

С. И. СПИРИДОНОВ, М. К. МУКУШЕВА, А. В. ПАНОВ, И. Э. ЕПИФАНОВА

## РАЗРАБОТКА СТРАТЕГИИ АДРЕСНОЙ РЕАБИЛИТАЦИИ РАДИАЦИОННО-ЗАГРЯЗНЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ СИП

(Представлена академиком НАН РК Э. Г. Босс)

Представлен методологический подход к обоснованию реабилитационных мероприятий по снижению доз облучения населения, проживающего на радиоактивно загрязненной территории, представлены методология реабилитации радиоактивно загрязненных территорий к условиям тестовой зимовки, расположенной на территории СИП, стратегия адресной реабилитации пастбищных угодий тестовой зимовки СИП с помощью компьютерной системы поддержки принятия решений ReSCA.

**Введение.** В результате проведения ядерных испытаний на Семипалатинском испытательном полигоне (СИП) в период с 1949 по 1989 гг. в окружающую среду было выброшено большое количество долгоживущих радионуклидов, в том числе около  $9 \cdot 10^{16}$  Бк  $^{137}\text{Cs}$ . Ведение сельскохозяйственного производства на территориях СИП, включающих участки с существенными уровнями радиоактивного загрязнения, вызывает необходимость оценки радиоэкологической ситуации на этих территориях и обоснования комплекса оптимальных защитных мероприятий по их реабилитации [1].

В рамках радиоэкологических исследований территории СИП была рассмотрена возможность использования компьютерной системы поддержки принятия решений для разработки оптимальных защитных мероприятий по реабилитации наиболее радиоактивно загрязненных пастбищных угодий полигона на примере тестовой зимовки.

**Методологический подход к обоснованию реабилитационных мероприятий по снижению доз облучения населения, проживающего на радиоактивно загрязненной территории.** При проведении классификации хозяйств и населенных пунктов по степени необходимости их реабилитации рассматривались критерии оценки эффективности контрмер: для одной категории населения рассматривалось снижение индивидуальной эффективной дозы, а для второй – уменьшение коллективной дозы от употребления загрязненной продукции [2].

Учитывая отмеченные выше особенности, хозяйства коллективного сектора и населенные пункты, находящиеся на радиоактивно загрязненной территории, предложено классифицировать по плотности загрязнения  $^{137}\text{Cs}$  [3]:

– сельскохозяйственных угодий, используемых для производства продукции растениеводства, кормов и выпаса животных (коллективный сектор). Классификация проводится на основе следующих градаций:  $37-185 \text{ кБк}/\text{м}^2$  ( $1-5 \text{ Ки}/\text{км}^2$ ),  $185-555 \text{ кБк}/\text{м}^2$  ( $5-15 \text{ Ки}/\text{км}^2$ ),  $555-740 \text{ кБк}/\text{м}^2$  ( $15-20 \text{ Ки}/\text{км}^2$ ) и более  $740 \text{ кБк}/\text{м}^2$  (более  $20 \text{ Ки}/\text{км}^2$ ).

– территории населенного пункта (частный сектор). В качестве значений плотности загрязнения  $^{137}\text{Cs}$ , в соответствии с которыми проводится классификация населенных пунктов, выбраны  $37-185 \text{ кБк}/\text{м}^2$  ( $1-5 \text{ Ки}/\text{км}^2$ ),  $185-370 \text{ кБк}/\text{м}^2$  ( $5-10 \text{ Ки}/\text{км}^2$ ),  $370-555 \text{ кБк}/\text{м}^2$  ( $10-15 \text{ Ки}/\text{км}^2$ ) и более  $555 \text{ кБк}/\text{м}^2$  (более  $15 \text{ Ки}/\text{км}^2$ ).

Такое разделение хозяйств и населенных пунктов обусловлено исторически сложившейся системой зонирования радиоактивно загрязненных территорий, пострадавших от аварии на Чернобыльской АЭС, при разработке систем мероприятий по их реабилитации.

Хозяйства колективного сектора классифицируются также по риску производства продукции с содержанием  $^{137}\text{Cs}$ , превышающим нормативы СанПиН 2.3.2.1078-01, т.е. в данном случае применяется вероятностный подход. Проведено следующее разделение хозяйств по риску (вероятности) превышения нормативов: 0-10, 10-50, 50-90 и более 90%. Населенные пункты классифицируются по дозам внутреннего облучения жителей, на НП со среднегодовой дозой внутреннего облучения менее 0.5, от 0.5 до 1 и более 1 мЗв.

Предложенная классификация населенных пунктов и хозяйств дает возможность реализации адресной системы защитных мероприятий по реабилитации радиоактивно загрязненных территорий.

Обоснование оптимальных стратегий защитных и реабилитационных мероприятий (как в кол-

лективном, так и в частном секторе) является многофакторной задачей и должно проводиться в несколько этапов: *Оценка радиологической обстановки; Анализ необходимости применения защитных мероприятий; Обоснование эффективных защитных мероприятий; Сравнительный анализ эффективности стратегий проведения реабилитационных мероприятий.*

При обосновании защитных мероприятий по реабилитации территории СИП были выделены две группы населения:

- население, проживающее на СИП;
- население, проживающее за пределами СИП.

Территорию пастбищных угодий полигона предлагается классифицировать с учетом степени радиоактивного загрязнения для двух групп населения при разных плотностях загрязнения кормовых угодий:  $^{90}\text{Sr}$ , кБк/м<sup>2</sup> – от <11,1 до > 148 и  $^{137}\text{Cs}$ , кБк/м<sup>2</sup> – от <37 и до > 185.

Рассматривая круг вопросов, связанных с критериальной базой оценки эффективности защитных мероприятий по реабилитации территории СИП, можно сказать, что практически все из представленных в методологии критериев можно использовать для обоснования наиболее эффективных стратегий внедрения контрмер.

Обоснование системы адресной реабилитации пастбищных угодий зимовки «Атомное озеро» проведено с помощью компьютерной системы поддержки принятия решений СППР *ReSCA* последней версии 2009 г.

Оптимизация защитных мероприятий на уровне населенного пункта, района и области осуществляется на основе минимизации затрат на единицу предотвращенной дозы с учетом социальной приемлемости контрмер, т.е. оптимизированная стратегия реабилитации включает в себя комплекс мер, позволяющих максимально снизить дополнительные дозы облучения населения при минимальных затратах. Разработка программы стратегии реабилитации продолжается до тех пор, пока значения суммарных доз облучения во всех населенных пунктах не станут меньше 1 мЗв/год, закончатся денежные средства на реабилитацию или не будут использованы все защитные мероприятия. При наступлении какого-либо из этих условий программа завершает процесс оптимизации.

Формирование доз внутреннего облучения населения, проживающего как на территории

СИП, так и за его пределами обусловлено потреблением только продукции животноводства, поэтому при разработке системы реабилитации полигона, в системе *ReSCA*, из всех контрмер рассматривались только те из них, которые обеспечивают снижение содержания радионуклидов  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  в молоке и мясе, а именно:

- 1) коренное улучшение сенокосов и пастбищ (RI);
- 2) поверхностное улучшение сенокосов и пастбищ (SI);
- 3) применение ферроцинодержащих препаратов для коров (FA);
- 4) применение минеральных подкормок, содержащих Са (MA).

В качестве меры, направленной на снижение дозы внешнего облучения от  $^{137}\text{Cs}$  в системе *ReSCA* анализировалась эффективность проведения дезактивационных работ (RS). Параметры защитных мероприятий, используемых программой для оценки их эффективности, а также стоимость мероприятий представлены в работе [3]. Поскольку территория СИП загрязнена радионуклидами  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$ , то в программе учтены оценки дозовых нагрузок на население от обоих радионуклидов.

Следует отметить, что стоимость контрмер, направленных на снижение содержания радионуклидов в молоке и мясе (RI, SI, FA, MA), оценена из расчета затрат на одну корову, а дезактивационных защитных мероприятий – на одного жителя населенного пункта. Проведение коренного или поверхностного улучшения пастбищных угодий снижает переход из почвы в продукцию животноводства и  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$ . Таким образом, эффект от этих мероприятий при одних и тех же затратах будет выше.

Поскольку территория полигона характеризуется большой вариабельностью плотностей загрязнения радионуклидами, при оценках доз облучения населения были рассмотрены все возможные варианты выпаса сельскохозяйственных животных на участках с различными уровнями радиоактивного загрязнения [4].

Выполненные в СППР *ReSCA* расчеты позволили сформировать адресную стратегию реабилитации зимовки «Атомное озеро» в виде дифференцированного набора защитных и реабилитационных мероприятий для каждой из выделенных при классификации зон загрязнения.

Сформированная стратегия адресной реабилитации состоит только из сельскохозяйственных контрмер и по типам мероприятий является идентичной для обеих групп населения. При этом, проведение коренного улучшения пастбищных угодий (RI) необходимо во всех зонах загрязнения радионуклидами цезия и стронция, где существует превышение дозовых нормативов у населения (0,3 мЗв/год). В зоне загрязнения по  $^{137}\text{Cs}$  более 185 кБк/м<sup>2</sup> дополнительно к RI необходимо применение ферроцинсодержащих препаратов для коров (FA), а в зоне загрязнения по  $^{90}\text{Sr}$  выше 148 кБк/м<sup>2</sup> помимо коренного улучшения необходимо применение минеральных подкормок, содержащих Са (MA). В наиболее загрязненной зоне по обоим радионуклидам необходимо внедрять все три типа контрмер (RI, FA и MA). Использование такого комплекса защитных и реабилитационных мероприятий позволит значительно снизить дозы облучения обеих групп населения. После внедрения стратегии адресной реабилитации зимовки «Атомное озеро» суммарные среднегодовые дозы облучения населения снизятся от 3 до 7 раз и, в итоге, не будут превышать установленного порога доз.

По расчетам СППР *ReSCA* суммарные затраты на проведение реабилитационных работ составят от 2,5 до 25,5 тыс. ЕВРО в зависимости от поставленных целей реабилитации. Так, если целью реабилитационных работ будет снижение доз населения проживающего только на зимовке «Атомное озеро», то затраты на такого рода мероприятия окажутся минимальными (2,3-2,6 тыс. ЕВРО в зависимости от уровней радиоактивного загрязнения). Однако если целью работ будет являться снижение доз облучения населения, проживающего за территорией СИП, но потребляющего произведенную на пастбищных угодьях зимовки «Атомное озеро» продукцию животноводства, то затраты на реабилитацию возрастут и составят порядка 23-26 тыс. ЕВРО. Необходимо отметить, что для возвращения территории полигона в сельскохозяйственный оборот последний вариант реабилитации должен рассматриваться как приоритетный. Отличия в затратах на проведение реабилитационных работ для двух групп населения связаны с различным поголовьем сельскохозяйственных животных, для которых необходимо проведение контрмер и различными площадями пастбищных угодий.

При оценке эффективности адресной стратегии реабилитации зимовки «Атомное озеро» также следует остановиться на радиологическом и радиолого-экономическом аспектах внедрения контрмер. За счет проведения предложенных комбинаций сельскохозяйственных мероприятий возможно будет сэкономить дозы облучения населения. Так, предотвращенная за счет контрмер доза для населения, проживающего на территории зимовки, составит от 0,04 до 0,1 чел.-Зв, а для второй группы населения существенно выше: 0,4-1 чел.-Зв. Для обеих групп населения, с увеличением плотностей загрязнения пастбищных угодий предотвращенная доза будет возрастать и достигнет максимума при применении защитных и реабилитационных мероприятий на наиболее загрязненных участках по обоим радионуклидам.

Анализ данных показал, что стоимость предотвращенной дозы при внедрении контрмер будет закономерно снижаться с увеличением уровней загрязнения радионуклидами пастбищных угодий от 56 тыс. ЕВРО за 1 чел.-Зв до 26 тыс. ЕВРО, т.е. применение защитных и реабилитационных мероприятий станет самым эффективным на наиболее загрязненных по обоим радионуклидам участках пастбищных угодий (стоимость предотвращенной дозы будет минимальна).

Таким образом, на основе проведенных исследований для зимовки «Атомное озеро» разработана стратегия ее адресной реабилитации в виде комплекса защитных мероприятий, обеспечивающих максимально быстрое снижение годовых доз облучения населения и уровней загрязнения радионуклидами сельскохозяйственной продукции до установленных нормативов. Для каждой группы населения, выделенной при классификации, оценены затраты на проведение реабилитационных работ и их радиологическая эффективность.

При проведении дальнейших исследований необходимо сфокусировать внимание как на экологических особенностях СИП, влияющих на возможность внедрения реабилитационных мероприятий, так и на экономических аспектах. Тем не менее, подходы, основанные на применении СППР для решения радиоэкологических проблем СИП, представляются перспективными в связи с возможной интенсификацией хозяйственной деятельности на полигоне.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Мукушева М.К. Научные основы экологической оценки радиационно-загрязненных территорий Семипалатинского испытательного полигона: Дис. ... док. тех. наук: 25.00.36, г. Курчатов, 2006. 245 с.
2. Фесенко С.В. Аграрные и лесные экоистемы: радиоэкологические последствия и эффективность защитных мероприятий при радиоактивном загрязнении: Дис. ... д-ра биол. наук. Обнинск, 1997. 410 с.

3. Спиридовон С.И., Мукушева М.К., Панов А.В., Епифанова И.Э. Разработка стратегии адресной реабилитации тестовой зимовки СИП с использованием компьютерной системы поддержки принятия решений RESCA // Вестник НЯЦ РК. 2010. Вып. 1(41). С. 72-82.

4. Спиридовон С.И., Мукушева М.К., Шубина О.А., Соломатин В.М., Епифанова И.Э. Оценка доз облучения населения в результате радиоактивного загрязнения территории Семипалатинского испытательного полигона // Радиационная биология. Радиоэкология. 2008. Т. 48, № 2. С. 218-224.

## Резюме

Радиоактивті ластанған аумақта тұратын халықтың сөүлелену дозасын төмөндегі жөніндегі оналту іс-шараларын негіздеудің әдіснамалық тәсілі, радиоактивті ластанған аумақты ССП аумагында орналасқан тестілік қыстактар жағдайына оналту әдіснамасы, шешімдер қабылдауды қолдаудың компьютерлік ReSCA жүйесінің көмегімен ССП-ның тестілік қыстағының жайылымдық жерлерін мекенжайлық оналту стратегиясы ұсынылған.

## Summary

The report presents methodic approach to the justification of rehabilitation measures aimed at reduction of radiation exposure to the population domiciling radioactive contaminated areas; provides rehabilitation methodology for radioactive contaminated areas with the example of conditions of test wintering ground located at the former STS, strategy of targeted rehabilitation of pasture lands of STS test wintering ground using ReSCA decision support system.

УДК 504:001.8;504.062:574

РГП «Национальный ядерный центр  
Республики Казахстан», Курчатов,  
Всероссийский НИИ  
сельскохозяйственной радиологии  
и агроэкологии, Обнинск

Поступила 22.04.10г.