

С.А. БАРАНОВ, С.И. СПИРИДОНОВ, М.К. МУКУШЕВА

ПРИМЕНЕНИЕ РАДИАЦИОННЫХ РИСКОВ ДЛЯ ОЦЕНКИ ВЛИЯНИЯ РАДИОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ТЕРРИТОРИИ СИП НА НАСЕЛЕНИЕ

(Представлена академиком НАН РК Э.Г.Боос)

Ключевые слова: Семипалатинский испытательный полигон, радионуклиды, радиоактивное загрязнение, геоинформационная система, радиационные риски, уровень вмешательства.

Для оценки и прогноза негативных последствий влияния испытаний ядерного оружия на население, проживающее в регионе Семипалатинского испытательного полигона, необходимо применение вероятностных методов, к которым относятся интенсивно развивающиеся в настоящее время методы расчета рисков. Использование в качестве показателей радиационных рисков, позволяет учесть пространственную неопределенность дозовых нагрузок и определить вероятность негативных эффектов для человека.

После закрытия Семипалатинского испытательного полигона (СИП) близлежащие сельскохозяйственные предприятия получили доступ к пастбищам Семипалатинского испытательного полигона. На полигоне появились места постоянного проживания людей, занимающихся выпасом скота.

При обследовании территории испытательной площадки «Опытное поле» было выявлено 14 зимовок, расположенных в радиусе 35 км от эпицентра первого ядерного взрыва. Это зимовки коллективного сельскохозяйственного предприятия «Акжарский» Майского района Павлодарской области, расположенные в северной части СИП. Одним из мест постоянного проживания людей на СИП является зимовка «Тактай-коль». 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 и на продажу. Излишки реализуют в близлежащих населенных пунктах и на рынках городов Семипалатинска и Курчатова.

Пастбищные земли ряда зимовок находятся в непосредственной близости от мест проведения ядерных испытаний [1-3]. Люди, проживающие на зимовках и летниках, пасут скот, отары овец и табуны лошадей. Сельскохозяйственные животные практически бесконтрольно передвигаются по территории СИП и даже заходят на территорию площадки «Опытное поле», радиоактивное загрязнение которой обусловлено наземными и воздушными ядерными взрывами [4]. Необходимо отметить ряд особенностей содер-

жания и использования скота в изучаемом районе. Весь скот, за исключением молочных коров, при благоприятной зиме почти круглый год содержится на пастбищах.

На основании анализа литературных источников, полевых и лабораторных экспериментов были выявлены основные пути загрязнения пастбищных экосистем СИП и определены радионуклиды, вносящие наибольший вклад в формирование дополнительной дозовой нагрузки на население, ведущее хозяйственную деятельность в этом регионе. Определены радиационно-опасные районы и на основе топографических карт подготовлена картографическая основа территории, для которой необходимо провести исследования. На основе литературных информаций и данных мониторинга территории СИП был уточнен характер сельскохозяйственного производства. Построены специальные карты-схемы размещения хозяйствующих субъектов, подобран необходимый исходный материал по характеристикам экосистем: почвенные и агрохимические карты, информация о видах и технологиях производства, данные о кормовой базе и рационам кормления животных, структуре стада.

Используя всю имеющуюся информацию, проведена оценка фактического состояния и дан прогноз возможных негативных последствий воздействия радиоактивного загрязнения на население бывшего СИП.

Инструменты и методы

Анализируя специфику радиоактивного загрязнения территории бывшего СИП, нельзя однозначно определить степень опасности для че-

ловека. С одной стороны мы имеем дело с уже сформировавшейся картиной радиоактивного загрязнения территории и на сегодняшний день отсутствуют какие-либо техногенные источники дополнительного воздействия на природную среду данного региона. С другой стороны – естественные факторы (пылевые бури, подземные и поверхностные воды, другие процессы и явления) могут вызвать перераспределение загрязнения и создать аварийную ситуацию для отдельных районов бывшего полигона, которые до недавнего времени считались практически «чистыми» и не представляли опасности для проживания населения. Существует еще один важный момент, который необходимо отметить – это пятнистый характер загрязнения СИП. При проведении радиоэкологических исследований на территории полигона выявляются локальные участки с большим уровнем загрязнения техногенными радионуклидами – результаты различных экспериментов по разработке ядерного оружия. Неоднозначность природных и техногенных факторов, влияющих на жизнедеятельность в этом регионе, вызывает необходимость применения вероятностных методов оценки их воздействия на человека, к которым относятся интенсивно развивающиеся в настоящее время методы расчета рисков.

Таким образом, для адекватной оценки влияния радиоактивного загрязнения территории СИП на население целесообразно применять в качестве показателей радиационные риски, оцениваемые для населения на территории Семипалатинского испытательного полигона, которые отражают вероятностный характер негативных последствий действия ионизирующего излучения. Риски такого типа можно квалифицировать как радиоэкологические, поскольку их формирование обусловлено радиоактивным загрязнением экосистем СИП.

Для оценки радиационных рисков различных категорий населения, проживающего на территории СИП и употребляющего загрязненную продукцию, были выполнены следующие этапы:

- идентификация и анализ пространственного распределения плотностей загрязнения долгоживущими радионуклидами (^{137}Cs и ^{90}Sr) ареалов выпаса лошадей и овец на территориях, прилегающих к площадке «Опытное поле»;

- расчет доз внутреннего и внешнего облучения населения, употребляющего загрязненную сельскохозяйственную продукцию;

- оценка детерминистских и полустихи ческих рисков для различных категорий населения.

В качестве дозового критерия рассматривался допустимый уровень дополнительного облучения населения для локальных участков загрязнения СИП, образовавшихся в результате радиоактивных выпадений после ядерных испытаний. Согласно критерию вмешательства на загрязненных территориях при обнаружении локальных радиоактивных загрязнений требуется проведение защитных мероприятий с целью ограничения облучения населения при величине дополнительной эквивалентной дозы более 0.3 мЗв/год (Приложение 5 НРБ-99) [5].

Население, подвергающееся облучению, разделено на 2 группы:

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

При проведении расчетов полагалось, что население, относящееся ко 2-й группе, подвергается действию дополнительного облучения только за счет употребления продукции, содержащей радионуклиды.

Сельскохозяйственные животные (лошади и овцы) выпасаются на участках, прилегающей к технической площадке «Опытное поле». На этих участках расположены пастбища коллективного сельскохозяйственного предприятия «Акжарское» (зимовка «Тактайколь»).

К основным *характеристикам радиационного фактора*, оказывающим негативное влияние на население при загрязнении пастбищных экосистем радионуклидами, относятся:

- содержание радионуклидов в животноводческой продукции;
- суммарная дозовая нагрузка на различные категории населения, формируемая в результате внутреннего и внешнего облучения.

При расчетах доз внешнего и внутреннего облучения использовалась информация, описывающая распределение радиоактивных веществ в почвах, и расчетные данные о содержании радионуклидов в продукции животноводства.

В качестве критерииов оценки рисков для населения использовались нормативы, законодательно утвержденные и отраженные в соответствующих нормативных документах, принятых в Республике Казахстан (Нормы радиационной безопасности и Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы) [6].

При оценке действия радиационного фактора использовался дозовый критерий, представляющий предельное значение дозовой нагрузки, формируемой дополнительным облучением населения. Применение дозового норматива возможно при адекватной оценке доз облучения различных категорий населения, что требует проведения расчетов на основе соответствующих дозиметрических моделей.

Исходя из имеющейся информации, в качестве критерииов оценки рисков для человека целесообразно было рассмотреть детерминистские и нормативные полустохастические риски (в которых, учитывается только неопределенность техногенного фактора).

Оценка рисков действия радиационного фактора на население и пастбищную растительность проведена для ареалов выпаса сельскохозяйственных животных (лошадей и овец) в районе расположения технической площадки «Опытное поле». В рамках консервативной оценки выделен наиболее загрязненный сектор в пределах ареала выпаса.

Необходимо подчеркнуть, что значения рисков рассчитаны в предположении, что все рассматриваемые категории населения употребляют сельскохозяйственную продукцию (мясо и молоко), полученную при выпасе лошадей и овец на загрязненных территориях СИП.

При выполнении расчетов полагалось, что дозовые нагрузки на население, проживающее за пределами территории СИП, формируются только за счет употребления загрязненной радионуклидами продукции при отсутствии дополнительного внешнего облучения. Рационы питания, включающие молоко и мясо лошадей и овец, принимались одинаковыми для различных категорий населения. Величины суточного потребления продуктов животноводства оценивались на основе литературных данных [7].

Результаты

После обработки информации, характеризующей ареалы выпаса, получены доли площадей

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 7,58 до 11,9 кБк/м².

Следует отметить, что сельскохозяйственные животные могут выпасаться на участках с различной плотностью радиоактивного загрязнения в пределах ареалов выпаса. Содержание долгоживущих радионуклидов в почве этих участков может существенно превышать среднее содержание радиоактивных веществ на территории рассматриваемого ареала. Для учета этого обстоятельства проведена консервативная оценка накопления радионуклидов в сельскохозяйственной продукции и дозовых нагрузок на население. При реализации такого подхода полагалось, что овцы и лошади выпасаются в наиболее загрязненном секторе, территория которого представляет собой четвертую часть круга, охватывающего ареал выпаса.

Расчет доз внутреннего и внешнего облучения населения, проживающего на территории Семипалатинского испытательного полигона и употребляющего загрязненную радионуклидами продукцию, осуществлялся на основе подходов, разработанных при анализе последствий аварии на Чернобыльской АЭС [8]. При этом в качестве входной информации использовались результаты прогнозирования содержания ^{137}Cs и ^{90}Sr в компонентах луговых экосистем СИП, полученные с помощью миграционных моделей [9, 10].

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

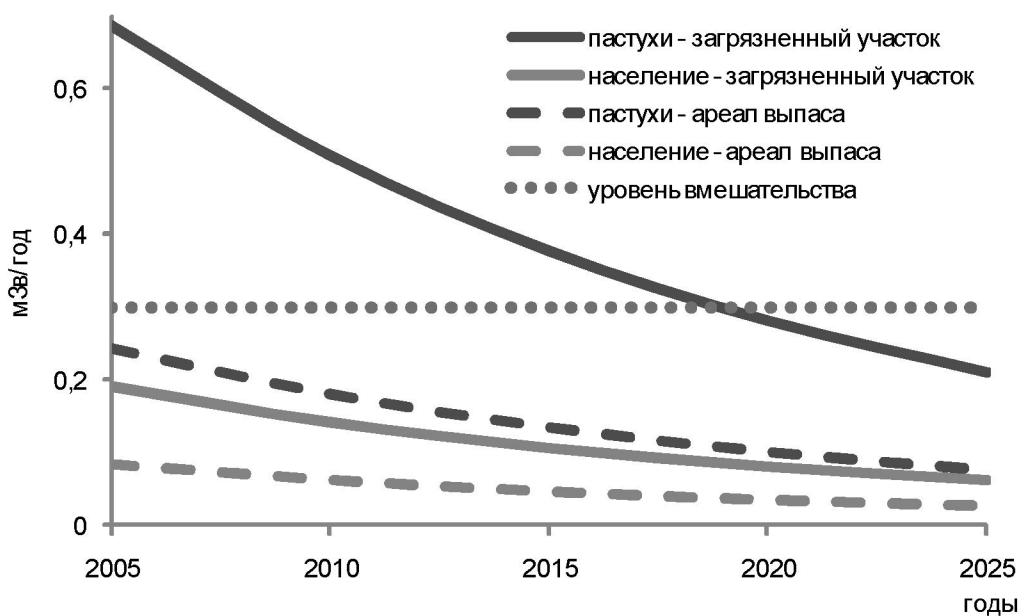


Рис. 1. Зависимость величины дополнительной дозовой нагрузки от режима выпаса скота и периода прогноза.

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.

Динамика суммарных дозовых нагрузок на пастухов, выпасающих лошадей и овец на различных территориях СИП, и населения, проживающего за пределами СИП и потребляющего загрязненную продукцию, представлена на рисунке 1. Видно, что пастухи, выпасающие животных на территории загрязненного участка, будут получать дополнительную дозу облучения, превышающую норматив, еще в течение, примерно, 10 лет.

С целью оценки действия радиационного фактора на человека были рассчитаны индексы радиационного воздействия – RIF [11], 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 RIF, приведенные в таблице 1, представляют, по существу, величины *детерминированных рисков*, оцененных с использованием в качестве критерия риска величины дополнительной годовой дозовой нагрузки – 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 *полустохастических рисков* – вероятностей превышения дозового норматива, были идентифицированы распределения дозовых нагрузок для различных категорий населения, проживающего на территории полигона и употребляющего загрязненную продукцию. Распределения дозовых нагрузок описывались с использованием гистограмм накопления, построенных для различных участков территории выпаса на основе программных средств и баз данных, интегрированных в геоинформационную систему (ГИС) [12-13].

Анализ гистограмм накопления позволил построить кумулятивные функции, характеризующие распределение дозовых нагрузок для пастухов, круглогодично пребывающих в пределах ареалов выпаса сельскохозяйственных животных, и

Таблица 1. Значения индексов радиационного воздействия на различные категории населения, при выпасе сельскохозяйственных животных на исследуемых территориях.

Территории выпаса сельскохозяйственных животных	Население, проживающее за пределами СИП	Пастухи (круглогодичная пастьба)
«Тактакойль», ареал выпаса	0,3	0,8
«Тактакойль», загрязненный сектор	0,5	1,7

Таблица 2. Вероятность получения доз облучения более 0,3 мЗв/год для различных категорий населения, проживающего на территории СИП и употребляющего загрязненную продукцию

Территории выпаса сельскохозяйственных животных	Население, проживающее за пределами СИП	Пастухи (круглогодичная пастьба)
«Тактакойль», ареал выпаса	0,05	0,13
«Тактакойль», загрязненный сектор	0,14	0,46

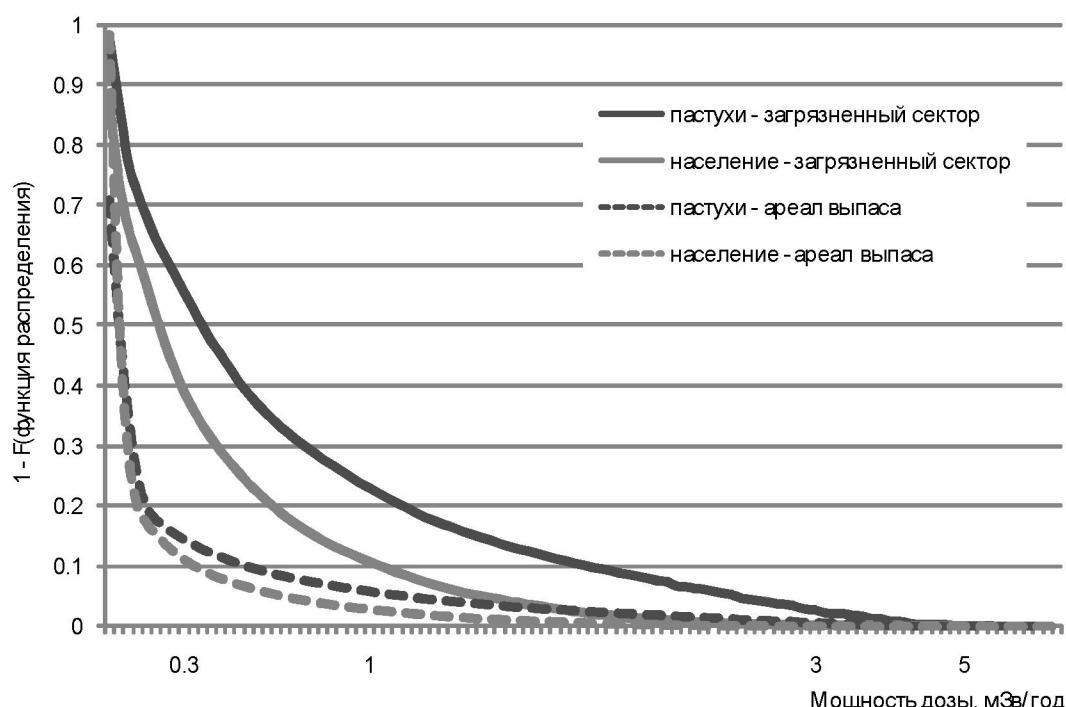


Рис. 2. Функции распределения, характеризующие дозовые нагрузки на пастухов и население, при различных режимах выпаса скота

населения, проживающего за пределами СИП, но употребляющего в пищу сельхозпродукцию, производимую на полигоне (Рисунок 2).

На рисунке 3 отображены плотности вероятности распределений дозовых нагрузок на различные категории населения, проживающего на территории СИП и употребляющего загрязненную продукцию. Следует подчеркнуть, что плотности вероятностей идентифицированы «в призывке» к ареалам выпаса, с центром, соответствую-

ющим зимовке «Тактайколь», или к наиболее загрязненным секторам в пределах этих ареалов.

Значения полустохастических рисков, описывающих вероятности превышения дозового критерия для различных категорий населения, представлены в таблице 2.

Сравнение детерминистских (Таблица 1) и полустохастических рисков (Таблица 2) показывает, что эти показатели связаны между собой нелинейно. Как отмечено выше, детерминист-

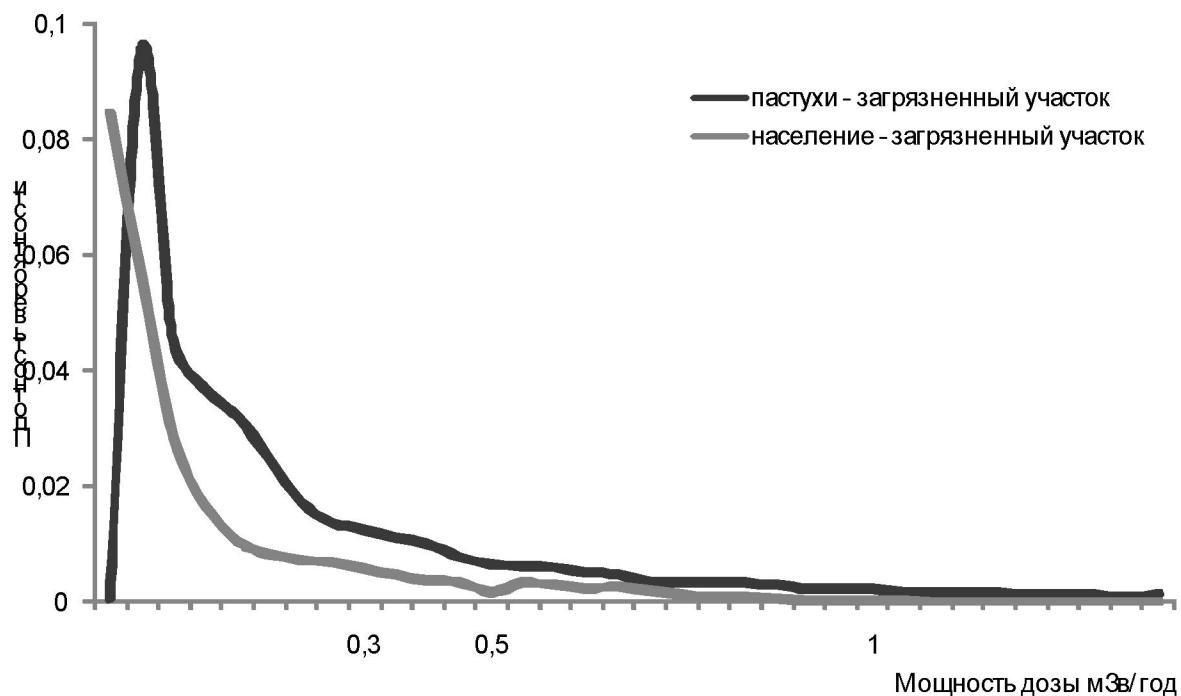


Рис. 3. Плотности вероятности распределения дозовых нагрузок на рассматриваемые категории населения, привыкающие животных на наиболее загрязненном участке

кие риски, описываемые соответствующими индексами, рассчитываются без учета распределений дозовых нагрузок, которые существенным образом изменяются в зависимости от радиоэкологических характеристик конкретных территорий. Полустохастические риски, представляющие собой вероятности превышения дозового критерия, являются более адекватными показателями с точки зрения учета неопределенности действующего (радиационного) фактора.

Обсуждение и заключение

Для адекватной оценки влияния радиоактивного загрязнения территории СИП на население целесообразно применять в качестве показателей радиационные риски. Использование этих показателей дает возможность учесть пространственную неопределенность дозовых нагрузок и определить вероятности негативных эффектов.

Радиационные риски, которые в рассматриваемом случае можно квалифицировать как радиоэкологические, представляют собой унифицированные показатели, применимые для различного рода сравнительных оценок. Сопоставление значений нормативных рисков для различных категорий населения с индексами радиационного воздействия на эти группы населения показы-

вает, что эти характеристики связаны между собой нелинейно. Поскольку при расчете рисков учитываются распределения дозовых нагрузок, варьирующие в зависимости от особенностей рассматриваемых территорий, использование вероятностных показателей для радиоэкологических оценок представляется более предпочтительным.

Установлено, что вероятность превышения дозового норматива (0,3 мЗв/год) при получении сельскохозяйственной продукции на загрязненном участке, прилегающем к площадке «Опытное поле», достигает значимой величины для пастухов, выпасающих животных и употребляющих загрязненную радионуклидами продукцию. В этой связи представляется целесообразным ограничить использование этой территории для производства сельскохозяйственной продукции.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ядерные испытания СССР // Кол. авторов под руководством Михайлова В.Н. Москва: ИздАТ. 1997. 286 с.
2. Тухватуллин Ш.Т., Жотабаев Ж.Р., Кадыржанов К.К. и др. Техногенное и природное загрязнение радионуклидами Республики Казахстан. // Сб. материалов II Международной конференции «Тяжелые металлы, радионуклиды и элементы-биофильы в окружающей среде», Семипалатинск, 16-18 ноября 2002 г. Семипалатинск, 2002, Т. 2, с. 128-140.

3. Логачев В.А. Ядерные испытания на Семипалатинском полигоне и их влияние на окружающую среду. // Вестник НЯЦ РК. 2000. Выпуск 3. С. 9-14.

4. Артемьев О.И., Ахметов М.А., Птицкая Л.Д. Радионуклидное загрязнение территории бывшего Семипалатинского испытательного ядерного полигона. // Вестник НЯЦ РК. 2001. Выпуск 3, с. 12-19.

5. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99), СП 2.6.1.758-99. Издание официальное. Алматы, 2000, 80 с.

6. СанПин 5.01.030.03, Санитарно-гигиенические требования по обеспечению радиационной безопасности, 31.01.2003 г. Министерство здравоохранения Республики Казахстан. Приказ №97 от 10.03.2003 г.

7. Semiochkina N., Voigt G., Mukusheva M. et al. Assessment of the current internal dose due to ^{137}Cs and ^{90}Sr for people living within the Semipalatinsk Test Site. Health Physics. 2004, v. 86, № 2, p. 187-192.

8. Реконструкция средней накопленной в 1986-1995 гг. эффективной дозы облучения жителей населенных пунктов Российской Федерации, подвергшихся радиоактивному загрязнению вследствие аварии на Чернобыльской АЭС в 1986 году: Методические указания. МУ 2.6.1.579-96. М.: Минздрав России. 1996, 28 с.

9. Спиридов С.И., Гонтаренко И.А., Мукушева М.К., Фесенко С.В., Семиошкина Н.А. Прогнозирование накопления ^{137}Cs в продукции животноводства на территории Семипалатинского испытательного полигона. Радиационная биология. Радиоэкология. 2005, Т. 45, № 4. С. 480-487.

10. Спиридов С.И., Мукушева М.К., Гонтаренко И.А., Панов А.В. Разработка модели и оценка параметров переноса радионуклида ^{90}Sr в системе почва-растение на территории, прилегающей к технической площадке «Опытное поле». Вестник Евразийского Национального Университета им. Л.Н. Гумилева, Серия естественно-технических наук, №2, 2005, с. 60-71.

11. Фесенко С.В., Алексахин Р.М., Гераськин С.А. и др. Сравнительная оценка радиационного воздействия на биоту и человека в 30-километровой зоне Чернобыльской АЭС. Радиационная биология. Радиоэкология. 2004, Т. 44, № 4. С. 618-626.

12. 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, №5, 2006. С. 21-24.

13. Баранов С.А., Мукушева М.К., Садвакасов М.О., Березин С.А. Радиоэкологический мониторинг агрокосистем бывшего Семипалатинского испытательного полигона. Тезисы Шестой международной конференции «Ядерная и радиационная физика», г. Алматы, 2007.

Резюме

Ядролық қарулады сынаудың Семей сынақ полигоны өңірінде тұратын халыққа көрі өсер ету салдарын бағалау және болжай үшін қазіргі уақытта қарқынды дамып келе жатқан тәуекелдерді (қатерлерді) есептеу өдісін қолдану қажет. Радиациялық тәуекелдерді көрсеткіштер ретінде қолдану дозалық жүктемелердің кеңістіктегі белгісіздігін ескеруге және адам үшін болуы ықтимал көрі өсерлерді анықтауга мүмкіндік береді.

Summary

Probabilistic methods should be applied for assessment and prediction of negative consequences of effect from nuclear weapon tests to population domiciling the Semipalatinsk test site region. The methods include risk calculation methods being intensively developed at present. Radiation risks application as index makes possible to consider spatial uncertainty of radiation exposure and determine probability of negative effect to human being.

РГП «Национальный ядерный центр Республики Казахстан», Курчатов, Казахстан
ВНИИ Сельскохозяйственной радиологии и агроэкологии РАСХН,
Обнинск, Россия

Поступила 22.07.09 г.