы являются идеальным объектом оценки и контроля состояния экосистем, поскольку имеют ясные природные границы, которые замыкают единопоточный поток вещества и энергии (Джеррард, 1984). Для ландшафтов Курской области характерен высокий эрозионный потенциал рельефа, малая облесенность, низкая противоэрозионная устойчивость лессовидных отложений и высокая доля пахотных почв в структуре земельного фонда. Это обуславливает возможность интенсивного латерального массопереноса радиоактивных загрязняющих веществ из элювиальных фаций в аккумулятивные, что может оказывать существенное влияние на радиоэкологическое состояние территории.

Цель работы:

Изучение процессов перераспределения ^{137}Cs чернобыльских выпадений в почвах малых водосборов лесостепной зоны (на примере Курской области).

Задачи:

- 1) охарактеризовать первичное распределение ^{137}Cs в почвенном покрове малых водосборов Курской области;
- 2) исследовать процессы вертикальной и латеральной миграции ^{137}Cs в почвах агроландшафтов лесостепной зоны;
- 3) оценить степень влияния эрозионно-аккумулятивных процессов вторичного перераспределения ^{137}Cs на структуру полей радиоактивного загрязнения территории;

- 4) изучить влияние основных химических и физических свойств почв на процессы аккумуляции ^{137}Cs в почвах малых водосборов;
- 5) оценить интегральный вклад различных фракций гранулометрического и агрегатного составов почв в суммарную удельную активность ^{137}Cs ;
- 6) провести анализ подвижности ^{137}Cs в системе «почва-растение» в агроландшафтах лесостепной зоны;
- 7) оценить динамику радиоэкологического состояния почв на территории Курской области.

На защиту выносятся следующие положения:

- Наиболее значимым фактором, обуславливающим перераспределение и изменение полей загрязнения ^{137}Cs в агроландшафтах лесостепи является латеральный массоперенос.
- В системе геохимически сопряженных почв латеральный перенос ^{137}Cs преимущественно происходит в составе гранулометрических фракций, размером $<0,01$ мм.
- Основными зонами «депозита» ^{137}Cs на территории малых водосборов служат днища балок и ложбин, зонами первичной аккумуляции являются подножья склонов, зонами транзита – склоны водосбора.

Новизна работы:

- Показаны современные уровни загрязнения и особенности пространственного распределения ^{137}Cs в почвах различных элементов ландшафта и определены ведущие факторы, обуславливающие этот процесс.
- Оценена доля ^{137}Cs , связанного с различными фракциями гранулометрического и агрегатного состава почв лесостепной зоны.
- Определены количественные параметры массопереноса ^{137}Cs в пределах малых водосборов лесостепной зоны.
- Установлены особенности миграции ^{137}Cs в системе «почва-растение» на различных элементах ландшафта малых водосборов лесостепной зоны.
- Оценена степень влияния противоэрозионных мероприятий на интенсивность перераспределения ^{137}Cs в пределах малых водосборов.
- Показаны особенности изменения радиоэкологической обстановки и структуры полей загрязнения на территории малых водосборов Курской области в постчернобыльский период.

Практическая значимость.

- Количественные параметры современных уровней накопления ^{137}Cs могут быть использованы для оценки радиоэкологического состояния почв и компонентов наземных экосистем в агроландшафтах лесостепной зоны.
- Результаты исследования могут быть использованы для оптимизации сети радиоэкологического мониторинга и разработки природоохранных мероприятий для агроландшафтов лесостепной зоны.

- Полученные данные могут быть использованы при создании и верификации модели латеральной миграции ^{137}Cs в почвах агроландшафтов лесостепной зоны.

Апробация работы.

Материалы исследования по теме диссертации докладывались и обсуждались на заседаниях кафедры радиоэкологии и экотоксикологии факультета почвоведения МГУ им. М.В. Ломоносова (2006-2009). Основные положения диссертационной работы были доложены на следующих конференциях, симпозиумах и совещаниях: IV Всероссийской конференции «Гуминовые Вещества в Биосфере» (Москва, 2007), X Докучаевских молодежных чтениях «Почвы и Техногенез» (Санкт-Петербург, 2007), XI Докучаевских молодежных чтениях «Почва как носитель плодородия» (Санкт-Петербург, 2008), XII Докучаевских молодежных чтениях «Почвы и продовольственная безопасность России» (Санкт-Петербург, 2009), XXII и XXIII пленарных межвузовских координационных совещаниях по проблеме эрозионных, русловых и устьевых процессов (Новочеркасск, 2007; Калуга, 2008), V съезде Всероссийского общества почвоведов им. В.В. Докучаева (Ростов-на-Дону, 2008), Международной научной конференции «Проблемы экологической геохимии в XXI веке» (Минск, 2008) и «Эрозионные и русловые процессы на равнинных территориях» (Минск, 2009); Научном Симпозиуме «Динамика осадконакопления в условиях изменяющегося климата» (Новая Зеландия, 2008).

Публикации.

Материалы проведенных исследований изложены в 12 печатных работах, в том числе в 1 статье в реферируемом журнале.

Структура и объем работы.

Диссертация состоит из введения, 5 глав, выводов, списка литературы, состоящего из 135 источников, в том числе 35 на иностранных языках и приложения. Содержательная часть работы изложена на 137 страницах текста, иллюстрирована 29 рисунками, включает 19 таблиц и приложение.

Благодарности.

Автор выражает глубокую признательность своему научному руководителю д.б.н., профессору, заведующему кафедры радиоэкологии и экотоксикологии факультета почвоведения МГУ им. М.В. Ломоносова А.И.Щеглову за руководство исследованиями; к.б.н. Т.А. Парамоновой за повседневное внимание к работе, всестороннюю помощь и поддержку; д.г.н., с.н.с. НИЛ эрозии почв и русловых процессов им. Н.И. Маккавеева географического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова В.Н. Голосову за поддержку, ценные консультации, идеи и организацию экспедиций. Автор также благодарен всем сотрудникам кафедры радиоэкологии и экотоксикологии факультета почвоведения, а также сотрудникам НИЛ эрозии почв и русловых процессов географического факультета МГУ им.

М.В.Ломоносова В.Р. Беляеву и М.В. Маркелову за помощь, внимание, ценные советы и доброжелательные замечания.

Глава 1. ПРОБЛЕМЫ РАДИОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЧВ

В настоящее время ^{137}Cs ($T_{1/2} \approx 30$ лет) является важнейшим антропогенным радионуклидом, формирующим внешнюю и внутреннюю дозы облучения человека.

Интенсивное поступление ^{137}Cs в биосферу обусловлено в первую очередь массовыми испытаниями ядерного оружия, которые начались в 1945 г и продолжались до 80-х гг. На территории бывшего СССР средняя плотность загрязнения почв ^{137}Cs от глобальных выпадений составляла 3,4-3,7 кБк/м² (Моисеев, 1985; Тихомиров, 1985).

С 1986 г. на радиационную обстановку во многих регионах Европейской территории России оказывает влияние ^{137}Cs аварийного выброса на ЧАЭС. Площадь территории с плотностью загрязнения почв ^{137}Cs более 37 кБк/м², превышающей нормативные уровни, составила 57,6 тыс.км² с населением около 2 млн. человек. В данных районах для обеспечения радиационной безопасности населения был реализован комплекс защитных и реабилитационных мероприятий. Но, несмотря на это, ^{137}Cs продолжает определять радиационную обстановку на обширных территориях Европейской части России. Масштабное радиоактивное загрязнение сельскохозяйственных угодий РФ является одним из наиболее тяжелых экологических последствий катастрофы на ЧАЭС, в связи с чем её с полным основанием можно рассматривать как «сельскую аварию» (Алексахин, 2006).

Поведение радиоактивного ^{137}Cs в компонентах почвенно-растительного покрова и циклы биогеохимической миграции изучались многими исследователями (Алексахин Р.М., Анисимов В.С., Гулякин И.В., Караваева Е.Н., Ключковский В.М., Коробова Е.М., Круглов С.В., Моисеев И.Т., Молчанова И.В., Павлоцкая Ф.И., Попов В.Е., Прохоров В.М., Санжарова Н.И., Тимофеев-Ресовский Н.В., Тихомиров Ф.А., Фесенко С.В., Фокин А.Д., Фрид А.С., Щеглов А.И., Цветнова О.Б., Юдинцева Е.В.).

Отмечается, что первичная конфигурация поля загрязнения почв ^{137}Cs в настоящее время осложняется процессами вертикальной и латеральной миграции. В пахотных почвах главную роль в вертикальном перемещении играет механическое перемешивание и заглубление радионуклида в почву при агротурбации. Незначительный по интенсивности вертикальный перенос ^{137}Cs в почвах может происходить в результате конвективного переноса и диффузии, а также в ходе биотурбации, связанной с деятельностью почвенной фауны. В результате прочной фиксации ^{137}Cs в поверхностных горизонтах почв и его малой вертикальной миграции, ведущее значение приобретает латеральный эрозионный массоперенос, который особенно характерен для агроландшафтов (Голосов В.Н., Квасникова Е.В., Кузнецов М.С., Линник В.Г., В.С.Пристер, Сидорчук А.Ю., Флесс А.Д., Фридман Ш.Д., Цыбулька Н.Н., He Q., Walling D.E.).

Глава 2. ПРИРОДНЫЕ УСЛОВИЯ И РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ НАЗЕМНЫХ ЭКОСИСТЕМ КУРСКОЙ ОБЛАСТИ

Курская область находится в пределах лесостепной почвенно-географической зоны на Среднерусской возвышенности и характеризуется сильно расчлененным рельефом с глубоко вдающимися широкими древними речными долинами и множеством балок и оврагов, которые расчленяют территорию на асимметричные плосковерхия увалы, крутизна склонов которых к долинам и балкам возрастает до 20-30°. Междуречья местами имеют в ширину лишь 1,5-2 км с преобладающими абсолютными высотами от 175 до 225 м. Коренные осадочные породы покрыты довольно мощным чехлом лёссовидных суглинков, которые являются основными почвообразующими породами территории. Климат умеренно континентальный. Среднегодовое количество осадков составляет 475-550 мм, среднегодовая температура воздуха +4,6-6,1°C.

В почвенном покрове территории наиболее распространены выщелоченные и типичные черноземы, сформированные под лугово-степной растительностью, а также темно-серые лесные почвы, встречающиеся под широколиственными лесами. Благоприятные почвенно-климатические условия зоны и высокое природное плодородие черноземов предопределили интенсивное использование почв, что отражается на высокой степени распаханности территории Курской области (~65%).

Результаты радиоэкологического мониторинга на территории Курской области указывают на то, что основными источниками загрязнения природных сред ^{137}Cs являются: глобальные поступления в результате испытания ядерного оружия в атмосфере; загрязнение наземных экосистем в результате аварии на Чернобыльской АЭС; радиоактивные выбросы в атмосферу и жидкие стоки, связанные с работой Курской АЭС, локализованные в пределах 30-км зоны влияния станции.

В результате аварии на ЧАЭС значительная часть сельскохозяйственных земель Курской области подверглась радиоактивному загрязнению. На площади 1220 км² (4,1 % от общей площади области) плотность загрязнения почв ^{137}Cs составила 37 кБк/м², для остальной территории области характерны уровни загрязнения в диапазоне 3,7-37 кБк/м². Это определяет актуальность радиоэкологического контроля на территории Курской области, в особенности, в пределах агроландшафтов.

Глава 3. ХАРАКТЕРИСТИКА ОБЪЕКТА И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Балка «Грачева Лощина» (площадь исследуемого водосбора ~2 км²) расположена в 20 км к юго-западу от Курска на отрогах Обоянской гряды, по которой проходит водораздел между реками Сейм и Псел. Система водосборного пространства балки является типичной для агроландшафтов Курской области, в этой связи она послужила для организации полевого стационара ВНИИ земледелия и защиты почв от эрозии по изучению эрозионно-аккумулятивных процессов.

Основная часть балки характеризуется ящикообразным поперечным профилем с относительно широким (до 25-30 м), морфологически хорошо

выраженным плоским дном. Большинство склонов водосбора имеют преимущественно выпуклую форму, с уклонами 1-5° и длиной до 700-800 м. У балки имеется два сопоставимых друг с другом крупных отвершка - ложбины (рис. 1-А). Склоны балки входят в состав пахотных угодий и в настоящее время заняты многолетними травами. Севообороты на пахотных склонах балки значительно изменялись в течение последних 50 лет. Наиболее эрозионноопасный севооборот использовался в 70-80-х годах XX века, когда площади под сахарной свеклой занимали до 40% пашни. С 1986 г. доля пропашных культур сократилась до 30%, а с 2001 г. резко увеличилась доля земель под многолетними травами, используемых в качестве сенокосов. Дно балки занято луговой растительностью и также используется в качестве сенокосов.

В начале 1986 г. (до аварии на ЧАЭС) в пределах 70% площади водосбора балки было завершено создание системы противоэрозионных мероприятий. В этой связи площадь водосбора можно разделить на 3 участка: *1 участок* - с посаженными двурядными контурными лесополосами (с водозадерживающими канавами внутри каждой из них); *2 участок* - с валами-террасами (высотой 1 м) и двурядными контурными лесополосами; *3 участок* - без мелиоративных мероприятий (см. рис. 1-А). Тогда же в приустьевой части дна была сооружена дамба, призванная временно задерживать сток воды и практически полностью перехватывать сток наносов. Вследствие этого исследуемая территория является квазизамкнутой ландшафтной системой, и практически весь массоперенос веществ со стоком наносов происходит внутри водосборного пространства.

Для территории исследуемого водосбора в подготовительный период были построены карты линий тока и зон смыва (на основании расчетов по модели USLE/ГГИ), с помощью которых были проанализированы типы склонов водосбора и отобраны линии заложения склоновых катен, а также выбраны места для заложения разрезов (рис. 1-В и 1-С). В ходе полевых работ каждый из различных по конфигурации склонов был охарактеризован серией почвенных разрезов, расположенных по 7 катенам, где проводилось почвенно-морфологическое описание почв. Отбор образцов почв проводился непосредственно около каждого почвенного разреза в 3-кратной повторности до глубины 30 см. Дополнительно было заложено 8 катен с отбором единичных проб для более подробной оценки интенсивности латеральной миграции радионуклида по склонам.

В пределах малого водосбора были выделены участки, вероятность смыва с которых минимальна, где смешанные образцы почв (DVR-1 – DVR-4) отбирались случайно-систематическим методом по спирали. Для обеспечения репрезентативности пробоотбора на каждом участке с помощью металлического бура с фиксированным объемом отбиралось по 12 образцов почв до глубины 30 см. Общая площадь участка, с которого осуществлялся пробоотбор, составляла около 200 м².

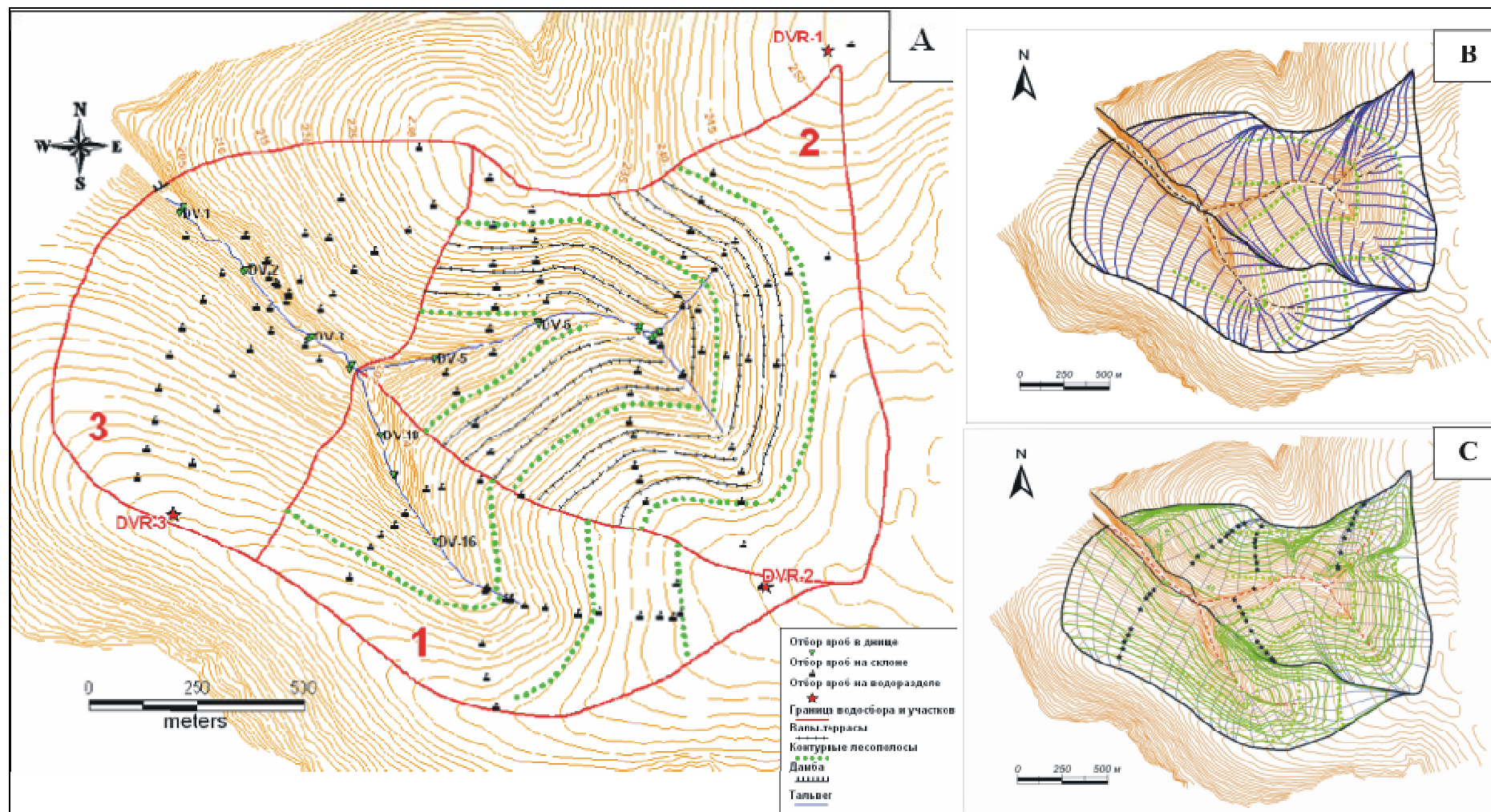


Рис. 1 Схема расположения участков с различными противоэрозионными мероприятиями и точек опробования (А), линий тока (В) и зон смыва (С) на территории малого водосбора «Грacheва Лощина»

Отбор образцов почв для определения содержания ^{137}Cs в пределах зон аккумуляций (днище основной долины и ее отвершков) осуществлялся из 7 почвенных разрезов (DV-1 – DV-3, DV-5, DV-6, DV-16, DV-18) с площадок 20*20 см послойно через 2-5 см на глубину возможного обнаружения радионуклида (в среднем до 70 см).

Общее количество точек опробования составило 180, общее количество проб - 350.

Для изучения особенностей миграции ^{137}Cs в системе «почва - растение» в верхней, средней и в нижней части склона, а также в днище балки были отобраны пробы растений, где после концентрирования измерили удельную активность ^{137}Cs в надземной и подземной фитомассе.

Химические и физические свойства почв определялись по общепринятым методикам. Гранулометрический состав почв определялся лазерным дифрактометрическим методом.

Измерение активности ^{137}Cs в пробах почв и растений проводилось по линии 661,66 keV на сцинтилляционном спектрометре с обработкой амплитудного спектра импульсов с помощью программы «ПРОГРЕСС» (Измерение..., 1995), с относительной погрешностью определения удельной активности радионуклидов – 5-25 % (ГОСТ 8.033-96).

Глава 4. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА МАЛОГО ВОДОСБОРА «ГРАЧЕВА ЛОЩИНА»

Почвенный покров водораздельных пространств водосбора балки «Грачева Лощина» представлен черноземами типичными мощными тяжелосуглинистыми на лёссовидном суглинке. Почвы склонов представлены черноземами типичными, которые в различной степени затронуты эрозией. Среднеуголетняя мощность пахотного горизонта на водоразделе и склонах составляет 27 см. В днище балки образуются сильноэродированные лугово-черноземные почвы с мощной толщей наносов. В центральной части днища балки мощность наносов составляет более 2 м.

Почвы балки "Грачева Лощина" характеризуются высокими запасами гумуса, нейтральной и слабокислой реакцией среды, средне- и тяжелосуглинистым гранулометрическим составом, а также хорошей водоустойчивой структурой в верхнем 30 см слое (табл. 1).

Свойства черноземов типичных в пределах балки "Грачева Лощина" варьируют в зависимости от ряда причин, в частности, интенсивности использования в сельскохозяйственном производстве и степени выраженности эрозионных процессов. Неэродированные черноземы встречаются только на водораздельных пространствах и в самой верхней части склона. При появлении малейшего уклона на расстоянии уже 20-30 метров от линии водораздела несмытые почвы сменяются разностями, подверженными смыву и намыву. Смытые разности черноземов отличаются меньшей мощностью гумусо-аккумулятивных горизонтов, меньшим содержанием гумуса, а также ухудшением водопропускной структуры. Для намытых черноземов, формирующихся в нижней части склонов и у их подножий, свойственно увеличение мощности гумусированного горизонта (A+AB). Чернозем смыто-

намытый характеризуется промежуточными свойствами. Лугово-черноземная почва центральной части днища балки отличается мощным органопрофилем с высокими запасами гумуса.

Таблица 1 Средние величины основных химических и физических свойств 0-30 см слоя почв малого водосбора "Грачева Лощина"

	Мощность А+В, см	Плотность, кг/м ³	Гумус, %	Запас гумуса, т/га	рН водн	Водопрочные агрегаты >0,25 мм, %	Сумма частиц <0,01 мм, %
Черноземы типичные (n=10)							
несмытые	116±14*	1187±68	5,6±0,3	207±10	6,5±0,1	63±11	47±2
смытые	83±9	1173±49	5,5±0,5	200±10	7,2±0,4	39±7	43±2
смыто- намытые	117±10	1181±68	5,7±0,7	211±5	7,1±0,4	50±4	43±2
намытые	126±26	1196±129	5,9±0,5	223±9	6,9±1,5	45±3	46±3
Лугово-черноземные почвы (n=3)							
сильно- намытые	219±26	1266±88	6,6±0,4	269±40	6,3±0,4	н.о.*	н.о.

* - ± доверительный интервал ($t_{0,05}$ *ошибка среднего)

** - не определялось

Глава 5. ЗАКОНОМЕРНОСТИ НАКОПЛЕНИЯ И ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ¹³⁷Cs В ПОЧВЕННОМ ПОКРОВЕ МАЛОГО ВОДОСБОРА «ГРАЧЕВА ЛОЩИНА

Удельная активность и плотность загрязнения ¹³⁷Cs почв малого водосбора "Грачева Лощина"

В пахотных черноземах плоских водораздельных участков малого водосбора «Грачева Лощина» (участки DVR-1 - DVR-4) удельная активность ¹³⁷Cs в среднем составляет 26,7±1,2 Бк/кг (табл. 2), что соответствует региональному фоновому уровню загрязнения почв Европейской территории России техногенным ¹³⁷Cs чернобыльских выпадений с учетом текущего радиоактивного распада элемента (Атлас загрязнения..., 1998).

Плотность загрязнения почв ¹³⁷Cs составляет в среднем 8,7±0,5 кБк/м², что определяет невысокий уровень радиоактивного загрязнения территории, при котором сельскохозяйственное производство ведется без каких-либо ограничений. Варьирование величин удельной активности и плотности загрязнения ¹³⁷Cs почв водораздельных участков описывается нормальным законом распределения, что характерно для отдаленных от источника выбросов территорий.

Таблица 2 Статистические характеристики содержания ^{137}Cs в почвах водораздельных пространств малого водосбора "Грачева Лощина"

Участки отбора проб	Объем выборки	Среднее $\pm$ доверительный интервал	Медиана	Минимум	Максимум	Коэффициент вариации, %
Удельная активность, Бк/кг						
Вся выборка	48	26,7$\pm$1,2	26,8	18,5	33,1	16
DVR1	12	30,0 $\pm$ 2,0	31,0	21,0	33,0	12
DVR2	12	23,4 $\pm$ 2,1	21,7	18,5	32,2	16
DVR3	12	27,7 $\pm$ 2,1	27,6	22,2	33,1	13
DVR4	12	25,8 $\pm$ 1,9	26,3	19,0	29,9	13
Плотность загрязнения, кБк/м²						
Вся выборка	48	8,7$\pm$0,5	8,8	5,4	11,8	18
DVR1	12	9,5 $\pm$ 1,2	9,9	5,4	11,8	22
DVR2	12	7,6 $\pm$ 0,7	7,3	6,3	10,3	16
DVR3	12	9,1 $\pm$ 0,7	9,0	7,2	11,1	13
DVR4	12	8,6 $\pm$ 0,6	8,8	6,4	10,2	13

Коэффициент вариации содержания ^{137}Cs в почвах водораздельных участков изменяется в среднем в интервале 16-18%, что указывает на относительную однородность полей радиоактивного загрязнения, которая определяется малой контрастностью первоначальных аэральных выпадений ^{137}Cs в пределах исследуемого водосбора, а также выравниванием неоднородности его пространственного распределения в процессах агротурбации.

Содержание ^{137}Cs в почвах склонов водосбора ниже, чем в почвах водораздела, что связано с выносом ^{137}Cs и припахиванием более чистых нижних слоев на смытых участках склона, и составляет 20,4 $\pm$ 1,2 Бк/кг (7,3 $\pm$ 0,4 кБк/м²) (рис. 2).

У подножий склонов идет увеличение как удельной активности, так и плотности загрязнения почв ^{137}Cs по сравнению со склонами водосбора до уровня 25,5 $\pm$ 2,7 Бк/кг (9,7 $\pm$ 1,4 кБк/м²). В днище балки среднее значение удельной активности ^{137}Cs достигает максимума и составляет 33,5 $\pm$ 6,7 Бк/кг (13,6 $\pm$ 3,2 кБк/м²), что определяется латеральным массопереносом элемента в системе почв балочного комплекса. Величина коэффициента вариации содержания ^{137}Cs в почвах днища балки возрастает и колеблется в интервале 40-47 %, что обусловлено неоднородностью процессов аккумуляции в пределах центральной части днища балки и ее отвершков.

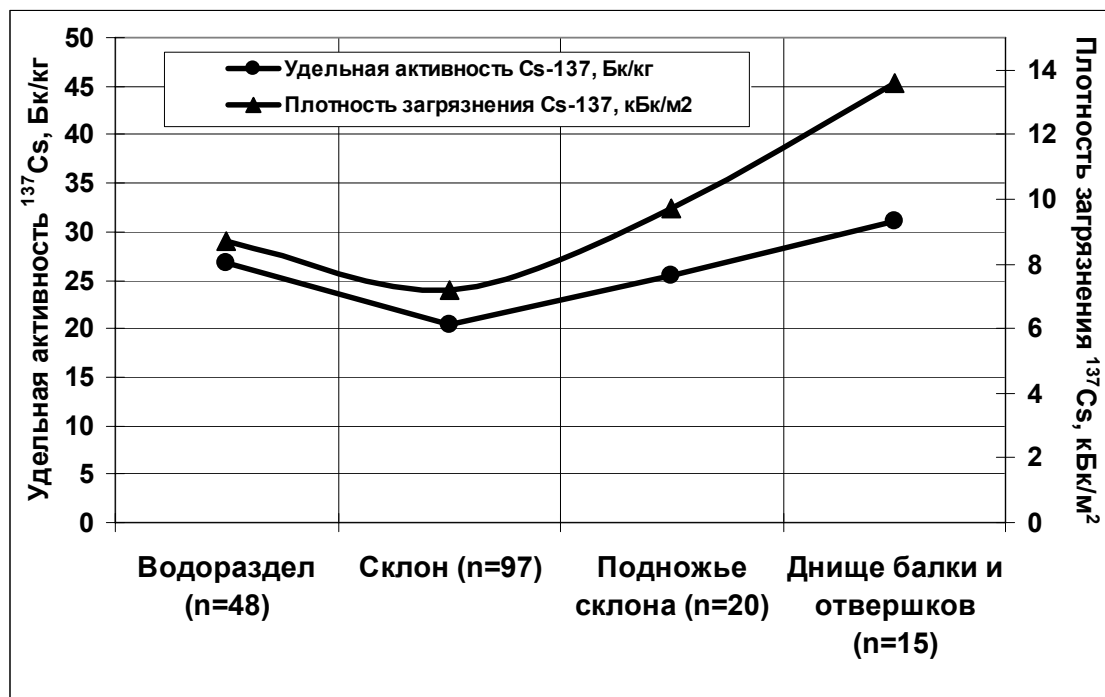


Рис. 2 Средние величины удельной активности и плотности загрязнения почв ^{137}Cs различных частей малого водосбора "Грачева Лощина"

В целом можно констатировать, что в системе геохимически-сопряженных фаций ландшафта лесостепи идет латеральный массоперенос ^{137}Cs , который ведет к изменению уровней загрязнения ^{137}Cs почв и формированию зон его вторичной аккумуляции. Наиболее ярко это прослеживается при анализе изменения плотности загрязнения ^{137}Cs почв исследуемого водосбора. В отличие от удельной активности ^{137}Cs в почвах, плотность загрязнения меняется более значительно ~2 раза, что обусловлено увеличением мощности Cs-содержащего слоя. Если в элювиальной и транзитной позициях агроландшафта основные запасы ^{137}Cs содержатся в 0-30 см слое почв (пахотный горизонт), то в аккумулятивной позиции этот слой увеличивается до 60-70 см.

На интенсивность протекания процессов латерального перераспределения ^{137}Cs в почвах оказывают влияние различного рода противоэрозионные мероприятия. Они сокращают склоновый сток и, соответственно, объемы транзита и аккумуляции ^{137}Cs в среднем в 2 раза (рис. 3). Это снижает вероятность образования вторичных ореолов радиоактивного загрязнения. Сравнение степени влияния различного рода противоэрозионных мероприятий (лесополосы и лесополосы в комплексе с валами-террасами) на массоперенос ^{137}Cs по склонам водосбора не выявило значимых различий между ними.

Влияние мелиоративных мероприятий сказывается не только на интенсивности процессов перераспределения ^{137}Cs в системе геохимически-сопряженных ландшафтов, но и на распределении ^{137}Cs в зонах вторичной аккумуляции (днище балки и ее ложбин-отвершков).

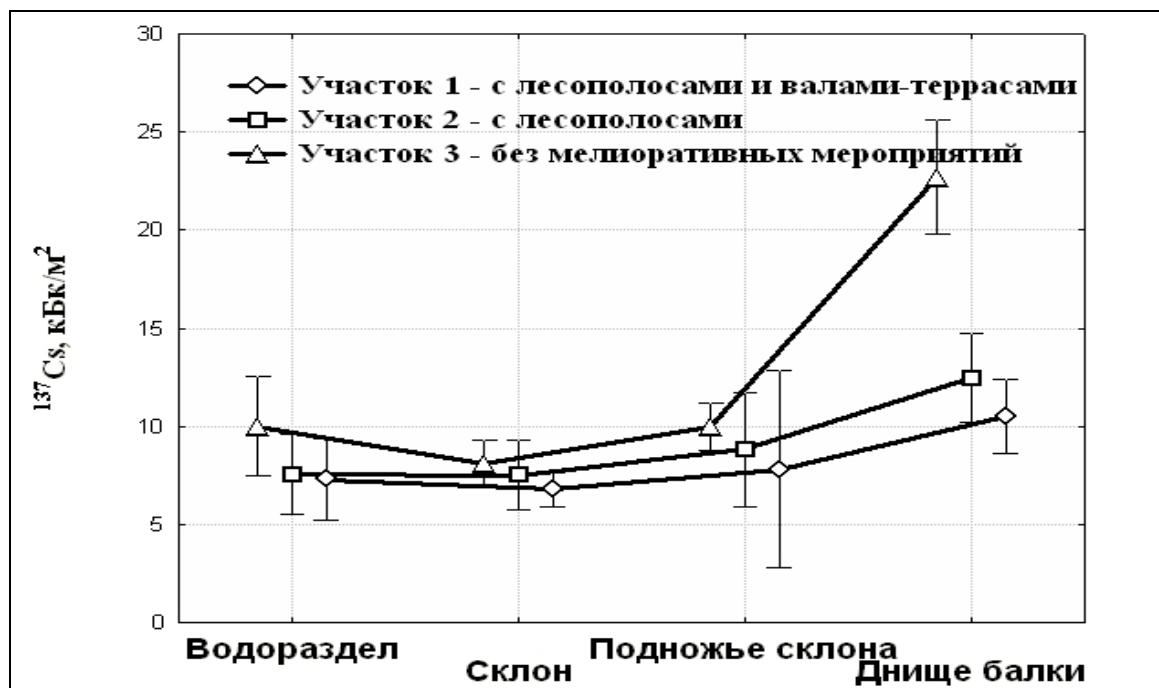


Рис. 3 Изменение плотности загрязнения ^{137}Cs почв участков малого водосбора "Грачева Лощина" с различными типами мелиоративных мероприятий (по результатам дисперсионного анализа)

Наиболее интенсивные процессы аккумуляции ^{137}Cs наблюдаются на прилегающем к участку без мелиоративных мероприятий участку днища балки (DV-1, DV-2, DV-3), где в намывных лугово-черноземных почвах выявляются ореолы накопления ^{137}Cs с трехкратным превышением плотности загрязнения ^{137}Cs почв относительно водораздела (рис. 4). В днищах ложбин-отвершков балки (DV-6, DV-18), верховья которых были промелиорированы, запасы радионуклида увеличиваются лишь в 1,5-2 раза.

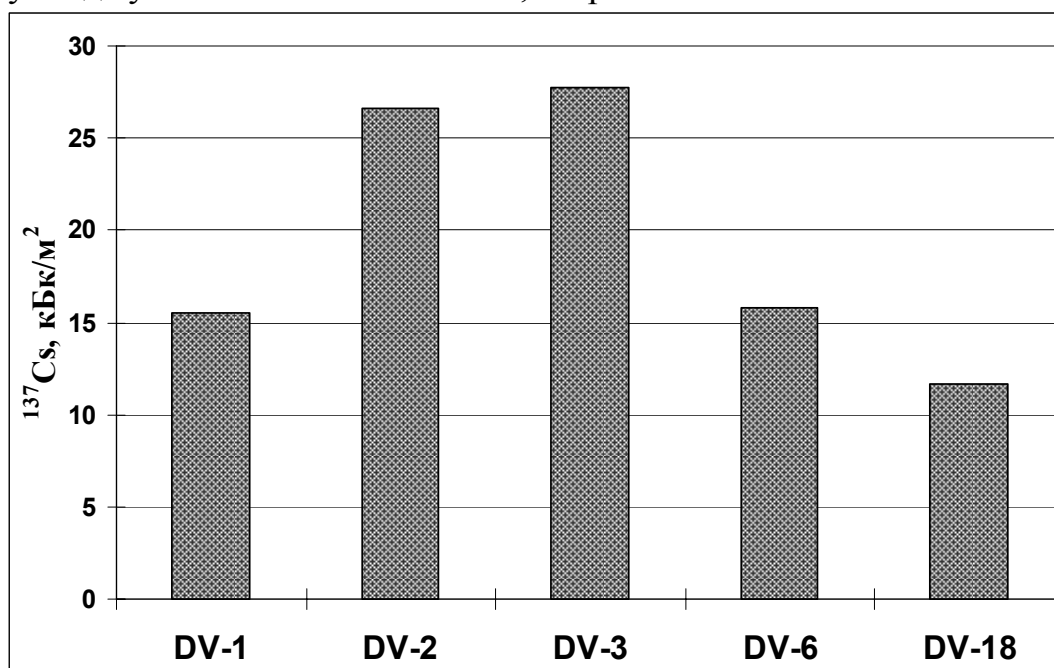


Рис. 4 Плотность загрязнения ^{137}Cs почв днища центральной части и ложбин-отвершков балки

Таким образом, на исследованной территории идет активное вторичное перераспределение ^{137}Cs , поступившего в результате аварии на ЧАЭС. У подножий склонов, в днищах ложбин-отвершков и в центральной части днища балки отмечается аккумуляция ^{137}Cs , которая приводит не только к увеличению удельной активности радионуклида в почвах этих позиций, но и к увеличению его общих запасов. В то же время на склонах отмечается уменьшение удельной активности и плотности загрязнения почв ^{137}Cs , то есть идет процесс естественного самоочищения. На водораздельных участках ведущим процессом, обуславливающим снижение плотности загрязнения почв ^{137}Cs , является радиоактивный распад элемента.

Вертикальное распределение удельной активности ^{137}Cs по профилю почв малого водосбора "Грачева Лощина"

Послойные исследования почв водораздельных участков показали, что в пределах пахотного горизонта типичных черноземов (максимальная глубина пахоты в отдельные годы достигала 30 см) наблюдается равномерное распределение ^{137}Cs по всей глубине, а проникновение его в подпахотный горизонт очень мало и составляет менее 10% от суммарного запаса радионуклида в почве (рис. 5-А).

Как известно, заглубление ^{137}Cs в подпахотную толщу происходит за счет диффузии, биотурбации, неравномерности глубины вспашки, а также с отмершими корнями и прижизненными корневыми выделениями.

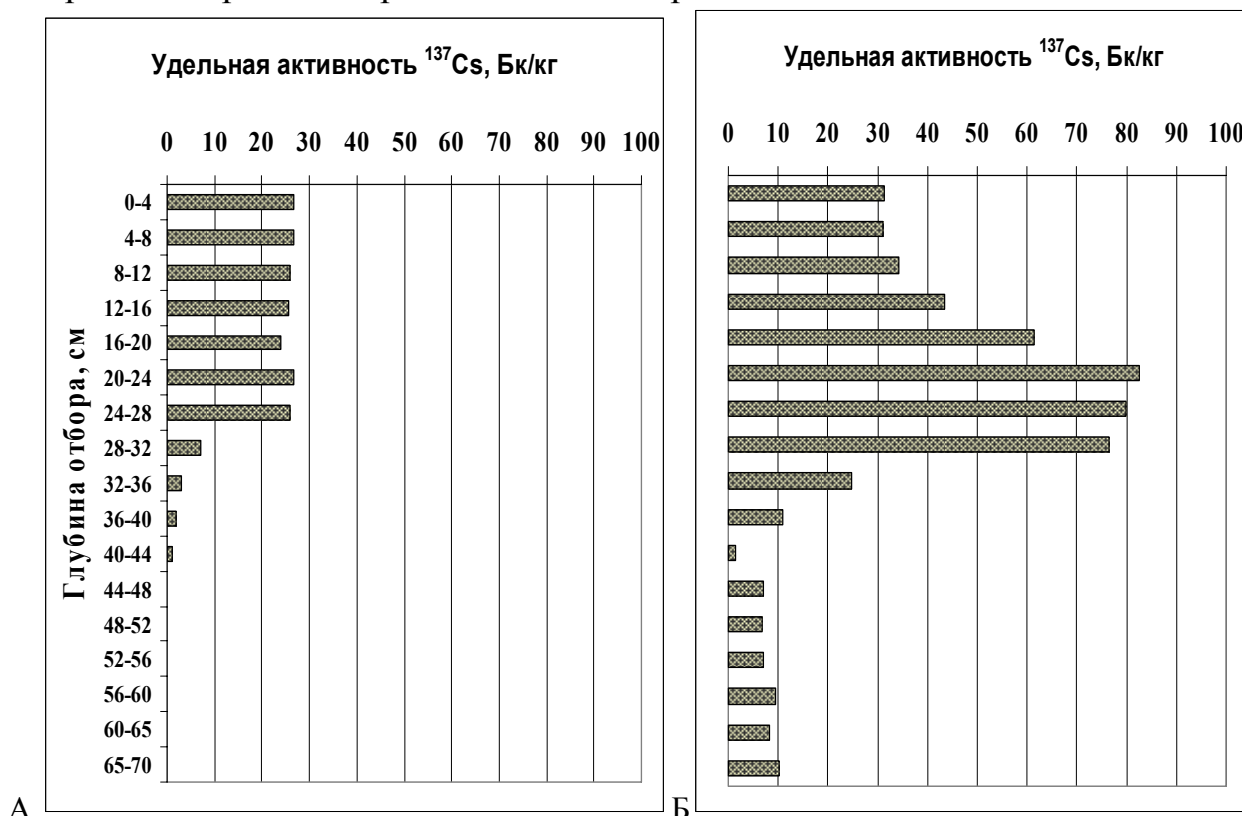


Рис. 5 Вертикальное распределение удельной активности ^{137}Cs по почвенному профилю А) чернозема типичного на водоразделе и Б) намытой лугово-черноземной почвы в центральной части днища балки

Детальные послойные исследования намытых лугово-черноземных почв в днище балки показали, что распределение удельной активности ^{137}Cs по всей намытой толще неравномерно. Пик максимальной активности, маркирующий ^{137}Cs чернобыльских выпадений, находится на глубине 22-32 см (рис. 5-Б). В выше и ниже лежащей толще наблюдается снижение удельной активности ^{137}Cs , что, очевидно, обусловлено современным эрозионным переносом почвенного мелкозема с меньшим содержанием ^{137}Cs со склонов водосбора, что в результате приводит к захоронению наиболее загрязненных слоев почв.

Влияние основных свойств почв на процессы перераспределения ^{137}Cs в почвенном покрове малого водосбора "Грачева Лощина"

Анализ литературных источников позволяет констатировать факт достаточно полного изучения влияния почвенных свойств на миграцию ^{137}Cs в почве. Вместе с тем, установленные корреляционные взаимозависимости между наиболее значимыми показателями почвенных свойств (гумус, pH, содержание глинистых минералов) и подвижностью ^{137}Cs в почве количественно весьма неоднозначны по степени влияния и изменяются в зависимости от почвенно-климатических условий. Это свидетельствует о необходимости исследовать эти связи в каждом конкретном случае.

Влияние гумуса и pH. Для определения тесноты взаимосвязи между накоплением ^{137}Cs в почвах малого водосбора "Грачева Лощина" и содержанием гумуса был выполнен корреляционный анализ. Рассчитанный коэффициент корреляции показал наличие достоверной положительной связи между содержанием гумуса в почвах исследуемого агроландшафта и удельной активностью ^{137}Cs (коэффициент корреляции 0,79 с уровнем значимости 0,01), которая определяется, с одной стороны, способностью органического вещества почв связывать радионуклид, а с другой – парагенетическим развитием процессов дегумификации и выноса ^{137}Cs в ходе эрозионного смыва почв.

Коэффициенты корреляции между ^{137}Cs и значениями pH почв оказались недостаточно высокими (коэффициент корреляции -0,2 с уровнем значимости 0,3), и полученная зависимость не может считаться достоверной, что, видимо, связано с нейтральной реакцией среды и слабым варьированием значений pH в исследуемых почвах.

Влияние гранулометрического состава почв. Известно, что сорбционная способность почв существенно возрастает с увеличением в гранулометрическом составе почв содержания глинистой фракции, что обусловлено большой удельной поверхностью и особенностями ее минералогического состава. В типичном черноземе в составе глинистой фракции ответственными за сорбцию ^{137}Cs , выпавшего на поверхность, выступают иллиты и смектиты, а также их комплексы с органическим веществом.

Для количественной оценки вклада различных фракций гранулометрического состава почв в суммарную активность образцы из поверхностного 30-см слоя почв различных участков склона водосбора были разделены на фракции физической глины (<0,01 мм) и физического песка (>0,01 мм) и в выделенных фракциях была измерена удельная активность ^{137}Cs .

Было показано, что в исследуемых почвах ^{137}Cs неравномерно распределен между фракциями физической глины и физической песка. Удельная активность ^{137}Cs во фракции физической глины оказалась в 2-3 раза выше, чем во фракции физического песка (табл. 3). При этом расчеты распределения ^{137}Cs в почвах по этим фракциям показали, что в исследуемых черноземах с физической глиной связано до 60-70 % суммарной активности.

Таблица 3 Удельная активность ^{137}Cs фракций физического песка (>0,01 мм) и физической глины (<0,01 мм)

Почва и положение на склоне	Содержание фракций, %		Удельная активность ^{137}Cs , Бк/кг		
	>0,01мм	<0,01мм	Весь образец	>0,01мм	<0,01мм
Ч ^т в верхней части склона	60	40	21,7	12,3	34,7
Ч ^т смыто-намытый в средней части склона	53	47	21,0	11,6	30,6
Ч ^т намытый в нижней части склона	56	44	23,2	16,1	34,6

Для оценки аккумулирующей способности исследуемой фракции по отношению к ^{137}Cs был рассчитан коэффициент концентрирования (A_k), равный отношению доли суммарной удельной активности ^{137}Cs , связанной с фракцией, к массовой доле фракции. Во фракции физической глины A_k составляет 1,4-1,6, что подтверждает ее значимость в качестве концентратора техногенного радионуклида. Фракция физического песка не является таковой по отношению к ^{137}Cs ($A_k=0,6-0,7$), однако преобладание данной фракции в общей массе, даже при более низкой удельной активности ^{137}Cs в ней, приводит к значительному вкладу крупной фракции в суммарную активность ^{137}Cs в почве (30-40 %).

Удельная активность ^{137}Cs во фракции физической глины в элювиальных и аккумулятивных позициях ландшафта одинакова, что подтверждает высокую прочность фиксации цезия тонкодисперсными частицами почв и отсутствие процессов его десорбции при эрозионном переносе.

Таким образом, в черноземах типичных Курской области ^{137}Cs в основном содержится во фракции физической глины (60-70 %), которая преобладает в составе взвешенных наносов и в наибольшей степени подвержена латеральному переносу в системе геохимически-сопряженных ландшафтов.

Влияние агрегатного состава почв. Известно, что с поверхностным стоком могут перемещаться как элементарные почвенные частицы, так и агрегаты различного размера. Количество влекомых потоками агрегатов в почвах возрастает с увеличением прочности структуры.

Для изучения водопрочности чернозема типичного и количественной оценки вклада различных фракций водопрочных агрегатов ^{137}Cs в общую активность почв, было проведено «мокрое» просеивание 15 образцов почв и

измерена активность ^{137}Cs во фракциях водопрочных агрегатов крупнее 0,25 мм.

Результаты мокрого просеивания показали, что суммарное количество водопрочных агрегатов $>0,25$ мм в пахотных горизонтах черноземов водосбора составляет в среднем 65 ± 6 %, а структура почв в целом отличается хорошей водопрочностью.

Средневзвешенный размер агрегатов в почвах верхней и средней частей склонов примерно одинаков и составляет 2,5 мм, у подножий склонов он увеличивается до 2,9 мм за счет возрастания на 15-30% массовой доли фракций агрегатов размерами 2-3 мм и >3 мм (рис. 6).

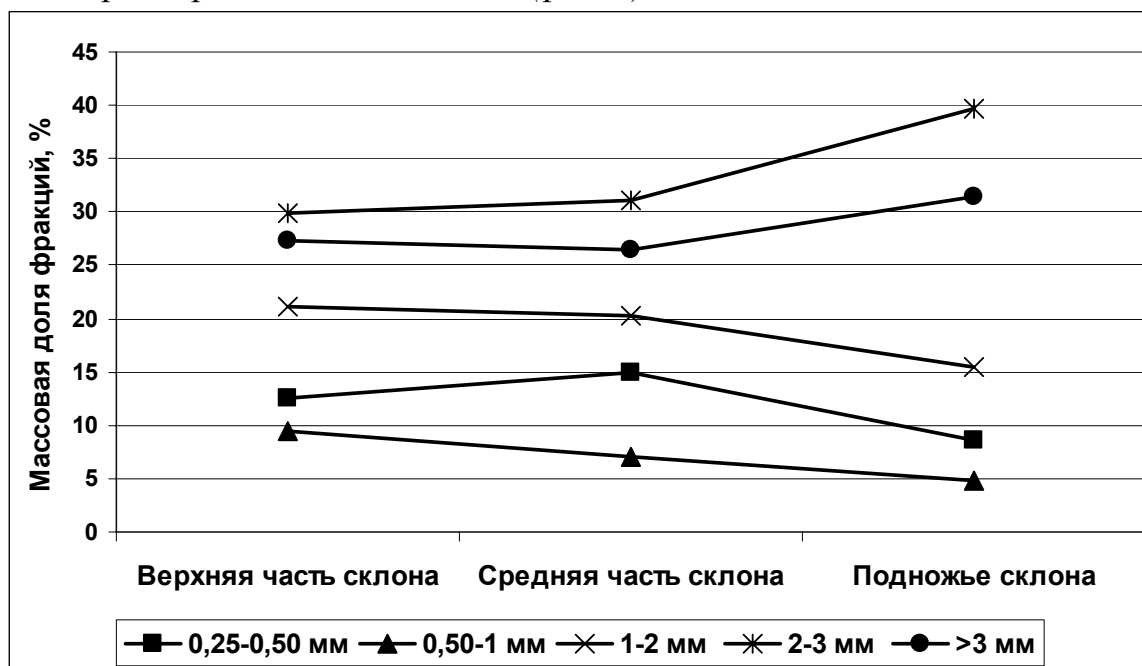


Рис. 6 Содержание фракций водопрочных агрегатов в почвах различных участков склона

Это, видимо, связано с вторичным агрегированием, вследствие увеличения количества гумуса в почвах аккумулятивных позиций рельефа.

Максимальной удельной активностью ^{137}Cs характеризуются мелкие фракции почвенных агрегатов размером 0,5-1 мм и 0,25-0,5 мм, а минимальной — крупные фракции размером 2-3 мм и >3 мм (рис. 7).

Отмечено, что в почвах подножий склонов во всех фракциях водопрочных агрегатов удельная активность ^{137}Cs увеличивается, причем максимум возрастания удельной активности радионуклида наблюдается в мелких фракциях размером <1 мм, и минимум — в крупных фракциях размером >2 мм.

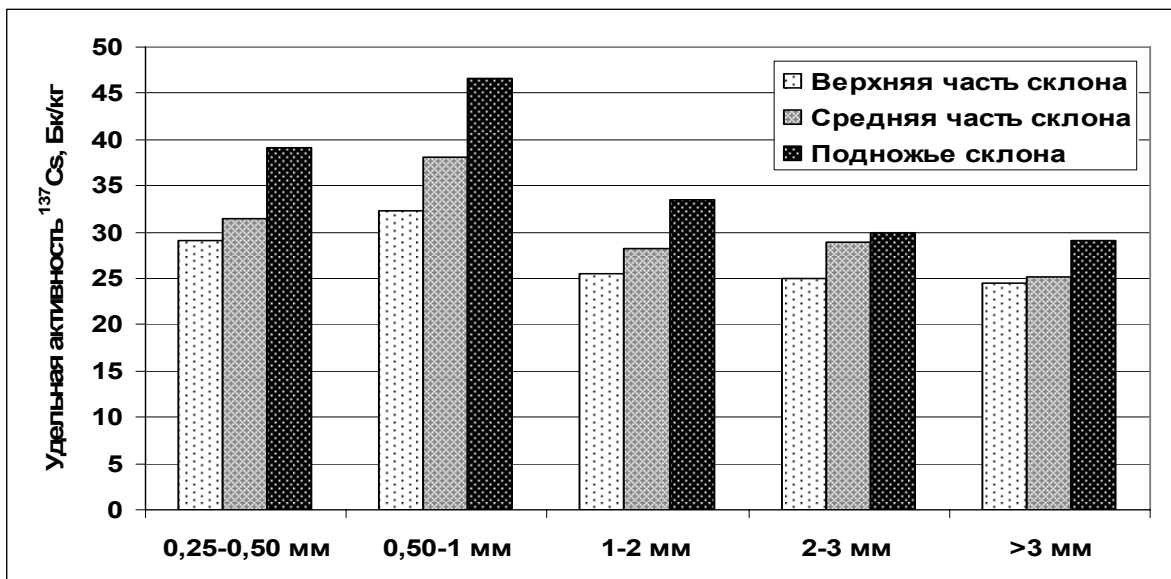


Рис. 7 Удельная активность ^{137}Cs во фракциях водопрочных агрегатов почв различных участков склона

Вместе с тем, анализ вклада исследуемых фракций водопрочных агрегатов в удельную активность ^{137}Cs в целом показал, что основное количество ^{137}Cs связано с фракциями размером 2-3 мм и >3 мм (24-29 и 29-38 % соответственно) (рис. 8). При этом доля удерживаемого в этих фракциях ^{137}Cs достигает максимума в нижней части склона.

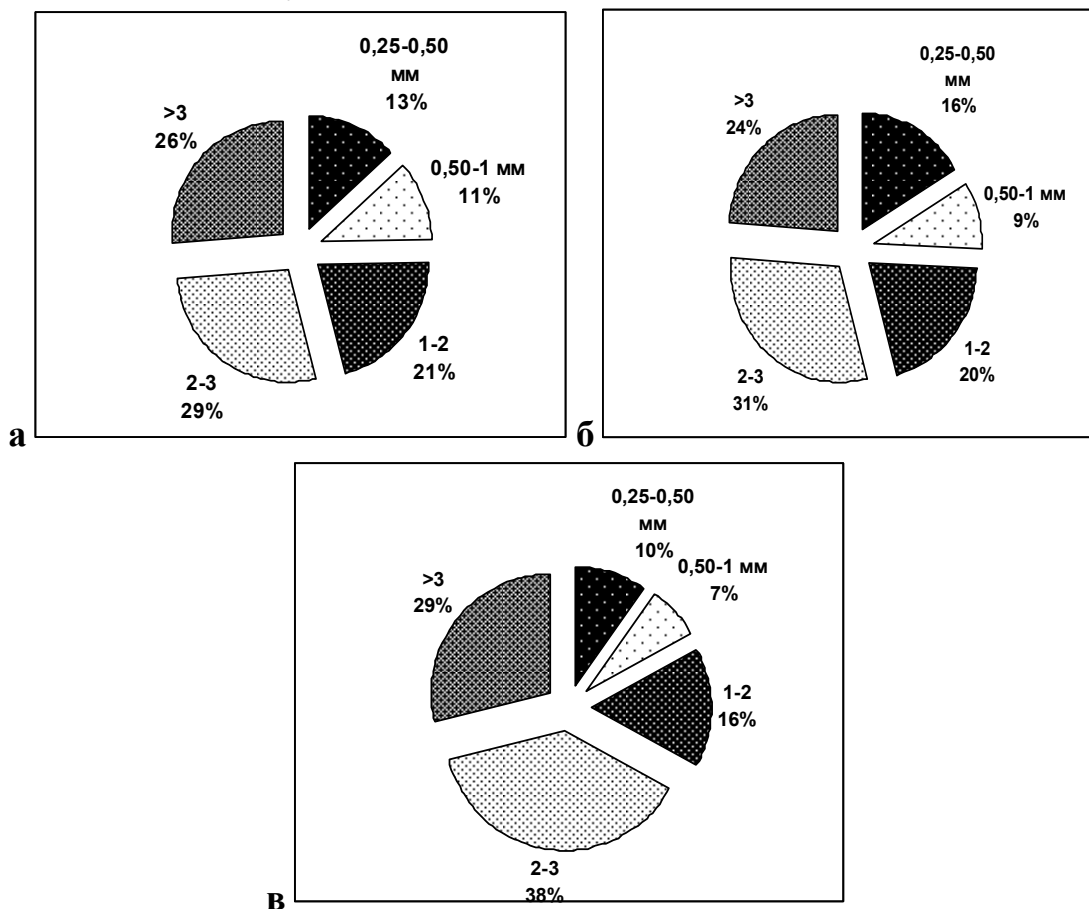


Рис. 8 Распределение ^{137}Cs по фракциям водопрочных агрегатов почв различных участков склона (а – верхняя, б – средняя, в – нижняя часть склона)

Особенности миграции ^{137}Cs в системе «почва-растение»

Радиозэкологическую обстановку в агроландшафте, наряду с плотностью загрязнения почв ^{137}Cs , в большой степени определяют параметры миграции ^{137}Cs в системе «почва-растение». Для оценки подвижности ^{137}Cs в системе «почва-растение» используют коэффициенты перехода (КП - отношение содержания радионуклида в единице массы растения к плотности радиозэкологического загрязнения почвы - $\frac{\text{Бк/кг}}{\text{кБк/кв.м}}$), а также коэффициенты накопления (КН - отношение содержания радионуклида в единице массы растений и почвы соответственно - $\frac{\text{Бк/кг}}{\text{Бк/кг}}$).

Результаты исследований показывают, что вниз по склону и в днище балки общие запасы и содержание ^{137}Cs в фитомассе растений значимо возрастают ~1,5 раза (табл. 4). В зонах аккумуляции наносов отмечается не только увеличение плотности загрязнения почв ^{137}Cs , но и его содержания в растительной продукции. Исключением является лишь некоторое снижение удельной активности ^{137}Cs в фитомассе растений, произрастающих в средней части склона, что, очевидно, обусловлено снижением удельной активности ^{137}Cs в корнеобитаемом слое почв в этой части склона в результате эрозионного выноса радионуклида.

Таблица 4 Накопление ^{137}Cs в надземной и подземной фитомассе травянистой растительности в различных позициях рельефа малого водосбора "Грачева Лощина"

Показатель	Положение в рельефе			
	Участок склона			Днище балки
	Верхний	Средний	Нижний	
Общие запасы фитомассы, кг/м ²	1,61	1,71	2,05	2,52
Средневзвешенная удельная активность ^{137}Cs в фитомассе, Бк/кг	9,4	8,2	12,3	13,7
КН	0,36	0,41	0,42	0,25
КП	1,04	1,28	1,15	0,61
Удельная активность ^{137}Cs в почве, Бк/кг	26	20	29	55
Плотность загрязнения ^{137}Cs почв, кБк/м ²	9,1	6,4	10,7	22,4

Анализ КП ^{137}Cs в растениях показывает, что его величина, а соответственно и биологическая доступность ^{137}Cs в почвах исследуемых участков изменяется не столь однозначно. Она возрастает в почвах нижней части склона, что обусловлено увеличением степени увлажнения почв, и резко снижается (в ~2 раза) в днище балки. Последнее, очевидно, обусловлено видовыми особенностями растений и нарастанием прочности связи ^{137}Cs в почвах этой позиции ландшафта.

Это явление минимизирует негативное влияние зон вторичной аккумуляции ^{137}Cs в системе геохимически сопряженных ландшафтов и снижает интенсивность миграции ^{137}Cs в звеньях пищевой цепи.

Латеральный массоперенос ^{137}Cs в составе эрозионного стока в пределах малого водосбора "Грачева Лощина"

Оценка темпов склоновой эрозии по эмпирико-математической расчетной модели, разработанной сотрудниками НИЛ эрозии почв и русловых процессов географического факультета МГУ им М.В. Ломоносова (Ларионов, 1993), показывают, что наибольший смыл почвы происходит на участке без мелиоративных мероприятий. Средний ежегодный массоперенос мелкозема с немелиорируемых склонов в 4 раза превышает интенсивность эрозионных процессов на мелиорируемых склонах и составляет 12,1 т/га (табл. 5).

Таблица 5 Объемы и темпы массопереноса ^{137}Cs в пределах малого водосбора «Грачева Лощина»

Участок водосбора	Массоперенос по склонам балки			Аккумуляция в днище балки		
	Объемы (числитель, т/год) и темпы (знаменатель, т/га/год) склонового смыва	Массоперенос ^{137}Cs , кБк/год	Темпы массопереноса ^{137}Cs , кБк/га/год	Объемы (числитель, т/год) и темпы (знаменатель, т/га/год) поступления наносов в днище балки	Поступление ^{137}Cs , кБк/год	Темпы поступления ^{137}Cs , кБк/га/год
Без мелиоративных мероприятий	$\frac{2275}{12,1}$	104641	556	$\frac{455}{2,4}$	20930	111
С мелиоративными мероприятиями	$\frac{1140}{2,9}$	52440	133	$\frac{228}{0,6}$	10493	27

Полученные показатели величин эрозии почв были использованы для оценки параметров массопереноса ^{137}Cs по склонам в составе стока наносов и переотложения радионуклида в днище балки. На исследуемой территории массоперенос ^{137}Cs в составе твердого стока с немелиорируемых склонов в 2 раза больше, чем с мелиорируемых и составляет $105 \cdot 10^3$ кБк/год. По результатам полевых исследований, коэффициент доставки наносов в днище балки составил около 20 %. То есть из всего объема перемещенного ^{137}Cs в составе твердого стока около 80% откладывается в пределах склонов и у их подножий и только 20% достигает днища балки ($31,5 \cdot 10^3$ кБк/год).

Элементы баланса ^{137}Cs в агроландшафте малого водосбора лесостепной зоны

На основании полученных результатов для территории малого водосбора "Грачева Лощина" мы попытались рассчитать и сопоставить отдельные элементы баланса ^{137}Cs в агроландшафте.

Основной депонирующей ^{137}Cs средой на исследуемой территории является почвенный покров, где аккумулировано в среднем 87000 кБк/га (в том числе на водоразделе 87000, на склоне - 73000, в днище балки - 136000 кБк/га).

Положительной статьей баланса ^{137}Cs в наземных экосистемах малого водосбора "Грачева Лощина" являются атмосферные выпадения. Темпы поступления ^{137}Cs из атмосферы в наземные экосистемы Курской области в настоящее время не превышают 10 кБк/га (Доклад о состоянии..., 2008).

Отрицательные статьи баланса ^{137}Cs определяются 1) радиоактивным распадом ^{137}Cs , который составляет 2,27 % в год, 2) объемами ежегодного отчуждения с растительной продукцией – 12,5 кБк/га (8-18 кБк/га), что составляет около $1,4 \cdot 10^{-2}\%$ ($1-2 \cdot 10^{-2}\%$) в год, и 3) выносом с грунтовыми водами, который практически отсутствует в связи с прочной фиксацией ^{137}Cs верхними слоями почв и с особенностями гидротермического режима почв лесостепной зоны.

Наряду с этим в пределах малого водосбора "Грачева Лощина" идет перераспределение ^{137}Cs (вынос из верхней и средней частей склонов и аккумуляция в днищах балок и ложбин, а также у подножий склонов) вследствие его латерального массопереноса, который составляет 133-556 кБк/га или 0,2-0,6 % в год, в зависимости от наличия противоэрозионных мероприятий.

Таким образом, сопоставляя количественные показатели статей баланса, можно заключить, что в почвах малого водосбора "Грачева Лощина" расходные статьи баланса – вынос с урожаем и грунтовыми водами - ничтожно малы (менее $2 \cdot 10^{-2}\%$) и не значимы, а определяющими статьями являются радиоактивный распад (2,27%) и латеральный перенос ^{137}Cs (0,2-0,6 %).

Постчернобыльское изменение радиозкологической ситуации на территории малого водосбора "Грачева Лощина"

В 1986 году, непосредственно после аварии на ЧАЭС, плотность загрязнения ^{137}Cs почв различных частей водосбора была примерно одинакова и составляла $13,8 \pm 0,7$ кБк/м², а имеющаяся «микронеоднородность» была обусловлена неравномерностью радиоактивных выпадений. Радиоактивные выпадения ^{137}Cs были сосредоточены в поверхностном (0-2(5) см) слое почв, причем около 10-40 % выпадений задержалось в растительном покрове.

КП ^{137}Cs в растительность были максимальны, поскольку ^{137}Cs выпадал на данной территории в виде аэрозолей, в легко доступной для растений форме соединений. В последующем содержание ^{137}Cs в корнеобитаемом слое почв на водоразделах и склонах снизилось за счет процессов радиоактивного распада, агротурбации и выноса ^{137}Cs , а в днищах балок, ложбин и у подножий склонов – увеличилось в результате эрозионно-аккумулятивных процессов. Вследствие этого, за 20 лет, в пределах малого водосбора «Грачева Лощина» произошли

значительные изменения ореолов полей радиоактивного загрязнения почв ^{137}Cs . В структуре полей загрязнения появились зоны выноса в верхней и средней части склонов с минимальным содержанием ^{137}Cs (5-8 кБк/м²) и зоны вторичной аккумуляции у подножий и в днище балки и ложбин с максимальным содержанием ^{137}Cs (12-24 кБк/м²). Несмотря на радиоактивный распад ^{137}Cs , в днище балки образовались зоны с двукратным превышением первоначальных радиоактивных выпадений ^{137}Cs .

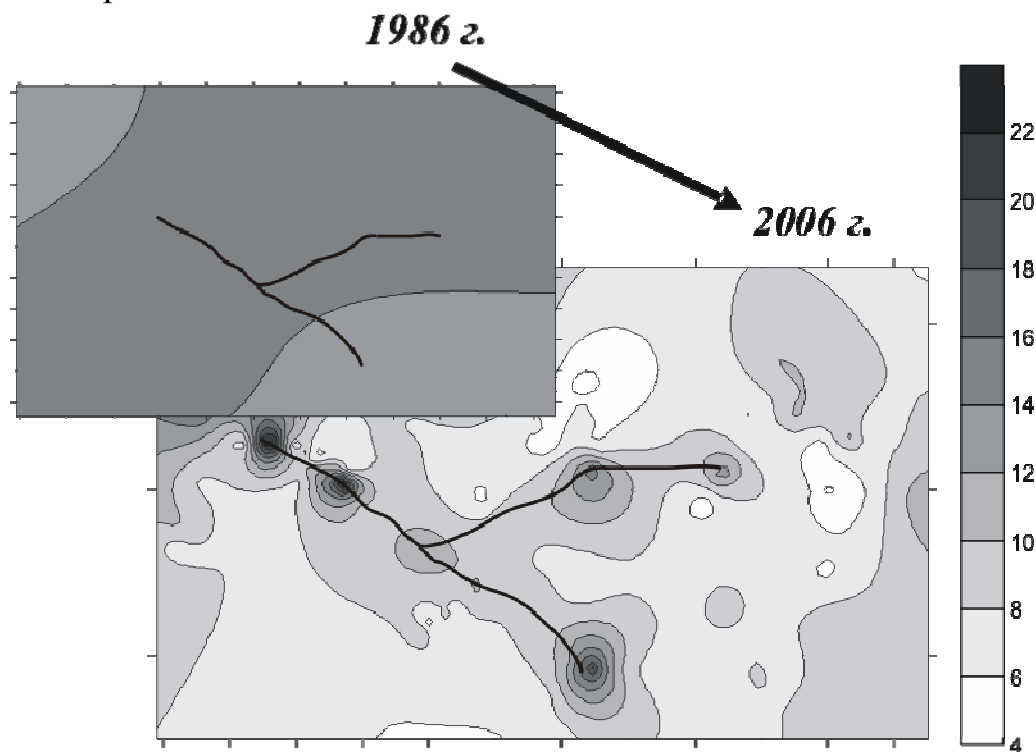


Рис. 9 Карта схема плотности загрязнения ^{137}Cs (кБк/м²) почвенного покрова малого водосбора "Грачева Лощина" в 1986 и 2006 гг.

Таким образом, массоперенос ^{137}Cs в системе геохимически сопряженных ландшафтов приводит к формированию выраженных зон вторичной аккумуляции радиоактивного загрязнения на территории малых водосборов лесостепной зоны, что существенно осложняет радиозэкологическую ситуацию в пределах агроландшафта.

ВЫВОДЫ:

1. Почвы водораздельных пространств малого водосбора «Грачева лощина» характеризуются невысокими уровнями радиоактивного загрязнения: удельная активность ^{137}Cs составляет $26,7 \pm 1,2$ Бк/кг, плотность загрязнения – $8,7 \pm 0,5$ кБк/м². Минимальные показатели загрязнения почв ^{137}Cs отмечаются в средней части склонов ($20,4 \pm 1,2$ Бк/кг / $7,2 \pm 0,4$ Бк/м²), максимальные – в днище балки и ложбин-отвершков ($31,1 \pm 6,2$ Бк/кг / $33,5 \pm 6,7$ Бк/м²).

2. В профиле почв водораздельных и склоновых участков исследуемой территории более 90% ^{137}Cs сосредоточено в пахотном 0-30 см горизонте, где его распределение имеет относительно равномерный характер, что определяется процессами агротурбации. За пределы пахотного слоя проникает <10% от суммарных запасов ^{137}Cs в почве. В профиле намывных почв центральной части днища балки мощность Cs-содержащей толщи увеличивается в 2 раза, здесь основное количество ^{137}Cs аккумуляровано в 0-60 см слое и характеризуется неравномерным распределением с максимумом на глубине 20-30 см.

3. Основным фактором, обуславливающим современную неравномерность загрязнения почв и различия в мощности загрязненного слоя, является латеральный массоперенос ^{137}Cs в составе твердого эрозионного стока. Средняя скорость поступления наносов в днище балки составляет 1-1,5 см/год. Массоперенос твердой фазы почв составляет: $2,3 \cdot 10^3$ т/год с немелиорируемых и $1,1 \cdot 10^3$ т/год с мелиорируемых склонов, в том числе ^{137}Cs в составе твердой фазы соответственно $105 \cdot 10^3$ и $52 \cdot 10^3$ кБк/год, 20 % этого количества откладывается в днище балки ($31,5 \cdot 10^3$ кБк/год).

4. Важную роль в процессах массопереноса ^{137}Cs играют гранулометрический и агрегатный состав почв, а также содержание органического вещества. С фракцией физической глины связано более 60-70%, а с фракцией водопрочных агрегатов крупнее 2 мм – около 50% общих запасов ^{137}Cs в почве. Обнаруживается достоверная положительная корреляция между уровнем удельной активности ^{137}Cs и содержанием гумуса в почве ($R=0,79$).

5. Удельная активность ^{137}Cs во фракции физической глины почв элювиальных и аккумулятивных позиций ландшафта практически одинакова, что свидетельствует о высокой прочности фиксации ^{137}Cs тонкодисперсными частицами почв и отсутствии процессов десорбции данного радионуклида при эрозионном переносе.

6. Активными фракциями в процессе массопереноса ^{137}Cs являются водопрочные агрегаты. Максимальная удельная активность ^{137}Cs отмечается во фракции водопрочных агрегатов размером 0,5-1 мм и 0,25-0,5 мм и минимальная – во фракции водопрочных агрегатов размером >2 мм. Намывные почвы аккумулятивных фаций ландшафта по сравнению с почвами элювиальных и транзитных участков водосбора характеризуются увеличением доли фракций водопрочных агрегатов размером >2 мм (до 70%), а также более высокими значениями удельной активности ^{137}Cs во всех фракциях водопрочных агрегатов, что связано со вторичным агрегированием ^{137}Cs -содержащих наносов.

7. В зонах аккумуляции ^{137}Cs наблюдается 3-х кратное увеличение плотности загрязнения и соответствующее возрастание поступления ^{137}Cs в

растительную продукцию. Вместе с тем биологическая доступность ^{137}Cs растениям в этих условиях снижается, что в целом минимизирует негативное влияние зон вторичного загрязнения на радиоэкологическую обстановку в агроландшафтах.

8. Ежегодный эрозионный вынос ^{137}Cs с 1 га обрабатываемой территории не превышает 0,6% его общего запаса в почве; вынос ^{137}Cs с фитомассой травянистой растительности в 10-22 раза меньше. Фактор массопереноса наряду с естественными процессами радиоактивного распада является определяющим в динамике изменения радиоэкологической обстановки на территории малых водосборов лесостепи.

9. Проведение на склонах малых водосборов мелиоративных мероприятий в сочетании с переходом к менее эрозионноопасному севообороту в 1,5-2 раза снижает интенсивность процессов массопереноса ^{137}Cs и уменьшает вероятность образования зон вторичного радиоактивного загрязнения.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ:

1) **Шамшурина Е.Н.** Радиоэкологические аспекты современного загрязнения почв малых водосборов Курской области // Вестник МГУ. Сер.17. Почвоведение. - 2009. - № 1. - С.27-33.

2) **Парамонова Т.А., Шамшурина Е.Н.** Барьерные функции органического вещества почвы при загрязнении наземных экосистем техногенным цезием-137 глобального рассеяния // Материалы IV Всероссийской конференции «Гуминовые Вещества в Биосфере». - М., 2007, - С.361-369.

3) **Шамшурина Е.Н.** Влияние массопереноса на пространственное перераспределение Cs-137 в малых водосборах лесостепной зоны // Тезисы докладов Юбилейной Всероссийской конференции X Докучаевские молодежные чтения «Почвы и Техногенез». - Санкт-Петербург, 2007, - С.44.

4) **Шамшурина Е.Н., Голосов В.Н., Беляев В.Р., Маркелов М.В.** Динамика аккумуляции наносов в верховьях малой долины (на примере ключевого водосбора в Курской области) // Материалы XXII пленарного межвузовского координационного совещания по проблеме эрозионных, русловых и устьевых процессов. - Новочеркасск, 2007, - С.224-226.

5) **Жидкин А.П., Шамшурина Е.Н.** Сопряженный анализ распределения магнитных сферул и Cs-137 как маркеров эрозии почв // Тезисы докладов Всероссийской конференции XI Докучаевские молодежные чтения «Почва как носитель плодородия». - Санкт-Петербург, 2008, - С.169-170.

6) **Голосов В.Н., Беляев В.Р., Маркелов М.В., Шамшурина Е.Н., Жидкин А.П.** Особенности поступления и перераспределения наносов в днищах долин верхних звеньев флювиальной сети // Материалы XXIII пленарного межвузовского координационного совещания по проблеме эрозионных, русловых и устьевых процессов. - Калуга, 2008, - С.105-107.

7) **Шамшурина Е.Н.** Миграция и аккумуляция Cs-137 в почвах малых водосборов Курской области // Материалы V съезда Всероссийского общества почвоведов им. В.В. Докучаева. - Ростов-на-Дону, 2008, - С.65.

8) Paramonova T., **Shamshurina E.** Features of caesium-137 distribution over grain size fractions of sandy and loamy soils // Thesis of 24th Annual International Conference on Soils, Sediments and Water University of Massachusetts at Amherst, October 20-23, 2008. - Massachusetts, 2008 (электронная версия на сайте - <http://www.umasssoils.com>).

9) Golosov V.N., Belyaev V.R., Kuznetsova J.S., Markelov M.V., **Shamshurina E.N.** Response of a small arable catchment's sediment budget to introduction of soil conservation measures // Material of symposium «Sediment Dynamics in Changing Environments». - Christchurch, New Zealand. IAHS Publ. 325, 2008. - P.106-113.

10) **Шамшурина Е.Н.** Радиоактивность почв Курской области // Материалы Всероссийской научной конференции XII Докучаевские молодежные чтения «Почвы и продовольственная безопасность России». - Санкт-Петербург, 2009, - С.179-180.

11) Мамихин С.В., **Шамшурина Е.Н.** Имитационная модель поведения радионуклидов в почвах склонов и водосборов // Доклады электронной конференции "Информационно-вычислительные технологии в решении фундаментальных научных проблем и прикладных задач химии, биологии, фармацевтики, медицины" (электронная версия на сайте - <http://www.ivtn.ru>).

12) **Шамшурина Е.Н.**, Парамонова Т.А., Голосов В.Н., Жидкин А.П. Процессы деградации в эродированных черноземах Курской области // Эрозионные и русловые процессы на равнинных территориях: Материалы Международной научно-практической конференции, 14-19 сентября 2009 г. – Минск, 2009, - С.133-135.