

УДК 504.03:55.002.6

**ПРИМЕНЕНИЕ ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ
ДЛЯ СОЗДАНИЯ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ
ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ**

	С.А. Баранов
	С.А. Березин
Канд. физ.-мат. наук	М.К. Мукушева
Доктор биолог. наук	С.И. Спиридонов
	М.О. Садвакасов
Доктор техн. наук	М.Б. Тлебаев

Пространственные системы поддержки принятия решений на основе геоинформационных технологий представляют большой интерес для решения задач управления экологически опасными объектами и загрязненными территориями. Возможность использования таких систем для долгосрочного прогноза ведения хозяйственной деятельности определяет необходимость их разработки и внедрения для бывшего Семипалатинского испытательного полигона.

Семипалатинский испытательный полигон был основным ядерным полигоном СССР, на котором проводились как воздушные и наземные (1949-1963 гг.), так и подземные (1961-1989 гг.) испытания ядерных устройств [1].

Многолетние испытания ядерного оружия создали сложную радиэкологическую обстановку и привели к необратимым процессам в окружающей среде, связанным с нарушением природного равновесия растительного и животного мира и нанесшим ущерб здоровью населения прилегающих к полигону районов [7, 8, 10-12]. Наиболее загрязненной является территория испытательной площадки «Опытное поле», где находятся эпицентры наземных и атмосферных взрывов. На территории этой площадки с 1949 по 1962 гг. было произведено 116 ядерных взрывов в атмосфере.

После закрытия полигона близлежащие сельскохозяйственные предприятия получили доступ к пастбищам Семипалатинского испыта-

тельного полигона. На полигоне появились места постоянного проживания людей, занимающихся выпасом скота.

При обследовании территории, прилегающей к испытательной площадке «Опытное поле», было выявлено 14 зимовок, расположенных в радиусе 35 км от эпицентра первого ядерного взрыва. Люди, проживающие на зимовках и летниках, пасут скот, поголовье которого составляет несколько тысяч овец и лошадей. Отары овец и табуны лошадей практически бесконтрольно передвигаются по территории СИП и даже заходят в зимнее время на «Опытное поле» [4]. Кроме выпаса скота, на данной территории приблизительно в 8 км от эпицентра первого испытания, на берегу озера «Жаксытуз» осуществляется добыча поваренной соли.

Результаты экспериментальных работ [2, 3, 5], проведенных на полигоне, показывают, что концентрация дозообразующих радионуклидов в организме животных может достигать значительных величин, а дозы облучения населения от употребления производимой в этих условиях продукции могут превышать установленные нормативы.

Два важных обстоятельства – существенные уровни радиоактивного загрязнения некоторых районов территории СИП, и активное ведение несанкционированной сельскохозяйственной деятельности на этих площадках, обуславливают необходимость проведения детальных исследований по оценке накопления основных дозообразующих радионуклидов в продукции животноводства. С учетом отмеченных обстоятельств, проблема, связанная с долгосрочным прогнозированием переноса основных дозообразующих радионуклидов в системе почва – растительность (употребляемая в пищу сельскохозяйственными животными) и накопление радионуклидов в организме животных приобретает первостепенное значение.

Для решения проблемы требуется проведение работ по оценке радионуклидного загрязнения полигона с последующей выработкой рекомендаций, с точки зрения радиационной безопасности, по дальнейшему использованию земель. Обоснованием для разработки природоохранных мероприятий и выработки предложений о возможной передаче земель бывшего СИП в хозяйственное пользование является анализ закономерностей миграции радионуклидов и их распределения в системе «почва-растения-животные».

Создание информационно-аналитического обеспечения процесса принятия управленческих решений в указанной сфере деятельности представляется весьма сложной научной задачей. Информация часто не одно-

значна по своему значению, так как предметом принятия решения является сложная природная система. В силу большого количества процессов, формирующих радиационное загрязнение, решение данных задач невозможно без разработки математических моделей изменения радиационной обстановки. Анализ информации и моделирование процессов переноса радионуклидов позволит проследить динамику изменения радиоэкологической обстановки за время наблюдения и дать прогноз на будущее.

Предпосылкой для успешного решения проблем СИП является стремительное развитие в Республике Казахстан информационных технологий, использующих персональные компьютеры, локальные и глобальные сети передачи данных, геоинформационные системы и многое другое, что создает потенциальную возможность для внедрения информационных систем поддержки принятия решений в сфере экологического управления.

Разработка системы поддержки принятия решений

Для обработки больших объемов разноплановой информации, необходимой для решения проблем, связанных с реабилитацией территории бывшего СИП, требуется применение современных систем обработки и анализа информации. Необходимы информационные системы поддержки принятия решений (СППР), содержащие базы данных, математические модели, диалоговые и графические интерфейсы, средства анализа информации и т.п.

Главной особенностью информационной технологии СППР является качественно новый метод взаимодействия человека и компьютера. Выработка управленческого решения происходит в результате итерационного процесса, окончание которого происходит по воле человека.

СППР – это системы обработки информации на ЭВМ в целях интерактивной поддержки деятельности руководителя в процессе принятия решений. Можно выделить два основных направления такой поддержки:

- облегчение взаимодействия между данными, процедурами анализа и обработки данных и моделями принятия решений, с одной стороны, и лица, принимающего решения (ЛПР), как пользователя этих систем – с другой;
- предоставление вспомогательной информации, в особенности для решения неструктурированных или слабоструктурированных задач, для которых трудно заранее определить данные и процедуры соответствующих решений.

Как показывают исследования, около 80 % всей информации состоит из (или включает в себя) географических данных (геоданные), т.е. различных сведений о распределенных в пространстве или по территории объектах, явлениях и процессах [6]. Работа с такими имеющими координатную привязку характеристиками и является сущностью одной из наиболее бурно развивающихся областей современных информационных технологий – географическими информационными системами.

Географические информационные системы (ГИС) – это специальная категория систем поддержки принятия решений, которая позволяет интегрировать компьютерную графику с географическими базами данных и с другими функциями СППР.

Геоинформационные системы как класс СППР эффективно работают в различных областях деятельности человека. ГИС-технология объединяет традиционные операции работы с базами данных, такими как запросы и статистический анализ, с преимуществами полноценной визуализации и географического (пространственного) анализа, которые предоставляет карта. Эти возможности отличают ГИС от других информационных систем и обеспечивают уникальные возможности для ее применения в широком спектре задач, связанных с анализом и прогнозом явлений и событий окружающего мира, с осмыслением и выделением главных факторов и причин, а также их возможных последствий, с планированием стратегических решений и текущих последствий предпринимаемых действий. Представление пространственно-временной картины изменения радиозэкологической обстановки послужит основой для оценки риска ведения хозяйственной деятельности на загрязненных территориях.

Разрабатываемая система поддержки принятия решений предназначена для информационной, методической и инструментальной поддержки процессов подготовки и принятия управленческих решений на уровне как местных (районных, областных), так и республиканских органов управления хозяйственной деятельностью на территории бывшего СИП.

Структура СППР

Для создания ГИС-проекта СППР был использован пакет программ семейства *ArcGIS* (фирмы ESRI, США) с высокоуровневым объектно-ориентированным языком программирования *Visual Basic*. Ниже показана структура Системы поддержки принятия решений на основе ГИС-технологий (Рис. 1).

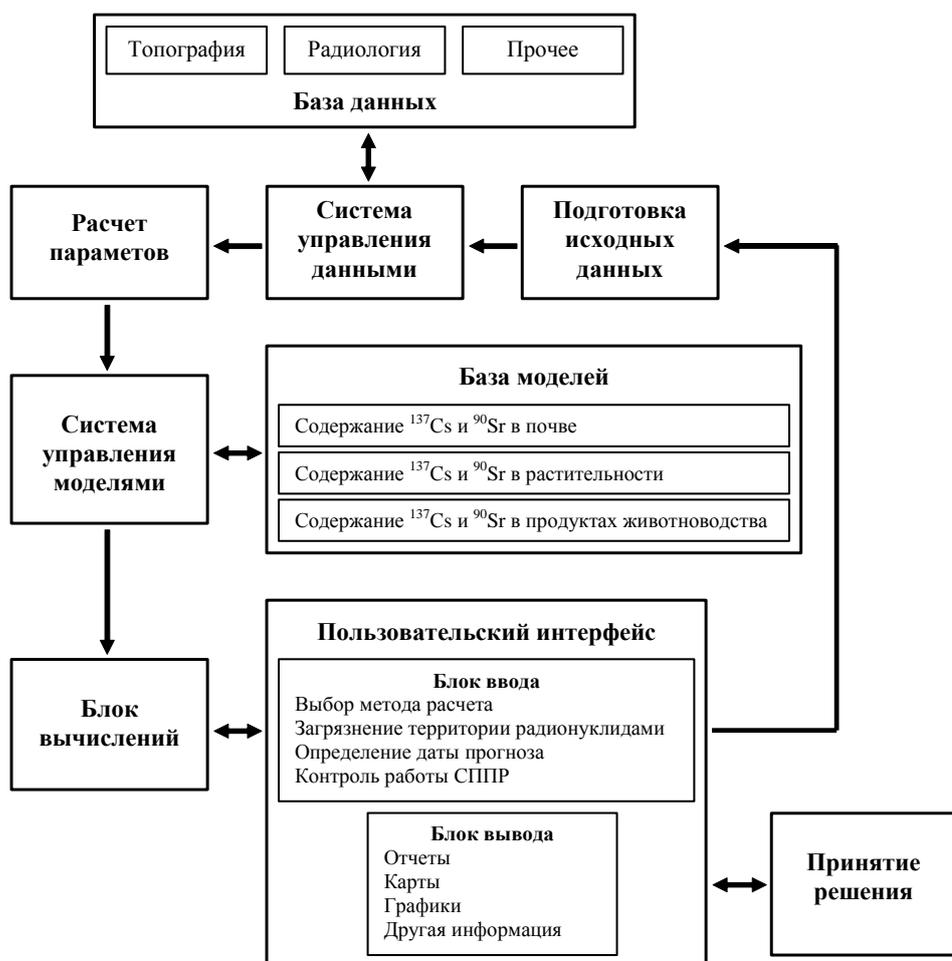


Рис. 1. Структура СППР.

Основные задачи СППР – 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.

В состав системы поддержки принятия решений входят три главных компонента: база данных, база моделей и программная подсистема, которая состоит из системы управления данными (СУД), системы управления моделями (СУМ) и системы управления интерфейсом между пользователем и компьютером.

Именно наличие дружелюбно интерфейса пользователя, обеспечивающего удобную связь с компьютером, одна из отличительных черт СППР. Кроме того, система должна обладать возможностью работать с интерактивными запросами, используя достаточно простой для изучения язык запросов.

При изучении проблем, требующих решения, используются научные методы, основу которых составляет математическое моделирование, сущность которого состоит в подборе математических схем, адекватно описывающих процессы, происходящие в действительности.

Моделирование реальной природной системы, в основе которой заложены экспериментальные данные, и проведение многочисленных экспериментов позволяет получить количественные оценки взаимодействия различных компонентов экосистемы в результате хозяйственной деятельности человека.

К настоящему времени накоплен большой объем информации, характеризующей распределение радионуклидов по компонентам агроэкосистем на территории СИП, в частности, на самом загрязненном участке полигона – испытательной зоне «Опытное поле». Закономерным этапом изучения радиоэкологической ситуации на указанной территории явилась разработка и параметризация математических моделей, предназначенных для прогнозирования переноса ^{137}Cs и ^{90}Sr – основных дозообразующих радионуклидов.

База данных и СУД

Средствами ГИС сформирована экологическая база данных для решения задач оценки современного состояния исследуемой территории. Определены состав и структура базы данных. База данных представляет собой многоуровневую иерархическую систему, в которой сконцентрирована и систематизирована информация о важнейших компонентах природных комплексов СИП.

База данных разрабатываемой СППР 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, информация о почвенном и растительном покрове, данные по загрязнению территории радионуклидами, местоположение зимовок и прочее. Вся данные получены в ходе выполнения различных казахстанских и международных проектов.

База моделей и СУБМ

На основе анализа экспериментальных данных идентифицированы основные закономерности поведения ^{137}Cs и ^{90}Sr в луговых экосистемах площадки «Опытное поле» и оценены факторы, влияющие на миграционные процессы. Разработан комплекс математических моделей, описывающих поведение ^{137}Cs и ^{90}Sr в луговых экосистемах на территории, прилегающей к технической площадке Опытное поле Семипалатинского испытательного полигона. Модели параметризованы на основе анализа экспериментальной информации, характеризующей содержание ^{137}Cs и ^{90}Sr в почве, растительности и животноводческой продукции, а также с учетом характеристик луговых экосистем и особенностей ведения сельского хозяйства на исследуемой территории [9].

Система управления моделями состоит из блока констант, вычисляемых параметров и блока управления моделями. Эффективное взаимодействие этих блоков определяет выбор модели и правильные результаты вычислений. На основании входных параметров определяется, какие модели должны быть задействованы и какие параметры необходимы для работы этих моделей.

Интерфейс пользователя

Появление и развитие персональных ЭВМ, совершенствование графических возможностей дисплеев привело к возникновению новой многооконной технологии организации человеко-машинного диалога. В результате диалога пользователя и компьютера определяется вид визуального отображения выводимых результатов и запускаются требуемые модули расчета и визуализации.

В настоящее время интерфейс пользователя представляет собой несколько пользовательских форм, созданных с помощью Visual Basic 6 и ArcObjects. 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 СППР и контроль выполнения процесса.

Моделирование может производиться для двух случаев: экспресс-расчет для одной точки и для всей интересующей территории (для каждой точки растровой поверхности).

Результаты работы СППР

В качестве примера применения СППР для определения параметров и критериев возможности ведения хозяйственной деятельности были проведены расчеты предполагаемого загрязнения продуктов животноводства для населения, проживающего на зимовке Тактайколь коллективного сельскохозяйственного предприятия «Акжарский» Майского района Павлодарской области. Эта зимовка расположена северо-западнее площадки «Опытное поле» и находится ближе всего к эпицентру первого ядерного взрыва.

Для расчета выбран случай, при котором возможно максимальное поступление радионуклидов в продукты животноводства – выпас животных в районе зимовки в течение всего года и заготовка сена в степи недалеко от зимовки.

Экспресс-оценка

При выполнении экспресс-оценки содержания радионуклидов в продуктах животноводства предполагается, что животные выпасаются на территории, где почвенный состав, растительный покров и уровни загрязнения почвы радионуклидами совпадают с характеристиками точки растра, выбранной для расчета. Такие вычисления позволяют оценить влияние загрязнения почвы радиоактивными веществами на содержание радионуклидов в молоке и мясе сельскохозяйственных животных.

Анализ проведенных расчетов свидетельствует о возможном превышении предельно допустимых концентраций (ПДК) в молоке и мясе сельскохозяйственных животных, выпасаемых на территории, прилегающей к площадке «Опытное поле».

Из полученных данных видно, что наибольшее содержание радионуклидов наблюдается в мясе овец и молоке лошадей. Это объясняется физиологией и закономерностями метаболизма радионуклидов в организме животных (Рис. 2, 3).

Расчеты проводились для четырех уровней загрязнения территории: $0,1 \text{ Ки/км}^2$; $0,5 \text{ Ки/км}^2$; 1 Ки/км^2 и 5 Ки/км^2 . При величинах загрязнения меньше $0,1 \text{ Ки/км}^2$ не наблюдается превышения ПДК для радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr в продуктах животноводства. При уровне загрязнения больше $0,1 \text{ Ки/км}^2$ происходит превышение ПДК ^{123}Cs в мясе овец, а при уровне больше $0,5 \text{ Ки/км}^2$ – превышение ПДК в молоке лошадей как для ^{137}Cs , так и для ^{90}Sr .

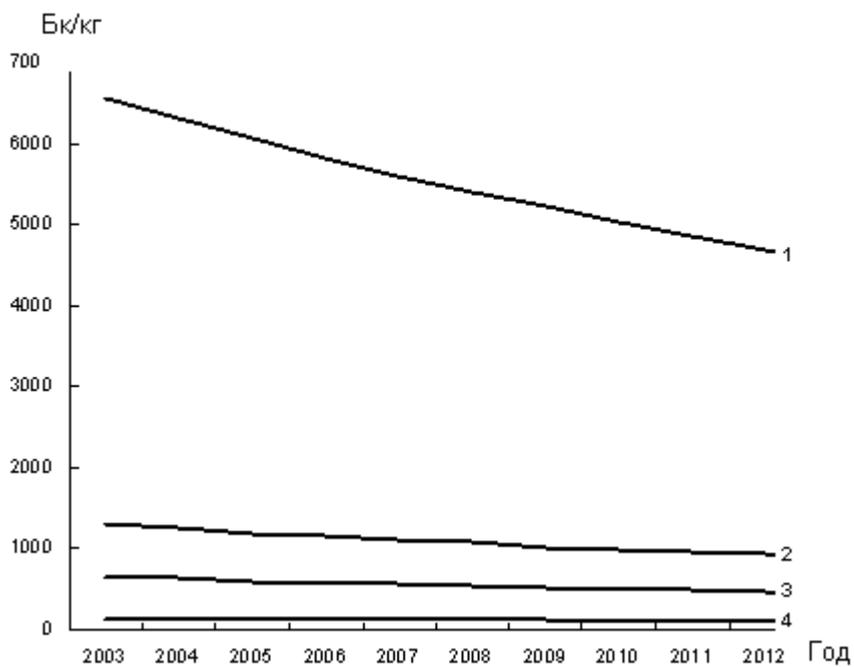


Рис. 2. Экспресс-оценка содержания ^{137}Cs в мясе овец.
 1- 5 $\text{Ки}/\text{км}^2$, 2- 1 $\text{Ки}/\text{км}^2$, 3- 0,5 $\text{Ки}/\text{км}^2$, 4- 0,1 $\text{Ки}/\text{км}^2$.

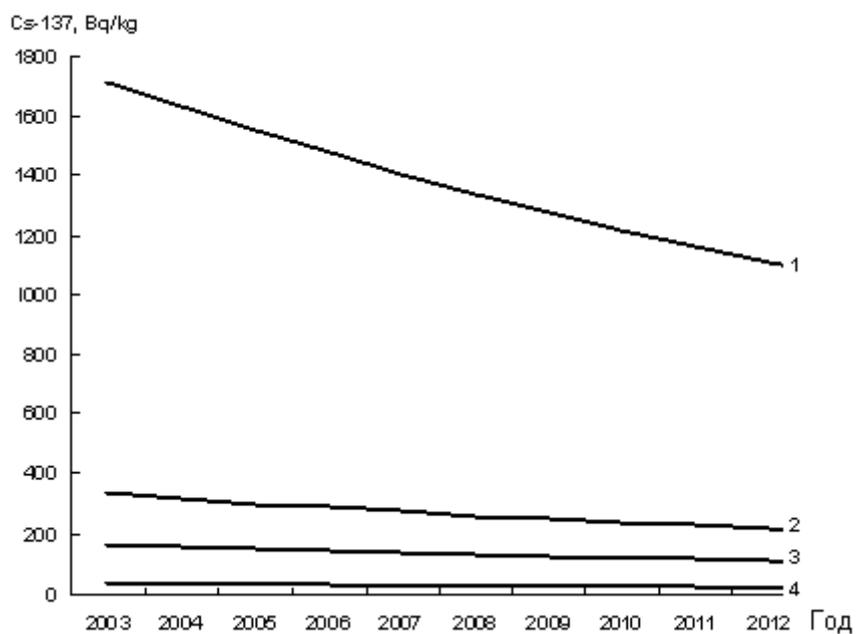


Рис. 3. Экспресс-оценка содержания ^{137}Cs в молоке лошадей.
 1- 5 $\text{Ки}/\text{км}^2$, 2- 1 $\text{Ки}/\text{км}^2$, 3- 0,5 $\text{Ки}/\text{км}^2$, 4- 0,1 $\text{Ки}/\text{км}^2$.

Необходимо отметить, что общая площадь исследуемой территории около 2 240 км². Так как загрязнение территории СИП носит неравномерный характер, была определена та ее часть, где наблюдается превышение ПДК для ¹³⁷Cs и ⁹⁰Sr. Для ¹³⁷Cs была взята величина загрязнения 0,1 Ки/км² (3 700 Бк/м²), для ⁹⁰Sr – 0,5 Ки/км² (18 500 Бк/м²). Этот район занимает около 680 км², что составляет 30 % исследуемой территории.

Расчет содержания радионуклидов

В реальности пастбище представляет собой участки с различными почвенно-растительными характеристиками и, учитывая «пятнистый» характер загрязнения радионуклидами, требуется более детальная информация при расчете содержания радионуклидов в продуктах животноводства.

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 ¹³⁷Cs и ⁹⁰Sr. Вычисления проводились для двух случаев: 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.

В первом случае в продуктах животноводства для радионуклида ¹³⁷Cs наблюдается значительное превышение предельно допустимых концентраций, установленных в Республике Казахстан. Концентрация радионуклидов на сегодняшний день (2005 г.) в молоке лошадей – 850 Бк/кг а в молоке овец – 500 Бк/кг, что превышает установленные нормы в 8,5 и 5 раз соответственно. В 2013 г. будет наблюдаться превышение ПДК для молока лошадей и овец – в 6 и 3,5 раза соответственно (Рис. 4).

Для второго случая анализ полученных результатов также показывает превышение содержания радионуклидов в мясе овец и молоке овец и лошадей (Рис. 5). Так как расчетная территория выпаса значительно ближе к реальной, а загрязнение почвенного покрова носит пятнистый характер, то наблюдаются меньшие значения концентраций радионуклида ¹³⁷Cs в сельскохозяйственной продукции. Для мяса овец в настоящее время эта величина составляет 870 Бк/кг, для молока лошадей и овец – 220 Бк/кг и 130 Бк/кг соответственно. В 2013 г. концентрация ¹³⁷Cs в мясе овец будет превышать ПДК в 6,5 раз, а в молоке лошадей – в 1,5 раза.

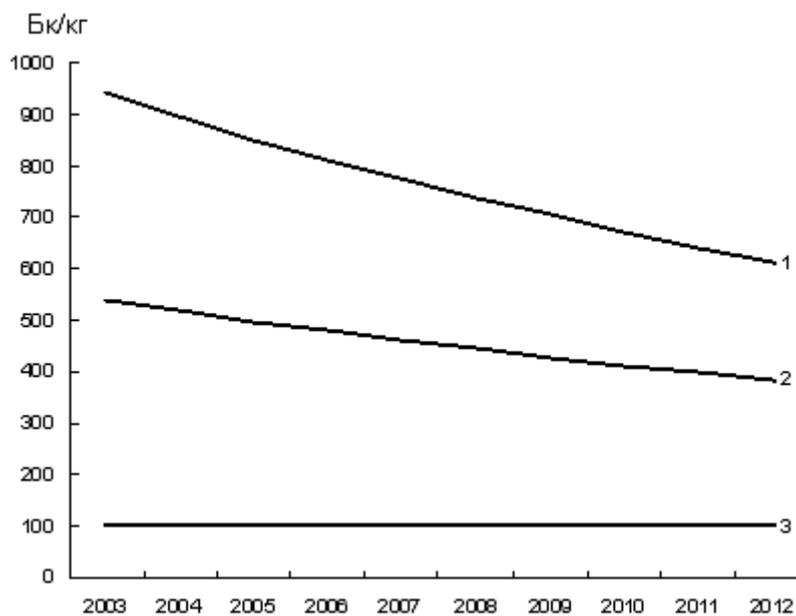


Рис. 4. Концентрации ^{137}Cs в молоке лошадей и овец в случае круглогодичного выпаса на площадке «Опытное поле». 1- молоко лошадей, 2- молоко овец, 3- ПДК=100 Бк/кг.

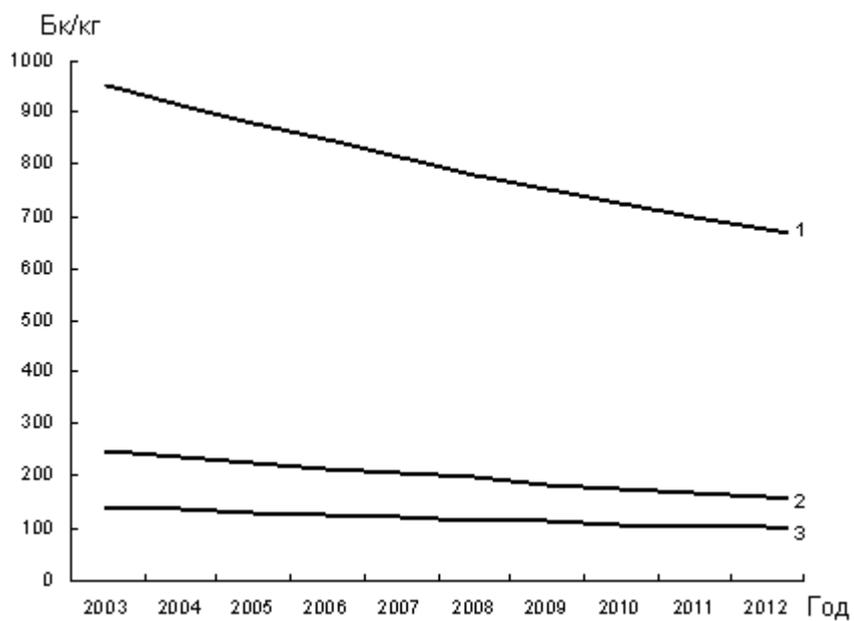


Рис. 5. Расчет содержания ^{137}Cs в мясе овец и молоке лошадей и овец в случае равномерного в течение года по всему ареалу выпаса.

Заключение

Необходимо отметить, что модели миграции радионуклидов, разработанные на основе ГИС-технологий, могут быть использованы в случае необходимости для отработки сценариев агрохимических защитных мероприятий, направленных на снижение уровней содержания радиоактивных веществ в сельскохозяйственной продукции.

Математическое моделирование представляет собой перспективное направление современной экологии, поскольку только с помощью математических моделей можно дать прогноз поведения радионуклидов в экосистемах и их компонентах и описать процессы развития этих компонент.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Андрияшин И.А., Чернышев А.К., Юдин Ю.А. Укрощение ядра.- Саратов, 2003. - 481 с.
2. Дубасов Ю.В. Радиационная обстановка на Семипалатинском полигоне через 10 лет после прекращения подземных ядерных испытаний // Материалы Международной конференции «Радиоактивность при ядерных взрывах и авариях». – М., 2000. С. 45.
3. Дубасов Ю.В., Касаткин В.В. Радиационная обстановка в местах проведения подземных мирных ядерных взрывов // Материалы Международной конференции «Радиоактивность при ядерных взрывах и авариях».- М., 2000.- С. 141.
4. Кайрамбаев С.К. Миграция радионуклидов в системе «почва-растение» на территории бывшего Семипалатинского испытательного полигона. Дис. на соиск. уч. степени канд. биол. наук: 03.00.16, 03.00.27. - Новосибирск, 2006. – 22 с.
5. Кадыржанов К.К., Rofer Ch., Хажекбер С., Казачевский И.В., Солодухин В.П., Лукашенко С.Н. Систематизация радионуклидного загрязнения СИП по специфике ядерных испытаний // Материалы Международной конференции «Радиоактивность при ядерных взрывах и авариях». – М., 2000. – С. 44.
6. Кузнецов Н.А., Гитис В.Г. Сетевые аналитические ГИС в фундаментальных исследованиях // Информационные процессы, –Т.4.- № 3, с. 221-240.
7. Мукушева М.К., Тухватулин Ш.Т., Жотабаев Ж.Р., Баранов С.А., Березин С.А. Использование базы данных ГИС для анализа радиацион-

ной обстановки мест проведения испытаний ядерного оружия в Казахстане // Известия НАН РК. Серия физико-математическая. – 2003. –№2. – С. 66-73.

8. Рихванов Л.П. Общие и региональные проблемы радиоэкологии. – Томск: Изд-во ТПУ, 1997. – 384 с.
9. Спиридонов С.И., Мукушева М.К., Гонтаренко И.А., Фесенко С.В., Баранов С.А. Прогнозирование поведения ^{137}Cs в системе почва-растения на территории Семипалатинского испытательного полигона // Радиология. Радиобиология. –Т. 45. – №4. – 2005. – С. 488-497.
10. Семипалатинский полигон. Создание, деятельность, конверсия» / Под ред. проф. Школьника В.С. - Алматы, 2003. - 344 с.
11. Современная радиоэкологическая обстановка в местах проведения мирных ядерных взрывов на территории Российской Федерации // Коллектив авторов под рук. В.А. Логачева.– М.: ИздАТ, 2005. –256 с.
12. Ядерные испытания СССР. Современное радиоэкологическое состояние полигонов //Коллектив авторов под руководством В.А. Логачева. – М.: . ИздАТ, 2002. – 652 с.

Национальный ядерный центр Республики Казахстан, Курчатов, РК
ВНИИ сельскохозяйственной радиологии и агроэкологии, Обнинск, РФ
Казахский Национальный Университет им. К.И. Сатпаева, Алматы, РК

ҚАБЫЛДАУ ШЕШІМДЕР ҚОЛДАУ ЖҮЙЕСІН ҚҰРУ ҮШІН ҒАЖ – ТЕХНОЛОГИЯЛАРЫН ҚОЛДАНУ

Физ.-мат. ғылым. канд.

Биол. ғылым. докторы

Техн. ғылым. докторы

С.А. Баранов

С.А. Березин

М.Қ. Мұқышева

С.И. Спиридонов

М.О. Садвакасов

М.Б. Тілебаев

Кеңестік жүйені қолдау шешімін қабылдауға геоақпараттық технологиялар негізінде экологиялық қауыпты объектілер және ластанған аймақтарды қадағалау тапсырмаларын шешу үлкен мүдде көрсетеді. Осындай жүйені қолдану үшін шаруашылық қызметін жүргізу мүмкіндігінің қажеттілігін анықтап, бұрынғы Семей сынақ полигонына оларды игеріп және өндіруді талап етеді.