

Имшенник Екатерина Владимировна

**КАРТОГРАФИЧЕСКОЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ^{137}Cs
НАИБОЛЕЕ ПОСТРАДАВШИХ В РЕЗУЛЬТАТЕ АВАРИИ НА ЧАЭС
РЕГИОНОВ РОССИИ**

Специальность 25.00.36 – «Геоэкология»

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата географических наук

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном учреждении «Институт глобального климата и экологии Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды и Российской академии наук»

Научный руководитель: доктор географических наук
Анохин Юрий Андреевич

Официальные оппоненты: доктор географических наук
Голосов Валентин Николаевич

доктор технических наук
Вакуловский Сергей Мстиславович

Ведущая организация: Государственное научное учреждение
«Всероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной радиологии и агроэкологии Российской сельскохозяйственной академии

Защита состоится «27» октября 2011 г. в 14 часов на заседании
Диссертационного совета Д 002.049.01 в ФГБУ «Институт глобального климата и экологии Росгидромета и РАН» по адресу

107258 Москва ул. Глебовская, 20-б

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБУ «Институт глобального климата и экологии Росгидромета и РАН»

Автореферат разослан « 22 » сентября 2011 г.

Ученый секретарь диссертационного совета,
доктор географических наук, профессор
Черногаева

Г.М.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

АКТУАЛЬНОСТЬ ТЕМЫ. Радиоактивное загрязнение территорий сформировалось в течение последних 60-ти лет и превратилось в одну из глобальных проблем современности. К настоящему времени на территории европейской части России проведены широкомасштабные исследования радиоактивного загрязнения местности ^{137}Cs , возникшего в результате аварии на ЧАЭС: аэрогамма-спектральные съемки, отбор почвенных проб. Полученные данные требовали обработки, совместного анализа и корректировки для составления надежного банка данных загрязнения территорий ^{137}Cs , учитывающего как результаты аэрогамма-спектральной съемки, так и данные о содержании ^{137}Cs в почвенных пробах.

Долгосрочный прогноз уровней загрязнения территорий и численности населения, проживающего на этих территориях, необходим для решения социально-экономических проблем регионов и планирования мер по реабилитации загрязненных территорий.

ЦЕЛЮЮ РАБОТЫ является организация современной системы хранения географической информации о радиоактивном загрязнении, позволяющей использовать эти данные в современных геоинформационных системах. И на основе полученного таким образом банка данных – разработка прогнозов радиоактивного загрязнения местности и численности населения, проживающего на территориях с различным уровнем радиоактивного загрязнения, для четырех наиболее пострадавших в результате аварии на ЧАЭС областей России: Брянской, Калужской, Орловской и Тульской.

Для достижения этой цели соискателем решались следующие ЗАДАЧИ:

1. Разработка технических требований к специализированному программному обеспечению и создание комплекса программного обеспечения для математической обработки географических данных.
2. Разработка схем преобразования поступающих от исполнителей аэрогамма-спектральной съемки данных и картографической информации о загрязнении территории России в результате глобальных выпадений ^{137}Cs , связанных с испытаниями ядерного оружия, в совместимый с геоинформационными системами формат данных.
3. Разработка методики совместной обработки данных аэрогамма-спектральной съемки и результатов измерения содержания ^{137}Cs в почвенных пробах для создания банка данных о радиоактивном загрязнении европейской территории России, учитывающего как данные аэрогамма-спектральной съемки, так и результаты измерения содержания ^{137}Cs в почвенных пробах.
4. Совместная обработка и корректировка данных аэрогамма-спектральной съемки и результатов измерения содержания ^{137}Cs в почвенных пробах для 19 областей России, где обнаружены зоны цезиевого загрязнения с плотностью выше 1 Кюри/км², и построение цифровых массивов данных для каждой территории. Приведение данных о загрязнении ^{137}Cs , полученных в разное время, к единой

дате – 10 мая 1986 г. – моменту прекращения активных выбросов из поврежденного энергоблока ЧАЭС. Формирование единого цифрового массива данных по загрязнению ^{137}Cs для всей Европейской территории Российской Федерации.

5. Прогнозирование уровней и площадей зон загрязнения и построение прогнозных карт загрязнения местности изотопом ^{137}Cs для наиболее пострадавших в результате аварии на ЧАЭС регионов Российской Федерации: Брянской, Калужской, Орловской и Тульской областей.
6. Разработка прогноза динамики численности населения, проживающего на территориях с различной плотностью загрязнения в Брянской, Калужской, Орловской и Тульской области, на период до 2056 г.

НАУЧНАЯ НОВИЗНА полученных результатов состоит в следующем:

- разработана методика и выполнена обработка и увязка данных аэрогамма-спектральной съемки и результатов измерения содержания ^{137}Cs в почвенных пробах. Это позволило создать единый цифровой банк данных о загрязнении европейской территории России изотопом ^{137}Cs , который легко может быть использован для расчетов и построения карт в различных масштабах и картографических проекциях с использованием современных систем обработки географической информации;
- построены прогнозные карты загрязнения ^{137}Cs на период 2016 – 2056 гг. для четырех наиболее пострадавших от аварии на ЧАЭС областей России: Брянской, Калужской, Орловской и Тульской. Рассчитана динамика площадей зон с различным уровнем загрязнения ^{137}Cs ;
- выполнена прогнозная оценка динамики численности населения, которое будет проживать в зонах с различными уровнями радиоактивного загрязнения в 2016 - 2056 гг., для Брянской, Калужской, Орловской и Тульской областей Российской Федерации.

ПРАКТИЧЕСКАЯ ЗНАЧИМОСТЬ Банк данных радиоактивного загрязнения полностью готов для построения карт радиоактивного загрязнения в масштабе 1:200 000 и мельче. Данные прогноза могут быть использованы для оценки ущерба, разработки и планирования мер по медико-социальной и экономической реабилитации населения и территорий, пострадавших в результате аварии на ЧАЭС.

НА ЗАЩИТУ ВЫНОСЯТСЯ СЛЕДУЮЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ:

1. Методика корректировки данных аэрогамма-спектральной съемки по результатам измерения содержания ^{137}Cs в почвенных пробах.
2. Формирование и структурирование банка данных загрязнения ^{137}Cs Европейской части территории Российской Федерации.

3. Построение прогнозных карт загрязнения территории Брянской, Калужской, Орловской и Тульской областей изотопом ^{137}Cs на период 2016 – 2056 гг.
4. Прогноз динамики численности населения, проживающего на территориях с различными уровнями радиоактивного загрязнения в Брянской, Калужской, Орловской и Тульской областях, на период до 2056 г.

АПРОБАЦИЯ РАБОТЫ. Представленные в диссертации работы были выполнены в рамках научной школы академика Ю.А. Израэля в области исследований радиоактивного загрязнения окружающей среды и, в частности, на базе развитых доктором географических наук Е.В. Квасниковой методов картографирования радиоактивного загрязнения местности.

Основные положения и результаты исследований докладывались и обсуждались на следующих конференциях и совещаниях: Международной конференции «Радиологические последствия Чернобыльской аварии» (Минск, 1996); Всероссийской конференции «Картография на рубеже тысячелетий» (Москва, 1997); Международной конференции «Радиоактивность при ядерных взрывах и авариях» (Москва, 2000); Международной конференции «Радиационное наследие XX века и восстановление окружающей среды» (Москва, 2000).

Банк данных радиоактивного загрязнения использовался при составлении карт для атласов: «Атлас радиоактивного загрязнения Европейской части России, Белоруссии и Украины» (Москва, 1998), «Атлас загрязнения Европы цезием-137 после Чернобыльской аварии» (1998), «Национальный Атлас России» (Москва, 2005 - 2008), «Атлас современных и прогнозных аспектов последствий аварии на Чернобыльской АЭС на пострадавших территориях России и Беларуси» (Москва – Минск, 2009).

ПУБЛИКАЦИИ. Материалы проведенных исследований изложены в 9 печатных работах, в том числе в 4 статьях в реферируемом журнале и в 3 атласах.

ЛИЧНЫЙ ВКЛАД АВТОРА. Соискатель принимала участие в разработке программного обеспечения в части написания технического задания и отладки программ, разработанных на географическом факультете МГУ.

Соискателем разработана методика компьютерной обработки данных и выполнена обработка данных, включая первичную обработку, построение массивов данных, их корректировка по результатам измерения содержания ^{137}Cs в почвенных пробах, расчет, построение и анализ прогнозных карт загрязнения ^{137}Cs в 2016 – 2056 гг., расчет и анализ предполагаемой численности населения на территориях с различным уровнем загрязнения ^{137}Cs в 2016 – 2056 гг.

СТРУКТУРА И ОБЪЕМ РАБОТЫ. Работа включает страниц машинописного текста, состоит из 4 глав, введения, заключения, списка литературы (130 наименований) и 2 приложений.

Глава 1 Радиоактивное загрязнение территорий

Загрязнение территорий искусственными радионуклидами связано с военным и мирным использованием атомной энергии, в первую очередь - с ядерными взрывами в атмосфере, радиационными авариями и катастрофами. Радиоактивные выпадения при ядерных взрывах разделяются на локальные, дальние и глобальные.

Основными изотопами в глобальных выпадениях являются долгоживущие ^{90}Sr , ^{137}Cs . Максимальная интенсивность глобальных выпадений наблюдалась в начале шестидесятых годов XX в. Со времени начала ядерных испытаний до 1963 г. в атмосферу Земли было выброшено 19,3 МКи ^{90}Sr и 33 МКи ^{137}Cs [Доклад Научного Комитета ООН, 1962]. Детальные сведения о распределении выпадений ^{137}Cs , полученные с помощью аэрогамма-спектральной съемки, имеются только для территории бывшего СССР [Болтнева Л.И., Израэль Ю.А. и др., 1977]. Средний запас ^{137}Cs в почвах на территории СССР в 1974 году составлял 92 мКи/км² (15 - 200 мКи/км²). Характерна выраженная широтная зональность с максимальными уровнями загрязнения в широтном поясе 50 - 60° с.ш. Отчетливо выражена связь запаса ^{137}Cs с годовым количеством осадков. Уровни загрязнения повышаются при приближении к горным районам, что также может быть связано с увеличением здесь среднегодового количества осадков.

В результате аварии на ЧАЭС, общий выброс радиоактивности (за исключением инертных газов), приведенный к 6 мая 1986 года, составил около 50 МКи или 3,5% от активности, накопленной в реакторе. Радионуклидный состав первичного выброса был близок к нефракционированному составу горючего и осколков деления на момент аварии. Во время горения графита выброс газообразных и аэрозольных продуктов был существенно обогащен летучими радионуклидами: ^{132}Te , ^{131}I , ^{137}Cs , ^{134}Cs [Израэль Ю.А., 1996, Израэль Ю.А., Вакуловский С.М. и др., 1990].

При исследовании радиоактивных выпадений выделено три типа территорий [Израэль Ю.А., Вакуловский С.М. и др., 1990]:

- ближняя зона (до 100 – 150 км от ЧАЭС) с высокими градиентами плотности и большой неоднородностью состава выпадений, обусловленной, по-видимому, вариациями радионуклидного состава выброса;
- зона так называемых цезиевых пятен, расположенных на северной (Гомельская и Могилевская области Белоруссии, Брянская, Тульская и Калужская области РФ) и южной (Киевская, Житомирская и Черкасская области Украины) ветвях радиоактивного следа, а также на южной периферии западного следа (северные районы Житомирской и Ровенской областей). Коэффициенты фракционирования $^{134,137}\text{Cs}$, ^{131}I , ^{125}Sb , $^{110\text{m}}\text{Ag}$ относительно ^{144}Ce , ^{95}Nb , ^{95}Zr достигают здесь 100 и более единиц. Образование этих пятен, расположенных на расстоянии в сотни и тысячи километров от места аварии, связано с выпадением обильных дождевых осадков;

– за пределами цезиевых пятен, в так называемых фоновых районах, наблюдается пространственная неоднородность и существенное обогащение чернобыльских радиоактивных выпадений летучими радионуклидами (^{125}Sb , $^{134,137}\text{Cs}$, ^{106}Ru).

По продолжительности жизни (периоду полураспада) чернобыльские радионуклиды разделяются [Израэль Ю.А., 1996] на короткоживущие: ^{239}Np (2,35 сут.), ^{99}Mo (2,73 сут.), ^{132}Te (3,27 сут.), ^{131}I (8,04 сут.), $^{140}\text{Ba}+^{140}\text{La}$ (12,6 сут.); промежуточные: ^{95}Zr (64 сут.), ^{103}Ru (39 сут.), ^{106}Ru (368 сут.), ^{89}Sr (51 сут.), ^{141}Ce (32,5 сут.), ^{144}Ce (284 сут.), ^{91}Y (58,5 сут.), $^{110\text{m}}\text{Ag}$ (250 сут.); долгоживущие: ^{134}Cs (2,07 лет), ^{125}Sb (2,7 лет), ^{90}Sr (28,5 лет), ^{137}Cs (30,2 лет), ^{241}Am (432,8 лет) и весьма долгоживущие: ^{239}Pu (24380 лет), ^{240}Pu (6537 лет). Расчеты дозовых нагрузок от внешнего гамма-излучения [Израэль Ю.А. и др., 1987] показывают, что даже в ближней зоне радиоактивного следа в период времени от 1 года до 50 лет ^{137}Cs является основным дозообразующим изотопом. Доза от ^{137}Cs в это время составляет от 70 до 90% суммарной дозы от всех радиоактивных изотопов. Тем более это относится к зоне цезиевых пятен и фоновым районам.

С первого дня аварии проводилась гамма-съемка радиоактивного загрязнения атмосферы и местности наземными и самолетными (вертолетными) средствами, оборудованными рентгенометрической, гамма-спектрометрической и пробоотборной аппаратурой. Результаты этих исследований изложены в работах [Израэль Ю.А., 1996, Израэль Ю.А., Вакуловский С.М. и др., 1990]. Результатом обобщения широкомасштабных работ по радиационному мониторингу загрязнений, проводившихся для изучения глобальных выпадений и последствий аварии на ЧАЭС, стало издание в 1998 году Атласа радиоактивного загрязнения территории европейской части России, Белоруссии и Украины [Атлас радиоактивного загрязнения европейской части России, Белоруссии и Украины., 1998] и карты радиоактивного загрязнения территории России цезием-137 по состоянию на 90-ые годы XX века в масштабе 1 : 4 000 000 [Израэль Ю.А., Имшенник Е.В., Квасникова Е.В. и др., 2000]. В 1998 году в рамках программы сотрудничества между Комиссией ЕС и СНГ был подготовлен Атлас загрязнения Европы цезием после Чернобыльской аварии [Атлас загрязнения Европы цезием-137 после Чернобыльской аварии, 1998].

Глава 2 Построение банка данных по загрязнению Европейской части России изотопом ^{137}Cs

После аварии на ЧАЭС в 1988 – 1994 гг. в ИГКЭ в процессе реализации программы мониторинга радиоактивного загрязнения поступали данные аэрогамма-спектральной съемки и результаты измерения содержания ^{137}Cs в почвенных пробах. Картограмма изученности территории СНГ аэрогамма-спектральной съемкой приводится на рисунке 1. Кроме того, в 1974 г. в Институте прикладной геофизики была составлена карта глобального загрязнения поверхности выпадениями ^{137}Cs в результате испытаний ядерного оружия в атмосфере.

Эти данные должны были использоваться для построения карт, расчетов, сопоставления с другими данными с использованием геоинформационных технологий. Это потребовало составления единого банка данных радиоактивного загрязнения, сопоставления и увязки поступающих данных между собой, приведения к единому формату записи, который мог быть использован в процессе дальнейшей компьютерной обработки данных.

Для обработки данных мониторинга радиоактивного загрязнения, а также для решения различных задач геоэкологического картографирования, в Институте глобального климата и экологии был сформирован комплекс программ математической обработки географических данных. В состав этого программного обеспечения входят как стандартные коммерческие программы, так и программы, специально разработанные для решения задач радиоэкологического картографирования.

2.1 Программное обеспечение для геоинформационного картографирования радиоактивного загрязнения.

Основой программного обеспечения для обработки данных аэрогамма-спектральной съемки и построения карт, стали программы, созданные на географическом факультете МГУ:

- Программный комплекс **Mag** для создания, моделирования и анализа цифровых моделей поверхностей, а также для их графического представления;
- Картографический редактор **Digitmap** для ввода, редактирования графической и атрибутивной информации;
- Картографический калькулятор **Magstat**.

В дальнейшем программа **Mag** по техническому заданию ИГКЭ была модернизирована, и с ее помощью стало возможным решение задач обработки данных аэрогамма-спектральной и наземной съемки, построения различных карт и массивов данных. Для этого были сделаны следующие изменения:

- существенно расширены возможности работы программы с большими по объему занимаемой памяти массивами данных;
- добавлена программа построения цифровой модели поверхности по исходным данным в виде изолиний.
- разработана программа **Demglue**. Эта программа предназначена для «склеивания» цифровых моделей, сетка которых может быть задана в географических координатах, в координатах в проекции Гаусса-Крюгера, а также в условных координатах.

Кроме того, авторами программы была передана в ИГКЭ структура бинарного формата **dem**, что позволило написать ряд программ для перезаписи исходных данных аэрогамма-спектральной съемки.

Для картографирования радиоактивного загрязнения с 1995 года используется геоинформационная система **Arc/Info** с дополнительными модулями **GRID** и **TIN**.

Для ввода графической информации в систему **Arc/Info** используется пакет программ интерактивной векторизации растровых изображений **Easy Trace** версия 7.7.

Разработанный комплекс программ позволяет решать различные задачи ввода, редактирования, обработки географической информации, проведения расчетов и построения карт радиоактивного загрязнения. Его использование позволило создать в ИГКЭ компьютерный банк данных о загрязнении территории Российской Федерации ^{137}Cs .

2.2 Состав и структура банка данных загрязнения ^{137}Cs Европейской территории России, характеристика исходных данных.

Загрязнение местности в результате испытаний ядерного оружия и аварий и выбросов на АЭС и предприятиях атомной промышленности представлено данными о плотности загрязнения местности и запасе в почвах ^{137}Cs – основного долгоживущего γ -излучающего радиоактивного элемента, определяющего радиационную обстановку на обширных территориях. Эти данные были получены при изучении глобальных выпадений в результате атмосферных испытаний ядерного оружия и в процессе мониторинга радиоактивного загрязнения после аварии на ЧАЭС.

Глобальное загрязнение Земли в результате испытаний ядерного оружия в атмосфере в основном сформировалось в 1945 – 1963 годах. Данные об этом загрязнении на территории СССР были получены к 1974 году методом аэрогамма-спектральной съемки. По данным аэрогамма-спектральной съемки в 1974 году были построены карты изолиний на всю территорию бывшего СССР в масштабе 1 : 2 500 000.

Для того, чтобы представить эти данные в виде цифровых массивов, пригодных для последующих расчетов и построения карт, полученные изолинии были с помощью графического редактора введены в компьютер и с помощью процедур интерполяции пересчитаны в географические координаты. Затем по этим данным была построена цифровая модель с разрешением 30' по долготе и 15' по широте. В средних широтах такое разрешение соответствует ячейке грида $\sim 32 * 27$ км, что вполне достаточно, учитывая масштаб съемки и плавный характер изменения поля глобального выпадения ^{137}Cs в пространстве.

После аварии на ЧАЭС в процессе реализации программы мониторинга радиоактивного загрязнения 8 организаций-исполнителей Мингеологии РФ и Росгидромета передавали в ИГКЭ данные о плотности загрязнения территории ^{137}Cs , о запасе ^{137}Cs в почвах, о мощности экспозиционной дозы гамма-излучения, а также данные о содержании в почвах естественных радиоактивных элементов – ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K . Суммарная площадь съемки на территории России 7,76 млн. км², в ИГКЭ были переданы результаты измерений для 1,8 млн. точек.

Аэрогамма-спектральная съемка выполнялась в соответствии с разработанными в ИПГ Временными методическими указаниями [Назаров И.М., Фридман Ш.Д., 1990]. Предусматривалось выполнение съемки в различных масштабах в зависимости от

предполагаемой степени загрязненности региона радионуклидами: 1 : 1 000 000 - для территорий с предполагаемым загрязнением менее 0,5 Ки/км², 1 : 200 000 – для территорий с уровнем загрязнения более 0,5 Ки/км². Аэрогамма-спектральная съемка проводилась в сочетании с измерением содержания ¹³⁷Cs в пробах почвы.

Данные аэрогамма-спектральной съемки передавались в ИГКЭ в виде цифровых массивов, пересчитанных на регулярную прямоугольную сетку и записанных в текстовом, реже бинарном формате. Каждый цифровой массив сопровождался дополнительной информацией о параметрах и характеристиках съемки и передаваемого массива данных.

Поступающие массивы записывались в банк данных ИГКЭ в исходном виде и затем перезаписывались в стандартный формат dem – бинарный формат, используемый для хранения и обработки цифровых моделей. После этого, путем сопоставления данных на магнитном носителе и соответствующих карт проводилась проверка правильности географической привязки и качества исходных данных. При обнаружении ошибок или в случае передачи некачественных материалов в электронном формате в организацию, проводившую аэрогамма-спектральную съемку, посылался запрос об исправлении ошибок или о повторном предоставлении материалов съемки. В результате получена совокупность исходных массивов аэрогамма-спектральной съемки, проверенных, корректно географически привязанных и перезаписанных в единый формат.

На втором этапе обработки поступающих массивов аэрогамма-спектральной съемки проводилось их сопоставление с результатами наземного опробования. На этом этапе использовалась программа Mag, позволяющая в автоматическом режиме сопоставлять данные, представленные в виде цифровой модели в формате dem, с данными, представленными в виде массива хаотически расположенных точек измерения. В этом случае, используя методы средне-взвешенной интерполяции, по цифровой модели поля радиоактивного загрязнения, полученной методом аэрогамма-спектральной съемки, вычисляются значения этого поля в точках наземного пробоотбора. Затем значения авиационных и наземных данных сравниваются с использованием стандартных статистических процедур.

Затем карты аэрогамма-спектральной съемки уточнялись по данным наземного пробоотбора, проводилась увязка изолиний на границах соседних участков съемки.

В результате для всех 19 административных областей Российской Федерации, где уровень загрязнения превысил 1 Ки/км², мы имеем цифровые массивы, учитывающие как аэрогамма-спектральные, так и наземные исследования. Полный учет всей имеющейся информации о радиоактивном загрязнении наиболее актуален именно для этих регионов России после введения в действие в 1991 году «Закона Российской Федерации о социальной защите граждан, подвергшихся воздействию радиации вследствие катастрофы на Чернобыльской АЭС».

Для областей с низкими уровнями загрязнения работы по уточнению результатов аэро съемки по данным наземных исследований не проводились и для построения карт использовались исходные данные аэрогамма-спектральной съемки.

Затем массивы по всем регионам Российской Федерации были пересчитаны на 10 мая 1986 года – момент прекращения радиоактивных выбросов из поврежденного четвертого энергоблока Чернобыльской АЭС. Пересчет учитывал радиоактивный распад ^{137}Cs за время от 10 мая 1986 года до момента проведения аэрогамма-спектральной съемки и проводился по формуле:

$$^{137}\text{Cs}(t_0) = ^{137}\text{Cs}(t) * \exp(0,693 * (t-t_0)/T_{0,5}), \text{ где}$$

$^{137}\text{Cs}(t_0)$ - запас ^{137}Cs на 10 мая 1986 года, $^{137}\text{Cs}(t)$ – запас ^{137}Cs на момент проведения аэрогамма-спектральной съемки, $t-t_0$ – время, прошедшее с 10 мая 1986 года до момента съемки, годы, $T_{0,5}$ – период полураспада ^{137}Cs , равный 30,1 года.

Процесс корректировки массива аэрогамма-спектральных данных по результатам наземных исследований иллюстрируется рисунком 2.

После того, как все данные о радиоактивном загрязнении были увязаны между собой, исправлены по результатам измерения радиоактивного загрязнения в почвенных пробах и приведены к одному и тому же моменту времени, стало возможным построение единого массива данных для всей территории Российской Федерации. Этот цифровой массив был построен с помощью программы *Demglue* путем последовательного объединения отдельных массивов данных.

Полученные в результате обработки массивы данных о радиоактивном загрязнении ^{137}Cs территории субъектов Российской Федерации представляют собой матрицы, построенные в координатах Гаусса-Крюгера. Эти массивы данных могут быть использованы для построения карт в среднем масштабе (1 : 200 000 – 1 : 1 000 000) на территорию одного или нескольких субъектов Российской Федерации.

Массивы были использованы при построении карт загрязнения местности ^{137}Cs , а также прогнозных карт и карт мощности дозы γ -излучения (Экологическое состояние бассейна Днепра на территории России, Москва, 2009, Атлас радиоактивного загрязнения Европейской части России, Белоруссии и Украины, Москва, 1998).

Кроме того, путем последовательного объединения массивов данных по субъектам Российской Федерации был построен единый массив данных о радиоактивном загрязнении на всю европейскую территорию России. Этот массив представляет собой матрицу значений загрязнения местности ^{137}Cs , построенную в географических координатах. Пространственное разрешение массива составляет 3' по долготе и 1,5' по широте. Данные могут быть использованы для различных расчетов и для построения мелкомасштабных карт на большие территории с использованием разных картографических проекций. На рисунке 3 приводится карта загрязнения Европейской территории России ^{137}Cs в 1986 году, построенная с использованием единого массива.



Карта загрязнения Cs-137, построенная по исходным данным, с населенными на нее исправленными изолиниями.



Темно-серыми цветом выделены зоны, где выполняется замена значений в исходном гриде, светло-серыми – зоны, где выполняется усреднение исходных и новых значений.



Карта загрязнения Cs-137, построенная по откорректированному гриду данных.



Рис. 2 Корректировка исходного массива данных (грида) для Калужской области по результатам измерения содержания ^{137}Cs в пробах почвы в населенных пунктах (данные НПО «Гайфун»)

Единый массив данных использовался при построении мелкомасштабных карт загрязнения территорий ^{137}Cs (Атлас загрязнения Европы цезием-137 после Чернобыльской аварии, 1998, Национальный Атлас России, Москва, 2005).

Глава 3. Прогноз динамики загрязнения ^{137}Cs территорий Брянской, Калужской, Орловской и Тульской областей в 2016 – 2056 гг.

Картографический прогноз рассматривается как способ изучения процессов и явлений, недоступных современному непосредственному исследованию [Берлянт А.М., 2002]. В основе прогноза лежат картографические (математические) экстраполяции, понимаемые в широком смысле как распространение закономерностей, полученных в ходе картографического анализа какого-либо явления на неизученную часть этого явления, на другую территорию и (или) будущее время. Достоверность прогнозных карт и расчетов зависит от заблаговременности и дальности экстраполяции, характера самого явления, его стабильности и подвижности, а также от достоверности и полноты исходных карт, устойчивости выявленных тенденций, тесноты взаимосвязей, что во многом определяется самой методикой прогнозирования.

Долгосрочный прогноз радиоактивного загрязнения пострадавших территорий изотопом ^{137}Cs представляет собой актуальную научно-практическую задачу. Ее решение необходимо для планирования и осуществления мер, направленных на выполнение экологического оздоровления и развития экономики на загрязненных территориях.

Особенности поведения радионуклидов в почвах определяются в значительной мере состоянием и формой их нахождения в почвах. При исследовании поведения глобальных выпадений Cs^{137} в почве отмечалась его малая подвижность - основная часть ^{137}Cs в почвах находится в нерастворимой форме, обменная форма составляет не более 20%, а растворимая – не более первых процентов [Павлоцкая Ф.И., 1974].

Для радиоактивных выпадений чернобыльского происхождения доля изотопа ^{137}Cs в необменной форме существенно превышает значения, полученные для глобальных выпадений ^{137}Cs (от 82 до 99%). [Коноплев А.В., Борзилов В.А. и др., 1988, Борзилов В.А., Бобовникова Ц.И. и др., 1993].

Высокая доля необменных форм радионуклидов в почве определяет их малую подвижность и невозможность участвовать в процессах горизонтальной и вертикальной миграции в растворенном состоянии.

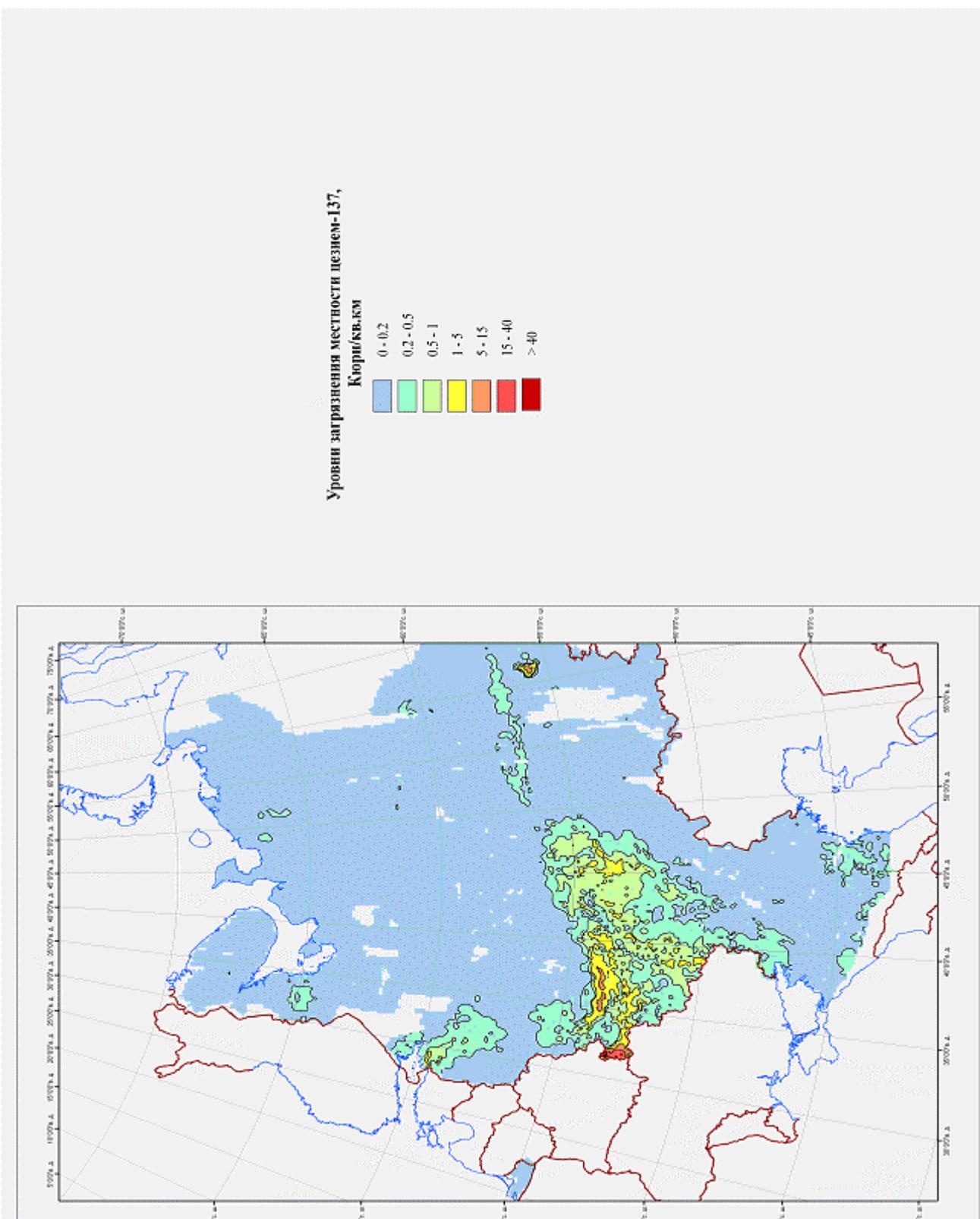


Рис. 3 Загрязнение территории Европейской части России цезием-137 в 1986 году.

Поверхностным стоком в растворенном состоянии смываются только обменные и растворимые в воде формы радионуклидов, необменные формы выносятся исключительно на взвешенных частицах. Поэтому горизонтальная миграция ^{137}Cs может осуществляться только за счет эрозионно-аккумулятивных процессов и процессов дефляции.

Влияние ветровой эрозии в условиях Европейской части территории России незначительно [Кашипаров В.А., Лоцилов Н.А. и др., 1991, Возженников О.И., Нестеров А.В., 1993]

Поскольку горизонтальная миграция ^{137}Cs происходит с почвенными частицами, то большое значение имеет изучение перемещения почвогрунтов для определения характера изменения поля радиоактивного загрязнения. В ненарушенных ландшафтах равнин темпы смыва почв составляют менее 0,001 т/га в год [Ларионов Г.А., 1993] и поэтому не играют значительной роли в трансформации поля радиоактивного загрязнения.

Процессы горизонтальной миграции ^{137}Cs изучены в работах [Ветров В.А., Алексеенко В.А., 1992, Фридман Ш.Д., Квасникова Е.В. и др., 1997, Квасникова Е.В., Жукова О.М. и др., 2005, Квасникова Е.В., Гордеев С.К. и др., 2009]. В работе [Израэль Ю.А., Имшенник Е.В. и др., 1998] показано, что при мелко- и среднемасштабном прогнозировании (масштаб 1 : 200 000 и мельче) радиоактивного загрязнения местности ^{137}Cs , для прогнозирования уровней загрязнения достаточно учитывать только радиоактивный распад ^{137}Cs . При крупномасштабном, локальном прогнозировании необходимо будет учитывать процессы эрозии, смыва и аккумуляции почв в ландшафтах, а также данные о хозяйственной деятельности, направленной на дезактивацию местности, борьбу с эрозией почв и т.д.

Учитывая эти соображения, расчет прогнозных карт мелкого и среднего масштаба осуществлялся по формуле радиоактивного распада ^{137}Cs .

$$^{137}\text{Cs}(x,y,t) = ^{137}\text{Cs}(x,y,t_0) e^{-\lambda(t-t_0)},$$

где λ – постоянная распада ^{137}Cs , равная 0,0231 год⁻¹, t – год расчета прогнозных карт, t_0 – год исходного массива данных, который используется для расчета прогнозных карт.

Серии прогнозных карт, построенных для территорий Брянской, Калужской, Орловской и Тульской областей, опубликованы в «Атласе современных и прогнозных аспектов последствий аварии на Чернобыльской АЭС на пострадавших территориях России и Беларуси» (Москва – Минск, 2009). Прогнозные карты загрязнения ^{137}Cs Брянской и Тульской областей приводятся на рисунках 4 и 5.

Результаты прогнозирования использовались для оценки динамики площадей зон с различными уровнями загрязнения на территории Брянской, Калужской, Орловской и Тульской областей (таблица 1).

Таблица 1.

Площади зон с различными уровнями загрязнения на территории Брянской, Калужской, Орловской и Тульской областей, км²

Год	Уровни загрязнения, Кюри/км ²			
	1 – 5	5 – 15	15 – 40	> 40
Брянская область				
1986	8717	2950	2239	569
1996	4686	3333	1583	276
2006	4455	3161	1150	82
2016	3976	2788	895	22
2026	3835	2490	593	7
2036	4015	2145	319	4
2046	4491	1539	120	1
2056	4577	1091	27	-
Калужская область				
1986	3577	1453		
1996	3327	732		
2006	3641	404		
2016	3301	113		
2026	2703	39		
2036	2126	5		
2046	1824	-		
2056	1470	-		
Орловская область				
1986	9782	393		
1996	6400	61		
2006	4868	-		
2016	2660	-		
2026	1592	-		
2036	1140	-		
2046	639	-		
2056	337	-		
Тульская область				
1986	11421	1922		
1996	8733	610		
2006	7895	403		
2016	6754	112		
2026	5745	4		
2036	4610	-		
2046	3371	-		
2056	2006	-		

Кроме того, было рассчитано время исчезновения пятен с различными уровнями загрязнения ¹³⁷Cs (таблица 2).

Результаты анализа динамики площадей загрязнения для 1986, 2006 и 2056 гг. приводятся в таблице 3.

Таблица 2.

Годы исчезновения повышенного и высокого загрязнения местности цезием-137 на территории Брянской, Калужской, Орловской и Тульской областей.

Область	Уровень радиоактивного загрязнения, Кюри/км ²			
	> 40	> 15	> 5	> 1
Брянская	2049	2092	2139	2209
Тульская			2029	2099
Калужская			2042	2112
Орловская			2001	2071

Таблица 3

Анализ динамики площадей загрязнения Брянской, Калужской, Орловской и Тульской областей в 1986, 2006 и 2056 гг., % от общей площади области

Уровни загрязнения, Кюри/км ²	1986	2006	2056
Брянская область			
Вся загрязненная территория, в том числе:	41,7	25,3	16,4
1 – 5 Кюри/км ²	25,1	12,8	13,2
5 – 15 Кюри/км ²	8,5	9,1	3,1
15 – 40 Кюри/км ²	6,5	3,3	0,1
> 40 Кюри/км ²	1,6	0,2	-
Калужская область			
Вся загрязненная территория, в том числе:	16,8	13,5	4,9
1 – 5 Кюри/км ²	12,0	12,2	-
5 – 15 Кюри/км ²	4,9	1,4	4,9
Орловская область			
Вся загрязненная территория, в том числе:	41,2	19,7	1,4
1 – 5 Кюри/км ²	39,6	19,7	1,4
5 – 15 Кюри/км ²	1,6	-	-
Тульская область			
Вся загрязненная территория, в том числе:	52,0	32,3	8,0
1 – 5 Кюри/км ²	44,5	30,7	8,0
5 – 15 Кюри/км ²	7,5	1,6	-

Брянская область

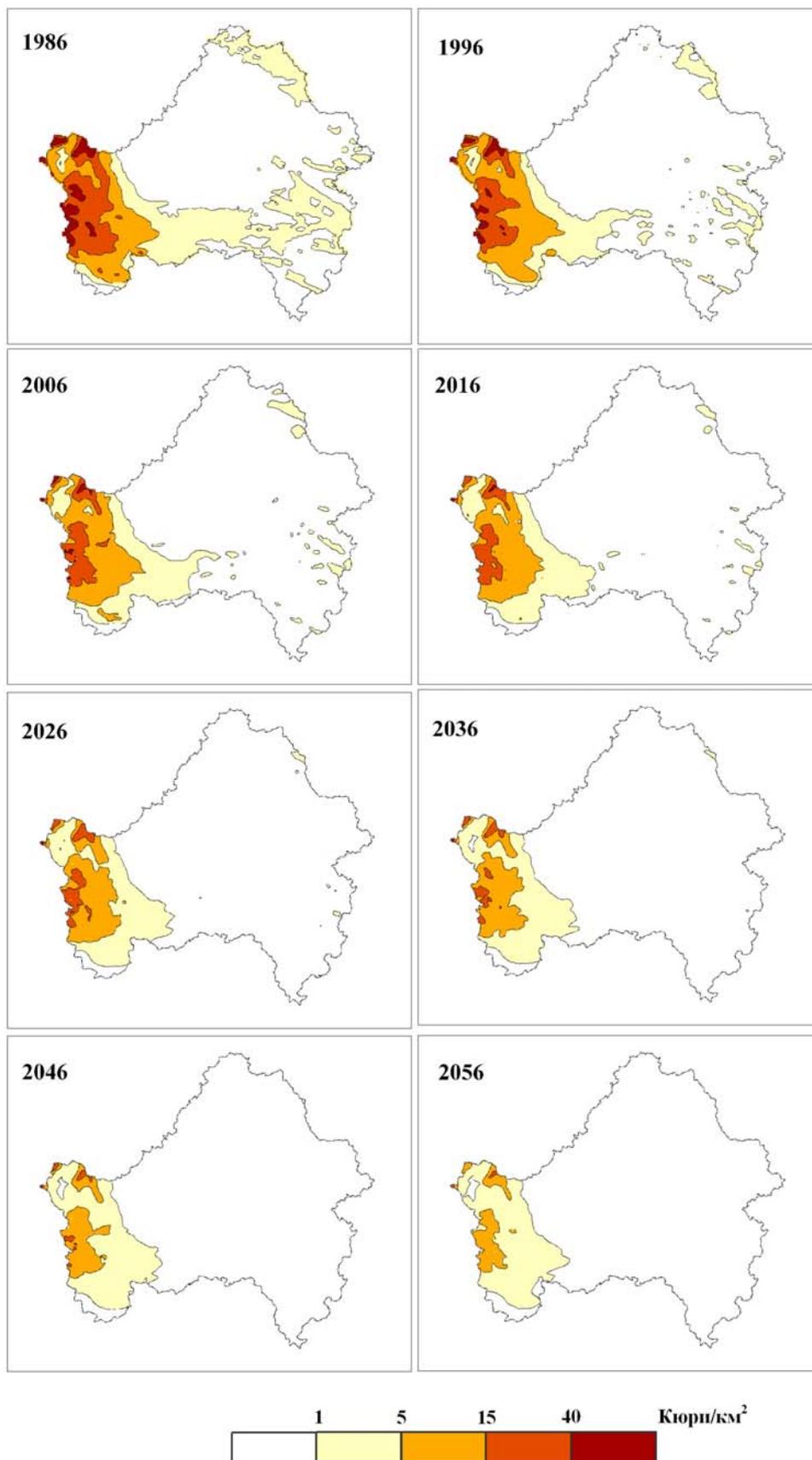


Рис. 4 Загрязнение территории Брянской области ^{137}Cs в 1986 – 2056 гг.

Тульская область

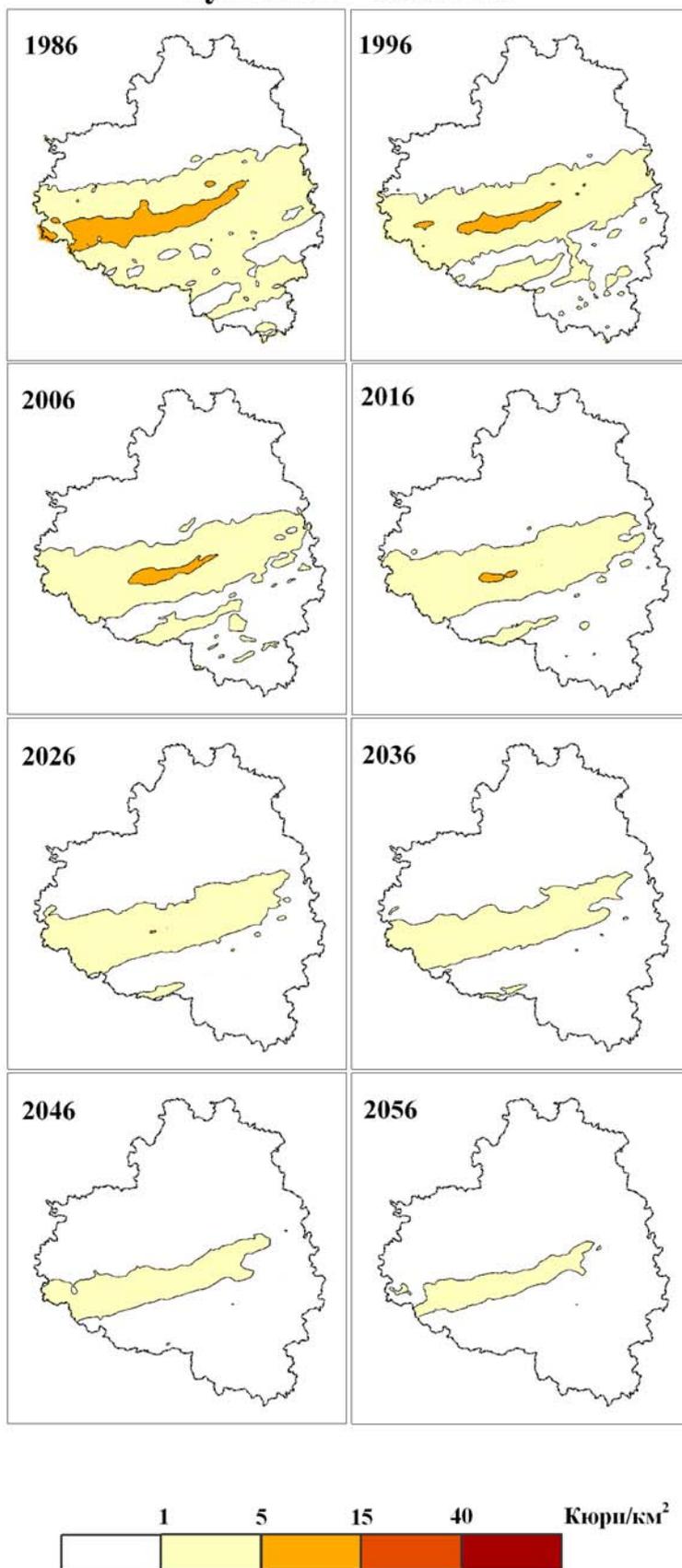


Рис. 5 Загрязнение территории Тульской области ^{137}Cs в 1986 – 2056 гг.

Глава 4. Прогноз численности населения, проживающего в зонах с различным уровнем загрязнения территорий ^{137}Cs

Полученные в результате расчетов прогнозные массивы данных о загрязнении местности ^{137}Cs были использованы для расчета численности населения Брянской, Калужской, Орловской и Тульской областей, которое проживает и будет проживать в зонах с различными уровнями загрязнения в 2006 – 2056 гг. В расчетах использовались данные Росстата о численности постоянного населения Российской Федерации по городам, поселкам городского типа и районам субъектов Российской Федерации в 2006 и 2009 гг. [*Численность населения Российской Федерации..., 2006, 2009*]. Кроме того, использовались результаты прогноза численности населения, опубликованного Росстатом [*Предположительная численность населения Российской Федерации до 2030 года, 2009*]. Расчеты выполнялись на основе среднего варианта прогноза численности населения, предложенного Росстатом.

Расчеты выполнялись с помощью геоинформационной системы **Arc/Info**. В качестве картографической основы для расчетов были использованы изданные Роскартографией карты административно-территориального деления Брянской, Калужской, Орловской и Тульской областей в масштабе 1 : 200 000 – 1 : 400 000. Для каждой области в ГИС **Arc/Info** были построены слои, содержащие границу области, границы районов и контуры городов и поселков городского типа, для которых известна численность населения, постоянно проживающего в этом населенном пункте.

Для городов и поселков городского типа по прогнозным массивам загрязнения с помощью зональных функций модуля **Spatial Analyst** ГИС **Arc/Info** рассчитывались средние значения уровней загрязнения ^{137}Cs на площади населенного пункта в 2006 – 2056 гг. Эти средние значения уровней загрязнения ^{137}Cs на площади населенного пункта использовались для отнесения соответствующего населенного пункта к той или иной зоне радиоактивного загрязнения.

В связи с тем, что данные о распределении сельского населения по населенным пунктам отсутствуют, расчет численности сельского населения в зонах с различным уровнем загрязнения проводился на основе параметра плотности сельского населения, рассчитанного для территории каждого района. Площади зон с различным уровнем цезиевого загрязнения для территории каждого района рассчитывались с помощью зональных функций модуля **Spatial Analyst** системы **Arc/Info**.

При расчетах численности населения в зонах с различным уровнем загрязнения в Брянской области учитывалось обязательное отселение людей с территорий, где в 1986 году загрязнение ^{137}Cs превышало 40 Кюри/км².

Результаты расчетов приведены в таблице 4.

Брянская область. На территории России Брянская область подверглась наиболее значительному загрязнению в результате аварии на Чернобыльской АЭС. Радиоактивное

загрязнение в Брянской области сосредоточено на западе и юго-западе, на границе с Украиной и Беларусью. На этой территории до середины 21 века будут существовать территории с загрязнением выше 40 Кюри/км². Загрязнение ¹³⁷Cs востока Брянской области существенно слабее и, даже в 1986 г., нигде не превышало 5 Кюри/км². Поэтому на западе Брянской области доля сельского и городского населения, проживающего в районах с высоким и очень высоким уровнем загрязнения существенно выше.

В 2006 г. на территории с загрязнением от 1 до 5 Кюри/км² находились города Клинцы, Стародуб, поселки городского типа – Любохна Дятьковского района, Красная Гора Красногорского района. На территории с загрязнением от 5 до 15 Кюри/км² находились г. Новозыбков и п.г.т. – Климово Климовского района. В зоне с загрязнением от 15 до 40 Кюри/км² находился город Злынка, поселки городского типа – Мирный Гордеевского района и Вышков Злынковского района.

В 2006 г в 19 из 27 районов часть сельского населения (всего – 110,4 тыс. человек или 26,5% сельского населения области) проживала на загрязненных территориях. 56,6 тыс. человек (13,6% сельского населения области) жили в зоне с загрязнением ¹³⁷Cs от 1 до 5 Кюри/км², 40,8 тыс. человек (9,8%) – в зоне с загрязнением ¹³⁷Cs от 5 до 15 Кюри/км², 13,0 тыс. человек (3,1%) - в зоне с загрязнением ¹³⁷Cs от 15 до 40 Кюри/км².

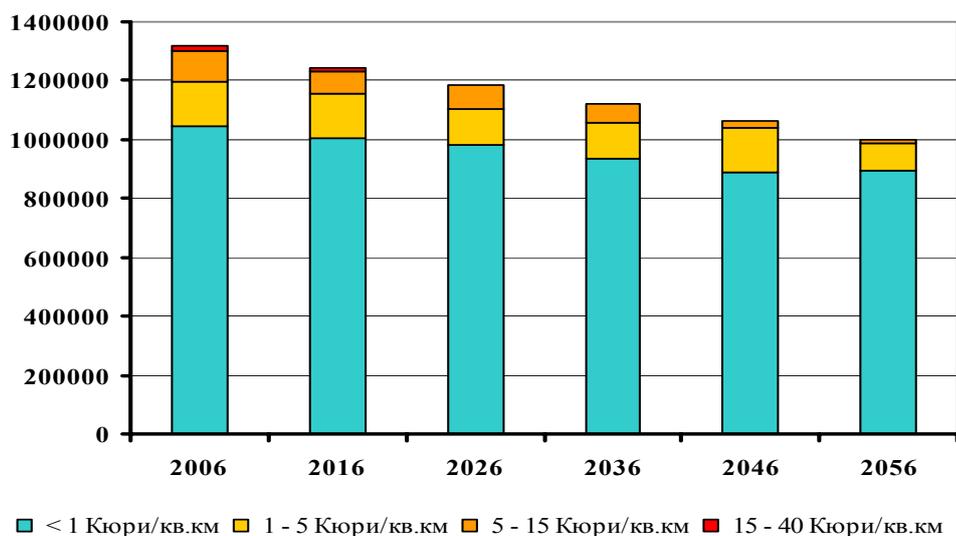


Рис. 6 Прогноз численности населения Брянской области, проживающего в зонах с различным уровнем радиоактивного загрязнения ¹³⁷Cs, чел.

В 2056 г. на территории с загрязнением от 1 до 5 Кюри/км² будут расположены город Новозыбков со средним уровнем загрязнения – 3,9 Кюри/км² и поселки городского типа –Климово Климовского района (средний уровень загрязнения – 1,8 Кюри/км²) и Красная Гора Красногорского района (1,5 Кюри/км²).

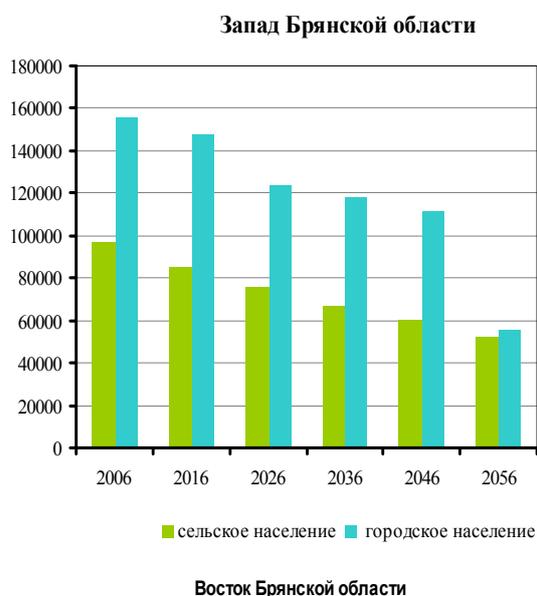


Рис. 7 Прогноз численности городского и сельского населения, проживающего на загрязненных территориях, чел.

46,9 тыс.человек (14,9% сельского населения области) будут жить в зоне с загрязнением ^{137}Cs от 1 до 5 Кюри/км², 5,4 тыс.человек (1,7%) – в зоне с загрязнением ^{137}Cs от 5 до 15 Кюри/км².

Прогноз динамики численности населения Брянской области, проживающего в зонах с различным уровнем загрязнения, представлен на рис. 6 и 7.

Калужская область. Загрязнение ^{137}Cs сосредоточено на юге Калужской области (в 8 из 24 районов области). На этих загрязненных землях в 2006 г. проживало 27,7 тыс. человек или 2,75% населения области. Только один населенный пункт городского типа находился на загрязненной территории – г. Жиздра с населением 5,8 тыс. человек (средний уровень загрязнения ^{137}Cs составлял в 2006 г. – 1,6 Кюри/км²). С 2026 г. все городское население Калужской области будет жить вне пятен цезиевого загрязнения.

В 2006 г. на загрязненных территориях в сельской местности проживало 21,9 тыс. человек или 9,1% сельского населения. 19,6 тыс. человек (8,1%) жили на территориях с уровнем загрязнения от 1 до 5 Кюри/км², 2,3 тыс. человек (1,0%) жили на территориях с уровнем загрязнения от 5 до 15 Кюри/км².

На территории с загрязнением от 5 до 15 Кюри/км² будут находиться город Злынка (6,4 Кюри/км²), поселки городского типа – Мирный Гордеевского района (7,4 Кюри/км²) и Вышков Злынковского района (6,7 Кюри/км²). В соответствии с выполненными расчетами, с учетом обязательного отселения из зоны с загрязнением в 1986 г. выше 40 Кюри/км², в 2026 г в зоне с загрязнением от 15 до 40 Кюри/км² уже не будет городского населения, а в 2036 г. - и сельского населения.

Согласно прогнозу, в 2056 г в 7 из 27 районов часть сельского населения будет жить на загрязненных в результате аварии на ЧАЭС территориях.

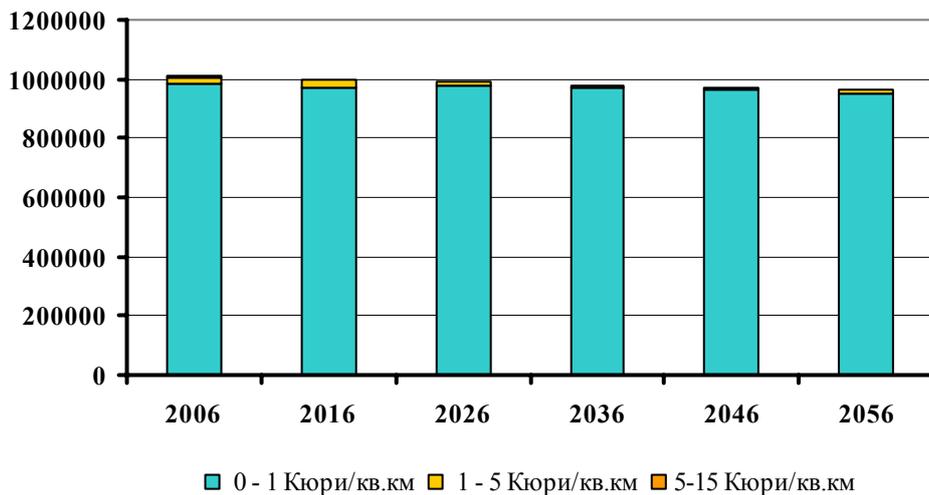


Рис. 8 Прогноз долей населения Калужской области, проживающего на территориях с различным уровнем радиоактивного загрязнения, чел.

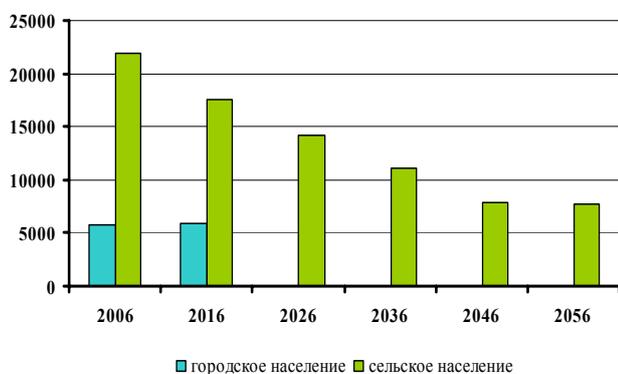


Рис. 9 Прогноз численности городского и сельского населения, проживающего на загрязненных территориях, чел.

В 2056 г. доля населения области, проживающая на загрязненных территориях, составит 0,8 % (около 7,7 тыс. человек). Это будет сельское население в трех районах Калужской области: Жиздринском, Ульяновском и Хвостовичском.

Прогноз динамики численности населения, проживающего в зонах с различным уровнем радиоактивного загрязнения, представлен на рис. 8 и 9.

Орловская область. Цезиевое загрязнение распределено равномерно по всей территории области. В 2006 г. на территориях с загрязнением от 1 до 5 Кюри/км² проживали 89,2 тыс. человек или 10,79% населения области (7,33% городского населения и 16,98% сельского населения). В 2006 г. 5 городов и поселков городского типа находились в зоне радиоактивного загрязнения (города Болхов (средний уровень загрязнения – 3,1 Кюри/км²), Дмитровск (1,4 Кюри/км²), Малоархангельск (1,0 Кюри/км²), п.г.т. Кромы Кромского района (1,1 Кюри/км²) и Нарышкино Урицкого района (1,0 Кюри/км²)). В 2056 г. все городское население Орловской области будет жить на незагрязненных территориях.

В 2006 г. в 20 из 24 районов Орловской области часть сельского населения жила в зоне загрязнения, причем наибольшее количество жителей в зоне загрязнения (больше 5 тысяч человек) по результатам расчета отмечалось в Мценском, Болховском и Дмитровском районах.

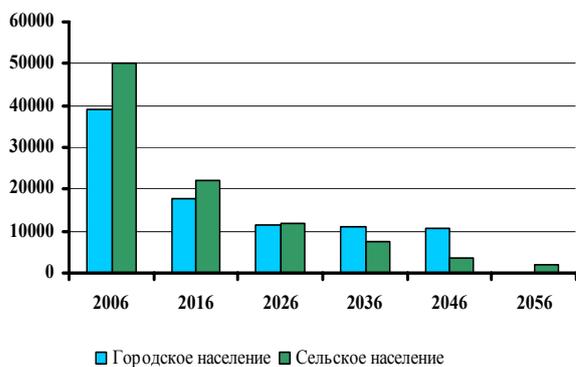


Рис.10 Количественный прогноз численности городского и сельского населения, проживающего на загрязненных территориях в Орловской области, чел.

В 2056 г. в зоне загрязнения от 1 до 5 Кюри/км² в сельской местности, согласно прогнозу, будут проживать 1,8 тыс.чел. или 0,8% сельского населения Орловской области. Это будут сельские жители трех районов: Болховского (1,3 тыс.чел.), Свердловского (0,3 тыс.чел.) и Залегощенского (0,2 тыс.чел.).

Количественный прогноз численности населения на загрязненных территориях представлен на рисунках 10 и 11.

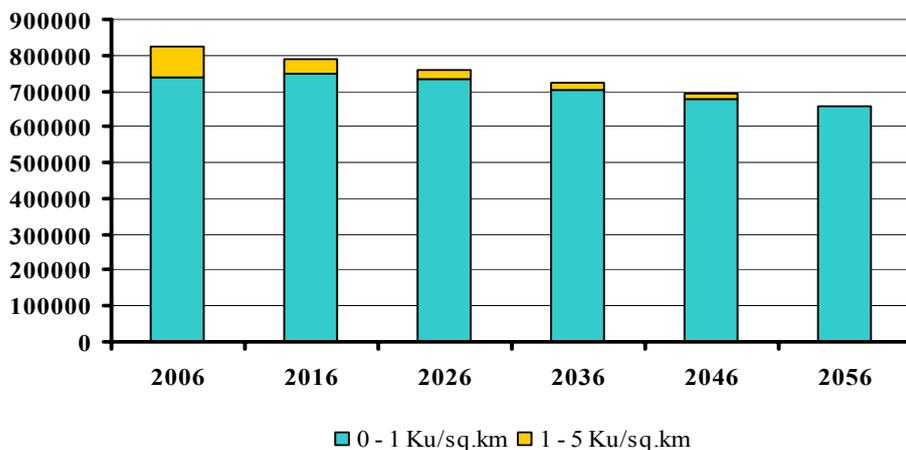


Рис.11 Количественный прогноз численности населения Орловской области, в зонах с различным уровнем загрязнения, чел.

Тульская область. В 2006 году радиоактивное загрязнение в Тульской области охватывало 32,84% площади ее земель. На этих землях проживало 37,7% населения Тульской области. Тульская область является самой населенной из четырех наиболее пострадавших в результате Чернобыльской аварии областей Российской Федерации. В 2006 г. здесь постоянно проживали 1580,5 тыс. человек, в том числе 1265,0 тыс. человек - в городах и поселках городского типа и 315,5 тыс.человек - в сельских населенных пунктах.

Особенностью радиоактивного загрязнения Тульской области является то, что оно приходится на индустриальные и наиболее плотно заселенные территории. В зону загрязнения в 2006 г. попадали 12 городов и 8 поселков городского типа, в которых проживало 39,3% городского населения области. В зоне с интенсивностью загрязнения от 1 до 5 Кюри/км² находились 11 городов и 8 поселков городского типа, в том числе: г. Новомосковск с населением 125,7 тыс.чел., города Донской (65,8 тыс.чел.), Щекино

(59,9 тыс.чел.), Узловая (56,9 тыс.чел.), Богородицк (32,5 тыс.чел.), Кимовск (29,7 тыс.чел), Киреевск (25,1 тыс.чел.), Белев (14,8 тыс.чел.), Сокольники (10,4 тыс.чел.), Липки (9,6 тыс.чел.), Советск (7,9 тыс.чел.) и поселки городского типа: Дубовка, Товарковский, Арсеньево (Арсеньевского района), Бородинский (Киреевского района), Теплое (Тепло-Огаревского района) и станция Скуратово (Чернского района). Один город – Плавск (16,3 тыс.чел.) находился в зоне загрязнения 5 – 15 Кюри/км².

29,5% сельского населения в 15 из 23 районов Тульской области проживало на территориях с уровнем загрязнения 1 – 5 Кюри/км² и 1,7% сельского населения в 6 районах - на территориях с уровнем загрязнения 5 – 15 Кюри/км².

Предполагается, что к концу периода прогнозирования (2056 г.) на загрязненных землях будут проживать 3,1% населения (2,0% городского населения и 7,3% сельского населения). Один город – Плавск - и п.г.т. Дубовка останутся в зоне радиоактивного загрязнения от 1 – 5 Кюри/км².

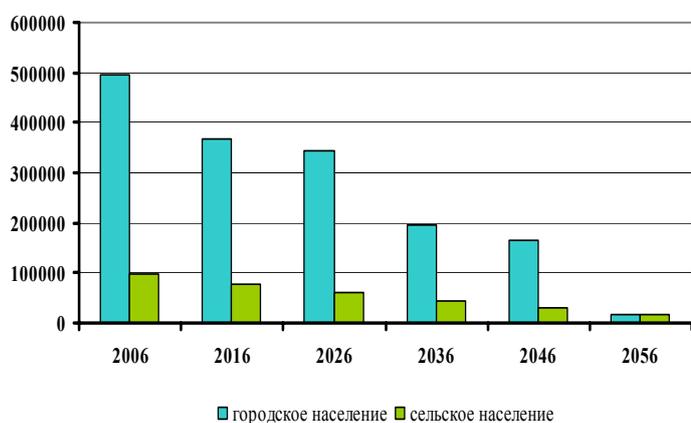


Рис.12 Прогноз численности городского и сельского населения, проживающего на загрязненных территориях, чел.

В 2056 г. часть сельского населения Тульской области будет продолжать жить на загрязненных ¹³⁷Cs территориях в 9 районах Тульской области: Арсеньевском (2,6 тыс.чел.), Белевском (0,2 тыс.чел.), Богородицком (0,4 тыс.чел.), Киреевском (3,7 тыс.чел.), Плавском (3,8 тыс.чел.), Тепло-Огаревском (0,5 тыс.чел.), Узловском (1,1 тыс.чел.), Чернском (1,0 тыс.чел.) и Щекинском (3,2 тыс.чел.).

Количественный прогноз численности населения на загрязненных территориях представлен на рисунках 12 и 13.

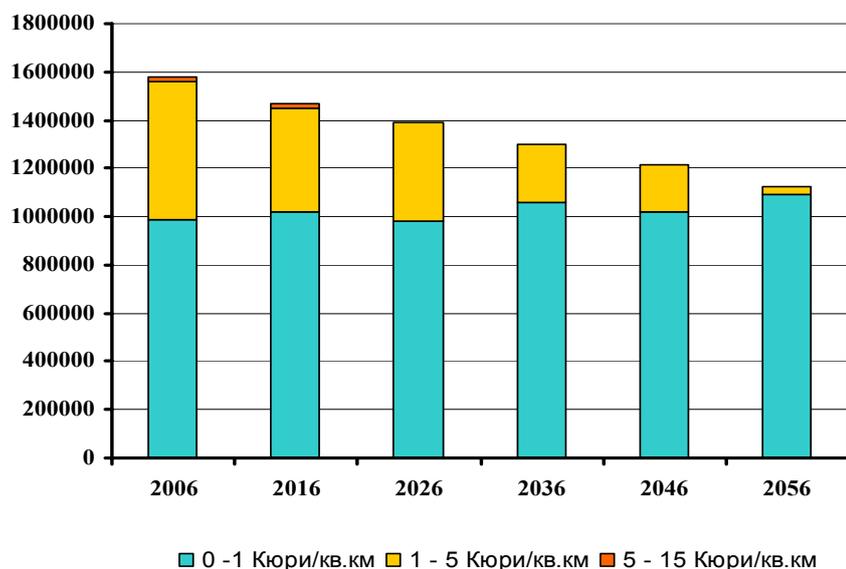


Рис.13 Прогноз численности населения, проживающего в зонах с различным уровнем радиоактивного загрязнения, чел.

Таблица 4.

Прогноз численности населения Брянской, Калужской, Орловской и Тульской областей, проживающего в зонах с различным уровнем загрязнения местности ¹³⁷Cs, тыс.чел.

Год	Уровень радиоактивного загрязнения, Кюри/км2							
	15 - 40		5 - 15		1 - 5		< 1	
Брянская область								
2006	18,6	1,41%	100,6	7,63%	152,6	11,58%	1045,8	79,37%
2016	13,4	1,08%	76,5	6,16%	147,0	11,82%	1006,2	80,94%
2026	0,7	0,06%	77,0	6,50%	109,9	9,29%	995,6	84,15%
2036	0,0	0,00%	66,7	5,94%	118,4	10,54%	937,6	83,52%
2046	0,0	0,00%	19,7	1,86%	151,7	14,28%	890,8	83,86%
2056	0,0	0,00%	12,9	1,29%	94,9	9,47%	893,9	89,24%
Калужская область								
2006			2,3	0,23%	25,4	2,52%	981,3	97,25%
2016			0,6	0,06%	22,8	2,29%	973,3	97,65%
2026			0,2	0,02%	13,9	1,41%	975,7	98,57%
2036			0,02	0,00%	11,1	1,13%	968,1	98,87%
2046					7,8	0,80%	962,3	99,20%
2056					7,7	0,80%	953,3	99,20%
Орловская область								
2006					89,2	10,79%	737,4	89,21%
2016					39,8	5,04%	749,8	94,96%
2026					23,4	3,09%	734,2	96,91%
2036					18,5	2,56%	705,2	97,44%
2046					14,2	2,06%	676,2	97,94%
2056					1,8	0,28%	655,3	99,72%
Тульская область								
2006			21,7	1,38%	573,5	36,28%	985,3	62,34%
2016			16,5	1,12%	428,0	29,19%	1021,7	69,68%
2026			0,04	0,00%	403,9	29,09%	984,4	70,91%
2036					239,6	18,43%	1060,4	81,57%
2046					194,1	16,01%	1018,5	83,99%
2056					34,8	3,10%	1090,5	96,90%

В приложениях 1 и 2 приводятся карты (фактические на 2006 г. и прогнозные на 2016 – 2056 гг.) загрязнения территорий Брянской, Калужской, Орловской и Тульской областей ^{137}Cs в масштабе 1 : 1 000 000 и данные Росстата о численности постоянного населения Российской Федерации по городам, поселкам городского типа и районам субъектов Российской Федерации в 2006 и 2009 гг. [*Численность населения Российской Федерации..., 2006, 2009*].

Выводы

1. Создан комплекс программного обеспечения для математической обработки геоинформационных данных о радиоактивном загрязнении, включающий стандартное и специализированное программное обеспечение, в том числе программы, разработанные на географическом факультете МГУ по техническому заданию ИГКЭ.
2. Выполнено преобразование исходных данных аэрогамма-спектральной съемки и картографических данных (в виде карты изолиний) загрязнения территории России глобальными выпадениями ^{137}Cs в формат, пригодный для использования в современных геоинформационных системах. Данные представлены в виде матриц значений (гридов).
3. Для 19 регионов России, где были обнаружены зоны цезиевого загрязнения интенсивностью выше 1 Кюри/км², выполнена корректировка данных аэрогамма-спектральной съемки с учетом измерений содержания ^{137}Cs в почвенных пробах. Сформированы цифровые массивы данных, учитывающие результаты воздушных и наземных измерений. Все обработанные данные пересчитаны на единую дату – 10 мая 1986 г.
4. Путем последовательного объединения массивов данных и интерполяции значений радиоактивного загрязнения территорий изотопом ^{137}Cs построен единый цифровой геоинформационный массив данных для всей европейской части Российской Федерации. Массив предназначен для использования при построении обзорных и мелкомасштабных карт радиоактивного загрязнения, включая прогнозные.
5. Для наиболее загрязненных в результате аварии на ЧАЭС областей РФ построены прогнозные карты плотности загрязнения местности ^{137}Cs на период 2016-2056 гг. с 10-летними интервалами. Разработаны прогнозы динамики площадей зон с плотностью радиоактивного загрязнения 1-5, 5-15, 15-40 и более 40 Кюри/км², выделенных в соответствии с Законом Российской Федерации о социальной защите граждан, подвергшихся воздействию радиации вследствие катастрофы на ЧАЭС. Для каждой области определены годы исчезновения этих зон. Показано, что зоны с уровнем загрязнения более 5 Кюри/км² в Тульской области будут существовать до

2029 г., в Калужской – до 2042 г. На территории Брянской области до 2049 г. будут существовать пятна загрязнения с плотностью более 40 Кюри/км².

6. Выполнена прогнозная оценка численности населения, которое будет проживать в зонах с различной плотностью загрязнения местности ¹³⁷Cs в 2016 – 2056 гг. Оценка выполнена с 10-летними интервалами. В 2016 г. на территориях с плотностью загрязнения более 1 Кюри/км² будет проживать 30,3% населения Тульской области, 19,1% - Брянской области, 5,0 – Орловской, 2,4% - Калужской области. Для 2056 г. эти значения составят соответственно 3,1% для Тульской области, 10,8% для Брянской, 0,3% для Орловской и 0,8% для Калужской.

Банк данных радиоактивного загрязнения полностью готов для построения экологических карт радиоактивного загрязнения в масштабе 1:200 000 и мельче. Данные прогноза могут быть использованы для оценки ущерба, разработки и планирования мер по медико-социальной и экономической реабилитации населения и территорий, пострадавших в результате аварии на ЧАЭС.

Основные результаты диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Израэль Ю.А., Квасникова Е.В., Назаров И.М., Фридман Ш.Д., Авдюшин С.И., Имшенник Е.В., Шушарина Н.М. Радиационная обстановка на территории Европейской части СНГ и Урала в 1991 г. Метеорология и гидрология, N 11, 1992.
2. Izrael Yu.A., M.De Cort, A.R.Jones, Kvasnikova E.V., Nazarov I.M., Fridman Sh.D., Imshennik E.V. et all. The Atlas of caesium-137 contamination of Europe after the Chernobyl accident. Proceeding of the first international conference. Luxembourg. Office of Official Publications of the European Communities, 1996, ISBN 92-827-5248-8.
3. Израэль Ю.А., Де Корт М., Джонес А.Р., Квасникова Е.В., Назаров И.М., Фридман Ш.Д., Стукин Е.Д., Келли Дж.Н., Имшенник Е.В. и др. Атлас радиоактивного загрязнения Европы цезием-137 после Чернобыльской аварии. Метеорология и гидрология, N 4, 1996.
4. Израэль Ю.А., Имшенник Е.В., Квасникова Е.В., Назаров И.М. Картографическое прогнозирование уровней радиоактивного загрязнения местности цезием-137 после Чернобыльской аварии. Картография на рубеже тысячелетий. Доклады I Всероссийской научной конференции по картографии (Москва, 7 – 10 октября 1997 г.), ИГРАН, М: 1997, с. 228-232.
5. Израэль Ю.А., Имшенник Е.В., Квасникова Е.В., Назаров И.М., Стукин Е.Д., Цатуров Ю.С. Долгосрочный прогноз изменения радиоактивного загрязнения территории России цезием-137 после аварии на Чернобыльской атомной электростанции. Метеорология и гидрология, N 4, 1998, с. 5 – 17.
6. Атлас радиоактивного загрязнения европейской части России, Белоруссии и Украины. /Под ред. Израэля Ю.А., авторы: Вакуловский С.М., Израэль Ю.А.,

Имшенник Е.В., Квасникова Е.В., Контарович Р.С., Назаров И.М., Никифоров М.И., Стукин Е.Д., Фридман Ш.Д. Москва: ИГКЭ Росгидромета и РАН, Роскартография, 1998.

7. Израэль Ю.А., Имшенник Е.В., Квасникова Е.В., Назаров И.М., Стукин Е.Д., Судакова Е.А., Маркова Т.А., Рябина Н.И. Радиоактивное загрязнение территории России глобальными выпадениями от ядерных взрывов и чернобыльскими выпадениями. Карта по состоянию на 90-тые годы XX века. Труды Международной конференции «Радиоактивность при ядерных взрывах и авариях», 24 - 26 апреля 2000 г., Москва, Санкт-Петербург, Гидрометеиздат, 2000, том 1, с. 138 – 145.
8. Атлас современных и прогнозных аспектов последствий аварии на Чернобыльской АЭС на пострадавших территориях России и Беларуси. /Под ред. Израэля Ю.А., Богдевича И.М./ Москва – Минск: Фонд «Инфосфера – НИИ-Природа, 2009.
9. Имшенник Е.В., Квасникова Е.В. Прогнозное картографирование полей радиоактивного загрязнения, сложившихся в прошлом. Метеорология и гидрология, N 12, 2010 г., с. 42 – 49.