

Экология

УДК 911.37:621.039

ОПТИМИЗАЦИЯ ЗАЩИТНЫХ МЕРОПРИЯТИЙ В СЕЛЬСКИХ НАСЕЛЁННЫХ ПУНКТАХ В ЗОНЕ АВАРИИ НА ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АЭС

А.В. Панов, С.В. Фесенко, академик Россельхозакадемии Р.М. Алексахин

Оценена эффективность защитных мероприятий в сельских населённых пунктах, пострадавших от аварии на ЧАЭС, на основе многокритериального подхода, используя радиологические, экономические и социально-психологические показатели. Представлены рейтинги контрмер и их комбинаций в зависимости от отдельных аспектов реабилитационных работ.

Для оптимизации защитных мероприятий в сельскохозяйственном производстве обычно используют анализ «затраты-выгода», который приводит экономические и радиологические показатели к единой стоимостной шкале - стоимости предотвращённой коллективной дозы (1 чел.-Зв) [1]. Однако следует отметить, что на эффективность контрмер значительное влияние оказывает и социальный фактор - восприятие их населением. В работах [2, 3] показано, что эффект по снижению доз облучения от применения контрмер тем выше, чем меньше их внедрение изменяет привычный уклад или условия жизни людей. Поэтому выбор наиболее оптимальных защитных мероприятий следует проводить на основе комплексного анализа их характеристик: радиологических, экономических и социально-психологических. В работе [4] нами предложен метод оценки эффективности защитных мероприятий на основе многокритериального подхода с использованием компьютерных систем поддержки принятия решений. Рассмотрен ряд альтернативных стратегий (то есть комбинаций различных контрмер) реабилитации загрязнённых территорий Российской Федерации, пострадавших от аварии на ЧАЭС. Определены наиболее оптимальные стратегии для различных вариантов финансирования реабилитационных работ. Однако с практической точки зрения для лиц, вовлечённых в проведение защитных мероприятий, а также населения в той или иной степени испытывающего на себе действие контрмер, более важным является рассмотрение их эффективности на уровне отдельно взятого населённого пункта. Это позволит оптимизировать применение защитных мероприятий в реальных условиях и добиться от их внедрения максимальной пользы при наименьших затратах.

Целью настоящей работы была сравнительная оценка эффективности отдельных защитных мероприятий и их комбинаций на основе многокритериального подхода с использованием современных компьютерных систем поддержки принятия решений.

Методика. Оценку эффективности защитных мероприятий проводили на примере сельского населённого пункта «Веприн» Клинецкого района Брянской области, являющегося типичным для региона аварии. Для расчётов использовали статистически обработанные данные мониторинговых наблюдений по содержанию ^{137}Cs в сельскохозяйствен-

ной и природной продукции, потреблённой населением в 2001-2003 гг. Необходимо отметить, что в этот период времени с целью снижения загрязнения ^{137}Cs молока частных молочных коров была проведена их обработка ферроцинсодержащими препаратами (ФСП). Это позволило снизить содержание ^{137}Cs в молоке в среднем в 1,9 раза. Поэтому для объективной оценки эффективности защитных мероприятий было рассчитано ожидаемое загрязнение молока в отсутствие проведения контрмер в соответствии с моделью, описанной в работе [5].

Метод оценки эффективности защитных мероприятий на основе многокритериального подхода базируется на использовании весовых коэффициентов, устанавливаемых для характеристик (параметров) контрмер с последующим их сравнением, приведённым к единой шкале. Реализация метода проведена с помощью системы поддержки принятия решений PRIME Decisions [6], адаптированной для решения задач оптимального планирования защитных мероприятий. В структуре системы для создания модели по принятию решения о выборе оптимальной контрмеры необходимо выполнить ряд последовательных операций:

I. *Определение параметров защитного мероприятия*, в числе которых рассматривали:

- предотвращённая в ходе применения контрмер коллективная доза облучения населения;
- затраты на проведение защитных мероприятий;
- приемлемость защитных мероприятий.

II. *Формирование набора контрмер*, являющихся альтернативами определённым выше параметрам, первые два из которых количественные, а «приемлемость» - качественный показатель (отражает восприятие защитного мероприятия населением и его технологичность). Для количественной оценки данного параметра выделены 6 уровней приемлемости в числовом масштабе от 0 до 100: от «очень низкого» (5) до «очень высокого» (90).

III. *Ранжирование защитных мероприятий*, состоящее из оценок счёта и веса параметров альтернатив. Оценка счёта включает порядковые и кардинальные ранжирования эффективности контрмер отдельно для каждого параметра. Порядковое ранжирование определяет предпочтение одной защитной меры над другой, а кардинальное - диапазон изменяющегося при этом параметра (кратность)

контрмеры. Оценка удельного веса каждого параметра проводится на основе экспертного анализа их значимости. Вес параметров оценивали в пределах от 0 до 100. В настоящей работе рассматривали три различных аспекта реабилитационных работ: дозовый, финансовый и социальный (табл. 1). В каждом из трех случаев приоритет отдавался тому или иному параметру контрмер, учитывая при этом остальные.

Табл. 1. Значения весовых коэффициентов параметров защитных мероприятий для различных вариантов реализации многокритериального подхода

Параметр	Вариант оценки эффективности		
	дозовый	финансовый	социальный
Предотвращенная коллективная доза	100-100	70-90	30-50
Затраты на проведение защитных мероприятий	30-50	100-100	70-90
Приемлемость защитных мероприятий	70-90	30-50	100-100

IV. Определение оптимальной контрмеры. Результатом многокритериального анализа является оценка индексов эффективности (ИЭ) каждого защитного мероприятия и превосходства одной контрмеры над другой. ИЭ выдаются пользователю в виде интервалов ценности совокупных параметров. Абсолютное превосходство наблюдается в случае, когда интервалы ценности не накладываются друг на друга. Если происходит значительное перекрытие интервалов ценности и ни одной из контрмер нельзя отдать явное предпочтение, тогда пользователю предлагается 4 варианта помощи для поддерж-

ки принятия решения (maximax, maximin, central values и minimax regret), заключающиеся в рассмотрении различных вероятностных подходов выбора оптимальной альтернативы. Maximax (оптимистический вариант) предполагает, что вероятность принятия правильного решения находится в верхней части интервалов ценности альтернатив. Maximin (пессимистический вариант) предполагает учёт негативных последствий при выборе альтернативы. Central values - оценка средних значений интервалов ценности так называемый ИЭ. Minimax regret учитывает потери, которые могут быть понесены в результате принятия решения о выборе той или иной альтернативы [4].

Результаты и обсуждение. При обосновании перечня защитных мероприятий основное внимание уделялось контрмерам, направленным на снижение загрязнения ^mCs молока, являющегося основным источником поступления этого радионуклида с пищевыми продуктами [7]. Затраты на применение защитных мероприятий рассчитывали исходя из их реальной стоимости, а оценка приемлемости проведена на основе опросов населения и лиц, занимающихся разработкой и внедрением контрмер. Как видно из табл. 2, они значительно различаются по своим характеристикам, что приводит к необходимости оценки их эффективности на основе многокритериального подхода.

На рис. 1 представлены результаты многокритериального анализа защитных мероприятий для трёх вариантов оценки их эффективности. При дозовом варианте (рис. 1А), когда приоритет отдается контр-

Табл. 2. Параметры защитных и реабилитационных мероприятий

Защитное мероприятие	Суммарные затраты, тыс. ЕВРО*	Предотвращенная коллективная доза, чел.-Зв*	Приемлемость, балл
Коренное улучшение сенокосов и пастбищ (КУ)	3,27	0,226	90
Ферроцинсодержащие препараты (ФСР)	1,61	0,226	50
Ограничение на содержание частных коров (ОМ)	23,11	0,329	5
«Чистые» корма для свиней (ЧС)	1,35	0,007	25
Минеральные удобрения для картофеля (МК)	0,98	0,01	75

*Расчёты выполнены для применения контрмер в течение одного года

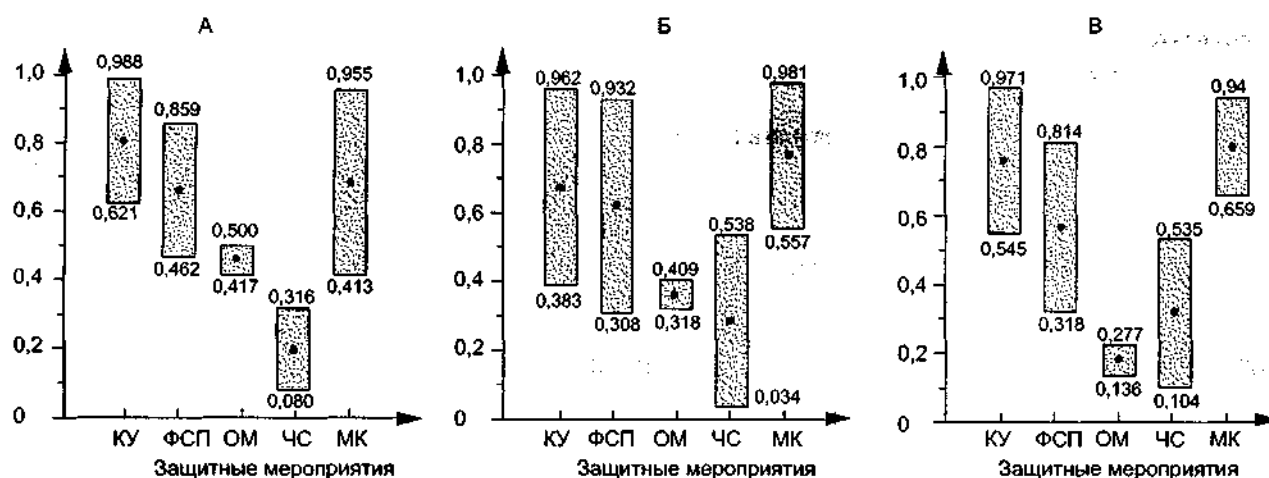


Рис. 1. Интервалы индексов эффективности (на оси ординат) защитных мероприятий (обозначения в тексте и табл. 2) при дозовом (А), финансовом (Б) и социальном (В) вариантах оценки эффективности реабилитационных работ.

мерам, максимально снижающим коллективные дозы облучения населения, наиболее эффективно коренное улучшение сенокосов и пастбищ (КУ). Применение минеральных удобрений для снижения содержания ¹³⁷Cs в картофеле (МК) и ферроцинсодержащих препаратов для коров (ФСП) практически схоже по эффективности. На третье место можно поставить ограничительное мероприятие - запрет на потребление молока от частных коров и обеспечение местных жителей привозным «чистым» молоком (ОМ). И самой неэффективной является организационная контрмера - обеспечение свиней «чистыми» кормами за 3 мес до убоя (ЧС).

При рассмотрении эффективности защитных мероприятий с финансовой точки зрения (рис.1 Б), когда приоритетными являются наименее затратные контрмеры, наиболее предпочтительно применение МК. Менее эффективными, но с достаточно высоким показателем индекса, являются проведение КУ и применение ФСП. Остальные мероприятия оказались неэффективными.

Оценка эффективности защитных мероприятий, учитывая социальный аспект реабилитационных работ (рис. 1В), показала, что наиболее приемлемыми контрмерами, вызывающими минимальные социально-психологические изменения у населения, являются МК и КУ, менее эффективными - ФСП, неэффективными - ОМ и ЧС. Однако, если в первых двух рассматриваемых вариантах ОМ было более эффективно по критерию экономии дозы и затратам, то при социальном аспекте оценок это мероприятие имеет самый низкий ИЭ.

Из приведенного анализа видно, что при любом варианте оценки реабилитационных работ наиболее эффективными являются сельскохозяйственные контрмеры: коренное улучшение сенокосов и пастбищ, применение ферроцинсодержащих препаратов и внесение минеральных удобрений под картофель. ИЭ этих мероприятий варьируют в зависимости от

рассматриваемого аспекта, однако не выходят за границы диапазона 0,6-0,8. Введение (или сохранение) ограничительных мероприятий, а также применение «чистых» кормов перед убоем животных в отдаленный период после аварии обладают наименьшей эффективностью и не могут быть рекомендованы к применению в сельских населенных пунктах.

Из трех наиболее эффективных сельскохозяйственных мероприятий были сформированы четыре комбинации с различным сочетанием контрмер и оценены их параметры (табл. 3). Приемлемость комбинаций оценивали как среднее приемлемости входящих в них отдельных защитных мероприятий.

Табл.3. Параметры комбинаций защитных мероприятий

Комбинация	Суммарные затраты, тыс. ЕВРО*	Предотвращенная коллективная доза, чел.-Зв*	Приемлемость, балл
КУ+ФСП (А)	4.87	0,301	70
КУ+МК (В)	4.24	0,236	83
ФСП+МК (С)	2.58	0,236	63
КУ+ФСП+МК (D)	5.85	0,311	72

* Расчеты выполнены для применения контрмер в течение одного года

Первичная оценка результатов многокритериального анализа рассматриваемых вариантов не позволяет с достаточной точностью определить, что же является более эффективным: применение отдельных защитных мероприятий или их комбинаций. Учитывая достаточно большую вариабельность ИЭ рассматриваемых альтернатив, необходимо более детально изучить различные аспекты реабилитационных работ с привлечением дополнительных инструментов системы поддержки принятия решения PRIME Decisions.

Сравнение эффективности защитных мероприятий с дозовых позиций (рис.2А) позволяет выделить на первое место комбинацию D, в которую входят все три сельскохозяйственные защитные мероприятия. Эта комбинация выделяется системой поддер-

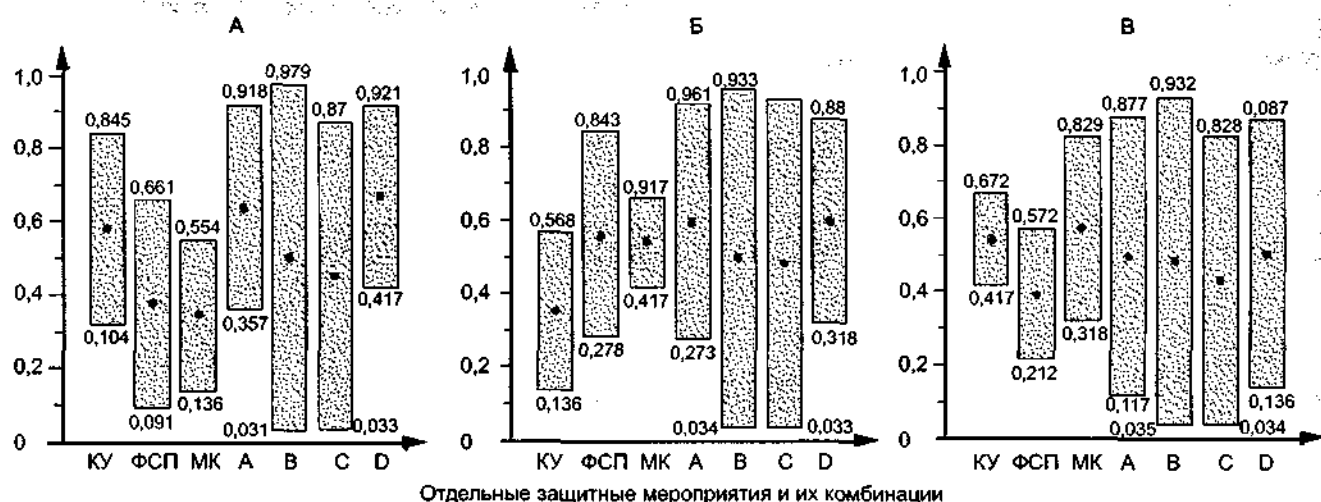


Рис.2. Интервалы индексов эффективности (на оси ординат) отдельных защитных мероприятий и их комбинаций (обозначения см.табл.3), А, Б, В см.рис.1.

жки принятия решения как самая эффективная в трёх случаях из четырёх (табл. 4). Практически схожей с ней результативностью обладает комбинация А (КУ + ФСП), а по индексу возможных потерь (minimax regret) она сравнима с комбинацией D. На второе место в ряд эффективности можно вынести комбинацию В (КУ+ МК). ИЭ у КУнесколько выше, чем у комбинации В, однако эта комбинация самая эффективная по показателю maximax. Далее со снижением действенности следуют комбинация С (ФСП+МК), независимое применение ФСП, а также отдельное применение МК.

Табл.4. Наиболее эффективные защитные мероприятия и их комбинации, выделенные системой PRIME Decisions по 4 вариантам помощи поддержки принятия решения

Вариант оценки эффективности	Вариант			
	maximax	maximin	central values	minimax regret
Дозовый	В	D	D	DHA
Финансовый	В	МК	D	DHA
Социальный	В	КУ	МК	КУ

Таким образом, учитывая ИЭ каждой альтернативы и воспользовавшись различными вариантами помощи системы поддержки принятия решения, был определён рейтинг защитных мероприятий и их комбинаций для различных вариантов оценки эффективности реабилитационных работ.

Дозовый вариант:

$$(КУ+ФСП + МК) > (КУ+ФСП)ЖУ = (КУ+МК) > (ФСП+МК) > ФСП > МК.$$

Финансовый вариант:

$$(КУ + ФСП + МК) \geq (КУ + ФСП) > ФСП = МК = (КУ + МК) > (ФСП + МК) > КУ.$$

Социальный вариант:

$$КУ \geq МК > (КУ + ФСП) = (КУ + ФСП + МК) = (КУ + МК) > (ФСП + МК) > ФСП.$$

Из приведённых рейтингов видно, что в большинстве случаев наиболее эффективным способом снижения доз облучения населения является комбинированное применение всех трёх сельскохозяйственных защитных мероприятий. Несколько менее результативно использование сочетания двух контрмер, основой которых является проведение коренного улучшения сенокосов и пастбищ. Необходимо

отметить что, как правило, использование комбинации КУ + ФСП более эффективно, чем сочетание КУ+МК. Применение варианта ФСП + МК является наименее действенной мерой из всех рассматриваемых комбинаций. Эффективность отдельных защитных мероприятий варьирует в зависимости от рассматриваемого аспекта реабилитационных работ, однако она обычно ниже, чем у выделенных выше комбинаций, в основе которых лежит проведение коренного улучшения сенокосов и пастбищ.

Интегрирование полученных результатов многокритериального анализа позволило сформировать обобщённый рейтинг эффективности защитных мероприятий (и их комбинаций), учитывающий все рассмотренные аспекты реабилитационных работ:

$$(КУ + ФСП + МК) > (КУ + ФСП) > (КУ + МК) > >КУ>МК> (ФСП + МК) > ФСП.$$

Приведённые результаты показывают достаточную гибкость предлагаемого метода поддержки принятия решений по внедрению защитных мероприятий в частном секторе сельских населённых пунктов, пострадавших от аварии на Чернобыльской АЭС. Использование компьютерных систем для многокритериального анализа эффективности контрмер позволяет учесть весь комплекс радиологических, экономических и социально-психологических факторов. Это в свою очередь даёт возможность определять наиболее оптимальные комбинации защитных мероприятий в реальных условиях.

Литература. 1. *Оптимизация радиационной защиты на основе анализа соотношения затраты - выгода.* Публикация 37 МКРЗ. - М.: Энергоатомиздат, 1985. 1. *The International Chernobyl Project. Technical Report.* Vienna: IAEA, 1991. 3. *Скрябин А.М. II Роль творческого наследия акад. ВАСХНИЛ В.М. Ключковского в решении современных проблем сельскохозяйственной радиологии.* / Матер. Науч.-практ. конф. XXIX радиоэкол. чтения, посвящ. памяти учёного. - М., 2001. *А. Панов А.В., Фесенко С.В., Алексахин Р.М. II Радиационная биология. Радиоэкология.* - 2005. - Т. 45. - Вып. 1. 5. *Панов А.В. Оценка эффективности применения защитных мероприятий, направленных на снижение доз облучения сельского населения в отдалённый период после аварии на ЧАЭС: Канд дис., 2001. b. Gustafsson J. PRIME: An Introduction and Assessment.* Helsinki, 1999. 1. *Фесенко С.В., Алексахин Р.М., Санжарова Н.И. и др. II Радиационная биология. Радиоэкология.* - 1999. - Т. 39. - Вып. 5.

Всероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной радиологии и агроэкологии, 249030, Калужская обл. Поступила в редакцию 15.11.04

Panov A.V., Fesenko S.V., Alexakhin R.M. Optimization of countermeasures in rural settlements in the zone affected by the Chernobyl NPP accident

The effectiveness of countermeasures in rural settlements affected by the Chernobyl accident has been assessed based on a multi-attribute approach, using radiological, economic and socio-psychological parameters. Ratings are provided of countermeasures and their combinations depending on individual aspects of the rehabilitative works.