

УДК 614.876

ОПТИМИЗАЦИЯ ЗАЩИТНЫХ МЕРОПРИЯТИЙ ПО РЕАБИЛИТАЦИИ СЕЛЬСКИХ ТЕРРИТОРИЙ, ПОДВЕРГШИХСЯ ВОЗДЕЙСТВИЮ ОТ АВАРИИ НА ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АЭС

А.В. ПАНОВ, Ю.А. РЫБАЛКО,
Н.А. СОТНИКОВА

ВСЕРОССИЙСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ РАДИОЛОГИИ И АГРОЭКОЛОГИИ РАСХН

Представлены характеристики компьютерной системы поддержки принятия решений ReSCA по реабилитации сельских населенных пунктов, подвергшихся воздействию от аварии на ЧАЭС. На примере населенных пунктов Злынковского района Брянской области, разработан комплекс оптимальных защитных мероприятий по их адресной реабилитации. Представлен сравнительный анализ двух вариантов реабилитации с учетом экономического фактора и социальной приемлемости контрмер. Оценены затраты, необходимые для проведения адресной реабилитации. Определены рейтинги защитных мероприятий в зависимости от рассматриваемых аспектов реабилитационных работ. Наиболее эффективными являются защитные мероприятия, направленные на снижение доз внутреннего облучения населения.

Ключевые слова: авария на ЧАЭС, защитные мероприятия, радиационная безопасность, дозы облучения населения, системы поддержки принятия решений, оптимизация реабилитации.

По прошествии более 27 лет после аварии на Чернобыльской АЭС проблемы обеспечения радиационной безопасности населения, проживающего на радиоактивно загрязненных территориях России, остаются актуальными. В 6 юго-западных районах Брянской области расположены 293 населенных пункта, в которых среднегодовые дозы облучения жителей превышают 1 мЗв/год (в 11 из них доза выше 5 мЗв/год) [2], и в которых согласно закону «О радиационной безопасности населения» необходимо проведение защитных

CURRENT APPROACHES TO OPTIMIZATION OF COUNTERMEASURES ON REMEDIATION OF RURAL AREAS AFFECTED BY THE CHERNOBYL ACCIDENT

A.V. PANOV, YU.A. RYBALKO,
N.A. SOTNIKOVA

Characteristics are presented of the computer system for decision making support - ReSCA on the remediation of rural settlements affected by the Chernobyl accident. As an illustration, using the ReSCA system, a range of optimal countermeasures have been developed for some settlements of the Zlynkovsky district in the Bryansk region of Russia for their address rehabilitation. A comparative analysis was carried out of two remediation versions, taking into account the economic factor and social acceptance of countermeasures. Costs of address remediation settlements of the Zlynkovsky district are estimated. Countermeasures are ranged based on the remediation actions needed. Protective measures aimed at reducing doses of internal exposure of the population are shown to be most effective.

KEYWORDS: accident of Chernobyl NPP, countermeasures, radiation safety, irradiation of population, system of support of decision-making, optimization of rehabilitation.

мероприятий [7]. Потребление жителями этих населенных пунктов сельскохозяйственных и природных пищевых продуктов с содержанием радионуклидов, не отвечающим установленным стандартам, является основным источником формирования внутреннего облучения. Учитывая, что вклад данного вида облучения может достигать 50% и более от суммарной дозы, а его регулирование экономически и технически более эффективно, чем внешнего облучения [1], внедрение защитных мероприятий, направленных на снижение

доз внутреннего облучения, является основой обеспечения безопасного проживания населения на загрязненных радионуклидами территориях.

В отдаленный период после аварии на ЧАЭС при реабилитации радиоактивно загрязненных территорий необходимо ведение сельскохозяйственного производства таким образом, чтобы виды, масштаб и длительность проведения защитных мероприятий были оптимальными и обеспечивали максимально возможное снижение доз облучения населения при минимальных затратах с учетом социальной приемлемости контрмер. Это особенно важно в условиях сложной социально-экономической обстановки в регионе, пострадавшем от аварии. В работе [5] предложен метод оценки эффективности защитных мероприятий, основанный на многокритериальном анализе радиологических, экономических, нормативных и социально-психологических показателей, характеризующих применение контрмер. На основе разработанного метода, с использованием компьютерной системы поддержки принятия решений PRIME Decisions [13] рассмотрены различные стратегии реабилитации территории России, пострадавшей от аварии на ЧАЭС [5], а в работе [6] проведена сравнительная оценка эффективности отдельных защитных мероприятий и их комбинаций на примере одного населенного пункта. Каждый населенный пункт имеет свои особенности: уровни загрязнения радионуклидами территории и прилегающих сельскохозяйственных угодий, содержание радионуклидов в сельскохозяйственной и природной пищевой продукции, характеристики почвенного покрова, применяемые защитные мероприятия, поголовье сельскохозяйственных животных и т.д., что будет влиять на состав контрмер, объемы их применения и необходимые затраты. Вследствие этого, для каждого населенного пункта с дозой облучения жителей, превышающей 1 мЗв/год, необходима разработка индивидуальных программ применения защитных мероприятий – адресная реабилитация.

Цель настоящей работы – определение перечня оптимальных контрмер и затрат на их внедрение, как на локальном (населенный пункт), так и на региональном уровне для сельских территорий, пострадавших от аварии на ЧАЭС. Для решения этих задач был изучен один из наиболее радиоактивно загрязненных районов Брянской области – Злынковский, а оценки проводились с помощью современной компьютерной системы поддержки принятия решений по оптимизации проведения долгосрочных защитных мероприятий в населенных пунктах с эффективной годовой дозой выше 1 мЗв – ReSCA.

ХАРАКТЕРИСТИКА КОМПЬЮТЕРНОЙ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ RESCA

Система поддержки принятия решений «Стратегии реабилитации после Чернобыльской аварии»

(ReSCA – Remediation Strategies after the Chernobyl Accident) представляет собой компьютерную программу, позволяющую определять состав и объем наиболее эффективных контрмер с учетом радиологических, почвенных и административно-хозяйственных характеристик населенных пунктов, а также наличия финансовых и материальных ресурсов. Оптимизация защитных мероприятий на уровне населенного пункта, района и области осуществляется на основе минимизации затрат на единицу предотвращенной коллективной дозы с учетом социальной приемлемости контрмер. Данная программа была разработана при реализации проекта МАГАТЭ по техническому сотрудничеству RER/9/074 «Стратегии долгосрочных защитных мероприятий и мониторинг облучения населения сельских территорий, пострадавших после Чернобыльской аварии» [16]. Система ReSCA основывается на использовании данных о конкретных населенных пунктах, а также на стандартном алгоритме оценки доз облучения критических групп населения [4]. В настоящее время основным дозообразующим радионуклидом является ^{137}Cs , поэтому программа была разработана для оптимизации контрмер по защите населения от облучения, связанного именно с этим радионуклидом. Программа ReSCA состоит из четырех основных опций: исходные данные, параметры модели, расчет эффективности контрмер и результаты расчетов [16].

1. *Исходные данные.* Эта опция предназначена для ввода информации, характеризующей населенный пункт. Она имеет двухуровневую структуру, состоящую из данных, специфичных для населенного пункта, и сведений об участках, используемых для выпаса скота. Специфичные данные разделяются на две группы: идентификационные (определяют административную принадлежность населенного пункта) и данные, относящиеся к расчету дозы облучения населения. Последние включают следующие показатели:

- число жителей в населенном пункте, чел.;
- фактор влияния грибов на формирование дозы внутреннего облучения населения;
- плотность загрязнения территории населенного пункта ^{137}Cs , кБк/м²;
- удельная активность ^{137}Cs в свинине и картофеле местного производства, а также в местных грибах, Бк/кг;
- молочная и мясная продуктивность на корову, л(кг)/год.

Данные уровня участка содержат информацию о каждом пастбище, которое используется жителями населенного пункта для выпаса личных коров, и включают в себя:

- среднюю плотность загрязнения участка ^{137}Cs , кБк/м²;
- поголовье частных коров, выпасаемых на участке, гол.;

- удельную активность ^{137}Cs в молоке и говядине, Бк/л(кг);
- долю коров, для которых в период измерения активности молока использовались ферроцинсодержащие препараты (радиопротекторы);
- структуру почвенного покрова (доли песчаных, суглинистых, глинистых и торфяных почв);
- долю площади участка, к которой ранее уже применялось коренное улучшение;
- параметр, характеризующий возможность проведения коренного улучшения участка.

Данные о населенном пункте позволяют оценить среднегодовую эффективную и коллективную дозы облучения жителей. При отсутствии прямой информации о загрязнении ^{137}Cs продуктов питания она может быть с достаточной точностью восстановлена по данным о загрязнении почвы ^{137}Cs и типовых агрегированных коэффициентах перехода (КП), относящихся к различным по механическому составу группам почв.

II. *Параметры модели.* Для оценки доз облучения населения и эффективности защитных мероприятий в программе используются модельные параметры, которые включают:

- рацион питания населения;
- эффективность защитных мероприятий;
- период действия контрмер;
- стоимость защитных мероприятий;
- степень приемлемости контрмер;
- дозовые коэффициенты.

Учитывая, что некоторые параметры могут меняться во времени, например, стоимость защитных мероприятий, рацион питания и др., в этом блоке предусмотрена возможность внесения изменений. В тоже время, в программе заложены все необходимые параметры, которые были определены экспертами МАГАТЭ для региона аварии на ЧАЭС. Так, например, состав рациона питания сельских жителей определяется для пяти основных радионуклидсодержащих дозообразующих продуктов питания через их

А.В. ПАНОВ,
Ю.А. РЫБАЛКО, Н.А. СОТНИКОВА
ОПТИМИЗАЦИЯ ЗАЩИТНЫХ МЕРОПРИЯТИЙ
ПО РЕАБИЛИТАЦИИ СЕЛЬСКИХ ТЕРРИТОРИЙ,
ПОДВЕРГШИХСЯ ВОЗДЕЙСТВИЮ ОТ АВАРИИ
НА ЧЕРНОВЫЛЬСКОЙ АЭС

среднегодовое потребление человеком (молоко – 100 л, говядина – 6 кг, свинина – 40 кг, картофель – 180 кг и грибы – 3 кг).

На основе накопленных в последние годы новых данных об эффективности защитных мероприятий [10, 11], а также новых подходов к планированию контрмер по реабилитации радиоактивно загрязненных территорий и защите населения [14], в системе ReSCA рассматривается возможность применения семи различных типов защитных мероприятий:

- 1) коренное улучшение сенокосов и пастбищ (RI);
- 2) поверхностное улучшение сенокосов и пастбищ (SI);
- 3) применение ферроцинсодержащих препаратов для коров (FA);
- 4) использование чистого корма для свиней (FP);
- 5) внесение минеральных удобрений под картофель (MF);
- 6) проведение информационной кампании о правилах и рекомендациях по сбору, обработке и потреблению грибов в зонах загрязнения (IM);
- 7) дезактивация территории населенного пункта (RS).

Первые шесть защитных мероприятий направлены на снижение доз внутреннего облучения населения за счет уменьшения содержания ^{137}Cs в продуктах питания, а последняя контрмера применяется для снижения дозы внешнего облучения жителей населенных пунктов. Параметры защитных мероприятий, используемых программой ReSCA для оценки их эффективности, представлены в табл. 1. Следует отметить, что стоимость контрмер, направленных на снижение содержания ^{137}Cs в молоке (RI, SI, FA), оценена из расчета затрат на одну корову, а остальных контрмер – на одного жителя населенного пункта. Параметр «приемлемость» определяет восприятие населением защитного мероприятия и его результатов, и определяется методом экспертных оценок путем опросов населения и специалистов, принимающих решение о проведении контрмер на местах. Так, в случае, если за-

ТАБЛИЦА 1.

Характеристика защитных мероприятий в СППР ReSCA [16]

Защитное мероприятие	Эффективность – кратность снижения	Период действия (годы)	Стоимость (Евро)	Приемлемость
RI	4 (молоко, говядина)	4	350*	1
SI	1,5 (молоко, говядина)	4	300*	1
FA	3 (молоко), 2 (говядина)	1	30*	0,75
FP	3 (свинина)	1	6**	0,6
MF	2 (картофель)	1	0,8**	1
IM	1,5 (грибы)	4	3**	0,5
RS	1,5 (внешнее облучение)	27	325**	0,1

* – расчет на одну корову, ** – расчет на одного жителя

щитное мероприятие приветствуется населением, ему присваивается значение – 1, при негативном отношении к нему населения, ставится показатель – 0,1.

III. *Расчет эффективности контрмер.* В данной опции существует возможность ввода данных об объемах финансовых средств, которые могут быть затрачены на реабилитацию населенных пунктов, и для определения значимости фактора стоимости контрмер (от 0 до 1). При факторе стоимости 1, оптимизация проводится на основе выбора самых экономически выгодных мероприятий, а при факторе 0 предпочтение отдается контрмерам, которые в максимальной степени приветствуются населением. В настоящей работе рассмотрены оба этих сценария. Разработка 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.

IV. *Результаты расчетов.* Пользователю выводится отчет в табличном и графическом виде о сформированной стратегии реабилитации, который включает список наиболее эффективных защитных мероприятий, информацию о дозах облучения населения (внешних, внутренних и суммарных) до и после применения контрмер, представляются количественные оценки предотвращенных коллективных доз облучения населения, их стоимость и затраты, необходимые на внедрение контрмер.

В выполненных ранее исследованиях [12, 15] даны оценки эффективности реабилитационных мероприятий в населенных пунктах России, Украины и Республики Беларусь на основе мониторинговых данных 2000–2005 гг., выполненные в предыдущих версиях программы ReSCA. Для настоящего исследования использовалась последняя версия программы ReSCA 2011 г., где наложены некоторые ограничения на параметры, характеризующие количество жителей в населенном пункте (минимум 10 чел.) и поголовье сельскохозяйственных животных (от 5 гол.), которые используются при расчетах, с учетом новых рекомендаций экспертов МАГАТЭ. В случае, если в населенном пункте эти показатели меньше установленных, то дозы облучения населения рассчитываются, а стратегия реабилитации не строится ввиду нецелесообразности.

АНАЛИЗ НЕОБХОДИМОСТИ ПРОВЕДЕНИЯ РЕАБИЛИТАЦИИ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ ЗЛЫНКОВСКОГО РАЙОНА БРЯНСКОЙ ОБЛАСТИ

Исследование проведено на примере одного из наиболее радиоактивно загрязненного района Брянской области – Злынковского. Для оценки ситуации по обеспечению радиационной безопасности в населенных пунктах этого района, в них был проведен ком-

плексный радиоэкологический мониторинг, а также собраны данные по административно-хозяйственным и демографическим характеристикам [3, 8]. Для населенных пунктов использовались официальные данные о плотности загрязнения ^{137}Cs их территории, приведенные в работе [9]. Сведения о плотности загрязнения ^{137}Cs сенокосов и пастбищ, а также загрязнении растительной продукции (картофель) были получены по результатам радиационного мониторинга, проводимого Брянским Центром «Агрохимрадиология» Минсельхоза РФ и ГНУ ВНИИСХРАЭ Россельхозакадемии. Данные по загрязнению ^{137}Cs продукции животноводства (молоко, мясо) получены путем периодического радиационного контроля, проводимого межрайонными радиологическими ветеринарными лабораториями Россельхознадзора РФ, а по загрязнению ^{137}Cs природных продуктов питания (грибов) – организациями, подведомственными Рослесхозу РФ.

В настоящее время (на 01.01.2013 г.) в Злынковском муниципальном районе проживает 12297 чел. в 2-х городских (г. Злынка и пгт. Вышков) и 28 сельских населенных пунктах. Проведенные исследования позволили собрать полную информацию о 23 населенных пунктах, т.к. в ряде из них число жителей не превышает 10 чел. или не ведутся личные подсобные хозяйства. Из полученных сведений о населенных пунктах сформировали базу данных для оценки доз облучения населения и разработки, в случае необходимости, их адресной реабилитации в системе поддержки принятия решений ReSCA (рис. 1).

Анализ результатов радиоэкологического мониторинга показал (табл. 2), что в населенных пунктах Петровка, Гута и Добродеевка наблюдается превышение нормативов СанПиН 2.3.2.1078-01 и СанПиН 2.3.2.2650-10 по удельной активности ^{137}Cs в молоке и говядине. Также, практически во всех населенных пунктах (кроме Злынки, Кожановки, Барановки, и Петрятинки) отмечается превышение санитарно-гигиенических нормативов по содержанию ^{137}Cs в грибах. Из данных табл. 2 видно, что в настоящее время наиболее критическими с точки зрения облучения населения являются 16 населенных пунктов (среднегодовые дозы облучения населения превышают 1 мЗв/год). В этот перечень также вошли два городских населенных пункта (г. Злынка и пгт. Вышков), поскольку их жители содержат частный скот и в их рационе питания преобладают продукты местного производства. Согласно Закону «О радиационной безопасности населения» в этих населенных пунктах необходимо проводить комплекс защитных и реабилитационных мероприятий.

АДРЕСНАЯ РЕАБИЛИТАЦИЯ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ ЗЛЫНКОВСКОГО РАЙОНА БРЯНСКОЙ ОБЛАСТИ

В программе ReSCA для каждого населенного пункта Злынковского района, где отмечено превыше-

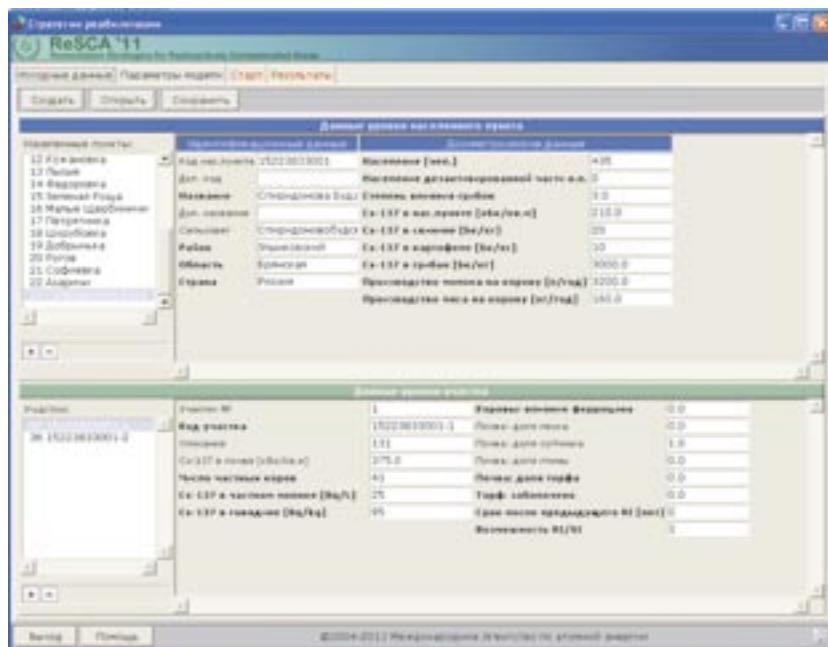


Рис. 1.

База данных населенных пунктов Злынковского района в СППР ReSCA

ние доз облучения населения, были рассчитаны стратегии их адресной реабилитации. При этом рассматривались два варианта оценок: «экономический», т.е. предпочтение при оптимизации отдается самым мало затратным контрмерам и «социальный», когда приоритетом при выборе защитных мероприятий является отношение к ним местного населения. Сформированные стратегии адресной реабилитации с учетом двух подходов включают оптимальный набор контрмер и последовательность их применения. Рейтинг защитных мероприятий в системе ReSCA определялся по критерию стоимости сэкономленной дозы (1 чел. – Зв) от наименьшей до максимальной или затратам на применение контрмер.

Адресная реабилитация на локальном уровне

В качестве примера адресной реабилитации на локальном уровне, в настоящей работе рассмотрен населенный пункт Петровка Злынковского района Брянской области, который является типичным для региона аварии на Чернобыльской АЭС. В этом населенном пункте проживает 73 чел., которые содержат 5 коров. Плотность загрязнения территории населенного пункта ¹³⁷Cs составляет 377 кБк/м², а пастбища 635 кБк/м². Среднегодовая доза внешнего облучения составляет 0,63 мЗв, а внутреннего облучения от потребления местных продуктов питания 1,11 мЗв, т.е. доля внутреннего облучения в суммарной дозе составляет 64%. В табл. 3 представлены две стратегии адресной реабилитации данного населенного пункта.

Для снижения суммарной дозы облучения жителей Петровки при «социальном» варианте оценок рекомендуется применение 5 типов контрмер: RI, FA, IM, MF – для снижения дозы внутреннего облучения и RS – для уменьшения дозы внешнего облучения (табл. 3). Самым эффективным мероприятием для данного населенного пункта является проведение коренного улучшения пастбища (RI), на котором проводится выпас частных коров. Внедрение такого типа мероприятий позволит снизить дозу внутреннего облучения населения на 32%. При этом затраты

составят 70 тыс. руб., а стоимость предотвращенной дозы не превысит 935 тыс. руб./чел. – Зв. Далее по эффективности следует применение ферроцинсодержащих препаратов (FA) для всего поголовья частных коров после чего доза внутреннего облучения населения будет снижена еще на 11%. Затраты на применение ферроцина будут минимальны (6 тыс. руб.), а стоимость предотвращенной дозы составит 1,0 млн руб./чел. – Зв. Следующим, достаточно эффективным мероприятием, будет проведение информационной кампании по сбору, обработке и потреблению грибов в зонах загрязнения (IM). Затраты на проведения этой кампании будут несколько выше, чем при применении FA (9,2 тыс. руб.), а стоимость предотвращенной дозы составит уже более 1,5 млн руб./чел. – Зв. Проведение информационной кампании приведет к снижению дозы внутреннего облучения жителей Петровки дополнительно на 10%. Небольшие затраты (около 2,5 тыс. руб.) потребуются на применение минеральных удобрений под картофель, при этом доза внутреннего облучения населения снизится не намного (6%), а стоимость предотвращенной дозы будет достаточно высокая, 2,4 млн руб./чел. – Зв.. Таким образом, за счет осуществления комплекса сельскохозяйственных и информационных защитных мероприятий доза внутреннего облучения жителей этого населенного пункта уменьшится на 0,65 мЗв/год. Однако суммарная доза облучения населения при этом останется несколько выше установленного законом порога и составит 1,09 мЗв/год. Это потребует проведения дезактивации наиболее загрязненной радионуклидами территории населенного пункта (RS). Это позволит снизить дозу внешнего облучения на 0,1 мЗв/год и в итоге суммарная доза облучения населения составит 0,99 мЗв/год. Учитывая, что

ТАБЛИЦА 2.

Характеристика населенных пунктов Злынковского района Брянской области на 2013 г.

Поселение	Населенный пункт	Население, чел. [8]	Удельная активность ¹³⁷ Cs в продуктах питания местного производства, Бк/кг(л)					Доза облучения населения, рассчитанная в СППР ReSCA, мЗв/год		
			молоко	говядина	свинина	картофель	грибы	внешнего	внутреннего	суммарного
Злынковское городское	д. Петровка	73	130*	380	90	20	1500	0,63	1,11	1,74
Вышковское городское	г. Злынка	5477	40	145	60	35	500	1,23	0,5	1,74
	пгт. Вышков	2590	50	170	70	40	3200	1,46	0,74	2,2
	д. Гута	61	215	640	160	30	1500	1,16	1,67	2,82
Денисовичское сельское	с. Добродеевка	440	135	405	145	30	1500	1,03	1,34	2,37
	с. Денисовичи	438	35	120	30	10	2500	0,65	0,62	1,27
	с. Лысье	259	45	130	75	50	1500	0,53	0,93	1,47
Роговское сельское	д. Федоровка	20	65	190	60	12	1500	0,43	0,76	1,18
	с. Рогов	484	20	80	20	10	850	0,46	0,34	0,81
	п. Добрынька	20	65	190	80	15	1500	0,57	0,81	1,38
Спиридоновобудское сельское	п. Софиевка	304	65	190	90	20	2000	0,67	0,95	1,61
	с. Спиридонова Буда	435	25	95	20	10	3000	0,45	0,67	1,12
	с. Азаричи	37	20	55	20	5	870	0,14	0,32	0,46
	д. Карпиловка	335	30	85	65	15	2875	0,48	0,91	1,38
	п. Озерище	48	20	65	25	10	1040	0,56	0,41	0,97
	д. Кожановка	284	20	65	10	5	350	0,09	0,2	0,28
Щербиничское сельское	д. Барановка	21	10	25	20	5	500	0,14	0,19	0,34
	с. Большие Щербиничи	302	30	115	35	15	1410	0,76	0,59	1,35
	п. Еловка	47	45	135	65	15	2780	0,46	0,97	1,43
	с. Малые Щербиничи	305	30	95	55	10	1500	0,41	0,61	1,02
	д. Зеленая Роща	20	55	165	60	10	1500	0,37	0,71	1,07
	с. Петрятинка	218	25	95	15	5	500	0,27	0,22	0,5
	д. Шурубовка	23	40	125	50	10	1500	0,34	0,63	0,98

* – цветом выделено превышение радиологических нормативов

затраты на дезактивацию самые большие – 260 тыс. руб., и стоимость предотвращенной дозы также велика – 2,2 млн руб./чел. – Зв, ее проведение, в данном случае, не является целесообразным. Применение и других типов защитных мероприятий, направленных на снижение доз внутреннего облучения, также будет необоснованно, так как по стоимости предотвращенной дозы они окажутся еще более дорогостоящими, чем проведение дезактивационных работ. Суммарные затраты на «социальный» вариант реабилитации на-

селенного пункта Петровка составят с дезактивацией 348 тыс. руб., а без нее около 90 тыс. руб.

В случае проведения «экономического» варианта реабилитации перечень защитных мероприятий будет тот же, что и в «социальном», но по эффективности на первый план выйдет применение ферроцинсодержащих препаратов для коров. Как и в первом рассмотренном случае, для выполнения закона «О радиационной безопасности» в населенном пункте Петровка в большей степени подходит вариант внедрения сель-

ТАБЛИЦА 3.

Адресная реабилитация населенного пункта Петровка Злынковского района (рейтинг защитных мероприятий составлен по стоимости предотвращенной дозы)

Мероприятие	Стоимость, тыс. руб.	Суммарная среднегодовая доза облучения, мЗв		Стоимость предот- вращенной дозы, тыс. руб./чел.– Зв
		до мероприятий	после мероприятий	
Стратегия 1 (приоритет приемлемости контрмер)				
Проведение коренного улучшения лугопастбищных угодий	70	1,74	1,38	933,33
Применение ферроцинсодержащих препаратов для коров	6	1,38	1,26	1000,0
Информационная кампания о правилах сбора, переработки и потребления грибов	9,2	1,26	1,15	1533,33
Дезактивация территории населенного пункта	260	1,15	1,05	2166,67
Применение минеральных удобрений под картофель	2,4	1,05	0,99	2400,0
Итого	347,6	1,74	0,99	1671,15
Стратегия 2 (приоритет стоимости контрмер)				
Применение ферроцинсодержащих препаратов для коров	6	1,74	1,4	333,33
Проведение коренного улучшения лугопастбищных угодий	70	1,4	1,27	1111,11
Информационная кампания о правилах сбора, переработки и потребления грибов	9,2	1,27	1,16	1533,33
Дезактивация территории населенного пункта	260	1,16	1,05	2166,67
Применение минеральных удобрений под картофель	2,4	1,05	0,99	2400,0
Итого	347,6	1,74	0,99	1671,15

скохозайственных и информационных защитных мероприятий без проведения дезактивационных работ. Сравнительный анализ данных по оптимальному использованию самых эффективных сельскохозяйственных контрмер показывает, что экономическая эффективность коренного улучшения (RI) уступает эффективности применения ферроцина (FA) по затратам. Однако коренное улучшение имеет определенное преимущество, поскольку в результате создается пастбище, которое лучше приспособлено для производства молока и говядины с приемлемыми уровнями загрязнения ^{137}Cs и не накладывает ограничений на традиционный образ жизни местного населения, в то время как применение ферроцина необходимо продолжать на протяжении многих лет.

Адресная реабилитация на региональном уровне

С целью разработки системы адресной реабилитации на региональном уровне было проведено обобщение выполненных выше расчетов двух сценариев «социального» и «экономического» для всех населенных пунктов Злынковского района с дозой облучения жителей более 1 мЗв/год. При реабилитации населенных пунктов с учетом приемлемости контрмер общая

предотвращенная доза облучения населения составит 57,6 чел.–Зв (рис. 2-А), а при реабилитации на основе стоимости контрмер – 57,8 чел.–Зв (рис. 2-Б). Суммарная стоимость реабилитации населенных пунктов при стратегии, основанной на приемлемости защитных мероприятий, составит 104,44 млн руб., а при стратегии, основанной на стоимости контрмер несколько ниже – 103,52 млн руб. (табл. 4). Стоимость предотвращенных доз облучения населения при внедрении контрмер, основанных на приемлемости их населением будет 1 814 тыс. руб./чел.–Зв., а при стратегии, основанной на стоимости контрмер составит 1 792 тыс. руб./чел.–Зв.

Из рис. 2 также видно, что внедрение рассчитанных программой ReSCA систем защитных мероприятий в обоих случаях не приведет к снижению доз облучения населения до уровня менее 1 мЗв/год во всех населенных пунктах. Так, в 6 из них, с максимальными дозами облучения населения, применение всех возможных мероприятий не позволит добиться полного выполнения закона «О радиационной безопасности населения». В то же время, кратность снижения среднегодовых доз облучения жителей этих наиболее «критических» населенных пунктов, при внедрении

контрмер, будет достигать 1,7 раза, что является достаточно хорошим показателем. Анализ характеристик двух сценариев реабилитации показывает, что затраты на «экономический» вариант будут сходны со стоимостью стратегии применения контрмер по «социальному» варианту. Результат снижения числа населенных пунктов с дозой выше 1 мЗв/год по обоим вариантам адресной реабилитации будет также идентичен. Однако пути его достижения будут отличаться, т.е. номенклатура защитных мероприятий будет та же, а объемы контрмер различны (табл. 4).

Из данных табл. 4 видно, что наиболее затратными контрмерами при обоих вариантах реабилитации, будет дезактивация территории населенных пунктов. Так, при «социальном» варианте на дезактивацию будет приходиться до 95% из суммарных затрат, а при «экономическом» – до 97%, т.е. проведение дезактивационных работ приведет к удорожанию реабилитационных стратегий в несколько раз. Дезактивационные мероприятия также низко эффективны и по критерию стоимости предотвращенной дозы – 1 807 тыс. руб. при «социальном» и 1 805 тыс. руб. за 1 чел. – Зв при «экономическом» варианте реабилитации. Оценка эффективности мероприятий с точки зрения стоимости предотвращенной дозы показывает, что в случае «социального» варианта наиболее эффективной мерой будет внесение минеральных удобрений под картофель (стоимость предотвращенной дозы – 859 тыс. руб. за 1 чел. – Зв), а в случае «экономического» варианта реабилитации наиболее оптимальными будут два типа мероприятий: применение минеральных удобрений под картофель (стоимость

предотвращенной дозы – 882 тыс. руб. за 1 чел. – Зв), а также ферроцинсодержащих препаратов для коров (стоимость предотвращенной дозы – 969 тыс. руб. за 1 чел. – Зв). Таким образом, можно заключить, что сельскохозяйственные защитные мероприятия будут наиболее эффективными при реабилитации сельских населенных пунктов Злынковского района. Защитные мероприятия, направленные на снижение загрязнения ¹³⁷Cs молока, остаются ключевым фактором стратегий реабилитации. Тем не менее, дезактивация населенных пунктов оказывается необходимой частью стратегий из-за значимости внешнего облучения. Употребление в пищу грибов и других лесных продуктов вносит существенный вклад во внутреннее облучение населения, однако, контрмеры, направленные против этого пути поступления радионуклидов, не являются существенной частью стратегий реабилитации. Причина заключается в том, что в настоящее время отсутствуют другие защитные мероприятия, кроме информационной кампании (ИМ) по ограничению использования загрязненных ¹³⁷Cs даров леса, которые были бы способны эффективно и при низких затратах ограничить дозы, связанные с этим путем облучения.

Приведенные результаты показывают, что в отдаленный период после аварии на ЧАЭС, при разработке адресных стратегий реабилитации загрязненных территорий необходимо учитывать особенности каждого населенного пункта (радиологические, хозяйственные, демографические, почвенные, экономические, социально-психологические). Поэтому выбор наиболее оптимальных систем защитных и реабилитационных мероприятий должен проводить-

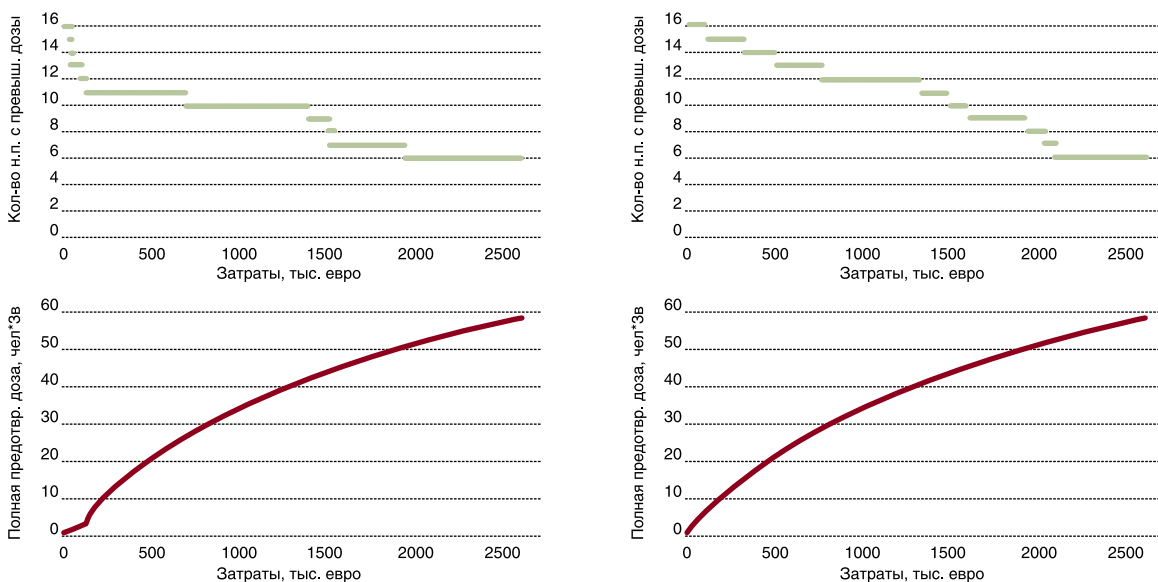


Рис. 2.

Характеристики стратегии адресной реабилитации населенных пунктов Злынковского района Брянской области с дозой облучения жителей более 1 мЗв/год (А – социальный и Б – экономический вариант)

ТАБЛИЦА 4.

Адресная реабилитация Злынковского района Брянской области (рейтинг составлен по затратам на применение контрмер)

Мероприятие	Стоимость, тыс. руб.	Предотвращенная доза, чел.–Зв	Стоимость предотвращенной дозы, тыс. руб./чел.–Зв
Стратегия 1 (приоритет приемлемости контрмер)			
Применение минеральных удобрений под картофель	378	0,44	859
Применение ферроцинсодержащих препаратов для коров	496	0,22	2255
Информационная кампания о правилах сбора, переработки и потребления грибов	687	0,38	1 808
Проведение коренного улучшения лугопастбищных угодий	4 080	1,86	2 194
Дезактивация территории населенного пункта	98 800	54,67	1 807
Итого	104 441	57,57	1 814
Стратегия 2 (приоритет стоимости контрмер)			
Применение минеральных удобрений под картофель	344	0,39	882
Применение ферроцинсодержащих препаратов для коров	504	0,52	969
Информационная кампания о правилах сбора, переработки и потребления грибов	689	0,37	1 862
Проведение коренного улучшения лугопастбищных угодий	2 016	1,11	1 816
Дезактивация территории населенного пункта	99 970	55,4	1 805
Итого	103 523	57,78	1 792

ся на основе всестороннего и комплексного анализа характеристик населенных пунктов, что можно осуществить только с помощью компьютерных систем поддержки принятия решений с использованием методов и алгоритмов, реализующих принципы радиационной защиты.

Литература

1. **АЛЕКСАХИН Р.М.** Проблемы радиоэкологии: Эволюция идей. Итоги. М.: Россельхозакадемия, ГНУ ВНИИСХРАЭ, 2006. 880 с.
2. **БРУК Г.Я., КУЧУМОВ В.В.** Итоги зонирования населенных пунктов, отнесенных к зонам радиоактивного загрязнения вследствие аварии на ЧАЭС, в 2011 году / Актуальные вопросы радиационной гигиены: Сб. тезисов конференции. СПб., 2012. С. 28–30.
3. Государственный доклад Управления федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека по Брянской области: «О санитарно-эпидемиологической обстановке в Брянской области в 2011 г.». Брянск, 2012. 115 с.
4. Оценка средних годовых эффективных доз облучения критических групп жителей населенных пунктов Российской Федерации, подвергшихся радиоактивному загрязнению вследствие аварии на Чернобыльской АЭС: Методические указания МУ 2.6.1.2003-05. М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2005. 19 с.
5. **ПАНОВ А.В., ФЕСЕНКО С.В., АЛЕКСАХИН Р.М.** Использование компьютерных систем при внедрении защитных мероприятий в сельском хозяйстве после аварии на ЧАЭС // Радиационная биология. Радиоэкология. 2005. Т. 45. Вып. 1. С. 16–25.
6. **ПАНОВ А.В., ФЕСЕНКО С.В., АЛЕКСАХИН Р.М.** Оптимизация защитных мероприятий в сельских населенных пунктах в зоне аварии на Чернобыльской АЭС // Доклады РАСХН. 2005. Вып. 3. С. 3–6.
7. Федеральный закон «О радиационной безопасности населения» от 9 января 1996 г. №3–ФЗ // Собрание законодательства Российской Федерации. 1996. №11. Ст. 1362. (с изменениями от 22.08.2004 г., 23.07.2008 г.): принят Государственной думой 05.12.1995 г.
8. Численность населения Брянской области по муниципальным образованиям в разрезе населенных пунктов на 1 января 2013 г. Статистический бюллетень. Брянск, 2013. 92 с.
9. **ШЕРШАКОВ В.М., БУЛГАКОВ В.Г., КАТКОВА М.Н., ЯХРЮШИН В.Н., БОРОДИН Р.В., УВАРОВ А.Д.** Радиоактивное загрязнение территории населенных

- пунктов Российской Федерации цезием-137, стронцием-90 и плутонием-(239+240) в результате чернобыльской аварии. М.: ООО «Информполиграф», 2012. 312 с.
10. FESENKO S.V., ALEXAKHIN R.M., BALONOV M.I., BOGDEVICH I.M., HOWARD B.J., KASHPAROV V.A., SANZHAROVA N.I., PANOV A.V., VOIGT G., ZHUCHENKO YU.M. Twenty years' application of agricultural countermeasures following the Chernobyl accident: lessons learned // Journal of Radiological Protection. 2006. Vol. 26. №4. P. 351–359.
 11. FESENKO S.V., ALEXAKHIN R.M., BALONOV M.I., BOGDEVICH I.M., HOWARD B.J., KASHPAROV V.A., SANZHAROVA N.I., PANOV A.V., VOIGT G., ZHUCHENKO YU.M. An extended critical review of twenty years of countermeasures used in agriculture after the Chernobyl accident // Science of the Total Environment. 2007. Vol. 383. №1–3. P. 1–24.
 12. FESENKO S., JACOB P., ULANOVSKY A., CHUPOV A., BOGDEVICH I., SANZHAROVA N., KASHPAROV V., PANOV A., ZHUCHENKA YU. Justification of remediation strategies in the long term after the Chernobyl accident // Journal of Environmental Radioactivity. 2013. Vol. 119. P. 39–47.
 13. GUSTAFSSON J. PRIME: An Introduction and Assessment. Helsinki, 1999. 80 p.
 14. International Atomic Energy Agency (2006) Environmental Consequences of the Chernobyl Accident and Their Remediation: Twenty Years of Experience. Report of the UN Chernobyl Forum Expert Group «Environment» (EGE). Vienna, IAEA; 2006. 166 p.
 15. JACOB P., FESENKO S., BOGDEVICH I., KASHPAROV V., SANZHAROVA N., GREBENSHIKOVA N., ISAMOV N., LAZAREV N., PANOV A., ULANOVSKY A., ZHUCHENKO Y., ZHURBA M. Rural areas affected by the Chernobyl accident: Radiation exposure and remediation strategies // Science of the Total Environment. 2009. Vol. 408. №1. P. 14–25.
 16. ULANOVSKY A., JACOB P., FESENKO S., BOGDEVICH I., KASHPAROV V., SANZHAROVA N. ReSCA: decision support tool for remediation planning after the Chernobyl accident // Radiation and Environmental Biophysics. 2011. Vol. 50. № 1. P. 67–83.

А.В. ПАНОВ,
Ю.А. РЫБАЛКО, Н.А. СОТНИКОВА
ОПТИМИЗАЦИЯ ЗАЩИТНЫХ МЕРОПРИЯТИЙ
ПО РЕАБИЛИТАЦИИ СЕЛЬСКИХ ТЕРРИТОРИЙ,
ПОДВЕРГШИХСЯ ВОЗДЕЙСТВИЮ ОТ АВАРИИ
НА ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АЭС

Панов Алексей Валерьевич,
д.б.н., заведующий сектором ВНИИ сельскохозяйственной радиологии и агроэкологии

✉ e-mail: riar@mail.ru

Рыбалко Юлия Александровна,
м.н.с. ВНИИ сельскохозяйственной радиологии и агроэкологии

✉ e-mail: happyfish-89@mail.ru

Сотникова Надежда Александровна,
м.н.с. ВНИИ сельскохозяйственной радиологии и агроэкологии

✉ e-mail: biology07@rambler.ru

✉ 249032, г. Обнинск, Калужская обл., Киевское ш.,
109 км., тел.: +7 (48439) 96959,