

На правах рукописи

ИВАНОВА Елена Геннадиевна

**ОЦЕНКА РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКОЙ СИТУАЦИИ
В ЮЖНЫХ РАЙОНАХ КАЛУЖСКОЙ ОБЛАСТИ,
ПОСТРАДАВШИХ ОТ АВАРИИ НА ЧАЭС,
И РАЗРАБОТКА КОМПЛЕКСА МЕР ПО ИХ РЕАБИЛИТАЦИИ**

Специальность 03.01.01 – Радиобиология

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата биологических наук

Обнинск – 2012

Работа выполнена в Государственном научном учреждении Всероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной радиологии и агроэкологии Российской академии сельскохозяйственных наук, г. Обнинск

Научный руководитель: доктор биологических наук
Панов Алексей Валерьевич

Официальные оппоненты:

Спиридонов Сергей Иннокентьевич, доктор биологических наук, заведующий лабораторией ГНУ ВНИИСХРАЭ Россельхозакадемии, г. Обнинск

Брук Геннадий Яковлевич, кандидат технических наук, заведующий лабораторией ФБУН НИИРГ им. проф. П.В. Рамзаева, г. Санкт-Петербург

Ведущая организация: Республиканское научно-исследовательское унитарное предприятие
«ИНСТИТУТ РАДИОЛОГИИ», г. Гомель

Защита состоится 30 мая 2012 года в 11 часов на заседании диссертационного совета Д 006.068.01 при Всероссийском научно-исследовательском институте сельскохозяйственной радиологии и агроэкологии.

Отзывы на автореферат просим отправлять по адресу: 249032, г. Обнинск, Киевское шоссе, 109 км, ГНУ ВНИИСХРАЭ Россельхозакадемии, Диссертационный совет. Факс: (48439) 6-80-66.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ГНУ ВНИИСХРАЭ.

Автореферат разослан 20 апреля 2012 года

Ученый секретарь диссертационного совета
кандидат биологических наук

Шубина О.А.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Поступление радионуклидов в природные и аграрные экосистемы является следствием ядерных испытаний и радиационных аварий, а также нормализованных выбросов предприятий ядерного топливного цикла (Алексахин, 2006). Особую остроту проблема безопасности предприятий ЯТЦ приобрела в связи с авариями в Уиндскейле (Великобритания), Айдахо (США), ПО «Маяк» (СССР), АЭС Три Майл Айленд (США) и Чернобыльской АЭС (СССР) (Алексахин и др., 2001). Авария в 2011 г. на АЭС «Фукусима-1» еще раз продемонстрировала, что даже в таких высокотехнологичных странах как Япония не может быть гарантированно обеспечена радиационная безопасность населения в регионе размещения атомных станций (Keiichi et al., 2012). В связи с этим, разработка подходов к оценке эффективности действий, направленных на уменьшение дозовых нагрузок на человека в условиях радиационных аварий, является актуальной проблемой.

Как показал опыт ликвидации последствий аварии на ЧАЭС, аварийный выброс может привести к долгосрочным (десятки лет) радиоэкологическим последствиям, когда радиоактивное загрязнение аграрных и природных экосистем определяет в течение длительного периода времени поступление радионуклидов в организм человека и последующее его облучение (Сельскохозяйственная радиоэкология, 1992). Сравнительный анализ доз облучения населения, проживающего на радиоактивно загрязненной территории, показывает, что максимальные уровни внутреннего облучения характерны для сельского населения, в основе рациона которого находятся местные продукты питания (Панов, 2009; Fesenko et al., 2001, 2007), в том числе и природные, отличающиеся во многих случаях повышенным содержанием радионуклидов (Кадука, 2001; Balonov, 2007; Countermeasure strategies, 2006).

В результате аварии на ЧАЭС радиоактивному загрязнению в России подвергся 21 административный субъект, в том числе южные районы Калужской области. За счет применения комплекса защитных мероприятий, а также

радиоактивного распада нуклидов, их содержание в отдаленный после аварии период в сельскохозяйственном сырье и продукции значительно уменьшилось (Алексахин и др., 2009; Научные основы, 2009; Санжарова и др., 2011). Однако, специфические условия региона загрязнения (преобладание малоплодородных почв, определяющих высокие коэффициенты перехода радионуклидов в продукцию, а также сокращение в последние годы объемов применения реабилитационных мероприятий) привели к тому, что до настоящего времени в южных районах Калужской области не удается полностью обеспечить производство сельскохозяйственной продукции, отвечающей радиологическим нормативам (Дубовая, 2001). Все это приводит к необходимости оценки современной радиоэкологической обстановки в районах Калужской области, пострадавших от аварии на ЧАЭС, включая населенные пункты (НП) и хозяйства коллективного сектора (КСХП), а также разработки оптимальных стратегий их реабилитации на основе комплекса радиологических, дозовых, экономических и социальных критериев.

Цель и задачи исследования. Целью диссертационной работы являлась оценка радиоэкологической ситуации в загрязненных радионуклидами районах Калужской области в отдаленный период после аварии на ЧАЭС и разработка комплекса мер по их реабилитации.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие **задачи:**

1. Оценить роль факторов, влияющих на изменение поверхностной плотности загрязнения ^{137}Cs сельскохозяйственных угодий на основе сравнительного анализа прогнозных оценок с данными реальных измерений.
2. Проанализировать современную радиоэкологическую обстановку в коллективных хозяйствах и сельских населенных пунктах, находящихся на территории Калужской области, подвергшейся воздействию после аварии на ЧАЭС, и оценить значимость факторов, определяющих формирование доз облучения населения.

3. Рассчитать риски превышения радиологических нормативов по содержанию радионуклидов ^{137}Cs в сельскохозяйственной продукции в частном и коллективном секторах южных районов Калужской области.
4. Определить необходимость применения реабилитационных мероприятий в сельских населенных пунктах и коллективных хозяйствах Калужской области в отдаленный период после аварии на ЧАЭС.
5. Провести сравнительный анализ эффективности и дать обоснование оптимальной стратегии применения защитных мероприятий, направленной на снижение доз облучения населения южных районов Калужской области и получение сельскохозяйственной продукции, отвечающей радиологическим нормативам, с учетом затрат на проведение реабилитационных работ.
6. Разработать компьютерный модуль по эколого-экономическому обоснованию эффективности применения реабилитационных технологий в хозяйствах коллективного сектора.

Положения, выносимые на защиту:

1. Роль факторов, влияющих на изменение поверхностной плотности загрязнения ^{137}Cs сельскохозяйственных угодий.
2. Анализ современной радиоэкологической обстановки в коллективных хозяйствах и сельских населенных пунктах, находящихся на территории Калужской области, подвергшейся воздействию после аварийного выброса ЧАЭС.
3. Стратегия адресной реабилитации населенных пунктов Калужской области, включающая перечень оптимальных мероприятий для каждого населенного пункта, где необходимо их применение, радиологические показатели, затраты на реализацию контрмер и учет социальной приемлемости защитных мероприятий.
4. Компьютерный модуль по эколого-экономическому обоснованию эффективности реабилитационных технологий при производстве сельскохозяйственной продукции, удовлетворяющей радиологическим нормативам, на радиоактивно загрязненных территориях.

Предмет и объект исследования. Объектом исследования являются южные районы Калужской области, подвергшиеся воздействию от аварии на ЧАЭС. Предметом исследования являются проблема обеспечения радиационной безопасности населения, проживающего на радиоактивно загрязненных территориях Калужской области, а также вопросы производства сельскохозяйственной продукции, отвечающей установленным радиологическим нормативам.

Методологическая, теоретическая и эмпирическая база исследования. Методологической базой исследования является подход по обоснованию дифференцированных стратегий реабилитации загрязненных радионуклидами территорий на основе факторов, определяющих загрязнение сельскохозяйственной продукции и формирование доз облучения населения. В исследовании использован метод многокритериального анализа эффективности защитных мероприятий, реализованный в компьютерных системах поддержки принятия решений. Эмпирической базой исследования являются большой объем данных радиологического контроля, применение методов статистического анализа, а также использование в модельных расчетах современных систем поддержки принятия решений.

Научная новизна результатов исследования. Впервые показано, что при прогнозировании уровней загрязнения ^{137}Cs сельскохозяйственных угодий, кроме распада радионуклидов, необходимо учитывать фактор проведения защитных и реабилитационных мероприятий. Оценены риски превышения радиологических нормативов в продукции растениеводства и животноводства, производящейся в коллективных и личных подсобных хозяйствах южных районов Калужской области. Показано, что максимальное накопление ^{137}Cs наблюдается в травостое пойменных лугов, где не проводятся работы по коренному улучшению, что определяет риск производства продукции животноводства с превышением нормативов. Впервые, с использованием компьютерной системы поддержки принятия решений *ReSCA*, разработана стратегия адресной реабили-

тации населенных пунктов южных районов Калужской области, в которых существует риск превышения дозовых нагрузок на население. Проведена оценка эффективности различных сценариев реабилитации с учетом социальной приемлемости контрмер и возможных затрат на их реализацию (экономического фактора).

Теоретическая и практическая значимость работы. Теоретическое значение имеет разработка комплексного подхода к обоснованию системы мероприятий по адресной реабилитации радиоактивно загрязненных территорий, включающего проведение радиоэкологического мониторинга, ранжирование коллективных и личных подсобных хозяйств по степени потребности в реабилитации, моделировании развития радиоэкологической ситуации и обосновании оптимальных реабилитационных мероприятий. Разработанные в исследовании методы могут использоваться для долгосрочного прогнозирования радиоэкологической ситуации на территориях, загрязненных радионуклидами.

Для практики важными являются результаты, показывающие, что при планировании системы реабилитации южных районов Калужской области, в первую очередь, необходимо внедрение мероприятий по снижению загрязнения ^{137}Cs продукции животноводства в личных подсобных хозяйствах сельских населенных пунктов. Разработан компьютерный модуль по оценке экономической эффективности реабилитационных технологий для производства в хозяйствах коллективного сектора сельскохозяйственной продукции, удовлетворяющей радиологическим нормативам.

Соответствие диссертации паспорту научной специальности. В соответствии с формулой специальности 03.01.01 «Радиобиология», охватывающей проблемы последствий ядерных катастроф, синдрома Чернобыля, радиоэкологии (п. 9), а также принципов и методов радиационного мониторинга (п. 10), в диссертационном исследовании представлены подходы к долгосрочному прогнозированию загрязнения радионуклидами сельскохозяйственных угодий, результаты радиоэкологического мониторинга южных районов Калужской об-

ласти, система мероприятий по адресной реабилитации населенных пунктов, компьютерный модуль по оценке эколого-экономической эффективности реабилитационных технологий по производству сельскохозяйственной продукции, удовлетворяющей радиологическим нормативам.

Апробация и реализация результатов диссертации. Основные результаты работы доложены и обсуждены на международных и всероссийских конференциях, в том числе: на VII Региональной научной конференции «Техногенные системы и экологический риск» (Обнинск, 2010); VI съезде по радиационным исследованиям (Москва, 2010); Всероссийской научной конференции «Закономерности изменения почв при антропогенных воздействиях и регулирование состояния и функционирования почвенного покрова» (Москва, 2010). Апробация диссертации состоялась на межлабораторном научном семинаре ВНИИСХРАЭ 10 февраля 2012 г.

Результаты исследования были реализованы при выполнении работ, поддержанных грантами Российского гуманитарного научного фонда, Российского фонда фундаментальных исследований и Правительства Калужской области, включая гранты: №08-06-59607а/Ц «Разработка стратегии адресной реабилитации населённых пунктов Калужской области, пострадавших от аварии на Чернобыльской АЭС, с учетом социально-психологического и экономического факторов»; №09-04-97559 «Изучение механизмов поведения радиоактивных веществ в зависимости от гидроморфологических, почвенных и ландшафтных характеристик бассейнов рек (на примере бассейнов рек Рессета и Вытебеть на территории Калужской области)»; №10-06-59644а/Ц «Оценка радиологических рисков у населения, подверженного воздействию аварии на Чернобыльской АЭС (на примере южных районов Калужской области)»; №11-12-40018а/Ц «Разработка методологии и компьютерного модуля оценки эколого-экономической эффективности технологий ведения сельскохозяйственного производства на территориях, загрязненных радионуклидами (на примере хозяйств южных районов Калужской области)».

Результаты исследований внедрены в Главном управлении МЧС России по Калужской области в рамках реализации ФЦП «Преодоление последствий радиационных аварий на период до 2015 года» (контракт №1/001-310/СП от 13.06.2011 г.), а также на кафедре сельскохозяйственной радиологии и экологии Калужского филиала РГАУ – МСХА им. К.А.Тимирязева.

Личный вклад диссертанта в разработку научных результатов, выносимых на защиту. Автором поставлена цель исследования, созданы базы данных по загрязнению радионуклидами земель, сельскохозяйственной продукции и характеристикам населенных пунктов южных районов Калужской области. Выполнена статистическая обработка данных и проведен их анализ. Разработана система оптимальных мероприятий по реабилитации населенных пунктов Калужской области. Сформулированы основные положения работы и выводы.

Публикации. По материалам диссертации опубликовано 11 печатных работ, в том числе три статьи в рецензируемых журналах из списка изданий, рекомендованных ВАК РФ.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, выводов и списка литературы. Работа изложена на 126 страницах машинописного текста, содержит 27 рисунков, 23 таблицы. Список литературы содержит 134 источника, в том числе 31 иностранный.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** обосновывается актуальность темы исследования, ставятся цель и задачи, решаемые в диссертации, обсуждается их научная новизна, теоретическая и практическая значимость.

Глава 1. Обзор литературы

В **первой главе** диссертационной работы представлен обзор литературы по проблеме производства сельскохозяйственной продукции, отвечающей радиологическим нормативам, в южных районах Калужской области, на различных этапах после аварии на ЧАЭС, а также о современном состоянии этого вопроса. Показано, что в 2010 г. в Калужской области площадь сельскохоз-

венных угодий с плотностью загрязнения ^{137}Cs свыше 37 кБк/м^2 составляла 85 тыс. га, в том числе свыше 185 кБк/м^2 более 4 тыс. га. Обсуждается изменение масштабов применения контрмер в Калужской области на различных этапах ликвидации последствий аварии на ЧАЭС. Показано, что радиационная обстановка в коллективных хозяйствах и сельских населенных пунктах стабилизировалась благодаря реализации защитных мероприятий по смягчению последствий аварии на ЧАЭС и только в единичных пробах наблюдается превышение радиологических нормативов в сельскохозяйственной продукции. Отмечено, что уже довольно продолжительное время реабилитационные мероприятия проводятся в ограниченных масштабах только в области ведения растениеводства, а контрмеры в животноводстве не применяются.

Глава 2. Оценка радиационно-экологической обстановки в южных районах Калужской области

Во второй главе представлен анализ факторов, влияющих на изменение поверхностной плотности загрязнения ^{137}Cs сельскохозяйственных угодий. Исследование проведено на 155 участках в трех южных районах Калужской области. На каждом участке были отобраны пробы почвы, и определялась плотность загрязнения ^{137}Cs в 2007 г. Ранее, на этих же участках также было проведено радиологическое обследование в период 1992-2005 гг., которое сопровождалось изучением их почвенных характеристик и сбором данных по проводимым защитным мероприятиям. На основе информации по первоначальному радиологическому обследованию участков были сделаны прогнозные оценки их уровней загрязнения ^{137}Cs по распаду радионуклида и полученные прогнозные расчеты были сопоставлены с данными измерений, выполненных в 2007 году. Сравнительный анализ полученных данных показал, что прогнозируемая плотность загрязнения ^{137}Cs исследуемых участков в 2007 г. отличалась от измеренной в среднем в большую сторону на 12% (рис. 1). Причинами таких различий могли стать: ошибки измерений, миграция ^{137}Cs в почве и трофических цепях, особенности ведения сельскохозяйственного производства и контрмеры.

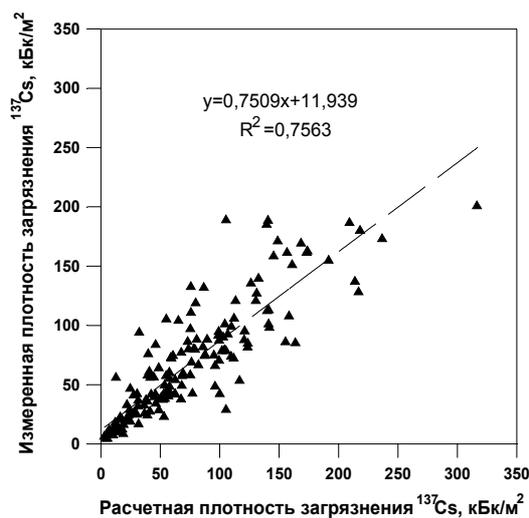


Рис. 1. Поле регрессии между расчетной и измеренной плотностями загрязнения ^{137}Cs исследуемых участков сельскохозяйственных угодий

Для выявления степени влияния этих факторов между парами расчетных (Q_r) и измеренных (Q_i) значений плотности загрязнения ^{137}Cs участков в 2007 г. было найдено отношение (Q_r/Q_i), полученные результаты разбиты на группы по каждому показателю (фактору) и проведена статистическая обработка выборок данных. Чем ближе отношение (Q_r/Q_i) к единице, тем точнее оказывается прогноз, основанный на учете только распада ^{137}Cs . Показано, что ежегодное отчуждение ^{137}Cs с продукцией не оказало влияния на точность прогнозов (рис. 2). Классификация участков по механическому составу почв на песчаные и суглинистые, а также по особенностям ведения сельхозпроизводства также не позволила определить, что эти факторы влияют на точность прогнозов (табл. 1).

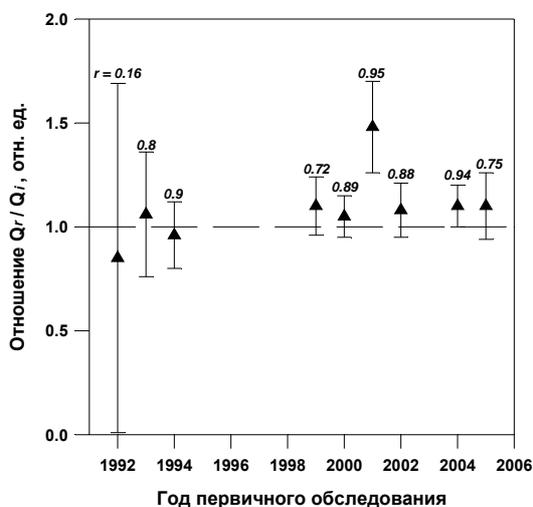


Рис. 2. Зависимость отношения Q_r/Q_i от времени первичного обследования (r – коэффициент корреляции)

Таблица 1.

Зависимость отношения расчетной и измеренной плотностей загрязнения ^{137}Cs исследуемых участков от свойств почв и типа сельскохозяйственных угодий

Классификатор	Ср. геом. Q_r/Q_i	95% Дов. инт.	Коэффициент корреляции	Число участков
<i>Механический состав почв*</i>				
песчаные, супесчаные	1.06	0.15	0.90	46
легко-, среднесуглинистые	1.05	0.07	0.85	108
<i>Тип сельскохозяйственных угодий</i>				
пашня	1.06	0.06	0.87	135
сенокосы и пастбища	1.08	0.31	0.85	20

* - 1 участок из 155, расположенный на торфянике, в расчетах не учитывали

Для выявления степени влияния фактора контрмер на точность прогнозных расчетов уровней загрязнения ^{137}Cs сельскохозяйственных угодий, все участки были разделены на две группы. На 30% участков в период 1992-2005 гг. был проведен комплекс агротехнических работ. Это повлияло на перераспределение радионуклидов в верхнем слое почвы. Показано, что без контрмер отношения (Q_r/Q_i) составили 1.03, а в случае их проведения были выше – 1.15. Различия между прогнозными оценками и реально определенными плотностями загрязнения ^{137}Cs земель, обусловленные агротехническими мероприятиями, составляют 15-20%.

Изучены риски (вероятность) превышения радиологических нормативов в сельскохозяйственной продукции, производящейся в 45 коллективных общественных хозяйствах трех южных районов Калужской области (табл. 2) на основе модели рисков, предложенной в работе (Фесенко и др., 2004) по формуле 1.

Таблица 2.

Характеристика сельскохозяйственных угодий коллективных хозяйств южных районов Калужской области, где проводился мониторинг

Район	Число хозяйств	Пашня		Сенокосы и пастбища	
		Число участков	площадь, га	Число участков	площадь, га
Жиздринский	13	847	29982	530	15629
Ульяновский	17	861	37319	787	16052
Хвастовичский	15	1231	32109	776	19593

$$V = \frac{\exp^{(-k_1+k_2 \cdot U)}}{1 + \exp^{(-k_1+k_2 \cdot U)}}, \text{ отн. ед.} \quad (1)$$

где, V – риск (вероятность) производства сельскохозяйственной продукции с содержанием ^{137}Cs , превышающим нормативы, отн. ед.; U – среднее содержание ^{137}Cs в продукции Бк/кг; k_1 и k_2 – индивидуальные коэффициенты для каждого вида продукции.

Анализ данных ранжирования хозяйств южных районов Калужской области по степени риска превышения радиологических нормативов в продукции растениеводства (зерно, картофель, овощи) показал (табл. 3), что она уже достаточно длительное время отвечает установленным нормативам СанПиН 2.3.2.1078-01 и не оказывает значимого влияния на формирование дополнительного облучения населения (риски как правило, менее 1%).

Таблица 3.

Распределение хозяйств южных районов Калужской области по риску производства сельскохозяйственной продукции с содержанием ^{137}Cs , превышающим радиологические нормативы в 2010 г. (число хозяйств)

Вид продукции	Риск превышения нормативов, %				
	< 1	1 - 5	5 - 10	10 - 50	> 50
Зерно	33	12	-	-	-
Картофель	45	-	-	-	-
Овощи	45	-	-	-	-
Сено	44	1	-	-	-
Сенаж	-	39	6	-	-
Силос	39	6	-	-	-
Молоко	-	45	-	-	-
Говядина	-	-	21	24	-

В 2010 г. в хозяйствах производилась основная масса сена с удельной активностью ^{137}Cs гораздо ниже допустимого уровня (400 Бк/кг), при этом риск превышения норматива был также не более 1%. Риски превышения нормативов по содержанию ^{137}Cs в сенаже, в основном, находятся на уровне не выше 2%, однако в шести хозяйствах эти риски составляют около 5-6%. Основываясь на данных распределения хозяйств по категориям рисков превышения норматива ВП 13.5.13/06-01, можно сказать, что вероятность его превышения по ^{137}Cs для

кукурузы, выращиваемой на силос, будет не выше 1%. Расчет рисков превышения норматива СанПиН 2.3.2.1078-01 по содержанию ^{137}Cs в молоке (100 Бк/л) показал, что для всех хозяйств рассматриваемых районов он не превысит 4% при среднем около 2%. Из 45 рассматриваемых хозяйств, в 21 уже в настоящее время вероятность превышения норматива по содержанию ^{137}Cs в говядине ниже 10%, а в 24 хозяйствах может несколько превысить 10%-ный уровень.

В трех южных районах Калужской области находится 171 населенный пункт с постоянно проживающими в них жителями. Проведенные исследования позволили собрать полную информацию о 131 населенном пункте, так как остальные НП используются населением для временного проживания (как правило, в летнее время) или в них не ведутся личные подсобные хозяйства (табл. 4).

Таблица 4.

Административно-хозяйственная и радиологическая характеристика южных районов Калужской области

Район	Число НП	Число жителей, чел.	Число частных коров, гол.	Диапазон среднегодовых доз облучения населения в 2004 г., мЗв*
Жиздринский	52	4919	379	0.09-0.6
Ульяновский	54	7737	458	0.1-0.56
Хвастовичский	25	7787	866	0.12-1.2
Итого	131	20443	1703	0.09-1.2

* - Информационный сборник / Под ред. Г.Я. Брука, 2006.

Для оценки радиозэкологической обстановки в 131 НП Калужской области были собраны, обобщены и проанализированы следующие данные на 2008 г.:

- об уровнях загрязнения ^{137}Cs территории НП и лугопастбищных угодий в их окрестностях, на которых проводится выпас частного крупного рогатого скота;
- о структуре почвенного покрова лугов и пастбищ в районе НП;
- об удельной активности ^{137}Cs в основных дозообразующих продуктах питания: молоко, говядина, свинина, картофель, грибы.

В 2010 г. из 131 НП в 120 в случае выпаса коров на наиболее загрязненных участках лугопастбищных угодий риск превышения норматива СанПиН 2.3.2.1078-01 содержания ^{137}Cs в молоке составлял менее 5%, в 9 НП не превы-

шал 10% и в 2 НП - Кцынь и Берестна риск составлял 14 и 18% (рис. 3). Оценка риска превышения норматива по содержанию ^{137}Cs в говядине показала, что в 4 НП этот риск будет минимален, в 60 НП он не превысит 10%, в 55 риск превышения норматива будет менее 50% и в 12 НП риск может превысить 50%.

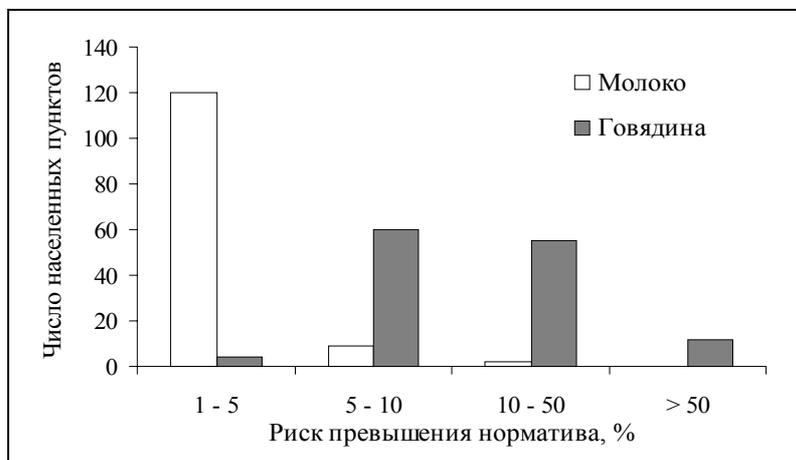


Рис. 3. Распределение сельских населенных пунктов южных районов Калужской области по степени риска производства продукции животноводства с содержанием ^{137}Cs , превышающим нормативы СанПиН 2.3.2.1078-01 в 2010 г.

Поступление ^{137}Cs из почвы в растения может изменяться вместе с ландшафтными характеристиками сельхозугодий. Наиболее высокие коэффициенты накопления ^{137}Cs в растениях отмечены на пойменных участках рек. Поскольку в поймах рек коренное улучшение не проводится, получение кормов, отвечающих радиологическим нормативам, на таких участках является основной проблемой в наиболее загрязненных районах Калужской области (рис 4).

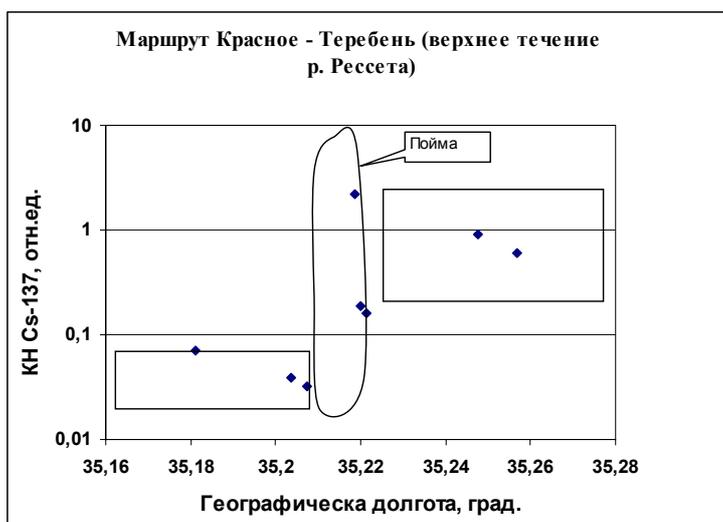


Рис. 4. Пространственное распределение КН ^{137}Cs в луговой траве

Глава 3. Разработка стратегии адресной реабилитации населенных пунктов Калужской области

Третья глава посвящена разработке системы мероприятий по адресной реабилитации населенных пунктов южных районов Калужской области. Из собранных сведений о населенных пунктах была сформирована база данных в системе поддержки принятия решений *ReSCA* (рис. 5).

The screenshot displays the 'ReSCA' database interface. It is divided into two main sections: 'Данные уровня населенного пункта' (Point level data) and 'Данные уровня участка' (Plot level data).

Данные уровня населенного пункта:

- Населенные пункты:** A list of populated points including 120 Кудрявец, 121 Терябень, 122 Ловатянка, 124 Милеево, 125 Ресета, 126 Ильинка, 127 Подбужье (selected), 128 Клетно, 129 Уполозное, 130 Успенский, and 131 Хвастовичи.
- Идентификационные данные:**
 - Код насел. пункта: 127
 - Доп. код: 343
 - Название: Подбужье
 - Доп. название: Подбужское
 - Сельсовет: Подбужский
 - Район: Хвастовичский
 - Область: Калужская
 - Страна: Россия
- Дозиметрические данные:**
 - Население [чел.]: 497
 - Население дезактивированной части н.п.: 0
 - Степень влияния грибов: 4.0
 - Cs-137 в насел. пункте [кБк/кв.м]: 34.0
 - Cs-137 в свинье [Бк/кг]: 7.0
 - Cs-137 в картофеле [Бк/кг]: 2.0
 - Cs-137 в грибах [Бк/кг]: 204.0
 - Производство молока на корову [л/год]: 3980.0
 - Производство мяса на корову [кг/год]: 200.0

Данные уровня участка:

- Участки:** 127-94 (selected)
- Участок №:** 1
- Код участка:** 94
- Описание:** пастбище
- Cs-137 в почве [кБк/кв.м]:** 51.0
- Число частных коров:** 55
- Cs-137 в частном молоке [Bq/L]:** 4.0
- Cs-137 в говядине [Bq/kg]:** 13.0
- Коровы: влияние ферритина:** 0.0
- Почва: доля песка:** 0.0
- Почва: доля суглинка:** 1.0
- Почва: доля глины:** 0.0
- Почва: доля торфа:** 0.0
- Торф: заболочено:** 0.0
- Срок после предыдущего RI [лет]:** 0
- Возможность RI/SI:** 3

Рис. 5. База данных населенных пунктов южных районов Калужской области в системе *ReSCA*

Выполненный в программе *ReSCA* расчет доз облучения населения на основе данных радиоэкологического мониторинга показал, что из 131 населенного пункта превышение порога среднегодовых доз облучения (1 мЗв/год) может наблюдаться у жителей 4-х населенных пунктов Калужской области, для которых необходима разработка системы реабилитационных мероприятий (табл. 5).

Таблица 5.

Характеристика населенных пунктов Калужской области с суммарной среднегодовой дозой облучения жителей выше 1 мЗв

НП	Район	Число жителей, чел.	Среднегодовая доза облучения населения, мЗв		
			внешняя	внутренняя	суммарная
Кцынь	Ульяновский	110	0.41	0.74	1.15
Берестна	Хвастовичский	17	0.49	0.83	1.32
Ловатянка	Хвастовичский	4	0.72	0.55	1.27
Ресета	Хвастовичский	14	0.50	0.55	1.05

В системе *ReSCA* рассматривается возможность применения семи различных типов защитных мероприятий. При разработке адресной реабилитации НП, рассматривались два варианта оценок: «экономический», когда предпочтение при оптимизации отдается самым малозатратным контрмерам, и «социальный», в котором приоритетом при выборе контрмер является отношение к ним местного населения. Для каждого НП в программе *ReSCA* были рассчитаны оба этих сценария. Стратегии адресной реабилитации, сформированные с учетом двух подходов, включают оптимальный набор мероприятий и последовательность их применения. Например, для реабилитации НП Берестна Калужской области наиболее эффективными будут являться: применение ферроцинсодержащих препаратов (ФСП) для всего поголовья частных коров этого населенного пункта (табл. 6). Далее необходимо проведение коренного улучшения наиболее загрязненных ^{137}Cs сенокосно-пастбищных угодий (КУ), используемых населением для выпаса частных коров, а также проведение организационного мероприятия – информирования населения о правилах сбора, переработки и потребления грибов (ИК). Таким образом, сельскохозяйственные мероприятия будут являться самыми эффективными.

Таблица 6.

Стратегия адресной реабилитации НП Берестна Калужской области

Вариант	Мероприятие	Среднегодовая доза облучения, мЗв			Затраты, тыс. руб.	Стоимость предотвращенной дозы, тыс. руб./чел.-Зв
		внешняя	внутренняя	суммарная		
Экономический	нет	0.49	0.83	1.32	-	-
	ФСП	0.49	0.69	1.18	6	1176
	КУ	0.49	0.63	1.12	40	2261
	ИК	0.49	0.43	0.92	5	2409
	Итого				51	2052
Социальный	нет	0.49	0.83	1.32	-	-
	КУ	0.49	0.69	1.18	40	1897
	ФСП	0.49	0.63	1.12	6	3529
	ИК	0.49	0.43	0.92	5	2409
	Итого				51	2052

Тестирование работы модуля проведено на примере оценки эффективности известкования в дозе 3 т/га одного из наиболее загрязненных ^{137}Cs (290 кБк/м²) участка пашни №34 бывшего хозяйства «Авангард» Жиздринского района Калужской области (табл. 7). Почва участка песчаная, характеризующаяся повышенным переходом ^{137}Cs в растения, поэтому при оценках загрязнения продукции использовался консервативный подход (максимальные коэффициенты перехода). Анализ экономических показателей проведения известкования показала, что наиболее выгодным при данной технологии будет являться выращивание ячменя (рентабельность около 80%) и овса (рентабельность более 40%). Отмечена отрицательная рентабельность известкования при производстве озимой ржи, несмотря на высокую экологическую эффективность этого мероприятия для данного вида продукции. Несмотря на то, что после известкования часть продукции растениеводства будет превышать установленный норматив, при смешивании с аналогичной продукцией других участков, общая активность ^{137}Cs в этих зерновых будет значительно снижена за счет эффекта разбавления.

Таблица 7.

Радиологические и экономические характеристики производства зерновых при известковании в дозе 3 т/га участка пашни №34 бывшего хозяйства «Авангард»

Показатель	Озимая рожь	Ячмень	Овес
Норматив СанПиН 2.3.2.2650-10, Бк/кг	60		
Удельная активность ^{137}Cs исходная, Бк/кг	60	85	100
Риск превышения норматива исходный, отн. ед.	0.5	0.92	0.98
Удельная активность ^{137}Cs конечная, Бк/кг	45	65	70
Риск превышения норматива конечный, отн. ед.	0.2	0.62	0.76
Стоимость известняковой муки, (руб./т) / внесения, (руб./га).	650 / 3 325		
Цена реализации продукции в 2011 г., руб./ц.	450	440	440
Себестоимость производства в 2011 г., руб./ц.	340	320	260
Затраты на уборку урожая в 2011 г., руб./ц.	130	130	110
Урожайность (средняя в 2010 г.), ц./га	14	22	16
Рентабельность дополнительных затрат, %	-14	81	47
Прирост прибыли, руб./га	-176	1 780	828
Стоимость 1 чел.-Зв, тыс. руб.	2 074	-	-

ВЫВОДЫ

1. Определены факторы, влияющие на точность долгосрочного прогнозирования уровней загрязнения ^{137}Cs сельскохозяйственных угодий, основными из которых являются радиоактивный распад и проведение защитных мероприятий. Показано, что различия (до 15-20%) между прогнозными (расчетными) оценками и реально определенными плотностями загрязнения земель обусловлены выносом радионуклидов за пределы пахотного слоя в результате проведения агротехнических мероприятий. На достоверность прогнозных расчетов значимого влияния отчуждение ^{137}Cs с фитомассой не оказывает.

2. Оценены риски превышения нормативов содержания ^{137}Cs в продукции растениеводства, производящейся в коллективном секторе южных районов Калужской области. Максимальные уровни содержания ^{137}Cs в зерне - 30 Бк/кг, а в картофеле и овощах - 15 Бк/кг, что 2-8 раз ниже нормативов СанПиН 2.3.2.1078-01. Риски производства продукции растениеводства с превышением установленных нормативов ничтожно малы - не более 1%.

3. Максимальные уровни загрязнения ^{137}Cs сена в южных районах Калужской области составляют 270 Бк/кг, а сенажа 80 Бк/кг, что в 1.5 раза ниже установленных допустимых уровней. Риск превышения норматива в сене не выше 1%, а в сенаже не более 2%, однако в шести хозяйствах эти риски составляют 5-6%. Отмечено, что поступление ^{137}Cs из почвы в растения может изменяться вместе с ландшафтными характеристиками сельскохозяйственных угодий. Наиболее высокие коэффициенты накопления ^{137}Cs в продукции кормопроизводства отмечены на пойменных лугах.

4. Среднее содержание ^{137}Cs в молоке из коллективных хозяйств южных районов Калужской области составляет 15 Бк/л (максимальное - 90 Бк/л отмечено в одном хозяйстве при выпасе коров на наиболее загрязненных ^{137}Cs пойменных участках). Риск превышения норматива по содержанию ^{137}Cs в молоке не превысит 4%. Содержание ^{137}Cs в говядине составляет 5-140 Бк/кг (среднее 25 Бк/кг), что ниже норматива СанПиН 2.3.2.1078-01 (160 Бк/кг). В 21 хозяйст-

ве риск превышения норматива по содержанию ^{137}Cs в говядине ниже 10%, в 24 хозяйствах может несколько превысить 10%-ный уровень. Введенные в 2010 г. СанПиН 2.3.2.2650-10, где смягчены требования по содержанию ^{137}Cs в мясе (200 Бк/кг) позволяет уменьшить число хозяйств, где наблюдается риск превышения норматива на уровне более 10%.

5. Риски превышения норматива по содержанию ^{137}Cs в молоке, производимым в частном секторе составили: в 120 населенных пунктах менее 5%, в 9 - менее 10% и в 2 этот риск составил 15 и 20%. Риск превышения норматива по содержанию ^{137}Cs в говядине составил: в 4 населенных пунктах 5%, в 60 - менее 10%, в 55 - менее 50% и в 12 может достигнуть 50%. Показано, что вклад сельскохозяйственных продуктов питания в дозу внутреннего облучения населения остается доминирующим (до 58%). Выделены четыре населенных пункта (Кцынь, Берестна, Ловатянка, Рессета), в которых существует риск превышения дозовых нагрузок у жителей (выше 1 мЗв/год) в случае потребления населением местных продуктов питания, в том числе природных. В этих населенных пунктах установлены критические по внешнему облучению категории населения: полеводы, животноводы и лесники.

6. С помощью компьютерной системы поддержки принятия решений *ReSCA* разработаны два варианта стратегии адресной реабилитации четырех населенных пунктов Калужской области: «экономический» - предпочтение при оптимизации отдается самым малозатратным контрмерам, и «социальный» - приоритетом при выборе мероприятий является отношение к ним местного населения. При реабилитации населенных пунктов по «экономическому» варианту суммарная предотвращенная коллективная доза облучения населения составит 0.098 чел.-Зв, а при «социальном» – 0.108 чел.-Зв, при этом суммарные затраты на реабилитацию составят 221 и 255 тыс. руб., соответственно. Показано, что наиболее эффективными являются сельскохозяйственные мероприятия: проведение коренного улучшения сенокосов и пастбищ и применение ферроцинсодержащих препаратов, а также информирование населения о правилах

сбора, переработки и потребления природной продукции.

7. Разработан компьютерный модуль для оценки экономической эффективности реабилитационных технологий при производстве на радиоактивно загрязненных территориях сельскохозяйственной продукции, удовлетворяющей радиологическим нормативам. Модуль позволяет оценивать экономические и радиологические характеристики эффективности проведения реабилитационных работ, а также виды продукции растениеводства, которые наиболее рентабельно производить на сельскохозяйственных угодьях. Показано, что на эффективность реабилитационных мероприятий оказывает влияние множество факторов: хозяйственных, экологических, экономических.

8. В настоящее время в южных районах Калужской области при производстве продукции растениеводства (зерновые, овощи, картофель) нет необходимости в проведении каких-либо реабилитационных мероприятий. Применение агромелиорантов должно основываться на традиционных технологиях, обеспечивающих повышение плодородия почв и урожайности сельскохозяйственных культур.

Показано, что риск превышения нормативов в продукции животноводства существует только в случае выпаса коров на наиболее загрязненных ^{137}Cs пойменных лугопастбищных угодьях. При планировании системы реабилитационных мероприятий, в первую очередь, следует обратить внимание на меры по снижению загрязнения ^{137}Cs продукции животноводства в личных подсобных хозяйствах сельских населенных пунктов.

**СПИСОК ОСНОВНЫХ РАБОТ,
ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ**

Работы, опубликованные в изданиях, рекомендованных ВАК РФ

1. **Иванова Е.Г.**, Панов А.В., Музалевская А.А. Оценка необходимости реабилитации населенных пунктов Калужской области, пострадавших от аварии на Чернобыльской АЭС // Вестник РАСХН. 2009. №4. С. 21-24.
2. **Иванова Е.Г.**, Панов А.В. Обоснование адресной реабилитации населенных пунктов Калужской области, пострадавших от аварии на Чернобыльской АЭС // Медицинская радиология и радиационная безопасность. 2010. Т. 55. №4. С. 6-12.
3. Панов А.В., **Иванова Е.Г.**, Соломатин В.М., Дубынина М.А. Оценка факторов, влияющих на изменение плотности загрязнения ^{137}Cs сельскохозяйственных угодий // Доклады РАСХН. 2011. №2. С. 28-31.

Материалы сборников научных трудов и тезисы докладов

4. Панов А.В., **Иванова Е.Г.**, Музалевская А.А., Соломатин В.М., Карпенко Е.И. Разработка стратегии адресной реабилитации населенных пунктов Калужской области, пострадавших от аварии на Чернобыльской АЭС, с учетом социально-психологического и экономического факторов // Труды регионального конкурса научных проектов в области гуманитарных наук. Выпуск 10. – АНО «Калужский научный центр», 2009. С. 331-346.
5. **Иванова Е.Г.**, Панов А.В. Анализ вклада радионуклидсодержащих продуктов питания в формирование доз внутреннего облучения населения Калужской области в отдаленный период после аварии на Чернобыльской АЭС / Техногенные системы и экологический риск. Матер. докл. VII Региональной научной конференции, Обнинск: ИАТЭ, 2010. С. 56-60.
6. Спирин Е.В., **Иванова Е.Г.**, Дикарев Д.В., Анисимов В.С., Ратникова Л.И., Соломатин В.М., Титов И.Е. Исследование коэффициентов накопления ^{137}Cs в зависимости от почвенных и ландшафтных характеристик в пойме реки Вытебеть // Труды регионального конкурса научных проектов в области естественных наук. Выпуск 15. – Калуга, 2010. С. 161-165.

7. **Иванова Е.Г.**, Панов А.В. Обоснование стратегии адресной реабилитации населенных пунктов Калужской области, пострадавших от аварии на Чернобыльской АЭС / VI съезд по радиац. исследованиям (радиобиология, радиоэкология, радиационная безопасность): Тез. докл. Москва, 25-28 октября 2010. М., 2010. Т. II. С. 91.
8. Панов А.В., **Иванова Е.Г.**, Соломатин В.М., Карпенко Е.И., Титов И.Е. Оценка радиологических рисков у населения, подверженного воздействию аварии на Чернобыльской АЭС (на примере южных районов Калужской области) // Труды регионального конкурса научных проектов в области гуманитарных наук. Выпуск 12. – Калуга: Издательство «Эйдос», 2011. С. 218-228.
9. Спирин Е.В., **Иванова Е.Г.**, Дикарев Д.В., Анисимов В.С., Ратникова Л.И., Соломатин В.М., Титов И.Е. Исследования коэффициентов накопления ^{137}Cs в зависимости от почвенных и ландшафтных характеристик в пойме реки Вытебеть / Закономерности изменения почв при антропогенных воздействиях и регулирование состояния и функционирования почвенного покрова: Материалы Всероссийской научной конференции. – М.: Почв. ин-т им. В.В. Докучаева Россельхозакадемии, 2011. С. 384-387.
10. Спирин Е.В., Анисимов В.С., **Иванова Е.Г.**, Дикарев Д.В., Ратникова Л.И., Бахвалов А.В., Кочетков И.В., Соломатин В.М., Титов И.Е. Изучение механизмов поведения радиоактивных веществ в зависимости от гидроморфологических, почвенных и ландшафтных характеристик бассейнов рек (на примере бассейнов рек Ресета и Вытебеть на территории Калужской области) // Труды регионального конкурса научных проектов в области естественных наук. Выпуск 16. – Калуга, 2011. С. 189-195.
11. Панов А.В., Бакалова О.Н., **Иванова Е.Г.**, Соломатин В.М., Титов И.Е., Карпенко Е.И. Разработка методологии и компьютерного модуля оценки эколого-экономической эффективности технологий ведения сельскохозяйственного производства на территориях, загрязненных радионуклидами (на примере хозяйств южных районов Калужской области) // Труды регионального конкурса научных проектов в области гуманитарных наук. Выпуск 13. – Калуга: Издательство АНО КРНЦ им. А.В. Дерягина, 2012. С. 106-115.

Заказ №1(12) Тираж 100 экз. Объем 1 п.л. Формат 60×84 1/16

Отпечатано в информационно-издательской группе
ГНУ ВНИИСХРАЭ Россельхозакадемии
249032, г. Обнинск, Калужской обл., Киевское шоссе, 109 км.