

СТРАТЕГИИ АДРЕСНОЙ РЕАБИЛИТАЦИИ СЕЛЬСКИХ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ ЮГО-ЗАПАДА БРЯНСКОЙ ОБЛАСТИ В ОТДАЛЕННЫЙ ПЕРИОД ПОСЛЕ АВАРИИ НА ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АЭС

Панов А.В., Микаилова Р.А., Кречетников В.В.

*Обнинский институт атомной энергетики НИЯУ МИФИ,
249039, Калужская обл., г. Обнинск, Студгородок 1*



Представлена система адресной реабилитации 71-го сельского населенного пункта пяти юго-западных районов Брянской области, пострадавших от аварии на Чернобыльской АЭС. Стратегии реабилитации разработаны на основе оценки современной радиационной и демографической обстановки, анализа хозяйственного использования территории и оптимизации внедрения семи технологий с применением компьютерных геоинформационных систем поддержки принятия решений ReSCA и ГИСППР. Показаны два подхода к восстановлению сельских населенных пунктов с учетом затрат на внедрение реабилитационных технологий и приемлемости их для населения. Оценка выполнена на локальном уровне для каждого населенного пункта с дозой облучения жителей выше 1 мЗв/год и региональном – обобщенном для пяти юго-западных районов Брянской области. Рассчитаны затраты на внедрение реабилитационных технологий для снижения дозовых нагрузок на население, которые оцениваются в пределах 1,23–1,33 млрд. руб. Определена потенциальная предотвращенная коллективная доза облучения населения при внедрении разработанных стратегий реабилитации в диапазоне 79–88 чел.-Зв, а также ее средняя стоимость на уровне 15,1–15,6 млн. руб./чел.-Зв. Отмечено, что за последние 15–20 лет общие затраты на реабилитацию населенных пунктов возросли в 4,7 раза и на 35% снизилась потенциальная экономия коллективной дозы облучения их жителей. Максимальная эффективность по снижению дозовых нагрузок на население сохраняется у аграрных технологий, направленных на снижение доз внутреннего облучения жителей населенных пунктов, включающих в себя поверхностное улучшение лугопастбищных угодий и применение ферроцинсодержащих препаратов для коров. Выделены 10 сельских населенных пунктов и технологий с максимальным эффектом по критерию стоимости предотвращенной коллективной дозы облучения жителей.

Ключевые слова: авария на ЧАЭС, радиоактивное загрязнение, ^{137}Cs , юго-западные районы Брянской области, население, дозы облучения, реабилитационные технологии, радиационная безопасность.

Для цитирования: Панов А.В., Микаилова Р.А., Кречетников В.В. Стратегии адресной реабилитации сельских населенных пунктов юго-запада Брянской области в отдаленный период после аварии на Чернобыльской АЭС. // Известия вузов. Ядерная энергетика. – 2024. – № 3. – С. 95–108. DOI: <https://doi.org/10.26583/npe.2024.3.08>

ВВЕДЕНИЕ

За 38 лет после аварии на Чернобыльской АЭС (ЧАЭС) проведена масштабная работа по реабилитации радиоактивно загрязненных территорий, включая населенные пункты (НП), сельское и лесное хозяйство [1–3]. Это привело к значительному улучшению радиационной обстановки в пострадавших от аварии на ЧАЭС областях и уменьшению доз облучения населения [4, 5]. В то же время в пяти юго-западных районах Брянской области все еще остаются НП со среднегодовой эффективной дозой облучения жителей (СГЭД₉₀) выше 1 мЗв [6, 7]. В 2017 г. по данным НИИ радиационной гигиены таких НП было 135 [4]. Согласно закону «О радиационной безопасности населения», в них необходимо продолжение работ по реабилитации и снижению дозовых нагрузок на население до законодательно установленного уровня. С учетом современной радиационной обстановки, рационов питания сельского населения юго-запада Брянской области [8–10] и демографической ситуации выполнены расчеты СГЭД₉₀ населения этого региона на 2023 г. Отмечено, что в настоящее время жилых НП со СГЭД₉₀ выше 1 мЗв – 72 (71 сельский НП и один – город Новозыбков) [11]. В этих поселениях формируются дополнительные к природному фону дозы облучения населения – внешнего за счет загрязнения ^{137}Cs территории НП и окружающих их ареалов (агроэкосистем и лесов), а также внутреннего вследствие потребления жителями местных сельскохозяйственных и природных пищевых продуктов с высоким содержанием радионуклида [12–14]. Поэтому проблемы возвращения НП юго-запада Брянской области со СГЭД₉₀ выше 1 мЗв к условиям нормальной жизнедеятельности по радиационному фактору остаются актуальными до сих пор [15].

Важность решения задач по реабилитации сельских НП не только в России, но и в Республике Беларусь и на Украине была отмечена МАГАТЭ еще на рубеже 2000-х годов. Агентство инициировало проект RER/9/074 «Стратегии долгосрочных защитных мероприятий и мониторинг облучения населения сельских территорий, пострадавших после Чернобыльской аварии». Результатом реализации этого проекта стало создание компьютерной системы поддержки принятия решений (СППР) по оптимизации внедрения реабилитационных технологий в отдаленный период после аварии на ЧАЭС – ReSCA. С помощью данной системы для сельских НП юго-западных районов Брянской области была разработана стратегия их адресной реабилитации [16]. Однако за последние 20 лет радиационная обстановка, а также демографическая, хозяйственная и экономическая ситуации в этих районах существенно изменились. Это требует пересмотра комплекса мер для реабилитации НП как по составу, так и по объемам необходимых технологий.

При обосновании мероприятий по реабилитации радиоактивно загрязненных после аварии на ЧАЭС территорий необходимо учитывать, что агросфера, т.е. производство в регионе пищевых продуктов с повышенным содержанием ^{137}Cs , являлась наиболее критичным звеном в дозоформировании населения на всех этапах после аварии на ЧАЭС

[2, 3, 5]. Поэтому реабилитационные технологии в сельском хозяйстве являются ключевым элементом по снижению доз внутреннего облучения населения юго-западных районов Брянской области [3, 5, 17]. В условиях неоднородности радиоактивного загрязнения зоны аварии и разнообразия агроландшафтов для выбора наиболее эффективных мероприятий (максимальное снижение доз облучения населения при минимальных затратах) создана СППР по реабилитации радиоактивно загрязненных сельских территорий (прежде всего сельхозугодий) юго-западных районов Брянской области на основе ГИС-технологий в программном пакете ArcGis [18]. ReSCA и ГИСППР позволяют детально охарактеризовать населенные пункты этого региона с их ареалами и разработать оптимальные стратегии реабилитации на современном этапе после аварии на ЧАЭС.

Цель работы – обоснование стратегий адресной реабилитации сельских населенных пунктов юго-западных районов Брянской области с превышением доз облучения жителей на основании многокритериального анализа с использованием компьютерных систем поддержки принятия решений и ГИС-технологий.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Комплекс технологий по адресной реабилитации разработан для каждого из 71-го сельского НП юго-запада Брянской области со СГЭД₉₀ выше 1 мЗв [11]. При этом расчеты велись на двух уровнях: локальном – индивидуально для каждого НП и региональном – района и области в целом. В исследуемых сельских НП в 2023 г. проживало 25,2 тыс. чел., которые содержали 240 частных коров (табл. 1).

Таблица 1

Характеристика сельских населенных пунктов юго-запада Брянской области со СГЭД₉₀ выше 1 мЗв в 2023 г.

Район	Число НП	Число жителей, чел.	Число частных коров, гол	Диапазон среднегодовых доз облучения, мЗв		
				внешнее	внутреннее	суммарное
Гордеевский	16	7448	127	0,63–1,44	0,38–0,79	1,01–2,23
Злынковский	8	8770	12	0,66–1,47	0,37–1,59	1,03–2,63
Клинцовский	7	972	10	0,65–0,87	0,41–0,53	1,06–1,41
Красногорский	7	492	39	0,75–3,95	0,26–1,35	1,01–5,29
Новозыбковский	33	7507	52	0,62–1,52	0,39–1,02	1,01–2,45
Всего	71	25189	240	0,62–3,95	0,26–1,59	1,01–5,29

В системы поддержки принятия решений ReSCA и ГИСППР по каждому НП были собраны, проанализированы и введены следующие данные, необходимые как для расчета доз внутреннего и внешнего облучения населения, так и для обоснования наиболее эффективных реабилитационных технологий (рис. 1):

- административная характеристика НП (район, область, число жителей);
- плотность загрязнения ¹³⁷Cs территории НП;
- хозяйственные показатели (используемые населением лугопастбищные угодья, поголовье частного скота с привязкой к участкам выпаса, молочная и мясная продуктивность частных коров, расстояние НП от леса для учета роли природной продукции в дозоформировании и др.);

ЭКОЛОГИЯ ЯДЕРНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

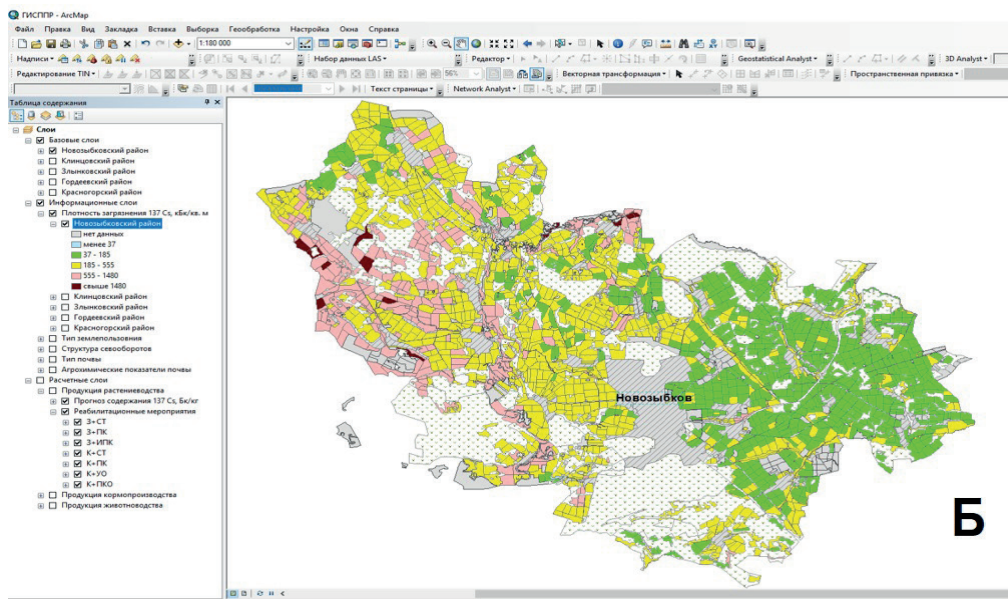
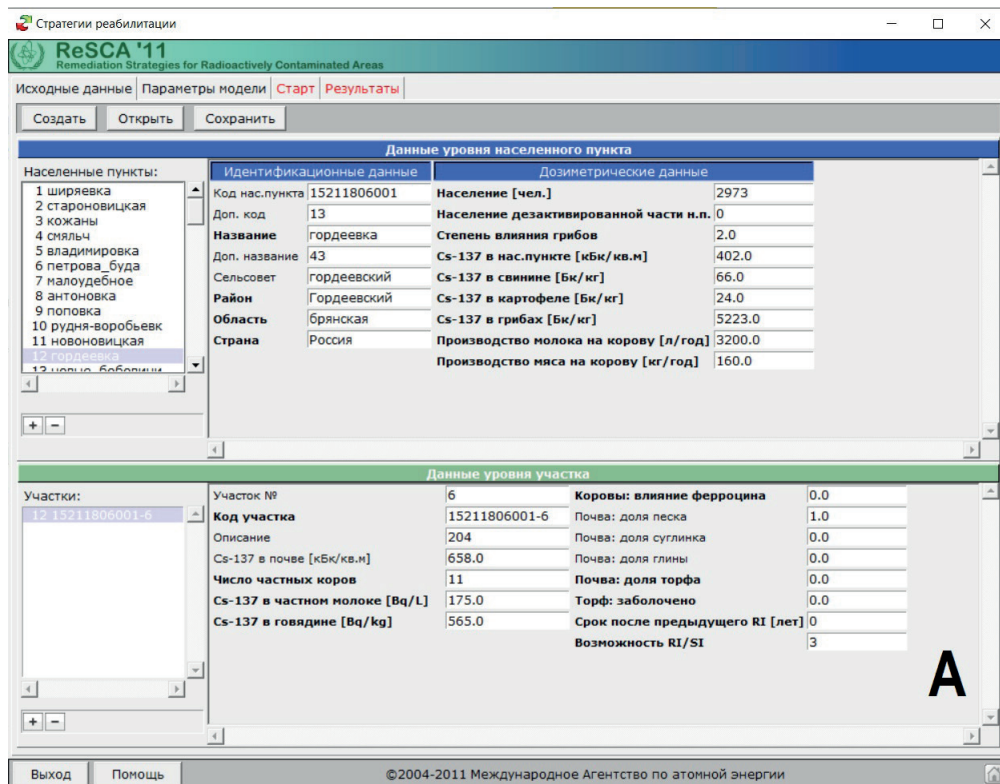


Рис. 1. Системы поддержки принятия решений для обоснования адресной реабилитации сельских населенных пунктов и сельхозугодий, пострадавших от аварии на ЧАЭС: А – ReSCA, Б – ГИСППР ArcGis

• характеристики сенокосов и пастбищ (плотность загрязнения ¹³⁷Cs, механический состав почв, исторические данные по реабилитации лугопастбищных угодий и др.);

- информация о пищевой корзине населения (годовое потребление молока, говядины, свинины, картофеля, грибов, коэффициенты снижения содержания ^{137}Cs в продуктах питания при кулинарной обработке);

- результаты радиационного контроля пищевых продуктов местного производства;
- характеристика реабилитационных технологий (радиологическая эффективность, стоимость внедрения, период действия, приемлемость для населения).

Каждая из представленных в СППР ReSCA альтернативных технологий включает в себя перечень операций, направленных на уменьшение содержания ^{137}Cs в местных продуктах питания или дозы внешнего облучения населения [16]. Так улучшение кормовых угодий для частного скота состоит из мероприятий по расчистке участка выпаса (в варианте коренного улучшения), его перепашке (в случае коренного улучшения – глубокой, поверхностного – стандартной), снижению кислотности почвы за счет внесения извести, применению повышенных доз агроメリорантов (минеральных и органических), посеву многолетних трав с низким накоплением радионуклида. Критерий «Приемлемость» отражает восприятие населением реабилитационной технологии от 0,1 (отрицательное) до 1,0 (положительное). Для удобства расчетов эффективности реабилитационных технологий с учетом размеров НП и хозяйственной активности населения стоимости мероприятий приведены к одному жителю или на одну голову частных коров (табл. 2).

Таблица 2

Характеристика технологий в СППР ReSCA по снижению доз облучения сельского населения

№	Защитные и реабилитационные технологии (аббревиатура)	Кратность снижения ^{137}Cs (дозы), раз	Период действия, годы	Стоимость, тыс. руб. в 2023 г.	Приемлемость для населения, отн. ед.
1	Коренное улучшение лугопастбищных угодий (КУ)	4 (молоко, говядина)	4	149,8*	1
2	Поверхностное улучшение лугопастбищных угодий (ПУ)	1,5 (молоко, говядина)	4	67,1*	1
3	Применение ферроцинсодержащих препаратов для коров (ФСП)	3 (молоко), 2 (говядина)	1	17,4*	0,75
4	«Чистый» корм для свиней (ЧКС)	3 (свинина)	1	2,0**	0,6
5	Минеральные удобрения под картофель (МУК)	2 (картофель)	1	9,5**	1
6	Информирование населения о правилах сбора и переработки грибов (ИНГ)	1,5 (грибы)	2	0,9**	0,5
7	Удаление загрязненной ^{137}Cs почвы на территории населенного пункта (УЗП)	1,5 (внешнее облучение)	27	94,0**	0,1

* – на одну корову; ** – на одного жителя

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Для 71-го сельского НП юго-запада Брянской области со СГЭД₉₀ выше 1 мЗв с помощью систем поддержки принятия решений ReSCA и ГИСППР рассчитаны два варианта реабилитации: «экономический», когда предпочтение отдается менее затратным технологиям, и «социальный», т.е. выбор мероприятий, наиболее приемлемых для заинтересованных

сторон, например, населения. Обе стратегии включают в себя расчеты для всех НП (локальный уровень) и районов (региональный). Рейтинг эффективности реабилитационных технологий основан на анализе их комплексных показателей – стоимости предотвращенной коллективной дозы облучения населения (1 чел.-Зв) от минимальной до максимальной.

Стратегия адресной реабилитации на локальном уровне

Примером адресной реабилитации на локальном уровне является типичный для региона аварии сельский НП Веприн Клинцовского района Брянской области. Этот НП был выбран в качестве тестового для оценки эффективности реабилитационных технологий при реализации проекта МАГАТЭ RER/9/074 [19]. В настоящее время в НП Веприн проживает 69 человек. Плотность загрязнения его территории ^{137}Cs составляет 352 кБк/м², лугопастбищных угодий варьируется в пределах 120–340 кБк/м², при этом почвы части участков выпаса являются торфяно-болотными с максимальными параметрами миграции радионуклида. СГЭД₉₀ внешнего облучения населения составляет 0,76 мЗв, а внутреннего (от потребления местных продуктов) 0,63 мЗв, т.е. доля внутреннего облучения жителей НП Веприн в суммарной дозе 45%.

При «экономическом» подходе к реабилитации НП Веприн наиболее эффективными по критерию стоимости предотвращенной дозы являются агротехнологии, направленные на снижение дозы внутреннего облучения населения – применение ферроцинсодержащих препаратов для коров (ФСП) и поверхностное улучшение лугопастбищных угодий (ПУ). Для снижения дозы внешнего облучения СППР рекомендует удалить верхний, загрязненный ^{137}Cs , слой почвы (УЗП) на 14% наиболее социально значимой территории населенного пункта (магазин, медпункт, подворья, остановка транспорта). В завершение стратегии следует провести информирование населения о правилах сбора и переработки грибов (ИНГ). Внедрение такой комбинации мероприятий позволит снизить СГЭД₉₀ до уровня 1 мЗв (рис. 2-А).

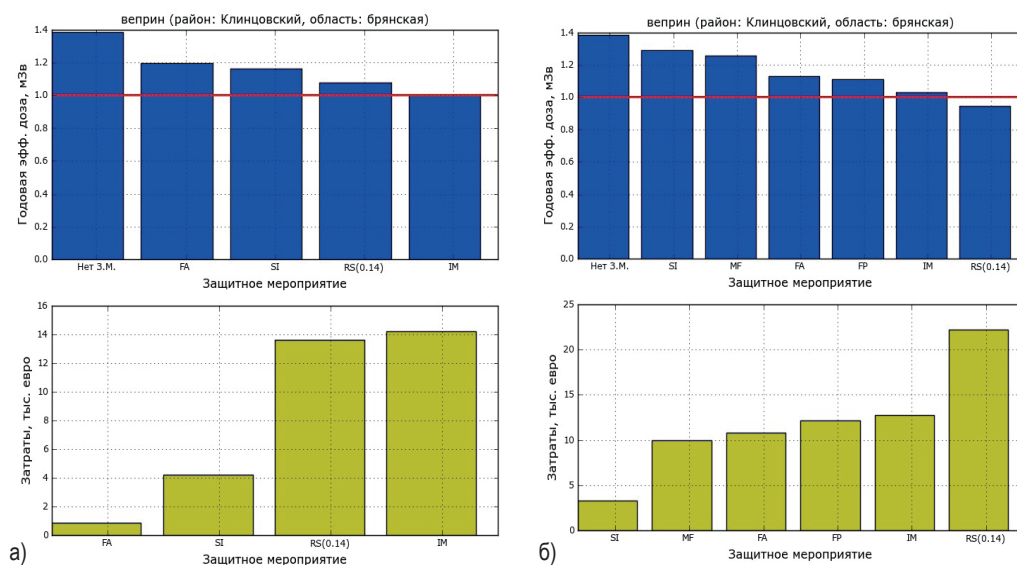


Рис. 2. Отчет СППР ReSCA по стратегиям адресной реабилитации НП Веприн Клинцовского района Брянской области в 2024 г.: а) – экономический и б) – социальный варианты оценок (FA – ФСП, SI – ПУ, RS – УЗП, IM – ИНГ, MF – МУК, FP – ЧКС; 1 Евро = 100 руб.)

При «социальном» варианте реабилитации номенклатура мероприятий будет шире и включать в себя ПУ → МУК → ФСП → ЧКС → ИНГ → УЗП (рис. 2б). Рейтинг эффективности рекомендуемых технологий показывает, что и в случае «социального» варианта реабилитации стоимость предотвращенной дозы будет минимальна при внедрении сельскохозяйственных мероприятий. Однако общие затраты окажутся выше по сравнению с «экономическим» вариантом в 1,6 раза. Стоит отметить, что применение УЗП является наиболее дорогостоящей мерой при любом рассматриваемом сценарии реабилитации и ее внедрение можно рекомендовать лишь в НП с высокими дозами внешнего облучения населения. Таким образом, для НП Веприн наиболее предпочтительным является «экономический» вариант реабилитации как по общим затратам на применение технологий (1,42 млн. руб. в ценах 2024 г.), так и по их номенклатуре (четыре типа мероприятий). При этом сельскохозяйственные и информационные технологии являются наиболее эффективными по радиолого-экономическому критерию.

Стратегия адресной реабилитации на региональном уровне

После обобщения расчетов по реабилитации отдельных населенных пунктов сформированы общие стратегии восстановления территории юго-западных районов (табл. 3) и в целом по Брянской области (рис. 3). Так по «экономическому» варианту оценок общие затраты на реабилитацию данного региона составят 1,33 млрд. руб. При этом предотвращенная коллективная доза будет 88 чел.-Зв, а ее стоимость 15,06 млн. руб./чел.-Зв. Для сравнения в табл. 3 приведены аналогичные показатели на начало 2000-х годов. Видно, что современные затраты на реабилитацию в 4,7 раза превышают стоимость таких работ в 2006 г., что обусловлено преимущественно инфляционными процессами и в меньшей степени изменением количества НП со СГЭД₉₀ выше 1 мЗв. 20 лет назад за счет адресной реабилитации НП исследуемых районов можно было сэкономить 130 чел.-Зв при более низкой средней стоимости предотвращенной дозы – 2,2 млн. руб./чел.-Зв. Таким образом, с течением времени после аварии затраты на экономию дозы населения существенно возрастают.

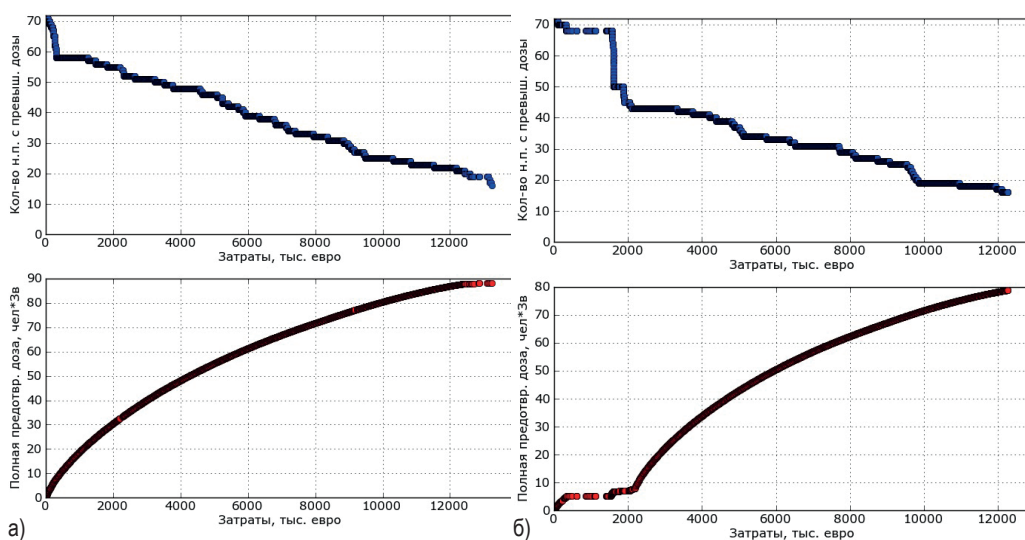


рис. 3. Отчет СППР ReSCA по стратегиям адресной реабилитации сельских населенных пунктов юго-запада Брянской области со СГЭД₉₀ выше 1 мЗв в 2024 г.: А – экономический и Б – социальный варианты оценок

Таблица 3

Стратегии адресной реабилитации населенных пунктов юго-западных районов Брянской области со СГЭД₉₀ выше 1 мЗв в 2024 г. (в скобках данные на 2006 г.)

Район	Экономический вариант			Социальный вариант		
	Затраты, млн. руб.	Предотвращенная доза, чел.-Зв	Стоимость предотвращенной дозы, млн. руб./чел.-Зв	Затраты, млн. руб.	Предотвращенная доза, чел.-Зв	Стоимость предотвращенной дозы, млн. руб./чел.-Зв
Гордеевский	310,45 (63,34)	21,60 (41,31)	14,37 (1,53)	268,28 (66,5)	16,69 (44,57)	16,1 (1,5)
Злынковский	592,48 (17,87)	36,96 (9,61)	16,0 (1,86)	571,15 (22,93)	35,63 (11,74)	16,0 (1,94)
Клинцовский	8,43 (13,0)	0,87 (9,08)	9,67 (1,43)	8,43 (20,73)	0,69 (11,30)	12,1 (1,84)
Красногорский	56,47 (59,64)	6,49 (28,34)	8,69 (2,10)	55,1 (61,5)	6,42 (29,03)	8,58 (2,12)
Новозыбковский	357,27 (126,56)	22,06 (42,33)	16,2 (2,99)	323,8 (122,9)	19,36 (39,72)	16,72 (3,1)

При «социальном» варианте реабилитации общие затраты для пяти юго-западных районов Брянской области в ценах 2024 г. оцениваются в 1,23 млрд. руб. Предотвращенная коллективная доза облучения населения составит 78,8 чел.-Зв, а ее стоимость – 15,6 млн. руб./чел.-Зв. По общим затратам на внедрение технологий «социальный» вариант реабилитации является более дешевым, однако «экономический» позволяет сэкономить большую коллективную дозу. Также можно отметить тесную корреляцию между характеристиками стратегий реабилитации, количеством жителей в НП и их СГЭД₉₀.

Таблица 4

Первые десять наиболее эффективных реабилитационных технологий при адресных стратегиях реабилитации населенных пунктов юго-западных районов Брянской области со СГЭД₉₀ выше 1 мЗв в 2024 г.

№	Экономический вариант					Социальный вариант				
	Населенный пункт	РТ	СТ	ПД	СПД	Населенный пункт	РТ	СТ	ПД	СПД
1	Добродеевка	ФСР	87	0,09	1,0	Добродеевка	ПУ	335	0,18	1,9
2	Заборье	ФСР	87	0,05	1,9	Заборье	ПУ	335	0,09	3,6
3	Николаевка	ФСР	87	0,04	1,99	Николаевка	ПУ	335	0,09	3,7
4	Старый Вышков	ФСР	87	0,04	2,1	Старый Вышков	ПУ	335	0,09	3,9
5	Яловка	ФСР	331	0,16	2,12	Яловка	ПУ	1270	0,32	3,95
6	Кожаны	ФСР	191	0,09	2,14	Кожаны	ПУ	737	0,19	3,98
7	Добродеевка	ПУ	335	0,15	2,26	Опытная станция	ПУ	335	0,07	4,69
8	Яловка	УЗР	940	0,40	2,33	Мирный	ПУ	335	0,07	4,75
9	Опытная станция	ФСР	87	0,03	2,53	Сенное	ПУ	335	0,07	4,89
10	Мирный	ФСР	87	0,03	2,56	Вышков	ПУ	335	0,07	5,01

РТ – реабилитационная технология; СТ – стоимость, тыс. руб.; ПД – предотвращенная коллективная доза, чел.-Зв; СПД – стоимость предотвращенной коллективной дозы, млн. руб./чел. Зв

Из рисунка 3 видно, что применение в полном объеме альтернативных технологий не позволит снизить СГЭД₉₀ до уровня 1 мЗв во всех НП. Так в 14-ти из них при оптимальной последовательности применения технологий ФСП → ПУ → УЗП → ИНГ → МУК → ЧКС суммарная доза останется на уровне 1,1–3,2 мЗв/год. В то же время кратность снижения СГЭД₉₀ в этих наиболее «критичных» НП составит 1,7–2,2 раза.

С учетом значительных затрат на проведение реабилитационных работ в СППР ReSCA была применена опция рейтингования всех 71-го НП и семи технологий по стоимости предотвращенной дозы (СПД). Это дало возможность определить те НП, где внедрение реабилитационных технологий даст максимальный эффект по снижению дозы облучения населения при минимальных затратах (табл. 4).

Видно, что СПД в них варьируется в диапазоне 1–5 млн. руб./чел.-Зв, что существенно ниже, чем в среднем по районам (15 млн. руб./чел.-Зв). В случае недостатка финансирования работ по реабилитации такие результаты дают возможность использовать ограниченные ресурсы максимально эффективно. Кроме того видно, что в случае «экономического» варианта оценок наиболее эффективной технологией является применение ферроцинсодержащих препаратов для коров, а в случае «социального» варианта – поверхностное улучшение лугопастбищных угодий в ареалах населенных пунктов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты исследования позволяют сформулировать ряд выводов, которые важны для корректировки подходов к реабилитации сельских НП юго-западных районов Брянской области со СГЭД₉₀ выше 1 мЗв и возвращения их жителей к условиям нормальной жизнедеятельности по радиационному фактору.

1. На современном этапе после аварии на ЧАЭС сохраняется необходимость реабилитации НП, при этом они должны иметь адресный характер с учетом радиологических, демографических, хозяйственных, экономических и социальных особенностей территории юго-запада Брянской области.

2. Системы поддержки принятия решений с геоинформационными технологиями ReSCA и ГИСППР являются мощными инструментами многокритериального анализа эффективности альтернативных реабилитационных технологий на основе использования общей методологии и оценки широкого спектра характеристик каждого НП, расположенного на радиоактивно загрязненной территории, после аварии на ЧАЭС.

3. За последние 15–20 лет возросли общие затраты на реабилитацию НП и снизились возможности экономии коллективной дозы облучения населения, при этом аграрные технологии (поверхностное улучшение лугопастбищных угодий и применение ферроцинсодержащих препаратов для коров) остаются наиболее эффективными мероприятиями по снижению доз облучения сельских жителей юго-западных районов Брянской области.

4. Экономический и социальный подходы к реабилитации сельских НП дают возможность выбора наиболее оптимальных технологий как в условиях недостатка финансирования, так и с учетом вовлечения заинтересованных сторон в процесс восстановления радиоактивно загрязненных территорий.

5. Несмотря на высокую стоимость мероприятий по снижению доз внешнего облучения они сохраняют актуальность при очистке наиболее социально значимых участков территории НП с высокими уровнями загрязнения ¹³⁷Cs.

6. В 14-ти сельских НП с максимальными дозами облучения жителей кроме рекомендованных СППР-технологий следует оценить возможное использование дополнительных мероприятий, например, обеспечение жителей привозными продуктами питания или выделение им финансовых средств на жилье в более «чистых» НП данного региона.

Благодарности

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (грант № 23-29-00024).

Литература

1. Балонов М.И., Голиков В.Ю., Пархоменко В.И., Пономарев А.В. Дезактивация населенных пунктов Брянской области после аварии на Чернобыльской АЭС. // Радиационная гигиена. – 2014. – Т. 7. – № 1. – С. 5–15.
2. Белоус Н.М., Подоляк А.Г., Карпенко А.Ф., Смольский Е.В. Эффективность защитных мероприятий при реабилитации кормовых угодий России и Беларуси, загрязненных после катастрофы на Чернобыльской АЭС. // Радиационная биология. Радиоэкология. – 2016. – Т. 56. – № 4. – С. 405–413.
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. – С. 682–694.
4. Брук Г.Я., Романович И.К., Базюкин А.Б., Братилова А.А., Власов А.Ю., Громов А.В., Жеско Т.В., Кадука М.В., Кравцова О.С., Сапрыкин К.А., Степанов В.С., Титов Н.В., Яковлев В.А. Средние годовые эффективные дозы облучения в 2017 году жителей населенных пунктов Российской Федерации, отнесенных к зонам радиоактивного загрязнения вследствие катастрофы на Чернобыльской АЭС (для целей зонирования населенных пунктов). // Радиационная гигиена. – 2017. – Т. 10. – № 4. – С. 73-78. DOI: <https://doi.org/10.21514/1998-426X-2017-10-4-73-78>
5. Панов А.В., Фесенко С.В., Алексахин Р.М., Пастернак А.Д., Прудников П.В., Санжарова Н.И., Горяинов В.А., Новиков А.А., Музалевская А.А. Радиоэкологическая ситуация в сельскохозяйственной сфере на загрязненных территориях России в отдаленный период после аварии на Чернобыльской АЭС. // Радиационная биология. Радиоэкология. – 2007. – Т. 47. – № 4. – С. 423–434.
6. Романович И.К., Базюкин А.Б., Барковский А.Н., Библин А.М., Братилова А.А., Брук Г.Я., Варфоломеева К.В., Громов А.В., Е.А. Дроздова Е.А., Жеско Т.В., Иванов С.А., Кадука М.В., Кормановская Т.А., Кравцова О.С., Некрасов В.А., Рамзаев В.П., Сапрыкин К.А., Титов Н.В., Исаков О.А., Злотникова Е.И., Сосницкий А.Г., Филлин В.И., Кудряшов А.В., Ладик А.А., Лалаян В.А. Результаты современных радиационно-гигиенических обследований приграничных с Республикой Беларусь населенных пунктов Брянской области Российской Федерации. Часть 1: Характеристика населенных пунктов. // Радиационная гигиена. – 2023. – Т. 16. – № 3. – С. 22–36. DOI: <https://doi.org/10.21514/1998-426X-2023-16-3-22-36>
7. Романович И.К., Базюкин А.Б., Братилова А.А., Брук Г.Я., Варфоломеева К.В., Дроздова Е.А., Жеско Т.В., Кадука М.В., Кормановская Т.А., Кравцова О.С., Кудряшов А.В., Ладик А.А., Лалаян В.А. Результаты современных радиационно-гигиенических обследований приграничных с Республикой Беларусь населенных пунктов Брянской области Российской Федерации. Часть 2: Структура рационов питания населения. // Радиационная гигиена. – 2023. – Т. 16. – № 4. – С. 7–21. DOI: <https://doi.org/10.21514/1998-426X-2023-16-4-7-21>
8. Травникова И.Г., Брук Г.Я., Шутов В.Н., Базюкин А.В. Пути формирования доз внутреннего облучения сельских жителей Брянской области после аварии на ЧАЭС (Часть первая). // Радиационная гигиена. – 2013. – Т. 6. – № 2. – С. 11–20.
9. Братилова А.А., Брук Г.Я. Влияние потребления различных пищевых продуктов на формирование доз внутреннего облучения взрослого населения Российской Федерации после аварии на

Чернобыльской АЭС. // Радиационная гигиена. – 2018. – Т. 11. – № 2. – С. 53–59. DOI: <https://doi.org/10.21514/1998-426X-2018-11-2-53-59>

10. Варфоломеева К.В., Зеленцова С.А., Репин В.С. Структура потребления лесных грибов жителями загрязненных районов Брянской области в отдаленный период после аварии на Чернобыльской АЭС // Радиационная гигиена. – 2023. – Т. 16. – № 4. – С. 55–63. DOI: <https://doi.org/10.21514/1998-426X-2023-16-4-55-63>

11. Панов А.В., Комарова Л.Н., Ляпунова Е.Р., Мельникова А.А. Особенности формирования дозовых нагрузок на население наиболее пострадавших после Чернобыльской аварии районов России. // Известия вузов. Ядерная энергетика. – 2023. – № 3. – С. 73–84. DOI: <https://doi.org/10.26583/пре.2023.3.06>

12. Рамзаев В.П., Барковский А.Н. Оценка вторичного радиоактивного загрязнения дезактивированного земельного участка, расположенного на территории зоны отдыха в лесистой местности. // Радиационная гигиена. – 2023. – Т. 16. – № 2. – С. 52–64. DOI: <https://doi.org/10.21514/1998-426X-2023-16-2-52-64>

13. Белоус Н.М., Прудников П.В., Щеглов А.М., Смольский Е.В., Белоус И.Н., Силаев А.Л. Вероятность получения молока и кормов, не соответствующих допустимым уровням содержания ^{137}Cs на территории юго-запада Брянской области в отдаленный период после аварии на Чернобыльской АЭС. // Радиация и риск. – 2019. – Т. 28. – № 3. – С. 36–46. DOI: <https://doi.org/10.21870/0131-3878-2019-28-3-36-46>

14. Марченко Т.А., Радин А.И., Раздаиводин А.Н. Оценка мощности амбиентного эквивалента дозы на лесных участках в юго-западных районах Брянской области. // Радиация и риск. – 2023. – Т. 32. – № 4. С. 67–78. DOI: <https://doi.org/10.21870/0131-3878-2023-32-4-67-78>

15. Панов А.В. Возвращение радиоактивно загрязненных территорий к нормальной жизнедеятельности: современные проблемы и пути решения (к 35-летию аварии на Чернобыльской АЭС). // Медико-биологические и социально-психологические проблемы безопасности в чрезвычайных ситуациях. – 2021. – № 1. – С. 5–13. DOI: <https://doi.org/10.25016/2541-7487-2021-0-1-05-13>

16. 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. // J. Environ. Radioact. – 2013. – Vol. 119. – PP. 39–47. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2010.08.012>

17. Белоус Н.М., Смольский Е.В., Чесалин С.Ф., Шаповалов В.Ф. Роль минерального калия в снижении поступления ^{137}Cs в кормовые травы и повышении их урожайности на радиоактивно загрязненных угодьях. // Сельскохозяйственная биология. – 2016. – Т. 51. – № 4. – С. 543–552. DOI: <https://doi.org/10.15389/agrobiologia.2016.4.543rus>

18. Titov I.E., Krechetnikov V.V., Mikailova R.A., Panov A.V. Geoinformation decision support system for remediation of the ^{137}Cs contaminated agricultural lands after the Chernobyl NPP accident. // Nuclear Engineering and Technology. – 2022. – Vol. 54. – Iss. 6. – PP. 2244–2252. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.net.2021.12.017>

19. Кузнецов В.К., Исамов Н.Н., Панов А.В. Оценка эффективности реабилитации лугопастбищных угодий на различных этапах после аварии на Чернобыльской АЭС. // Радиация и Риск. – 2021. – Т. 30. – № 2. С. 50–61. <https://doi.org/10.21870/0131-3878-2021-30-2-50-61>

Поступила в редакцию 10.06.2024

Авторы

Панов Алексей Валерьевич, исполняющий обязанности директора, д.б.н., профессор РАН, E-mail: riar@mail.ru

Микаилова Рена Александровна, научный сотрудник, E-mail: renchik_vhi@mail.ru

Кречетников Виктор Владимирович, научный сотрудник, E-mail: viktor.krechetnikov@mail.ru

UDC 614.876:621.039.586

Targeted Remediation Strategies for Rural Settlements in the Southwest of the Bryansk Region in the Remote Period after the Chernobyl Accident

Panov A.V., Mikailova R.A., Krechetnikov V.V.

IATE MEFhI,

1 Studgorodok, 249039 Obninsk, Kaluga Reg., Russia

Abstract

The paper outlines a targeted remediation system for 71 rural settlements in five southwestern districts of the Bryansk region affected by the Chernobyl accident. Remediation strategies have been developed through a comprehensive assessment of the current radiation and demographic situation. This analysis also considered the economical use of the territory and the optimization of applying 7 remediation technologies, using computer geoinformation decision-making support systems ReSCA and GISDSS. Two approaches to restoring rural settlements are presented, considering the costs of implementing remediation technologies and their acceptability to the public. The assessment was conducted locally for each settlement with a population exposed to a dose of more than 1 mSv/year, as well as globally, encompassing five districts and the region as a whole. The calculation determined that the costs of implementing remediation technologies to reduce public exposure were estimated to be in the range of 1.23–1.33 billion roubles. The estimated averted collective dose from the implementing developed strategies was found to be between 79–88 man-Sv, with an average cost of 15.1–15.6 million roubles per man-Sv. It has been observed that over the last 15–20 years, the cost of restoring settlements has increased by 4.7 times, while the potential savings in residents' collective dose have decreased by 35%. Agricultural technologies aimed at reducing the internal exposure dose of residents keep the maximum effectiveness in decreasing public doses. These technologies include surface improvement of pastures and the use of ferrocene-containing medicines for cows. 10 rural settlements and technologies have been identified as having the greatest impact in reducing the cost of averted dose for the public.

Keywords: Chernobyl accident, radioactive contamination, ^{137}Cs , southwestern districts of Bryansk region, population, radiation doses, remediation technologies, radiation safety.

For citation: Panov A.V., Mikailova R.A., Krechetnikov V.V. Targeted Remediation Strategies for Rural Settlements in the Southwest of the Bryansk Region in the Remote Period after the Chernobyl Accident. *Izvestiya vuzov. Yadernaya Energetika*. 2024, no. 3, pp. 95–108; DOI: <https://doi.org/10.26583/npe.2024.3.08> (in Russian).

References

1. Balonov M.I., Golikov V.Yu., Parkhomenko V.I., Ponomarev A.V. Decontamination of localities in the Bryansk region after the Chernobyl accident. *Radiation Hygiene*. 2014, no. 7 (1), pp. 5–15 (in Russian).
2. Belous N.M., Podolyak A.G., Karpenko A.F., Smol'skiy E.V. Efficiency of protective measures at rehabilitation of the fodder grounds of Russia and Belarus polluted after accident on the Chernobyl NPP. *Radiation Biology. Radioecology*. 2016, no. 56 (4), pp. 405–413 (in Russian).
3. Panov A.V., Fesenko S.V., Aleksakhin R.M. Effectiveness of measures aimed at reducing radiation doses to residents of rural settlements in the remote period after the accident at the Chernobyl nuclear power plant. *Radiation Biology. Radioecology*. 2001, no. 41 (6), pp. 682–694 (In Russian).

4. Bruk G.Y., Romanovich I.K., Bazyukin A.B., Bratilova A.A., Vlasov A.Yu., Gromov A.V., Zhesko T.V., Kaduka M.V., Kravtsova O.S., Saprykin K.A., Stepanov V.S., Titov N.V., Yakovlev V.A. The average annual effective doses for the population of the settlements of the Russian Federation attributed to zones of radioactive contamination due to the Chernobyl accident (for the zonation purposes). *Radiatsionnaya Gygiena*. 2017, no. 10 (4), pp. 73–78; DOI: <https://doi.org/10.21514/1998-426X-2017-10-4-73-78> (In Russian).
5. Panov A.V., Fesenko S.V., Alexakhin R.M., Pasternak A.D., Prudnikov P.V., Sanzharova N.I., Goryainov V.A., Novikov A.A., Muzalevskaya A.A. The radioecological situation in the agricultural sphere in the contaminated regions of Russia during the long term after the Chernobyl accident. *Radiation Biology. Radioecology*. 2007, no. 47 (4), pp. 423–434 (In Russian).
6. Romanovich I.K., Bazyukin A.B., Barkovsk A.N., Biblin A.M., Bratilova A.A., Bruk G.Ya., Varfolomeev K.V., Gromov A.V., Drozdova E.A., Zhesko T.V., Ivanov S.A., Kaduka M.V., Kormanovskaya T.A., Kravtsova O.S., Nekrasov V.A., Ramzaev V.P., Saprykin K.A., Titov N.V., Isakov O.A., Zlotnikova E.I., Sosnitskiy A.G., Filin V.I., Kudryashov A.V., Ladik A.A., Lalayan V.A. Results of modern radiation-hygienic surveys of settlements of Bryansk Oblast of the Russian Federation bordering the Republic of Belarus. Part 1: Characteristics of the settlements. *Radiation Hygiene*. 2023, no. 16 (3), pp. 22–36; DOI: <https://doi.org/10.21514/1998-426X-2023-16-3-22-36> (In Russian).
7. Romanovich I.K., Bazyukin A.B., Bratilova A.A., Bruk G.Ya., Varfolomeeva K.V., Drozdova E.A., Zhesko T.V., Kaduka M.V., Kormanovskaya T.A., Kravtsova O.S., Kudryashov A.V., Ladik A.A., Lalayan V.A. Results of modern radiation-hygienic surveys of settlements of Bryansk Oblast of the Russian Federation bordering the Republic of Belarus. Part 2: Population's food preferences (diet). *Radiation Hygiene*. 2023, no. 16 (4), pp. 7–21; DOI: <https://doi.org/10.21514/1998-426X-2023-16-4-7-21> (In Russian).
8. Travnikova I.G., Bruk G.Y., Shutov V.N., Bazjukin A.B. Contribution of different foodstuffs to the internal exposure of the rural inhabitants of the Bryansk region in Russia after the Chernobyl accident. *Radiation Hygiene*. 2013, no. 6 (2), pp. 11–20 (In Russian).
9. Bratilova A.A., Bruk G.Y. Influence of the consumption of different foodstuffs on the internal exposure dose formation in the adult population of the Russian Federation after the accident at the Chernobyl NPP. *Radiation Hygiene*. 2018, no. 11 (2), pp. 53–59; DOI: <https://doi.org/10.21514/1998-426X-2018-11-2-53-59> (In Russian).
10. Varfolomeeva K.V., Zelentsova S.A., Repin V.S. Consumption structure of forest mushrooms by residents of contaminated districts of the Bryansk region in the remote period after the Chernobyl accident. *Radiation Hygiene*. 2023, no. 16 (4), pp. 55–63; DOI: <https://doi.org/10.21514/1998-426X-2023-16-4-55-63> (In Russian).
11. Panov A.V., Komarova L.N., Lyapunova E.R., Mel'nikova A.A. Peculiarities of the exposure dose formation on the population in the most affected regions of Russia after the Chernobyl NPP accident. *Izvestiya vuzov. Yadernaya Energetika*. 2023, no. 3, pp. 74–84; DOI: <https://doi.org/10.26583/npe.2023.3.06> (in Russian).
12. Ramzaev V.P., Barkovsky A.N. Assessment of secondary radioactive contamination of a decontaminated land plot located on the territory of a recreation base in a wooded area. *Radiation Hygiene*, 2023, no. 16 (2), pp. 52–64; DOI: <https://doi.org/10.21514/1998-426X-2023-16-2-52-64> (In Russian).
13. Belous N.M., Prudnikov P.V., Shcheglov A.M., Smolskiy E.V., Belous I.N., Silayev A.L. Estimating risk of radiocesium presence at levels exceeded the permissible amount of the radionuclide in forage and milk from the south-west part of Bryansk region long after the Chernobyl accident. *Radiation and Risk*. 2019, no. 28 (3), pp. 36–46; DOI: <https://doi.org/10.21870/0131-3878-2019-28-3-36-46> (in Russian).
14. Marchenko T.A., Radin A.I., Razdaivodin A.N. Estimating of ambient dose equivalent rate in forest sites in the south-west of the Bryansk region. *Radiation and Risk*. 2023, no. 32 (4), pp. 67–78; DOI: <https://doi.org/10.21870/0131-3878-2023-32-4-67-78> (in Russian).
15. Panov A.V. Returning radioactively contaminated territories to normal life: current problems and ways for solution (35 years after the Chernobyl NPP accident). *Medico-Biological and Socio-Psychological Issues of Safety in Emergency Situations*. 2021, no. 1, pp. 5–13; DOI: <https://doi.org/10.25016/2541-7487-2021-0-1-05-13> (in Russian).

16. 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. *J. Environ. Radioact.* 2013, no. 119, pp. 39-47; DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2010.08.012>.

17. Belous N.M., Smol'skij E.V., Chesalin S.F., Shapovalov V.F. Role of mineral potassium in decrease in receipt ^{137}Cs in fodder herbs and increase in their productivity on it is radioactive the polluted grounds. *Agricultural Biology*. 2016, no. 51(4), pp. 543–552; DOI: <https://doi.org/10.15389/agrobiol.2016.4.543rus> (in Russian).

18. Titov I.E., Krechetnikov V.V., Mikailova R.A., Panov A.V. Geoinformation decision support system for remediation of the ^{137}Cs contaminated agricultural lands after the Chernobyl NPP accident. *Nucl. Eng. Technol.* 2022, no. 54(6), pp. 2244–2252; DOI: <https://doi.org/10.1016/j.net.2021.12.017>.

19. Kuznetsov V.K., Isamov N.N., Panov A.V. Assessment of grasslands remediation effectiveness in different periods after the Chernobyl accidents. *Radiation and Risk*. 2021. no. 30(2), pp. 50–61; <https://doi.org/10.21870/0131-3878-2021-30-2-50-61> (in Russian).

Authors

Aleksei V. Panov, Acting Director, Dr. Sci. (Biology), professor RAS,

E-mail: riar@mail.ru

Rena A. Mikailova, researcher,

E-mail: renchik_vhi@mail.ru

Victor V. Krechetnikov, researcher,

E-mail: viktor.krechetnikov@mail.ru