

На правах рукописи



БАРАНОВ СЕРГЕЙ АЛЕКСАНДРОВИЧ

**РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА
НА ОСНОВЕ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

03.00.01 – Радиобиология

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата биологических наук

Обнинск – 2009

Работа выполнена в Республиканском государственном предприятии
«Национальный ядерный центр Республики Казахстан»

Научные руководители: доктор технических наук, доцент
Мукушева Майра Кизатовна
доктор биологических наук
Спиридонов Сергей Иннокентьевич

Официальные оппоненты: доктор физико-математических наук,
профессор, академик РАЕН
Крышев Иван Иванович
кандидат биологических наук
Цыгвинцев Павел Николаевич

Ведущая организация: Обнинский государственный технический
университет атомной энергетики

Защита состоится «___» _____ 2009 года в ____ часов на заседании
диссертационного совета Д 006.068.01 в ГНУ ВНИИ сельскохозяйственной
радиологии и агроэкологии по адресу: 249032, г. Обнинск, Калужской обл.,
Киевское шоссе, 109 км. Факс: +7 (48439) 68066

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ГНУ ВНИИ
сельскохозяйственной радиологии и агроэкологии

Автореферат разослан «___» _____ 2009 г.

Ученый секретарь диссертационного совета,
кандидат биологических наук



Шубина О.А.

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность проблемы. Противостояние двух военно-политических систем во главе с СССР и США привело к «холодной войне» и гонке вооружений. В течение сорока лет Советский Союз проводил испытания, направленные на разработку и совершенствование новых типов ядерного оружия.

Казахстан был одним из основных регионов, обеспечивающих Советскую ядерную программу. Редконаселенная территория, наличие районов, не пригодных для интенсивного земледелия, значительные запасы минерального сырья, сделали Казахстан идеальным местом для отработки военных технологий и проведения испытаний.

Семипалатинский испытательный полигон (СИП) был основным полигоном Советского Союза, на котором проводились как воздушные и наземные, так и подземные взрывы. С 1949 по 1989 год на СИП было проведено 456 испытаний ядерных устройств.

После закрытия СИП на его территории стала наблюдаться несанкционированная деятельность. Жители близлежащих населенных пунктов занимаются выпасом скота, сбором лома черных и цветных металлов, разборкой зданий и сооружений, находящихся на СИП. Кроме того, на территории полигона ведется разработка месторождений и добыча полезных ископаемых. Вся эта деятельность может способствовать вторичному распространению радиоактивного загрязнения не только на территории полигона, но и за его пределами.

В данной ситуации представляется важной задача обеспечения безопасности хозяйственной деятельности человека, для которой необходимы оценка и прогноз радиоэкологической ситуации. Защита окружающей среды, и особенно человека от воздействия остаточной и вторичной радиоактивности является главным моментом при решении проблем полигона. Требуется проведение дополнительных работ по оценке последствий радионуклидного загрязнения СИП с последующей разработкой рекомендаций по использованию земель с точки зрения радиационной безопасности. Это вызывает необходимость научной разработки и практической реализации методов и путей, обеспечивающих оценку степени влияния радиоактивного загрязнения почвенно-растительного покрова на проживающее здесь население.

Для решения данных задач наиболее приемлемым подходом является проведение радиоэкологического мониторинга территории СИП. Основная задача радиоэкологического мониторинга – создание единого информационного пространства, которое может быть сформировано на основе использования современных геоинформационных технологий. Большой объем информации, характерный для экологических исследований, зачастую из-за трудностей восприятия и комплексного характера не может помочь решить проблему, без визуализации на географической карте. Интеграционный характер географических информационных систем (ГИС) позволяет создать на их основе мощный инструмент для сбора, хранения, систематизации, анализа и

представления информации. Возможности ГИС позволяют считать эту технологию наиболее приемлемой для целей обработки и управления данными мониторинга. Применение географических информационных систем для анализа радиоэкологических процессов на радиоактивно загрязненных территориях в местах проведения ядерных испытаний позволит эффективно обработать большие объемы информации, необходимой для решения проблем, связанных с реабилитацией загрязненных территорий.

Развитие информационных технологий, использующих персональные компьютеры, локальные и глобальные сети передачи данных, геоинформационные системы и многое другое, создает потенциальную возможность для внедрения информационно-аналитических систем экологического мониторинга для анализа радиоэкологической обстановки и поддержки принятия решений в сфере экологического управления.

Создавшаяся на полигоне радиационная ситуация и необходимость принятия конкретных управленческих решений по обеспечению охраны здоровья населения и реабилитации земель полигона определили актуальность диссертационной работы.

Целью работы является разработка информационно-аналитической системы радиоэкологического мониторинга бывшего Семипалатинского испытательного полигона, которая необходима для повышения эффективности и оперативности принятия управленческих решений для рационального использования земельных ресурсов и обеспечения безопасного ведения хозяйственной деятельности. Для достижения названной цели были поставлены и решены **следующие задачи:**

- разработка и реализация структуры информационно-аналитического блока системы радиоэкологического мониторинга бывшего СИП;
- создание структуры и «информационное наполнение» баз данных для ведения мониторинга состояния различных компонентов окружающей природной среды;
- разработка новых и модернизация известных алгоритмов обработки данных для использования в информационно-аналитическом блоке;
- разработка и апробация методов оценки последствий радиоактивного загрязнения территории бывшего СИП с использованием геоинформационных технологий;
- оценка радиоэкологических рисков для населения, проживающего на территории, прилегающей к испытательной площадке «Опытное поле» бывшего СИП.

На защиту выносятся следующие научные положения:

- структура системы радиоэкологического мониторинга и принципы управления системой;

- совокупность программных средств, обеспечивающих интеграцию информационных ресурсов в единую информационно-аналитическую систему радиоэкологического мониторинга территории бывшего СИП;
- результаты оценки и прогноза радиоэкологических рисков для населения, проживающего и занимающегося выпасом скота в зоне расположения испытательной площадки «Опытное поле».

Научная новизна:

1. Впервые выполнена оценка радиоэкологических рисков для населения, ведущего хозяйственную деятельность на территории СИП.

2. Разработана структура информационно-аналитического блока системы комплексного радиоэкологического мониторинга бывшего СИП, с привязкой к конкретным природным и социальным условиям зоны, прилегающей к испытательной площадке «Опытное поле».

3. Разработана база данных и геоинформационная система по результатам полевых исследований, выполненных Национальным ядерным центром Республики Казахстан.

4. Предложены новые вычислительные алгоритмы для использования в геоинформационных системах различного назначения, которые внедрены в ГИС и успешно опробованы в рамках данной работы.

Объектом исследования являются радиоактивно-загрязненные экосистемы бывшего Семипалатинского испытательного полигона, информационно-аналитическая система радиоэкологического мониторинга территории СИП.

Методы исследования. В диссертационной работе использованы методы системного анализа, математического моделирования, теории информационных систем и процессов, теории принятия решений, имитационного и натурного экспериментов, методы оценки рисков.

Достоверность научных положений и выводов подтверждена:

- натурными экспериментами, использованными для идентификации результатов математического моделирования;
- корреляционной зависимостью результатов моделирования и полевых экспериментов, выполненных в разные годы.

Теоретическая и практическая значимость результатов исследований. Разработаны методы исследования, алгоритмы и подходы к построению информационно-аналитических систем радиоэкологического мониторинга, которые являются теоретической базой для создания соответствующего программного обеспечения, а также могут быть использованы при разработке подобных систем для территории бывшего СИП и других техногенных объектов.

Создано программное обеспечение, позволяющее, на базе геоинформационных технологий и математического моделирования,

оптимизировать процесс анализа влияния характеристик радиоактивного загрязнения территории СИП и особенностей почвенно-растительного покрова на содержание радионуклидов в продуктах животноводства и получение местным населением дополнительной дозовой нагрузки.

Результаты расчетно-аналитических исследований могут использоваться в научно-исследовательских работах по проблемам охраны окружающей природной среды, при разработке геоинформационных систем различного назначения, для проведения оценки радиационного воздействия на окружающую среду.

Личное участие диссертанта заключается в непосредственном выполнении теоретической и экспериментальной части работы, а также в формулировке выводов и основных положений выносимых на защиту диссертации.

Апробация работы. Основные результаты работы и отдельные положения докладывались и обсуждались на международной конференции «Радиационное наследие XX века и восстановление окружающей среды», Москва, 2000; I международной научно-практической конференции «Медицинские и экологические эффекты ионизирующей радиации», Томск, 2001; Международном научно-исследовательском семинаре «Environmental Protection Against Radioactive Pollution», Almaty, 2002; Пятой международной конференции «Ядерная и радиационная физика», Алматы, 2005; Международной конференции «Моделирование процессов переноса радионуклидов в окружающей среде и вопросы разработки баз метаданных по радиационным объектам Советского ядерного комплекса», Москва, 2005; Международной конференции «Soil Protection Strategy – Needs and Approaches for Policy Support», Pulawy, Poland, 2006; Международном семинаре «Nuclear legacy of the former USSR», Мюнхен, 2006; Шестой международной конференции «Ядерная и радиационная физика», Алматы, 2007; Международной конференции «Biogeochemistry of Trace Elements», Пекин, 2007, Международной конференции «Ядерная энергетика республики Казахстан», Курчатов, 2007 г.; Совместном семинаре МАГАТЭ и МНТЦ «New approaches for evaluation of the environment impact on the public and non-human species in areas affected by the Semipalatinsk Test Site and typical nuclear facilities», МАГАТЭ, Вена (Австрия), 2009 г.

Публикации. Основные научные результаты диссертационной работы опубликованы в 22 печатных работах, в том числе 1 – в издании, входящем в перечень ведущих рецензируемых научных журналов, 21 – в казахстанских изданиях и материалах международных научно-практических конференций.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, 4 глав, выводов, списка литературы из 130 наименований и приложения, изложена на 150 страницах, включает 43 рисунка и 8 таблиц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

1. Состояние вопроса

Проблема охраны окружающей среды и рационального использования природных ресурсов рассматривается во всем мире как одна из важнейших. Научные и практические разработки по этой глобальной проблеме в виду ее комплексности и междисциплинарного характера требуют привлечения огромного числа различных данных, передового отечественного и зарубежного опыта, широкого международного сотрудничества, использования мировых информационных ресурсов.

Накопленные в настоящее время массивы экспериментальных данных очень велики, а организация экосистем настолько сложна, что без информационных технологий, методов анализа и моделирования, понимание их займет большое количество времени. Информационные технологии играют все более значимую роль, обеспечивая решение проблем исследования состояния и динамики экосистем.

Традиционные методы сбора и обработки большого количества информации при эксплуатации систем экологического контроля и мониторинга, не позволяют без применения современных компьютерных технологий получать достоверную оперативную информацию, проводить моделирование уровня техногенных нагрузок на различные компоненты природной среды, делать экспертные и прогнозные оценки для принятия оптимальных управленческих решений. Поэтому создание эффективной информационно-аналитической системы комплексного радиоэкологического контроля и мониторинга объектов СИП позволит оперативно и достоверно оценить степень влияния воздействия объектов на окружающую природную среду, дать прогноз изменения природных экосистем под воздействием источников радиоактивного или иного загрязнения, и принять превентивные меры для экологической безопасности действующего объекта.

Анализируя современное состояние и перспективы развития систем радиоэкологического мониторинга необходимо отметить, что именно пространственные системы представляют наибольший интерес для решения задач долгосрочного управления экологически опасными объектами и загрязненными территориями. Возможность использования таких систем для долгосрочного прогноза возможности ведения хозяйственной деятельности определяет необходимость разработки и внедрения их для бывшего Семипалатинского испытательного полигона.

Все это обуславливает актуальность данного исследования, необходимость создания новых и интеграции имеющихся баз данных, экспертных систем и других программных продуктов, разработки и практической реализации современной геоинформационной системы – важнейшей составляющей обеспечения системы комплексного радиоэкологического мониторинга бывшего Семипалатинского испытательного полигона.

2. Структура системы радиоэкологического мониторинга

Проблема разработки и создания единой системы экологического мониторинга окружающей среды в административном районе является комплексной как по содержанию, так и по формам реализации научно-технических, технологических, экономических, правовых, социальных и организационных задач. Она имеет целью создание не только единого информационного пространства, но и стабилизацию экологической обстановки в границах проводимых исследований.

Методы, алгоритмы и аппаратно-программные средства, реализующие эти технологии, должны быть универсальными, то есть пригодными для объединения и совместной обработки информации для решения функциональных задач.

Эта система будет эффективна, когда на основе полученных данных появится возможность прогнозировать последствия загрязнения окружающей среды, ухудшение здоровья человека и среды обитания животного и растительного мира.

Разработанная система радиоэкологического мониторинга (СРЭМ) предназначена для информационной, методической и инструментальной поддержки процессов подготовки и принятия управленческих решений на уровне как местных (районных, областных), так и республиканских органов управления в сфере хозяйственной деятельности на территории СИП.

Основные задачи СРЭМ – сбор, обработка, систематизация и хранение данных мониторинга, подготовка и представление результатов объективного анализа состояния загрязнения на контролируемой территории, моделирование процессов распространения и трансформации загрязняющих веществ в окружающей среде. Представление пространственно-временной картины изменения радиоэкологической обстановки служит основой для оценки риска ведения хозяйственной деятельности на загрязненных территориях.

Отличительной особенностью разрабатываемой СРЭМ является применение комплекса динамических моделей процессов миграции радионуклидов в системе почва-растения-животные-человек, на основе которых могут быть реализованы имитационные, оптимизационные и целевые алгоритмы управления.

СРЭМ состоит из базы данных и блока управления данными, базы моделей и блока управления моделями, блока вычислений и интерфейса пользователя (Рис. 1).

База данных. Средствами ГИС сформирована экологическая база данных (ЭБД) для решения задач оценки современного состояния исследуемой территории. ЭБД представляет собой многоуровневую иерархическую систему, в которой сконцентрирована и систематизирована информация о важнейших компонентах природных комплексов. Определены состав и структура базы данных, а также задачи, решаемые на разных территориальных уровнях.

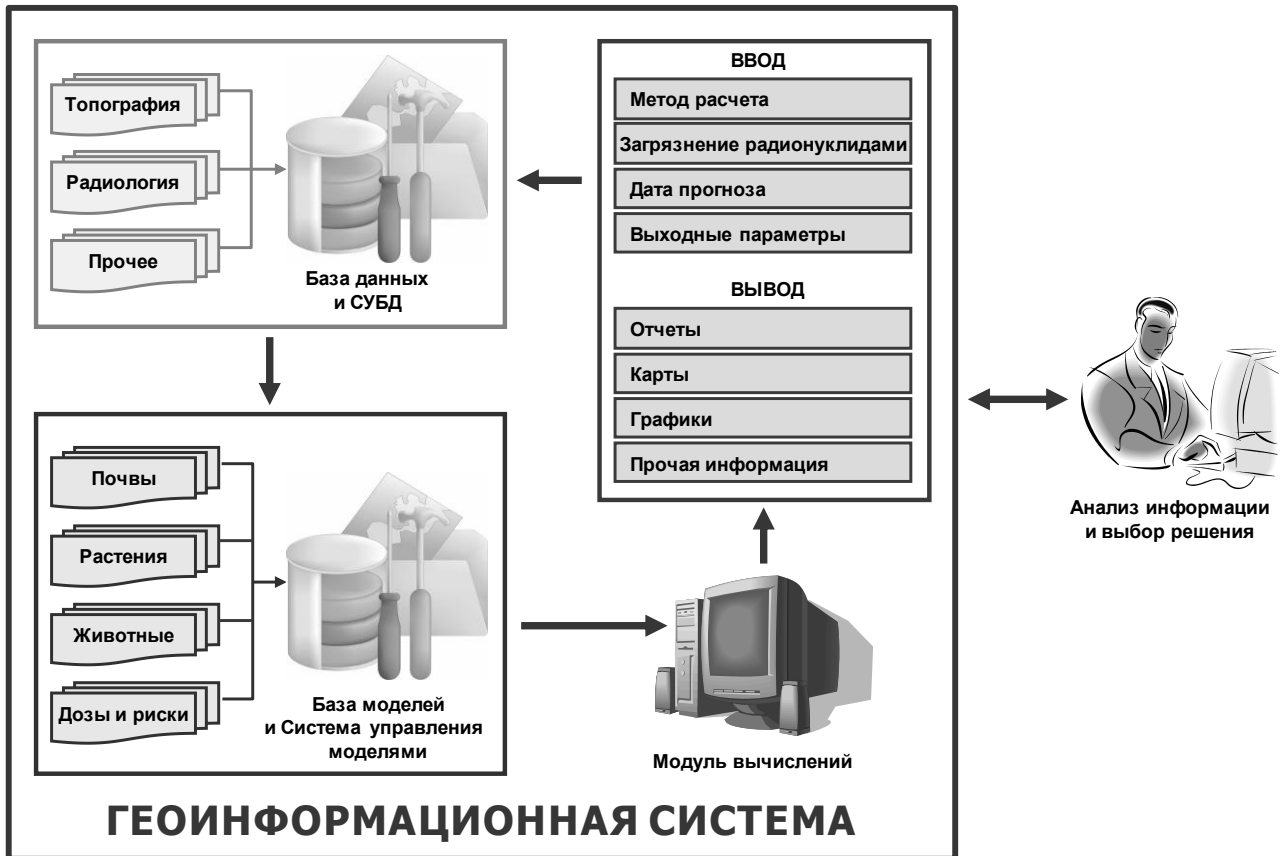


Рис. 1. Структурная схема Системы радиоэкологического мониторинга.

База данных СРЭМ реализована в среде СУБД MS Access и содержит всю имеющуюся на данный момент информацию, характеризующую территорию, прилегающую к площадке «Опытное поле». Это спутниковые снимки, листы топографических карт, прочие векторные и растровые данные. На сегодняшний день в базе данных содержится более 2500 объектов, сгруппированных в 20 слоев информации.

Связь между пространственными и атрибутивными данными осуществляется средствами системы управления данными (СУД), что позволяет решить проблему эффективной обработки больших объемов информации. При этом поиск дубликатов записей, решение вопроса о дополнении, замене или удалении записей реализуется на основе встроенных механизмов самой СУД. Помимо большего быстродействия при работе, есть и другое существенное преимущество: поиск данных по расположению и атрибутам может выполняться не инструментальной ГИС, а самой СУД, что оптимально с точки зрения распределения ресурсов.

База моделей. Поступление долгоживущих радионуклидов в пастбищную растительность из почвы приводит к их накоплению в организме сельскохозяйственных животных и продукции животноводства. С учетом этого обстоятельства проблема, связанная с прогнозированием накопления основных дозообразующих радионуклидов в системе почва – растительность (употребляемая в пищу сельскохозяйственными животными) приобретает первостепенное значение. Для выполнения прогностических оценок

необходимы математические модели, адаптированные и параметризованные для условий критических (с точки зрения возможных радиологических последствий) агроэкосистем СИП.

Кроме того, при оценке опасности облучения людей долгоживущими радионуклидами необходимо было учесть внешнее облучение, которому подвергаются жители летовок и зимовок, ведущие хозяйственную деятельность на исследуемой территории.

Ранее, в ходе выполнения различных работ на СИП, был разработан ряд моделей, позволяющих учесть негативные факторы воздействия радионуклидов, с учетом всех факторов, влияющих на формирование дозовой нагрузки на население. В рамках выполнения диссертационной работы, эти модели внедрены в ГИС-систему радиоэкологического мониторинга. На сегодняшний день в базе моделей СРЭМ содержатся следующие математические модели:

- миграции ^{137}Cs и ^{90}Sr в системе почва – растения с учетом основных физико-химических процессов, определяющих биологическую доступность радионуклидов для поглощения корнями растений, что позволяет рассчитать их распределение по компонентам почвы и поступление радионуклидов в растительность
- накопления ^{137}Cs и ^{90}Sr в молоке и мясе лошадей и овец, на основе учета основных закономерностей метаболизма радионуклидов в организме этих животных;
- оценочного расчета дозовых нагрузок от внешнего облучения населения, проживающего на территории СИП;
- расчета эквивалентной дозы от поступления радиоактивных веществ вместе с продуктами питания.

Программные версии моделей включают модули: «Миграция радионуклидов в системе почва – растения», «Поведение радионуклидов в организме сельскохозяйственных животных» и «Расчет дополнительной дозовой нагрузки на население».

Интерфейс пользователя представляет собой пользовательские формы, созданные с помощью VBA и Arc Objects. С помощью этих форм происходит просмотр и редактирование необходимых констант, выбор растров загрязнения территории выпаса радионуклидами ^{137}Cs и ^{90}Sr , определение даты прогноза и необходимых выходных параметров, запуск и контроль выполнения процесса.

Результаты расчетов представляют собой ряд матриц, выбираемых пользователем, которые могут содержать значения концентраций радионуклидов в каждом компоненте почвенного покрова (послойно), в растительности, продуктах животноводческой деятельности, а также значения дозовой нагрузки на категории населения, для которых производился расчет.

По запросу пользователя информация может быть выведена на экран в виде графиков и таблиц, кроме того, полученные данные записываются в базу данных в виде таблиц MS Access, которые могут быть использованы для

дальнейшего анализа и обработки другими программами. При необходимости могут быть построены и выведены на экран растровые поверхности (карты), дающие представление об ожидаемых изменениях расчетных параметров на дату прогноза.

3. Геоинформационное картирование территории СИП

Для проведения комплексного анализа состояния было необходимо создать ГИС-проект территории полигона, для которой будет проведен весь комплекс расчетов экологической нагрузки на население, проживающее здесь и ведущее хозяйственную деятельность. Эта работа потребовала выполнения сбора, обработки и анализа данных о характеристиках почвенного покрова, растительности, загрязнении почвы радионуклидами, и другой информации, необходимой для более полного понимания состояния территории исследования и процессов здесь происходящих.

Описание объекта исследования. Площадка «Опытное поле» является одним из наиболее загрязненных участков территории бывшего СИП и представляет собой равнину диаметром около 20 км, окруженную невысокими холмами. На этой площадке в период 1949-1962 гг. было произведено 116 ядерных взрывов в атмосфере, из них 86 – воздушных и 30 – наземных (Рис. 2). Кроме того, здесь были реализованы программы по испытанию боевых радиоактивных веществ (БРВ), представляющих высокоактивные жидкие растворы, а также гидроядерных экспериментов, сопровождающихся распылением изотопов плутония-239 и урана-235, без проведения ядерных взрывов.

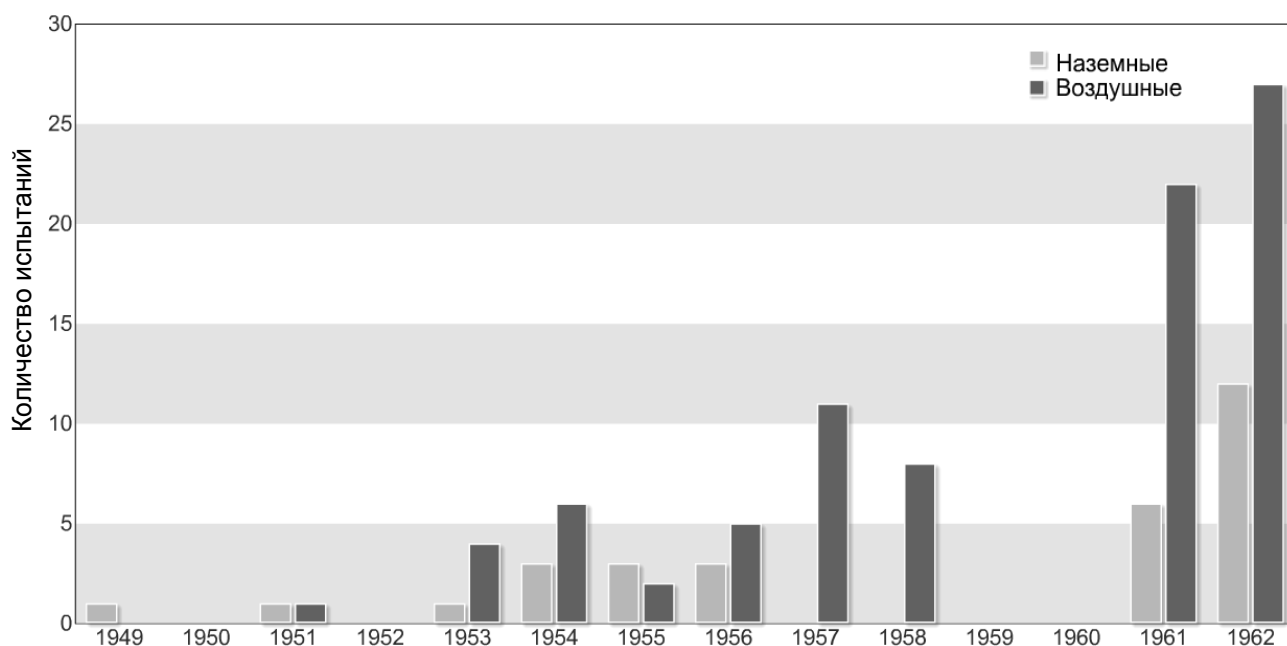


Рис. 2. Хронология проведения ядерных испытаний на площадке «Опытное поле».

Уже в период испытаний было известно, что наиболее сильное радиоактивное загрязнение окружающей среды происходит при наземных

ядерных взрывах. Осуществление на площадке «Опытное поле» 30 наземных ядерных взрывов стало основной причиной радиоактивного загрязнения площадки и прилегающей территории (Рис. 3).

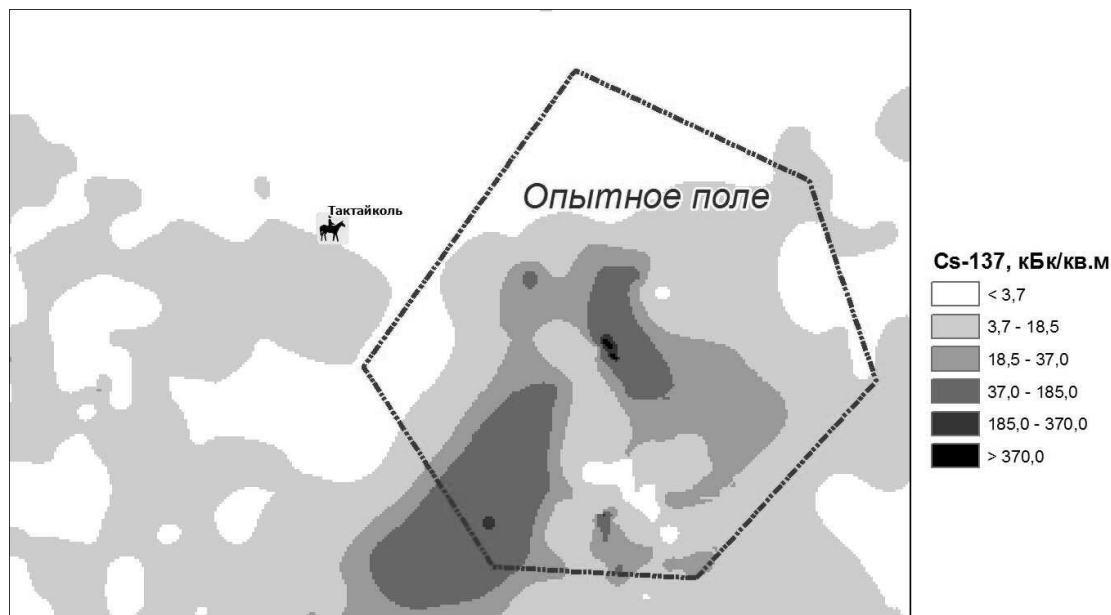


Рис. 3. Поверхностное загрязнение территории радионуклидом ^{137}Cs .

Почвы и растительность. На территории, прилегающей к площадке «Опытное поле», распространены, в основном, светло-каштановые и каштановые почвы, что характерно для сухих степных и полупустынных экосистем (Рис. 4). По механическому составу среди них преобладают песчанистые, средне- и легкосуглинистые разновидности. Солонцы на исследуемых участках имеют довольно значительное распространение, залегая преимущественно пятнами разного размера среди других почв.

Особенностью почв Семипалатинского испытательного полигона является высокое содержание калия, что оказывает значительное влияние на накопление радиоцезия растениями. Распространенные здесь основные типы почв имеют легкий механический состав. Наличие высокой степени эродированности будет способствовать подъему пыли под влиянием различных антропогенных факторов.

Светло-каштановые почвы и особенно их комплексы с солонцами обычно используются под пастбища; в годы с повышенным количеством осадков здесь бывают хорошие урожаи степных трав.

Основную часть территории занимают пастбища, косимые угодья и луга, также имеется кустарниково-древесная растительность. Пастбищная растительность растет не сплошным ковром и содержит мало питательных веществ.

Территория исследуемого района объединяет несколько биотопов: пастбища, луга, сенокосы, временные мелководные озерки (в основном соленые), редкие заросли кустарников. Каждый из них имеет обычно

специализированный или адаптированный растительный и животный мир, являющийся отлаженной или нарушенной экосистемой.

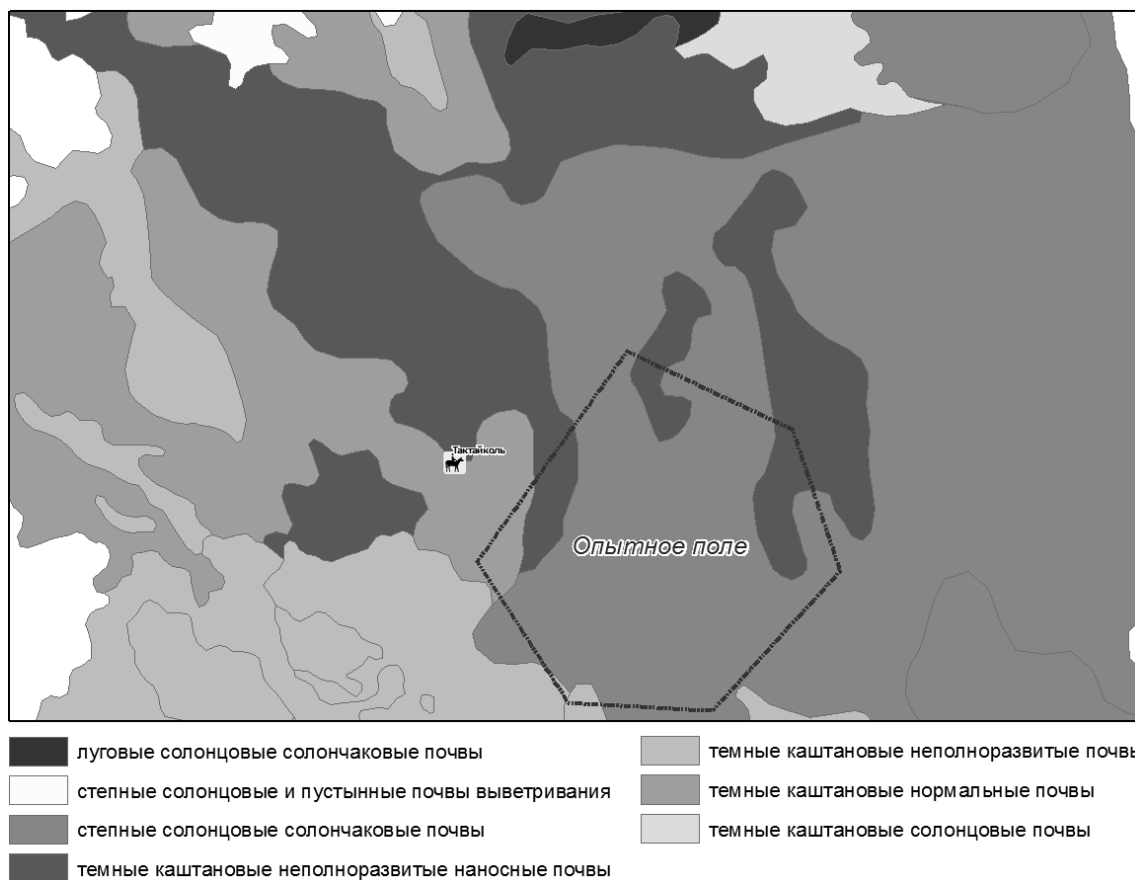


Рис.4. Карта почвенного покрова.

Особенности ведения хозяйственной деятельности. При обследовании территории испытательной площадки «Опытное поле» было выявлено 14 зимовок и колодцев, расположенных в радиусе 35 км от эпицентра первого ядерного взрыва (Рис. 5). Это зимовки коллективного сельскохозяйственного предприятия (КСХП) «Акжарский» Майского района Павлодарской области, расположенные в северной части СИП. Пастбищные земли зимовок и летовок находятся в непосредственной близости от площадки «Опытное поле», радиоактивное загрязнение которого обусловлено наземными и воздушными ядерными взрывами. Люди, проживающие на зимовках и летниках, пасут скот, поголовье которого составляет несколько тысяч овец и лошадей. Кроме выпаса скота, на данной территории в 8 км от эпицентра первого испытания, на берегу озера «Жаксытуз» осуществляется добыча поваренной соли.

Необходимо отметить ряд особенностей содержания и использования скота в изучаемом районе. Весь скот, за исключением молочных коров, при благоприятной зиме почти круглый год содержится на пастбищах. Наиболее распространены две породы лошадей: Джабе и Адаевская. На бывшем СИП доминирует порода Джабе. Лошади этой породы наиболее приспособлены к суровым климатическим условиям и не требуют специального ухода.

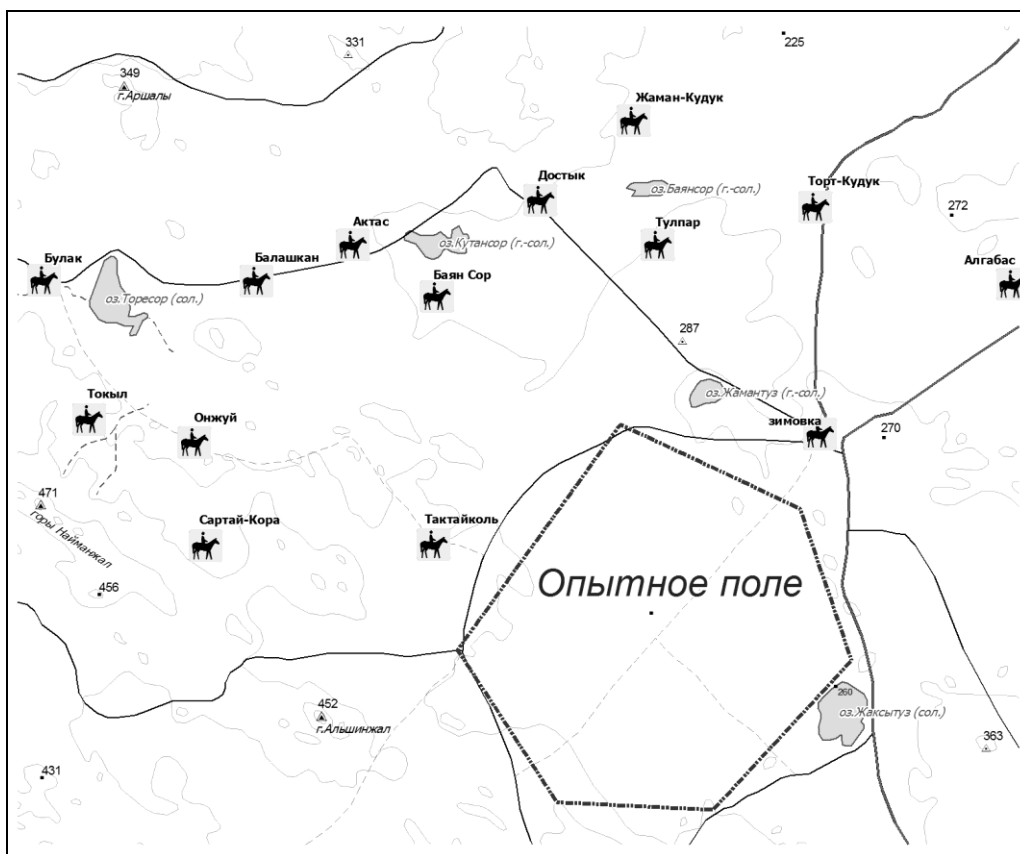


Рис. 5. Схема расположения зимовок.

На полигоне разводят породы мясных курдючных грубошерстных овец – Едильбаевскую и Кулундинскую. Эти породы овец хорошо приспособленные к местным условиям. После закрытия полигона, несмотря на огораживание наиболее загрязненных мест, чабаны пасут овец по всей территории полигона, и даже заводят их на зимние месяцы непосредственно на «Опытное поле».

Крестьянские хозяйства ведут активную деятельность по производству сельскохозяйственных продуктов животноводческого направления. Эта продукция реализуется потом в свободной продаже в городах Семипалатинск, Павлодар, Курчатов и других населенных пунктах.

Рацион питания. Основное население изучаемого района составляют казахи. В отличие от русского населения, основная деятельность казахского населения животноводческая. Поэтому рацион этой группы населения значительно обеднен овощами и фруктами. Приобретаемые на рынках продукты не отличаются разнообразием: в основном, это мука и овощи, представлены картофелем и луком.

Основными продуктами, составляющими структуру питания этой группы населения, являются мясо, молоко и молочные продукты домашнего производства, хлеб и хлебобулочные изделия, картофель и лук. Хлеб обычно готовится в домашних условиях из пшеничной муки. Население исследуемых участков чаще употребляют баранину, затем говядину и конину.

Данные о потреблении некоторых продуктов питания работниками хозяйств КСХП «Акжарский» на душу населения получены путем опроса населения проживающего в исследуемом регионе (опрошено 100 человек):

- мясо и мясопродукты в пересчете на мясо – 54 кг/год;
- молоко и молочные продукты в пересчете на цельное молоко – 328 кг/год.

Результаты анализа накопления радионуклидов в продуктах животноводства и их поступления в организм человека, полученные в ходе выполнения проекта МНТЦ К-54 «Экологические пути миграции радионуклидов, связанных с ядерными испытаниями на Семипалатинском полигоне» приведены в таблицах 1 и 2.

Таблица.1. Годовое поступления радионуклидов в организм человека с продуктами питания - молоко и мясо (конина) для КСХП «Акжарский».

Наименование продуктов питания	Радионуклид	Содержание радионуклида в корме животного, Бк/кг (ср.)	Годовое поступление радионуклида, Бк/год	Суммарное годовое поступление с молоком и мясом, Бк/год	Предел годового поступления, Бк/год
МОЛОКО	^{137}Cs	11,19	4171	4847	77000
мясо			676		
МОЛОКО	^{90}Sr	186,33	112	2272	36000
мясо			2160		
МОЛОКО	^{239}Pu	1,38	686	713	4000
мясо			27		

Таблица. 2. Ожидаемая доза от поступления радионуклидов в организм людей, проживающих на зимовках КСХП «Акжарский».

Радионуклид	Дозовый коэффициент, Зв/Бк	Суммарное годовое поступление с молоком и мясом, Бк/год	Ожидаемая доза от поступления в организм радионуклидов через органы пищеварения, мЗв
		Акжарский	Акжарский
^{137}Cs	$8,0 \cdot 10^{-8}$	4847	0,7
^{90}Sr	$1,3 \cdot 10^{-8}$	2272	
$^{239/240}\text{Pu}$	$4,2 \cdot 10^{-7}$	713	

4. Тестирование работы системы

Алгоритм работы системы радиоэкологического мониторинга на основе ГИС-технологий определяется несколькими этапами прохождения информации от измерений радиоэкологических параметров до получения конкретных результатов о радиоэкологическом состоянии района исследования:

1. создание базы данных и работа с информацией;

2. создание карт поверхностного загрязнения местности радионуклидами (карт почвенного покрова и растительности);
3. разработка ГИС-проекта, содержащего всю информацию, необходимую для полного понимания состояния территории исследования и происходящих процессов;
4. модельные расчеты для прогнозирования поведения радионуклидов в системе почва-растения-животные-человек;
5. вывод результатов.

Все таблицы и карты сохраняются в базе данных и выводятся в активный фрагмент данных ГИС-проекта.

Разработанные средства управления СРЭМ и математические модели адаптированы для работы с семейством Arc GIS и выполнены в виде программ, написанных на языках программирования VBA и C++. Дополнительные возможности работы с пространственными данными реализованы с применением технологий объектного моделирования в среде Arc Object.

Реализованы следующие основные модули:

- *Выбор участка территории* для моделирования с помощью графических объектов (полигон, овал и пр.).
- *Определение значений уровней загрязнений* (а также типа почвы и растительности) в точке растровой поверхности, используемой для моделирования.
- *Расчетный модуль*, представляющий собой блок программ, где происходит решение систем дифференциальных уравнений методом Рунге-Кутты.
- *Программа работы с базой данных.*
- *Построение и вывод графиков и растровых карт.*

Тестирование. Целью проведения расчетов в первую очередь являлась проверка работоспособности разработанного программного обеспечения системы радиоэкологического мониторинга территории бывшего Семипалатинского испытательного полигона, и определение влияния радиационных характеристик почвенного покрова на содержание радионуклидов в продуктах животноводства и дополнительной дозовой нагрузки на население, проживающее и ведущее хозяйственную деятельность в этом регионе.

Для определения параметров и критериев возможности ведения хозяйственной деятельности были проведены расчеты дозовых нагрузок населения, проживающего на зимовке Тактайколь. Эта зимовка расположена северо-западнее площадки «Опытное поле» и находится ближе всего к эпицентру первого ядерного взрыва. Производимую мясомолочную продукцию жители зимовки используют для личного потребления. Излишки реализуют в близлежащих населенных пунктах.

В качестве района выпаса была определена территория, представляющая собой круг радиусом 15 км, с центром в зимовке «Тактайколь». Этот участок

захватывает значительную часть территории площадки «Опытное поле», где имеются высокие уровни загрязнения почвенного покрова радионуклидами ^{137}Cs и ^{90}Sr .

Вычисления проводились для двух случаев (Рис. 6): выпас происходит только в секторе круга, захватывающем площадку «Опытное поле» (экстремальная оценка) и равномерно в течение года по всему ареалу выпаса с учетом того, что в зимнее время животные находятся на территории испытательной площадки. Необходимость таких расчетов связана с тем, что наиболее загрязненные участки северной части территории СИП находятся на площадке «Опытное поле».

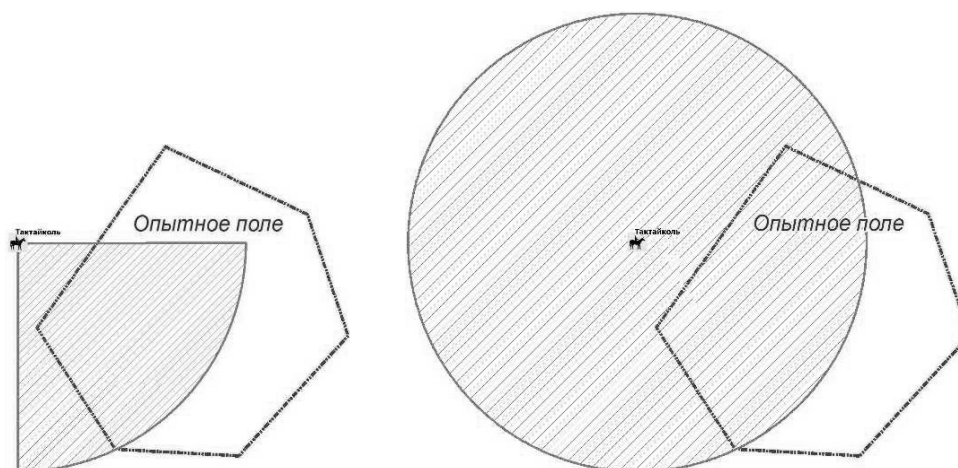


Рис. 6. Режимы выпаса животных.

В случае выпаса животных на максимально загрязненном участке, в мясе лошадей и овец концентрация радионуклида ^{137}Cs составляет 69 и 122 Бк/кг, в молоке — 25 и 20 Бк/кг соответственно. При втором режиме выпаса концентрация радионуклидов на сегодняшний день в мясе лошадей составляет 28, а в мясе овец — 48 Бк/кг, в молоке кобыл — 9,5; а в молоке овец — 8 Бк/кг (Рис. 7). Концентрация ^{90}Sr в продуктах животноводства не превышает 8 Бк/кг для обоих режимов выпаса. Таким образом, при выпасе животных на данной территории не наблюдается превышения предельно допустимых концентраций, установленных в Республике Казахстан (для ^{137}Cs ПДК для молока составляет 100, а для мяса — 160 Бк/кг; для ^{90}Sr ПДК для молока 25, для мяса — 50 Бк/кг).

На основании полученных данных проведены расчеты дополнительных доз облучения населения, проживающего на территории Семипалатинского испытательного полигона и употребляющего загрязненную радионуклидами продукцию.

Динамика суммарных дозовых нагрузок пастухов, выпасающих лошадей и овец на различных территориях СИП, и населения, проживающего за пределами СИП и потребляющего загрязненную продукцию, представлена на Рис. 8. Видно, что пастухи, выпасающие животных на территории загрязненного участка, будут получать дополнительную дозу облучения, превышающую норматив, еще в течение примерно 10 лет.

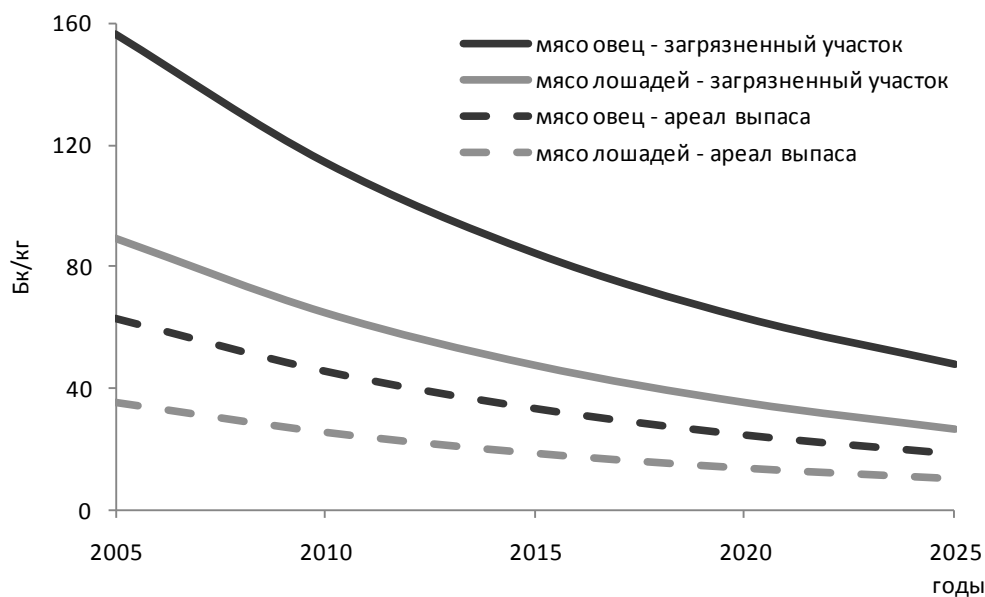


Рис.7. Зависимость концентрации радионуклида ^{137}Cs в мясе лошадей и овец от режима выпаса животных.

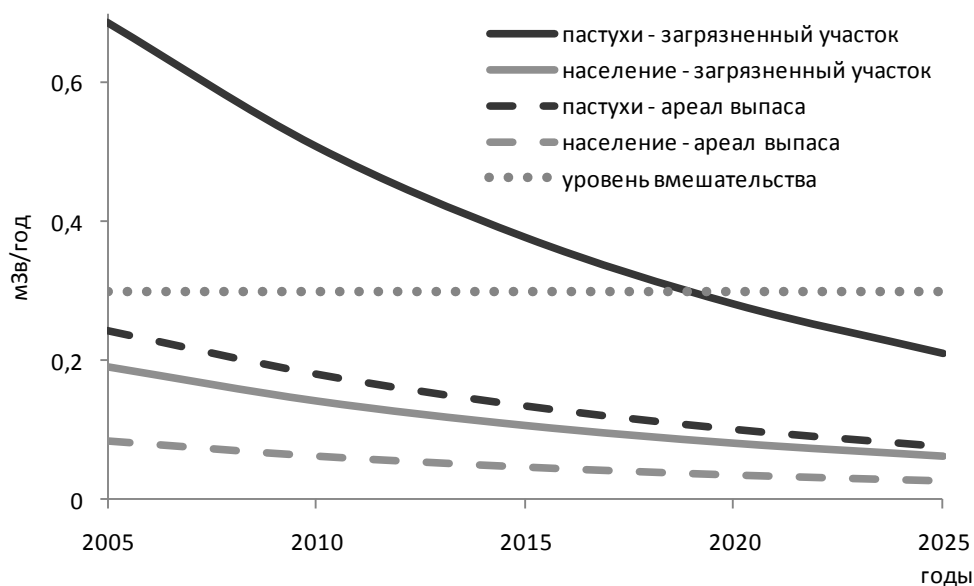


Рис. 8. Зависимость величины дополнительной дозовой нагрузки от режима выпаса скота и периода прогноза.

Средние дополнительные дозовые нагрузки на население, проживающее за пределами Семипалатинского испытательного полигона, находятся в настоящее время в диапазоне от 0,06 до 0,14 мЗв/год. При употреблении продукции животноводства, полученной при выпасе лошадей и овец даже в пределах наиболее загрязненного сектора, дополнительная дозовая нагрузка не превышает уровень вмешательства (0,3 мЗв/год). Максимальные дозы дополнительного облучения от 0,18 до 0,51 мЗв/год получают пастухи, представляющие критическую группу населения СИП.

Анализируя источники формирования дополнительной эквивалентной дозы облучения населения проживающего на СИП, следует отметить, что вклад внешнего и внутреннего облучения в суммарную дозу составляет 73% и 27%

соответственно. Дозовые нагрузки от ингаляционного поступления ^{90}Sr для населения ведущего хозяйственную деятельность в районе площадки «Опытное поле», составляют незначительную часть суммарного облучения, эта величина порядка 10^{-6} мЗв/год.

Проведенные расчеты позволили построить прогнозные карты местности, где возможно получение дополнительной эквивалентной дозы превышающей нормативы, установленные в Республике Казахстан (Рис. 9). В качестве дозового норматива принята величина 0,3 мЗв/год, которая соответствует уровню вмешательства для территорий, на которых имеются участки локального загрязнения радионуклидами.

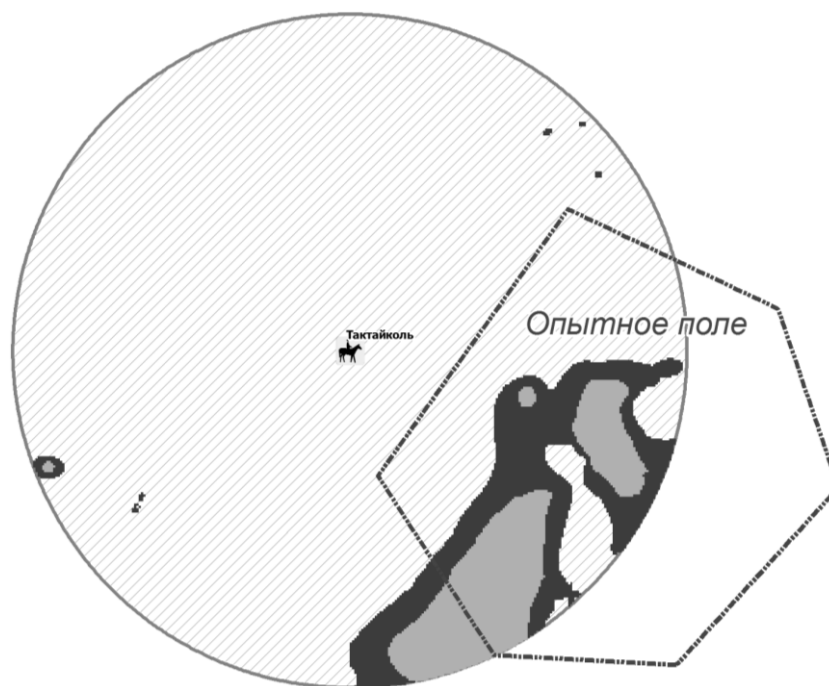


Рис.9. Карта территории, при проживании на которой возможно получение дополнительной дозы более 0,3 мЗв/год (серый цвет – прогноз на 2025 год).

Общая площадь исследуемой территории около 700 км^2 . Опасные для проживания участки занимают около 94 км^2 , то это составляет более 13% исследуемой территории.

Анализ растровых слоев, характеризующих дозовую нагрузку на население СИП, позволил провести *оценку радиэкологического риска* для различных категорий населения, проживающего на территории СИП и употребляющего загрязненную продукцию.

Риск представляет собой характеристику ситуации или действия, когда возможны многие исходы, существует неопределенность в отношении конкретного исхода и, по крайней мере, одна из возможностей нежелательна. В этом определении синтезированы характеристики, присущие риску, - опасность (нежелательность) события, а также неопределенность или случайность его проявления. Под экологическим риском понимается вероятность неблагоприятных последствий загрязнения природных и аграрных экосистем

радиоактивными и вредными химическими веществами, а также негативных последствий влияния других антропогенных факторов.

Таким образом, радиационные риски, оцениваемые для населения на территории Семипалатинского испытательного полигона, отражают вероятностный характер негативных последствий действия ионизирующего излучения на указанные объекты. Риски такого типа можно квалифицировать как радиоэкологические, поскольку их формирование обусловлено радиоактивным загрязнением экосистем.

Население, подвергающееся облучению, разделено на 2 группы:

- пастухи, выпасающие сельскохозяйственных животных;
- население, проживающее за пределами полигона, но употребляющее загрязненную продукцию.

Для оценки экологических рисков, в том числе и рисков влияния радиационного фактора, используются различные методы. Выбор метода определяется в первую очередь степенью информационного обеспечения показателей, необходимых для расчета. К таким показателям относятся характеристика действующего фактора (дозовая нагрузка) и чувствительность рассматриваемого объекта к действию этого фактора. Наиболее адекватным с точки зрения полноты описания рассматриваемого явления – радиационного воздействия на природные объекты и население, и, в то же время, «информационно затратным» является интегральный вероятностный подход к определению риска. В рамках такого подхода в качестве входных данных используются статистические распределения, как характеристики действующего фактора, так и критерия оценки риска. В этом случае учитываются неопределенности, присущие рассматриваемому объекту и свойствам окружающей среды, определяющим интенсивность воздействия негативного фактора. При наличии указанной информации риск рассчитывается на основе произведения вероятностей, характеризующих статистические распределения фактора и критерия.

Реализация более простого вероятностного подхода возможна при использовании детерминированных значений критериев риска. Идентификация этих критериев представляет собой непростую задачу, для решения которой необходимо ясное понимание механизмов действия ионизирующего излучения и, в широком смысле, факторов нерадиационной природы на биологические объекты на различных уровнях их организации. Следует отметить, что при обосновании детерминированных (точечных) критериев риска в отсутствие полной информационной обеспеченности трудно избежать значительной доли субъективизма.

К классу вероятностных относятся риски, при расчете которых в качестве критериев риска используются утвержденные и рекомендованные к использованию нормативы, ограничивающие действие радиационного фактора. В качестве такого норматива можно использовать допустимый уровень дополнительного облучения населения, превышение которого обуславливает необходимость применения защитных мероприятий

В качестве *критериев оценки рисков для населения* использовались дозовые нормативы, отраженные в соответствующих нормативных документах. Величина дополнительной эквивалентной дозы, определяющая уровень вмешательства составляет 0,3 мЗв/год. Были выполнены детерминистские оценки (индексы радиационного воздействия) и рассчитаны риски, учитывающие неопределенность техногенного фактора.

В результате обработки растровой информации, характеризующей загрязнение радионуклидами районов выпаса лошадей и овец, получены доли площадей (от общих площадей указанных ареалов), с различными плотностями загрязнения ^{137}Cs и ^{90}Sr . Средневзвешенные плотности загрязнения ^{137}Cs территорий выпаса с центрами в зимовках «Тактайколь» для обоих режимов выпаса составили от 12,9 до 29,5 кБк/м². Значения аналогичных показателей для ^{90}Sr – от 7,6 до 11,9 кБк/м².

С целью оценки действия радиационного фактора на человека были рассчитаны индексы радиационного воздействия – RIF, представляющие собой отношения дозовых нагрузок, рассчитанных на основе средневзвешенных плотностей загрязнения рассматриваемых территорий, к критической дозе облучения (0,3 мЗв/год). Значения RIF для условий выпаса животных в пределах наиболее загрязненного сектора варьируют в диапазоне - от 0,5 (для населения, употребляющего загрязненную продукцию), до 1,7 (для пастухов, выпасающих животных).

Значения индексов радиационного воздействия, представляют, по существу, величины *детерминистских рисков*, поскольку критерием риска является величина дополнительной годовой дозовой нагрузки равная 0,3 мЗв/год. Анализ результатов оценки рисков, выполненный на основе детерминистского метода, позволяет заключить, что риск является значимым (индекс радиационного воздействия превышает единицу) для критической категории населения (пастухов), находящейся на территории СИП в наиболее радиационно-опасных условиях.

В рамках оценки *вероятностных рисков* – вероятностей превышения дозового норматива, были определены плотности вероятности распределения дозовых нагрузок для различных категорий населения, проживающего на территории полигона и употребляющего загрязненную продукцию (Рис. 10).

Сравнивая значения вероятностных (Таблица 2) и детерминистских рисков, видно, что эти показатели связаны между собой нелинейно. Как отмечено выше, детерминистские риски, описываемые соответствующими индексами, рассчитываются без учета распределений дозовых нагрузок, которые существенным образом варьируют в зависимости от радиоэкологических характеристик конкретных территорий. Риски, представляющие собой вероятности превышения дозового критерия, являются более адекватными показателями с точки зрения учета неопределенности действующего (радиационного) фактора.

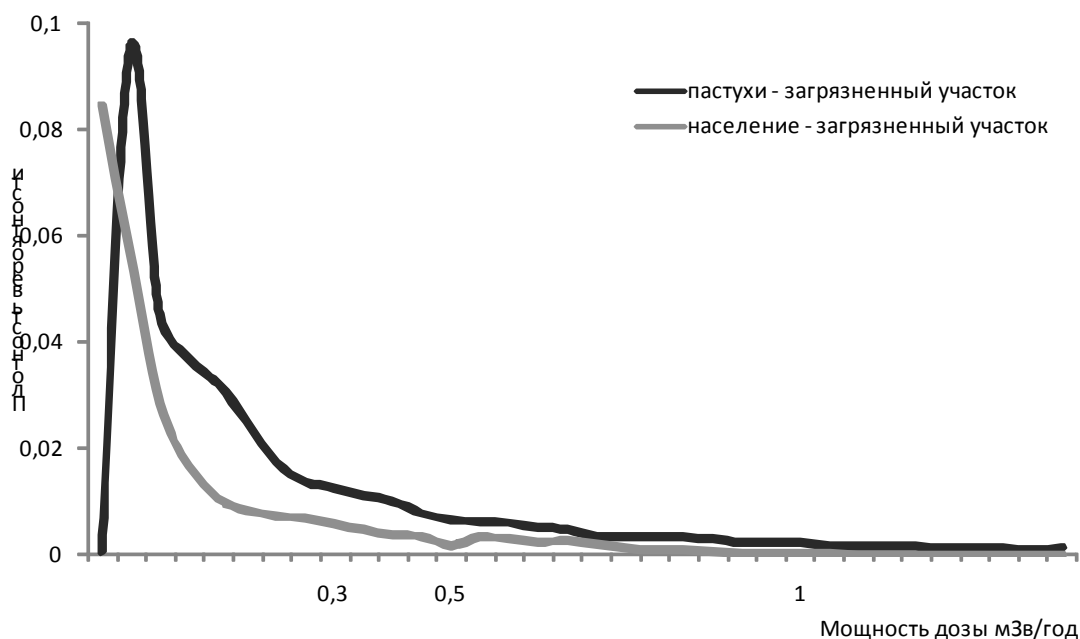


Рис.10. Плотности вероятности распределения дозовых нагрузок, при выпасе животных на наиболее загрязненном участке.

Таблица 2. Вероятность получения доз облучения более 0,3 мЗв/год для различных категорий жителей СИП.

Территории выпаса	Население	Пастухи
«Тактакойль», загрязненный сектор	0,14	0,46
«Тактакойль», ареал выпаса	0,05	0,13

Необходимо подчеркнуть, что при проведении расчетов полагалось, что население, относящееся ко 2-ой группе, подвергается действию дополнительного облучения только за счет употребления продукции, содержащей радионуклиды. Рационы питания, включающие молоко и мясо лошадей и овец, принимались одинаковыми для обеих категорий населения. Величины суточного потребления продуктов животноводства оценивались на основе литературных данных.

Значения рисков рассчитывались в предположении, что все рассматриваемые категории населения употребляют сельскохозяйственную продукцию (мясо и молоко), полученную при выпасе лошадей и овец только на исследуемой территории СИП. В случае если в состав рациона какой-либо из категорий населения входит «чистая», не содержащая радионуклиды продукция, то для адекватной оценки радиационного риска необходимо учитывать ее вклад в рацион питания.

ВЫВОДЫ

Основные научные результаты и практические выводы, полученные при выполнении диссертационной работы, заключаются в следующем:

1. Разработана единая система радиоэкологического мониторинга территории СИП на основе ГИС-технологий. Структура системы включает базы данных, содержащие экологическую и радиологическую информацию; совокупность радиоэкологических моделей; программные средства, обеспечивающие интеграцию информационных ресурсов и формирование электронных карт.

2. На основании анализа литературных источников, полевых и лабораторных экспериментов выявлены основные пути загрязнения луговых (пастбищных) экосистем СИП и определены радионуклиды, вносящие наибольший вклад в формирование дополнительной дозовой нагрузки на население, ведущее хозяйственную деятельность в этом регионе. Вся информация собрана в радиологическую базу данных ГИС, которая на сегодняшний день содержит более 2500 объектов, сгруппированных в 20 слоев.

3. На основе информации, содержащейся в базе данных ГИС, построены специальные карты-схемы размещения хозяйствующих субъектов, почвенные и агрохимические карты; выполнен анализ информации о видах и технологиях производства, кормовой базе, рационах кормления животных и структуре стада. Построены карты загрязнения радионуклидами ^{137}Cs и ^{90}Sr района выпаса, которые показали пятнистый характер загрязнения данной территории.

4. На основе разработанных алгоритмов реализовано программное обеспечение для управления комплексом моделей миграции радионуклидов в системе почва-растения-животные-человек. Программный комплекс реализован в среде семейства ArcGIS, с использованием ГИС-технологий, и выполнен на языках программирования VBA и C++. Дополнительные возможности работы с пространственными данными реализованы с применением технологий объектного моделирования в среде ArcObject.

5. Для проверки работоспособности системы радиоэкологического мониторинга на основе ГИС-системы, выполнены оценочные расчеты и дан прогноз возможного получения дополнительной дозовой нагрузки населением, проживающим на зимовке «Тактайколь» бывшего СИП. Установлено, что существует вероятность превышения дозового норматива (0,3 мЗв/год) при производстве сельскохозяйственной продукции на загрязненном участке, прилегающем к площадке «Опытное поле». Индексы радиационного воздействия (RIF) достигают значений 1,7 для пастухов, выпасающих животных, и 0,5 – для населения, потребляющего загрязненные продукты.

6. Продемонстрирована возможность применения системы радиоэкологического мониторинга на основе ГИС-технологий для расчета рисков для населения, в рамках комплексного анализа последствий радиоактивного загрязнения экосистем. Результаты оценок вероятностных

рисков с использованием дозовых стандартов, показали, что значения рисков для всех категорий жителей СИП достигают существенных величин. На наиболее загрязненных участках северной части полигона эти значения составляют 0,46 для пастухов, выпасающих животных, и 0,14 – для населения, потребляющего загрязненную радионуклидами продукцию.

7. Сопоставление значений вероятностных рисков для различных категорий населения с индексами радиационного воздействия на эти группы населения показывает, что эти характеристики связаны между собой нелинейно. Поскольку при расчете рисков учитываются распределения дозовых нагрузок на рассматриваемых территориях, использование вероятностных показателей для радиоэкологических оценок представляется более предпочтительным.

СПИСОК РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Березин С.А., Баранов С.А. Создание базы данных по бывшему Семипалатинскому испытательному полигону, включающей систему поддержки принятия решений в области природопользования на основе географической информационной системы // Сборник тезисов Международной конференции «Радиационное наследие XX века и восстановление окружающей среды». Москва, 2000. С. 199-200.

2. Мукушева М.К., Тухватулин Ш.Т., Жотабаев Ж.Р., Птицкая Л.Д., Березин С.А., Баранов С.А. Радиационная ситуация вокруг бывшего Семипалатинского испытательного полигона // Сборник докладов I международной научно-практической конференции «Медицинские и экологические эффекты ионизирующей радиации», 2001. Томск. С. 153-154.

3. Baranov S.A., Berezin S.A., Mukusheva M.K. Possibility of Using Microsoft Office Software for Designing an Interactive Radioecological Database of the STS Degelen Mountain Complex // Advanced Research Workshop «Environmental Protection Against Radioactive Pollution». 16-19 September 2002, Almaty, Kazakhstan. Book of reports, p. 66-67.

4. Мукушева М.К., Тухватулин Ш.Т., Жотабаев Ж.Р., Баранов С.А., Березин С.А. Использование базы данных ГИС для анализа радиационной обстановки мест проведения испытаний ядерного оружия в Казахстане // Известия НАН РК. Серия физико-математическая. 2003. №2. С. 66-73.

5. Тухватулин Ш.Т., Жотабаев Ж.Р., Мукушева М.К., Березин С.А. Баранов С.А. ГИС в решении радиационных проблем Семипалатинского испытательного полигона // Доклады НАН РК. 2003 г. № 3. С. 24-27.

6. Спиридонов С.И., Мукушева М.К., Гонтаренко И.А., Фесенко С.В., Баранов С.А. Прогнозирование поведения ¹³⁷Cs в системе почва-растения на территории Семипалатинского испытательного полигона // Радиационная биология. Радиоэкология. 2005. Том 45. №4. С. 488-497.

7. Березин С.А., Баранов С.А., Садвакасов М.О. Применение ГИС-технологий для моделирования радиационной обстановки площадки «Дегелен» бывшего СИП // Пятая международная конференция «Ядерная и радиационная физика». 26-29 сентября 2005. Алматы. Казахстан.

8. Баранов С.А., Березин С.А., Садвакасов М.О. Использование ГИС-технологий для создания прототипа Системы поддержки принятия решений для территории, прилегающей к площадке «Опытное поле» бывшего Семипалатинского испытательного полигона // Международная конференция «Моделирование процессов переноса радионуклидов в окружающей среде и вопросы разработки баз метаданных по радиационным объектам Советского ядерного комплекса (РАДЛЕГ-РАДИНФО-2005)». 31 октября-2 ноября 2005. Москва.

9. Spiridonov S.I., Gontarenko I.A., Mukusheva M.K., Baranov S.A. Prediction of ^{137}Cs distribution in components of meadow ecosystem within the Semipalatinsk Test Site // International Conference «Soil Protection Strategy – Needs and Approaches for Policy Support». 9-11 March 2006, Pulawy, Poland. Book of reports. IUNG-PIB, 2006, p. 135-138.

10. Мукушева М.К., Спиридонов С.И., Тлебаев М.Б., Шубина О.А., Баранов С.А., Епифанова И.Э. Моделирование миграции долгоживущего радионуклида ^{90}Sr подземными водами для территории, прилегающей к технической площадке «Балапан» // Вестник НЯЦ РК выпуск №2, 2006. С. 127-133.

11. Садвакасов М.О., Березин С.А., Баранов С.А. Разработка единой информационной системы данных по бывшему СИП на основе ГИС-технологий // Вестник НЯЦ РК выпуск №3, 2006. С. 33-39.

12. Baranov S.A., Berezin S.A., Mukusheva M.K., Spiridonov S.I., Sadvakasov M.O. Application of GIS-Technologies for Decision Support System Creation // I-st International Workshop «Nuclear legacy of the former USSR». Munich, Germany. 9-12 October 2006 / CD-disk.

13. Мукушева М.К., Спиридонов С.И., Баранов С.А., Шубина О.А., Епифанова И.Э. Разработка научно-методических основ математического моделирования поведения радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr в водном бассейне технической площадки «Балапан» // Препринт НЯЦ РК -01-06, ISBN 9965-675-30-9. Курчатов. 2006. 75 с.

14. Мукушева М.К., Баранов С.А., Березин С.А., Садвакасов М.О. Создание прототипа Системы поддержки принятия решений для территории бывшего Семипалатинского испытательного полигона // Вестник КазНТУ. 2006. №5. С. 21-24.

15. Баранов С.А., Мукушева М.К., Тлебаев М.Б. Применение ГИС-технологий для создания системы поддержки принятия решений // Журнал «Гидрометеорология и экология». 2006. №2. С. 126-138.

16. Спиридонов С.И., Мукушева М.К., Шубина О.А., Соломатин В.М., Баранов С.А. Моделирование поведения ^{137}Cs и ^{90}Sr в луговых экосистемах

Семипалатинского испытательного полигона и прогнозирование дозовых нагрузок на население // Сборник тезисов Шестой международной конференции «Ядерная и радиационная физика». 4-7 июня 2007 г. Алматы, Казахстан. С. 523-524.

17. Баранов С.А., Мукушева М.К., Садвакасов М.О., Березин С.А. Радиоэкологический мониторинг агроэкосистем бывшего Семипалатинского испытательного полигона // Сборник тезисов Шестой международной конференции «Ядерная и радиационная физика». 4-7 июня 2007 г. Алматы, Казахстан. С. 551-552.

18. Baranov S.A., Mukusheva M.K., Spiridonov S.I., Zhotabaev Zh.R., Berezin S.A., Sadvakasov M.O. Prototype of a GIS-Based Decision Support System for the Former Semipalatinsk Test Site // International Conference «Biogeochemistry of Trace Elements», 15-19 July 2007, China. Book of reports. Tsinghua University Press, 2007, p. 388-389.

19. Спиридонов С.И., Мукушева М.К., Соломатин В.М., Баранов С.А. Оценка доз облучения различных категорий населения на территории Семипалатинского испытательного полигона // Сборник тезисов Международной конференции «Ядерная энергетика республики Казахстан». 3-5 сентября 2007 г. Курчатов, Казахстан. НЯЦ РК. 2007. С. 60.

20. Спиридонов С.И., Мукушева М.К., Соломатин В.М., Баранов С.А. Оценка доз облучения различных категорий населения на территории Семипалатинского испытательного полигона // Вестник НЯЦ РК. 2007. Вып. 4(32). С. 28-31.

21. Spiridonov S.I., Tetenkin V.L., Mukusheva M.K., Solomatin V.M., Baranov S.A. Assessment of doses and corresponding radiation risks to the population and biota species at the areas affected by nuclear weapon testing at the STS // New approaches for evaluation of the environment impact on the public and non-human species in areas affected by the Semipalatinsk Test Site and typical nuclear facilities. Joint ISTC-IAEA Workshop, 15-18 June 2009, IAEA, Vienna, Austria. Book of reports, p. 13-17.

22. Baranov S.A., Mukusheva M.K., Spiridonov S.I. Application of GIS-technologies for analysis of radioecological condition at the STS. // New approaches for evaluation of the environment impact on the public and non-human species in areas affected by the Semipalatinsk Test Site and typical nuclear facilities. Joint ISTC-IAEA Workshop, 15-18 June 2009, IAEA, Vienna, Austria. Book of reports, p. 23-26.

Подписано в печать 15.10.2009 г.
Формат издания 60×84 1/16, объем 1,0 п.л.
Тираж – 100 экз.
Отпечатано в типографии РГП НЯЦ РК