

А.В.Панов, А.Ю.Пахомов, кандидаты биологических наук
 С.В.Фесенко, доктор биологических наук
 Р.М.Алексахин, академик Россельхозакадемии
 Всероссийский научно-исследовательский институт
 сельскохозяйственной радиологии и агроэкологии

УДК [574.539.1.04]:614.876

Стратегии защитных мероприятий в сельских населенных пунктах в отдаленный период после аварии на Чернобыльской АЭС

Представлен анализ стратегий защитных и реабилитационных мероприятий, направленных на уменьшение доз облучения жителей сельских населенных пунктов, пострадавших от аварии на ЧАЭС. Оценка эффективности предложенных систем контрмер проведена на основе интегральных критериев: стоимости предотвращенной коллективной дозы (1 чел.-Зв), суммарных затрат, необходимых для их внедрения, и сроков выполнения законодательного норматива. Показано, что наиболее критическая ситуация, связанная с облучением населения, сохраняется в частном секторе сельских населенных пунктов, что требует значительных затрат на их реабилитацию.

A comparative analysis is presented of strategies for protective and rehabilitative measures aimed at reducing doses to rural residents. Estimation of the effectiveness of the proposed countermeasure systems is based on integral criteria: cost of averted collective dose (1 man-Sv), overall costs needed for countermeasures introduction and time for fulfillment of legal regulations. It has been found that the most critical situation associated with the population exposure persists in the private sector of rural settlements, thereby requiring considerable expenses on their remediation

ДОЗОВЫЕ нагрузки на население, проживающее на территории, загрязненной в ходе аварии на ЧАЭС, находятся в диапазоне 1...5 мЗв/год¹. Согласно закону "О радиационной безопасности населения", внедрение контрмер здесь должно основываться на том, чтобы польза от снижения дозы облучения населения была бы максимальной. Данный принцип радиационной защиты на основе концепции анализа затраты-выгода, в которой радиологические и экономические величины приводятся к единой стоимостной шкале через введение единицы стоимости коллективной дозы (1 чел.-Зв), рассмотрен в [2]. В нашей работе при оценке эффективности контрмер мы основывались на этом методе.

чем в аналогичной продукции общественного сектора [4]. Это связано, прежде всего, с тем, что частных молочных коров, как правило, пасут на низкопродуктивных пастбищах, расположенных на торфяно-болотистых почвах, характерных для юго-западных районов Брянской области² - что определяет очень высокий переход ¹³⁷Cs из почвы в молоко.

В выполненных ранее исследованиях проведен анализ эффективности отдельных защитных мероприятий, а также их комбинаций для различных зон загрязнения [3, 5]. Полученные результаты позволяют перейти к обоснованию оптимальных стратегий ведения сельскохозяйственного производства в личных подсобных хозяйствах сельских населенных пунктов с учетом соотношения затрат на внедрение контрмер и получаемой от этого выгоды в виде экономии коллективной дозы.

В отдаленный после аварии на ЧАЭС период основные защитные мероприятия направлены на снижение загрязнения молока включают: проведение коренного улучшения кормовых угодий (КУ), а также применение ФСП для уменьшения содержания ¹³⁷Cs в продукции животноводства в виде бифежа (БИФ). Несмотря на значительный период времени, прошедший после аварии, не потеряли своей значимости и ограничительные мероприятия: на содержание частных молочных коров (ОМ) и употребление продуктов леса (ОГ). Среди представленного ряда контрмер рассматривали также обеспечение частного скота перед забоем "чистыми" кормами (ЧГ) и внесение минеральных удобрений под картофель (МК). В качестве аль-

В работе [6] сельские населенные пункты классифицированы по плотности загрязнения территории и дозам внутреннего облучения их жителей. Средние уровни загрязнения продукции животноводства за 2001-2003 гг., производимой в частном секторе, согласно такой классификации приведены в таблице. Практически во всех "критических" сельских населенных пунктах (среднегодовые дозы облучения жителей более 1 мЗв) содержание ¹³⁷Cs в молоке превышает нормативы СанПиН-2.3.2.1078-01 в 1,2...2,5 раза [1]. Исключение составляют населенные пункты со среднегодовой дозой внутреннего облучения жителей менее 0,5 мЗв. По говядине превышение нормативов СанПиН-2.3.2.1078-01 варьирует от 0,7 до 3,7 раза. В некоторых наиболее загрязненных зонах Брянской области (плотность загрязнения ¹³⁷Cs более 370 кБк/м²) как по молоку, так и по мясу, отмечено содержание ¹³⁷Cs ниже нормативов СанПиН-2.3.2.1078-01. По всей видимости, в этих зонах внедряют защитные мероприятия более активно, чем в других. В целом, уровень загрязнения молока и говядины, производящихся в личных подсобных хозяйствах, гораздо выше,

Средняя доза внутреннего облучения, мЗв год ¹	Плотность загрязнения территории населенного пункта ¹³⁷ Cs, кБк м ²			
	37...185	185...370	370...555	>555
<i>Молоко</i>				
< 0,5	—	—	89	83
Г 0,5-1	60	167	118	118
> 1	192	253	165	137
<i>Говядина</i>				
< 0,5	—	—	183	104
0,5-1	181	173	115	176
> 1	254	358	590	103
<i>Свинина</i>				
< 0,5	—	—	98	87
0,5-1	ДО*	54	59	97
> 1	172	149	68	92

ДО* - данные отсутствуют.

тернативы защитных мероприятий для анализа предлагалось рассмотреть эффект от дезактивации частных подворий и территорий населенных пунктов (ДЗ).

Потенциальную эффективность защитных и реабилитационных мероприятий оценивали в три этапа. На первом рассчитали предотвращенные коллективные дозы в результате применения контрмер. На втором оценивали суммарные затраты на внедрение защитных мероприятий, при этом все контрмеры ранжировали по этому критерию с учетом независимого их применения в течение всего периода, когда необходимо.

На третьем этапе анализировали соотношение стоимости предотвращенной коллективной дозы (1 чел.-Зв) в результате независимого применения защитных мероприятий и суммарных затрат на их проведение. Очевидно, что наиболее оптимальными можно признать контрмеры с наименьшей стоимостью 1 чел.-Зв и затратами на их внедрение. В работе [2] защитные мероприятия рассмотрены как оправданные, если стоимость уменьшения коллективной дозы на 1 чел.-Зв в результате их проведения находится в интервале 10...20 тыс. долл. США.

Наиболее эффективными защитными мероприятиями в частном секторе (рис. 1) признаны - коренное улучшение сенокосов и пастбищ и применение ФСП в форме бифежа. При этом, по стоимости 1 чел.-Зв, данные мероприятия входят в диапазон, рекомендуемый МКРЗ, поэтому их можно с уверенностью использовать на всей загрязненной территории. На третье место по эффективности можно поставить МК, а на четвертое - обеспечение ЧГ за три месяца до убоя животных. Несмотря на то, что затраты на внесение минеральных удобрений выше, чем на применение "чистых" кормов, на 355 тыс. евро, стоимость 1 чел.-Зв в 2,6 раза ниже (86,1 и 223,8 тыс. евро, соответственно). Затраты на проведение двух данных мероприятий существенно ниже, чем проведение коренного улучшения земель и применение ФСП, и их можно рекомендовать для наиболее загрязненных районов с повышенным содержанием ^{137}Cs в говядине и картофеле. Наименее эффективные контрмеры: ограничения на сбор и употребление грибов, проведение дезактивации частных подворий и ограничения на содержание частных молочных коров. Стоимость внедрения этих контрмер на всей загрязненной территории со среднегодовой дозой облучения сельских жителей более 1 мЗв варьирует от 3 до 52,7 млн евро, а стоимость 1 чел.-Зв - от 240 до 320 тыс. евро. Таким образом, в отдаленный от аварии период эти контрмеры нецелесообразно применять во всех сельских населенных пунктах с превышением дозовых нормативов у жителей без точного радиолого-экономического анализа ситуации в наиболее загрязненных районах.

На основе классификации сельских населенных пунктов, были сформированы **стратегии защитных и реабилитационных мероприятий**, то есть комбинации различных контрмер, обеспечивающих снижение уровня облучения людей менее 1 мЗв год⁻¹. Оптимальные по этим критериям комбинации защитных мероприятий и объемы их применения были определены как для каждой из выделенных категорий населенных пунктов, так и различных периодов времени после аварии (адресная стратегия). Стратегия адресной реабилитации сельских населенных пунктов рассмотрена в работе [5], а поэтапный подход к реабилитации наиболее загрязненных населенных пунктов - в [3].

Для реабилитации сельских населенных пунктов, предлагалось 6 стратегий.

- А. Применение контрмер в настоящих объемах.
- В. Проведение в необходимых объемах коренного улучшения земель.
- С. Коренное улучшение земель в необходимых объемах с применением ФСП.

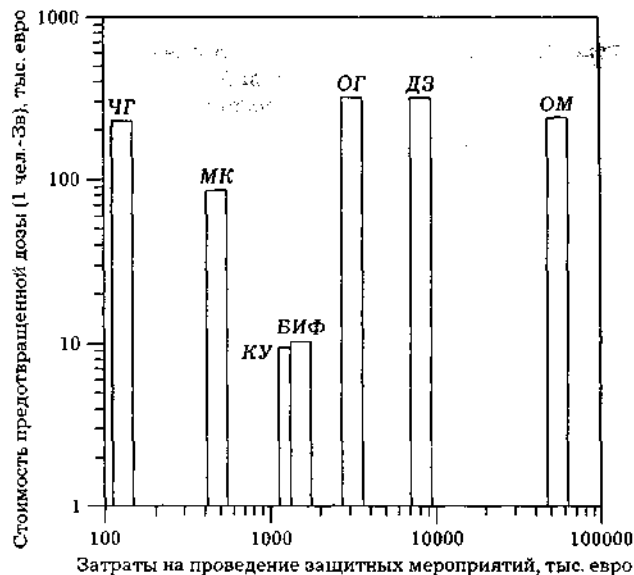


Рис. 1. Зависимость стоимости предотвращенной коллективной дозы от суммарных затрат при независимом применении защитных и реабилитационных мероприятий.

Д. Адресная стратегия проведения защитных мероприятий и поэтапная реабилитация населенных пунктов с высокими дозами облучения населения.

Е. Адресная и поэтапная реабилитация без дезактивации территории населенных пунктов с высокими дозами облучения жителей.

Ф. Адресная стратегия защитных мероприятий, а также введение (сохранение) ограничения на содержание частного скота и дезактивация территории населенных пунктов с высокими дозами облучения населения.

Все предлагаемые стратегии можно разбить на две группы: к первой отнесем применение сельскохозяйственных контрмер А, В и С. Затраты на внедрение этих мероприятий составляет 1,4...2,9 млн евро, а стоимость 1 чел.-Зв варьирует от 10 до 16 тыс. евро, что полностью удовлетворяет критериям эффективности, рекомендуемым МКРЗ (рис. 2). Проводимые в настоящее время защитные мероприятия (стратегия А) в рейтинге по затратам находятся между стратегиями В и С, причем смещены в сторону В. Это свидетельствует о том, что в сельских населенных пунктах, нуждающихся в реабилитации, в достаточных объемах проводят коренное улучшение земель, а в наиболее критических - применяют ФСП. Однако только сельскохозяйственные мероприятия не решают проблему реабилитации сельских населенных пунктов. В наиболее загрязненных из них выполнение закона "О радиационной безопасности населения" при внедрении стратегий А, В или С произойдет не ранее 2044 г., в худшем случае - к 2056 г. Адресная реабилитация без дезактивации территории наиболее загрязненных населенных пунктов (стратегия Е) гораздо менее эффективна, по сравнению со стратегией С, так как по срокам выполнения закона данные две стратегии совпадают, в то время как затраты на внедрение стратегии Е в 5,6 раза выше, чем С, стоимость 1 чел.-Зв также в 4,8 раз больше. Отличительная особенность самых затратных стратегий Д и Ф - максимально быстрое выполнение закона "О радиационной безопасности населения" (к 2036 г.) при их внедрении. Однако адресная стратегия защитных мероприятий, включающая поэтапную реабилитацию наиболее критических сельских населенных пунктов (Д), гораздо эффективнее, чем введение в этих населенных пунктах ограничения на содержание частного скота в течение всего периода, когда это необходимо (Ф). По сум-

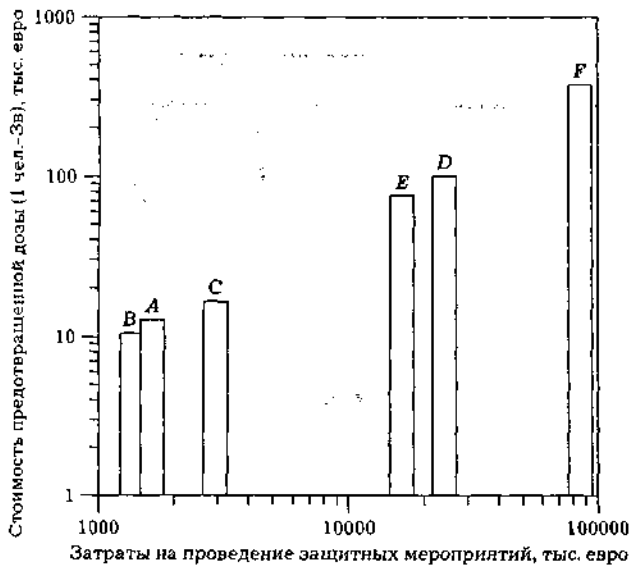


Рис. 2. Зависимость стоимости предотвращенной коллективной дозы от суммарных затрат при внедрении различных стратегий защитных и реабилитационных мероприятий.

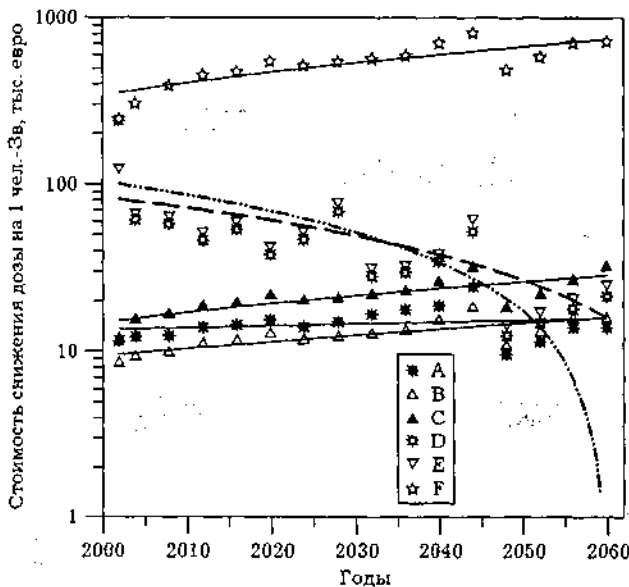


Рис. 3. Динамика изменения стоимости снижения коллективной дозы на 1 чел.-Зв при внедрении различных стратегий защитных и реабилитационных мероприятий.

марным затратам и стоимости 1 чел.-Зв стратегия D экономичнее F в 3,7 раза.

Стоимость 1 чел.-Зв, предотвращенного в результате защитных и реабилитационных мероприятий, по определению, зависит от величины примененной дозы и затраченных на это средств. Очевидно, что при повсеместном использовании какого-либо защитного мероприятия (или их комплексов), сначала должно наблюдаться некоторое снижение этого показателя, а со временем - рост. Это связано с тем, что средства, затрачиваемые на контрмеры, будут прежними, а результативность снижения доз облучения или загрязнения продукции уменьшится из-за естественного распада ¹³⁷Cs.

Для частного сектора сельских населенных пунктов была оценена динамика изменения стоимости 1 чел.-Зв во времени при внедрении рассматриваемых стратегий защитных и реабилитационных мероприятий (рис. 3). У всех стратегий, за исключением D и E, наблюдается рост стоимости предотвращенной

дозы во времени. Это связано с тем, что A, B, и C, основанные на применении сельскохозяйственных защитных мероприятий, подразумевают внедрение их на всей загрязненной территории в полном объеме. В стратегию F, как элемент, также входит ограничение на содержание частного скота в наиболее загрязненных населенных пунктах в течение всего периода времени, пока в этом сохраняется необходимость. Однако, если для сельскохозяйственных контрмер рост составит от 1,2 до 2,5 раза, то для F стоимость 1 чел.-Зв при ее внедрении увеличится в три раза, что еще раз подчеркивает крайнюю неэффективность сохранения ограничительных мероприятий длительное время. Стоимость 1 чел.-Зв в стратегиях D и E со временем снижается, поскольку они основаны на дифференцированном внедрении защитных мероприятий в необходимом объеме для каждой из выделенных при классификации групп населенных пунктов. Особенно это уменьшение наблюдается у стратегии D (в 12 раз) из-за того, что на первый год ее внедрения приходятся максимальные затраты, связанные с проведением дезактивации подворий. У стратегии E (то же, что и у D, но без дезактивации) такое снижение стоимости 1 чел.-Зв выделяется в меньшей степени (до пяти раз).

Если рассматривать эффективность стратегий реабилитации сельских населенных пунктов с точки зрения рекомендаций МКРЗ (10..20 тыс. долл. США за 1 чел.-Зв), то этому критерию соответствуют только стратегии A и B. Стратегия C становится неэффективной с 2024-2028 гг., так как стоимость 1 чел.-Зв с этого времени будет превышать 20 тыс. евро. Стратегии D и E будут эффективными с 2048 г., а стратегию F вообще не стоит рассматривать, так как стоимость предотвращенной дозы при ее применении от 10 до 35 раз превышает верхнюю границу эффективности, рекомендуемую МКРЗ. В то же время такого рода оценки нельзя рассматривать как однозначные. Например, рекомендованные МКРЗ стратегии A и B абсолютно неэффективны при выполнении закона "О радиационной безопасности населения", которому необходимо отдавать приоритет.

Таким образом, обеспечение скорейшего возвращения загрязненных районов к обычным условиям ведения сельского хозяйства на основе внедрения той или иной стратегии определяется средствами, выделяемыми на их реализацию.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гигиенические требования безопасности и пищевой ценности продуктов: 2.3.2. Продовольственное сырье и пищевые продукты. СанПиН 2.3.2.1078-01.-М.: Минздрав России, 2002.
2. Оптимизация радиационной защиты на основе анализа соотношения затраты - выгода//Публикация 37 МКРЗ.-М.: Энергоатомиздат, 1985.
3. Панов А.В., Фесенко С.В., Алексахин Р.М. Эффективность мероприятий, направленных на снижение доз облучения жителей сельских населенных пунктов в отдаленный период после аварии на Чернобыльской АЭС //Радиационная биология. Радиоэкология. 2001. Т. 41. № 6.
4. Панов А.В., Фесенко С.В., Пахомов А.Ю и др. Мероприятия по снижению радионуклидов в продукции коллективных хозяйств после аварии на Чернобыльской АЭС //Вестник РАСХН. 2005. № 1.
5. Фесенко С.В., Панов А.В. Сравнительный анализ эффективности стратегий применения защитных мероприятий в сельских населенных пунктах в отдаленный период после аварии на Чернобыльской АЭС//Радиационная биология. Радиоэкология. 2002. Т. 42. № 1.
6. Фесенко С.В., Панов А.В., Алексахин Р.М. Методический подход к обоснованию защитных мероприятий в сельских населенных пунктах в отдаленный период после аварии на Чернобыльской АЭС//Радиационная биология. Радиоэкология. 2001. Т. 41. № 4.

ЭКОЛОГИЯ