

$$\theta(r, t) = \theta^0(r)q(t); \quad \Phi(\omega, t) = \int_0^t q(\xi) \sin[\omega(t - \xi)] d\xi; \quad \lambda, \mu — \text{константы Ламе:}$$

$$\lambda = \frac{Ev}{(1 + \nu)(1 - 2\nu)}; \quad \mu = \frac{E}{2(1 + \nu)}; \quad \beta^{(0)} = (3\lambda + 2\mu)K;$$

$\hat{r}r(r, t), \hat{\phi}\phi(r, t)$ — радиальные и окружные напряжения в шаре.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Dementjev A.V., Dementjev D.V., Sobolevsky N.M., Staviski Yu.Ya.** Specific neutron yield from the extended lead target under incident protons 0,1 GeV — 10 TeV. — In: Proc. on ICANS-XV. 15th Meeting of the Intern. Collaboration on Advanced Neutron Sources. Nov. 6—9, 2000, Tsukuba, Japan.
2. **Staviski Yu.Ya.** Giant pulses of slow neutrons in the LHC beam dump. Доклад на XII Межд. конф. «Избранные проблемы современной физики». Дубна. Россия, 8—11 июня, 2003.
3. **Dementjev A.V., Dementjev D.V., Kazarnovsky M.V. et al.** On the possibility of direct investigations of neutron-neutron scattering at LHC beam dump. — In: Proc. on ICANS-XV. 15th Meeting of the Intern. Collaboration on Advanced Neutron Sources. Nov. 6—9, 2000, Tsukuba, Japan.
4. **Кочубей Ю.К., Житник А.К., Артемьева Е.В. и др.** Программа С-95. Моделирование совместного переноса нейтронов и γ -квантов методом Монте-Карло. — Вопросы атомной науки и техники. Сер. Математическое моделирование физических процессов, 2000, вып. 2, с. 49—52.
5. **Колесов В.Ф.** Аperiodические импульсные реакторы. Саров, РФЯЦ — ВНИИЭФ, 1999.
6. **Колесов В.Ф.** Нестационарные задачи термоупругости для пластины и цилиндрической оболочки. — Инж.-физ. журнал, 1964, т. 7, № 9, с. 64—70.
7. **Gmelin Handbook of Inorganic Chemistry. 8th Edi. Supplement v. A3. Physical Properties.** New York—London—Paris—Tokyo: Springer-Verlag, 1989.
8. **Физическая энциклопедия**, т. 1. М.: Сов. энцикл., 1988.
9. **Колесов В.Ф.** К динамике сферически-симметричного быстрого импульсного реактора. — Атомная энергия, 1963, т. 14, вып. 3, с. 273—280.

Поступила в Редакцию 22.08.05

УДК 574:539.1.04

РЕАБИЛИТАЦИЯ ЗОН ЛОКАЛЬНЫХ РАДИОАКТИВНЫХ ЗАГРЯЗНЕНИЙ

Панов А.В., Фесенко С.В., Санжарова Н.И., Алексахин Р.М. (ВНИИСХРАЭ)

В настоящее время особую актуальность приобретает реабилитация зон локальных радиоактивных загрязнений. Такие зоны в НРБ-99 определяют как «последствия прежней деятельности» [1], т.е. территории с повышенным радиационным фоном, не связанным с крупными радиационными авариями, но где отмечается техногенное облучение жителей населенных пунктов, расположенных в этих зонах или вблизи них. Во-первых, это локальные зоны, возникшие в результате аварийных ситуаций при проведении мирных подземных ядерных взрывов, например, в 1971 г. на объекте «Глобус-1» в районе д. Галкино Ивановской области, в 1969 г. на Осинском и в 1981—1987 гг. на Гежском нефтяных месторождениях в Пермской области [2], во-вторых, территории, загрязненные вследствие нарушений технологических процессов или нештатных ситуаций на оборонных предприятиях и объектах Министерства обороны. Например, в Томской области в 1993 г. в ре-

зультате инцидента на Сибирском химическом комбинате площадь радиоактивного загрязнения составила около 90 км² [3], в Ульяновске из-за нарушения технологии производства на оборонном предприятии «Ульяновский приборостроительный завод» возникло локальное радиоактивное загрязнение территории города (около 4 км²), в Приморском крае из-за возникновения нештатной ситуации на атомной подводной лодке в районе бухты Чажмы в 1985 г. зафиксировано несколько участков локальных радиоактивных загрязнений [2]. Третьей причиной появления территорий с локальными радиоактивными загрязнениями является использование источников ионизирующего излучения на гражданских объектах, что предопределяет повышенный риск возникновения на них различных нештатных и аварийных ситуаций в результате нарушения требований к хранению радиоактивных материалов и обращению с ними. Например, в Мурманской области в 2000—2003 гг. зафиксированы четыре происшествия, обусловленные нарушением технологии обращения с источниками ионизирующего излучения. Центр Госсанэпиднадзора Приморского края ежегодно фиксирует до четырех радиационных инцидентов, связанных с ввозом на территорию края радиационно опасных грузов, стройматериалов и металлолома [2]. В Москве ежегодно фиксируют 50—70 очагов локального радиоактивного загрязнения, 85% из них расположены в легкодоступных местах с возможностью скопления людей в зоне излучения (детские площадки, дворы жилых домов, остановки городского транспорта и др.) [4].

В НРБ-99 в качестве основного критерия идентификации локальных радиоактивных загрязнений использована годовая эффективная доза: к уровню исследования отнесен диапазон 0,01—0,3 мЗв/год, к уровню вмешательства — более 0,3 мЗв/год [1]. Цель настоящей работы — разработка методологии реабилитации зон локальных радиоактивных загрязнений.

Система реабилитационных мер зависит от следующих основных показателей: уровень загрязнения зон, особенности путей радиационного воздействия на человека на реабилитируемых территориях (специфика хозяйственного использования), радионуклидный состав загрязнения, соотношение потенциальной дозы внешнего и внутреннего облучения.

Формирование дозы облучения населения при локальном радиоактивном загрязнении. В качестве реперного радионуклида, определяющего радиационную обстановку в зоне локального загрязнения, выбран биологически подвижный γ -излучающий ¹³⁷Cs с периодом полураспада 30,17 года. Он присутствует в составе глобальных выпадений вследствие атмосферных ядерных испытаний, в аварийных выбросах Чернобыльской АЭС, его часто используют как источник γ -излучения в хозяйственной деятельности, что не исключает возможности аварийного загрязнения, например, авария в Гоянии (Бразилия) в 1987 г. [5, 6].

Оценку годовой дозы облучения населения (внешнего и внутреннего) в зонах локальных радиоактивных загрязнений проводили на основе моделей, исходя из плотности радиоактивного загрязнения почвы, коэффициентов перехода радионуклидов из окружающей среды в продукты питания и дозовых коэффициентов для соответствующих путей облучения [7]. Доза внешнего облучения населения E_k определяется режимом жизнедеятельности критической группы людей и радиоактивным загрязнением в местах ее нахождения:

$$E_k = (e^k \sigma_k) R, \quad (1)$$

где e^k — дозовый коэффициент при воздействии γ -излучения k -го радионуклида от подстилающей поверхности, (мкЗв/год)/(кБк/м²); σ_k — поверхностная плотность k -го радионуклида на почве, кБк/м²; R — антропогенный фактор уменьшения дозы (безразмерная величина). При оценке суммарной дозы техногенного внешнего облучения человека в случае локального радиоактивного загрязнения учитывалось, что оно будет определяться ¹³⁷Cs глобальных выпадений, выбросом аварийного реактора Чернобыльской АЭС и γ -излучением локального радиоактивного загрязнения (табл. 1).

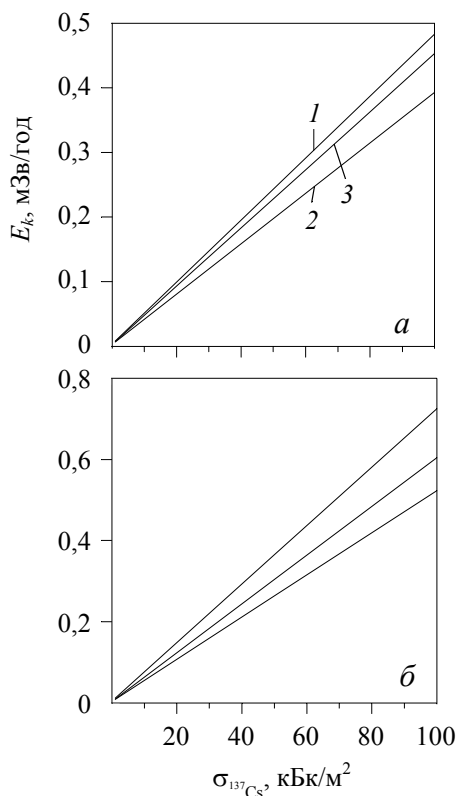
Т а б л и ц а 1. Дозовые коэффициенты для расчета внешнего облучения человека от подстилающей поверхности при плотности ¹³⁷Cs 2,2 кБк/м² на открытой местности, (мкЗв/год)/(кБк/м²)

Тип населенного пункта	Глобальные выпадения	Выбросы аварийного реактора Чернобыльской АЭС	Свежие выпадения	R, отн. ед.
Село	8/9/10*	6/6,5/7,5	12/13/14	0,6/0,4/0,4
Поселок городского типа	8/9/10	6/6,5/7,5	12/13/14	0,5/0,35/0,35
Город	8/9/10	6/6,5/7,5	12/13/14	0,4/0,3/0,3

*Взрослые/школьники/дошкольники.

На рис. 1 видно, что сельские жители в большей степени подвержены внешнему облучению, чем городские. При этом критическую группу составляет взрослое сельское население, которое проводит на открытой местности относительно продолжительное время. У этой группы формирование дозы внешнего облучения, при которой необходимо проведение контрмер (0,3 мЗв/год), возможно при плотности ¹³⁷Cs на территории населенного пункта более 40 кБк/м², в то время как для взрослых жителей городов этот показатель составляет 60 кБк/м². В промежуточную группу входят дошкольники: для сельских дошкольников порог составляет 50 кБк/м², для городских — более 70 кБк/м². Для сельских школьников порог более 60 кБк/м², для городских свыше 80 кБк/м².

Р и с. 1. Зависимость дозы внешнего облучения взрослых (1), школьников (2), дошкольников (3) от плотности ¹³⁷Cs на территории городских (а) и сельских населенных пунктов (б) при локальном загрязнении



Доза внутреннего облучения обусловлена загрязнением пищевых продуктов местного производства. На содержание радионуклидов в пищевых продуктах помимо плотности загрязнения почвы большое влияние оказывают ее свойства [8].

Анализ и обобщение информации банка данных ВНИИ сельхозрадиологии по коэффициентам перехода ^{137}Cs из различных видов почвы в основные дозообразующие сельскохозяйственные и природные продукты питания в 1999—2004 гг. [9] позволили определить максимальное содержание ^{137}Cs для сельскохозяйственных угодий и лесов, на которых возможно получение продуктов питания с соблюдением регламентов СанПиН 2.3.2.1078-01 [10] (табл. 2). Отмечается значительная (до 10 раз) вариабельность допустимого загрязнения сельскохозяйственных угодий для одного пищевого продукта с учетом изменчивости свойств почвы. Видно также, что и при относительно невысокой плотности загрязнения торфяно-болотной почвы возможно получение продукции, не соответствующей регламентам СанПиН 2.3.2.1078-01, что может стать важным источником дополнительного облучения населения в случае локального радиоактивного загрязнения. Критические уровни загрязнения сельскохозяйственных угодий и лесов, расположенных на торфяниках, схожи с аналогичными уровнями загрязнения населенных пунктов, т.е. вклад внешнего и внутреннего облучения в суммарную дозу в данном случае может быть сопоставим.

Т а б л и ц а 2. Зависимость предельно допустимой плотности загрязнения ^{137}Cs сельскохозяйственных угодий и лесов от свойств почвы, на которой возможно получение продукции, удовлетворяющей регламентам СанПиН 2.3.2.1078-01, кБк/м^2

Продукт	Почва			
	песчаная, супесчаная	легко- и среднесуглинистая	глинистая	торфяно-болотная
Молоко	410	1000	2000	120
Говядина	240	420	720	65
Свинина	330	660	1600	90
Картофель	1500	2000	7500	500
Зерно (хлеб)	230	460	1750	115
Грибы	50	365	795	30

Из представленных данных видно, что при разработке защитных мероприятий по реабилитации зон локальных радиоактивных загрязнений необходимо сравнивать вклад внешнего и внутреннего облучения в суммарную дозовую нагрузку. Если доля внутреннего облучения является высокой, предпочтение следует отдавать внедрению сельскохозяйственных контрмер, в противном случае следует анализировать различные способы снижения дозы внешнего облучения, например, проведением дезактивации зон локальных радиоактивных загрязнений, изменением регламента ведения производственных, сельскохозяйственных и иных работ или, в крайнем случае, ограждением зоны радиоактивного загрязнения.

Критерии выделения зон локальных радиоактивных загрязнений. Основным критерием для выделения зон локальных радиоактивных загрязнений является годовая эффективная доза облучения населения. Однако потребление сельскохозяйственных продуктов, произведенных в этих местах, также является одним из

ведущих источников дополнительного облучения и во многих ситуациях определяет риск его проживания на загрязненной территории. В то же время уровень облучения человека в этих условиях зависит от большого числа факторов, включая вид землепользования, характеристики почвенного покрова и режим эксплуатации загрязненных земель. Вследствие этого оценка безопасности зон локального радиоактивного загрязнения при их сельскохозяйственном использовании и обоснование оптимальных вариантов вмешательства в ситуациях, когда это необходимо, являются сложной задачей. Поэтому в случае внутреннего облучения в качестве критериев, ограничивающих радиационное воздействие на человека, необходимо применять регламенты СанПиН 2.3.2.1078-01 для сельскохозяйственной и природной пищевой продукции. Следовательно, при локальном загрязнении земель сельскохозяйственного назначения и лесов дозовые критерии должны быть дополнены производными нормативами на качество продукции.

Классификация зон локальных радиоактивных загрязнений. Локальные радиоактивные загрязнения необходимо разделять на следующие зоны:

промышленная — территория предприятий, промышленные и административные здания, места для сбора отходов и другие постройки;

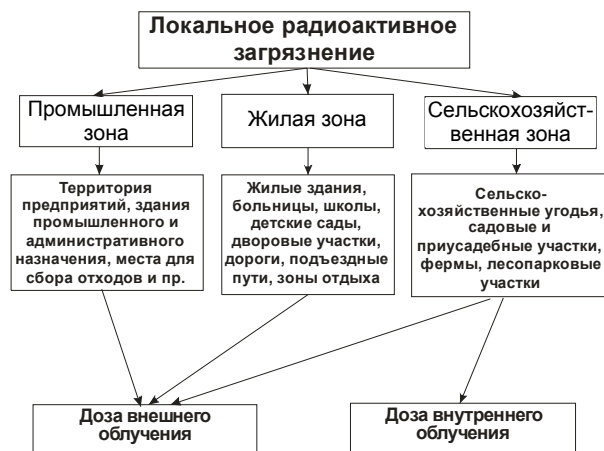
жилая — жилые здания, детские сады, школы, больницы, объекты социального и бытового назначения, дворовые участки, дороги и подъездные пути, зоны отдыха;

сельскохозяйственная — сельскохозяйственные угодья и лесопарковые территории, садовые и приусадебные участки, производственные помещения (включая фермы, животноводческие комплексы, постройки для содержания скота в частном секторе, склады удобрений и ядохимикатов). По принципам реабилитации к сельскохозяйственной зоне в определенной степени близки лесопокрытые территории, которые могут стать источником радиоактивно загрязненной продукции, в первую очередь пищевых продуктов — грибов, ягод, дичи и др.

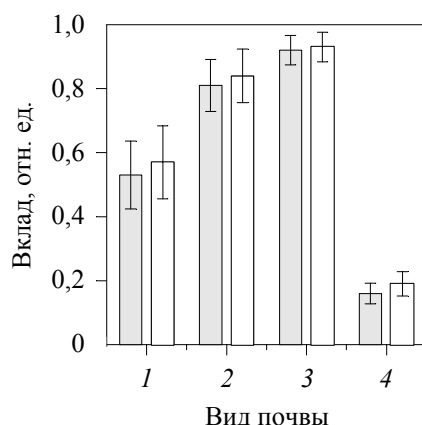
Если для первых двух групп зон формирование годовой дозы для населения определяется только внешним облучением, то для третьей группы вклад внутреннего облучения может стать доминирующим за счет потребления населением радиоактивно загрязненной сельскохозяйственной и лесной продукции. Поэтому при локальном радиоактивном загрязнении сельскохозяйственной зоны для определения оптимальных путей их реабилитации необходимо оценить вклад внутреннего и внешнего облучения в суммарную дозовую нагрузку. Определение ведущего вклада облучения важно и в тех случаях, когда локальное радиоактивное загрязнение может затрагивать несколько выделенных групп, например, формирование дозы внутреннего облучения будет происходить за счет загрязнения сельскохозяйственной зоны, внешнего облучения — вследствие загрязнения промышленной или/и жилой зон. Концептуальная схема идентификации зон локальных радиоактивных загрязнений представлена на рис. 2.

Оптимальные защитные мероприятия определяют, учитывая мощность дозы, радионуклидный состав загрязнения, продолжительность нахождения населения на загрязненной территории и вклад загрязненных продуктов питания в формирование суммарной дозы облучения.

Оценки перехода ^{137}Cs из почвы в молоко в регионе аварии на Чернобыльской АЭС показали, что при одной и той же плотности загрязнения коэффициенты отличались до 30 раз в зависимости от свойств почвы [11]. Поэтому при разработке



Р и с. 2. Концептуальная схема идентификации зон локальных радиоактивных загрязнений по ведущему пути облучения при формировании суммарной дозовой нагрузки



Р и с. 3. Вклад внешнего облучения в суммарную дозу при ведении сельского хозяйства на песчаной, супесчаной (1), легко- и среднесуглинистой (2), глинистой (3), торфяно-болотной почве (4) при одинаковом загрязнении территории городского (■), сельского (□) населенного пункта

населенного пункта по отношению к сельскохозяйственным угодьям, в соответствии с которым проводилась классификация, составляла 3, 2, 1, 0,5 и 0,3. По свойствам почвы сельскохозяйственная зона была разделена на четыре группы (табл. 3). В рамках предложенной классификации целесообразно выделить ситуации, когда доминирует вклад внутреннего или внешнего облучения, а также случаи, где необходим учет обоих путей облучения.

Этапы реабилитации зон локальных радиоактивных загрязнений. Разработка мер по реабилитации зон локальных радиоактивных загрязнений должна проводиться в несколько этапов:

универсальной классификации, учитывая большую протяженность территории нашей страны и значительное разнообразие почвенного покрова, сельскохозяйственные угодья и приусадебные участки подразделяли по группам почвы. Для оценки вклада внешнего и внутреннего облучения в суммарную дозовую нагрузку использовали информацию о радиологических и почвенных характеристиках населенных пунктов России, Украины и Беларуси, репрезентативных для различных зон загрязнения [12, 13], а также данные о дозе облучения жителей

более 6 тыс. населенных пунктов областей России, загрязненных при аварии на Чернобыльской АЭС [14].

На рис. 3 видно, что при ведении сельского хозяйства на тяжелой по механическому составу почве вклад внешнего облучения является определяющим (до 93%), на легко- и среднесуглинистой почве он равен 80—85% и намного меньше (до 53—57%) на песчаной и супесчаной, но на торфяно-болотной почве не превышает 20%.

В реальных условиях загрязнение территорий населенных пунктов может быть как больше, так и меньше, чем сельскохозяйственных угодий, которые к ним прилегают. Поэтому для оценки внешнего и внутреннего облучения был рассчитан их вклад в суммарную дозу при различных вариантах загрязнения территории населенных пунктов и сельскохозяйственных угодий. Кратность изменения загрязнения на-

Таблица 3. Группировка зон локальных радиоактивных загрязнений по вкладу внутреннего облучения в суммарную дозу, %

Группы почвы	Кратность изменения плотности загрязнения				
	3	2	1	0,5	0,3
Песчаная, супесчаная	10	20	45	60	70
Легко- и среднесуглинистая	5	10	20	30	40
Глинистая	3	5	10	20	25
Торфяно-болотная	40	50	75	85	95

1) Идентификация зон локальных радиоактивных загрязнений. Целью этого этапа является обнаружение и оконтуривание таких зон радиоактивных загрязнений на основе анализа информации о нештатных выбросах и сбросах радионуклидов. Первичное обнаружение зон локальных радиоактивных загрязнений сельскохозяйственной зоны проводят при плановых проверках образцов пищевой продукции [15], более детальное — при агрохимическом обследовании сельскохозяйственных угодий, мониторинге контрольной сети агрохимической и ветеринарной служб в зоне воздействия радиационно опасных объектов. В случае обнаружения зон локальных радиоактивных загрязнений их оконтуривают по результатам измерения мощности экспозиционной дозы γ - и/или β -, α -излучения и радионуклидного состава проб;

2) Анализ путей облучения. Его выполняют для определения вклада внешнего и внутреннего облучения в суммарную дозовую нагрузку на основе анализа местоположения участка локального радиоактивного загрязнения. Если оно зафиксировано на сельскохозяйственных угодьях или садовых и приусадебных участках, то в соответствии с группировкой, представленной в табл. 3, выявляется доминирующий путь облучения при формировании суммарной дозовой нагрузки;

3) Разработка комплекса защитных и реабилитационных мероприятий на основе анализа для каждой загрязненной зоны. При локальном радиоактивном загрязнении дозовые нагрузки на население вряд ли превысят 5 мЗв/год, поэтому согласно закону «О радиационной безопасности населения» внедрение контрмер на таких территориях должно основываться на принципе оптимизации. С учетом этого принципа форма, масштаб и длительность вмешательства должны быть оптимизированы таким образом, чтобы чистая польза от снижения дозы облучения населения (польза от уменьшения радиационного ущерба за вычетом ущерба, связанного с вмешательством) была максимальной [16]. При оценке оправданности защитных мероприятий в соответствии с нормативными документами международных организаций, отвечающих за ядерное регулирование, в последние годы получил развитие подход, учитывающий как затраты на проведение контрмер, так и предотвращенную в ходе их применения коллективную дозу облучения (анализ затраты—выгода). Показателем, связывающим эти два критерия, является стоимость дозы 1 чел.-Зв, предотвращенной в результате применения защитных мероприятий. При этом контрмеры рассматриваются как оправданные, если стоимость уменьшения коллективной дозы на 1 чел.-Зв не превысит 20 тыс. дол. [17].

Обоснование мер по снижению дозы внешнего облучения. В настоящей работе оценена эффективность дезактивационных мероприятий для снижения дозы внешнего облучения, поскольку оно наиболее вероятно при загрязнении как промышленной, так и жилой зоны. Большой опыт по оценке эффективности такого типа контрмер был накоплен в ходе реабилитации 472 населенных пунктов Брянской области, загрязненных в результате аварии 1986 г. на Чернобыльской АЭС. В этих населенных пунктах в 1986—1989 гг. был проведен комплекс следующих дезактивационных мероприятий:

- снятие механизированным и ручным способом загрязненного слоя почвы толщиной 10—15 см на территории населенного пункта;

- удаление снятого слоя почвы за пределы населенного пункта и его захоронение в оврагах или предварительно вырытых котлованах;

- засыпка очищенных участков слоем чистого грунта;

- ремонт и асфальтирование отдельных площадок и дорог;

- замена кровли на зданиях.

Было установлено, что снижение дозы внешнего облучения за счет проведения дезактивационных работ достигало 20—60% в зависимости от качества их выполнения и категорий критических групп жителей [3, 18]. Затраты на дезактивационные мероприятия оценивали на примере населенного пункта Бабаки Новозыбковского района в рамках реализации совместного проекта Европейского союза, Беларуси, России и Украины [12]. Расчеты показали, что затраты на дезактивацию четырех подворий площадью 14 тыс. м² составляли 173,74 тыс. руб. (в ценах октября 1998 г.). При этом учитывали, что на каждом подворье проживает семья из четырех человек в жилом доме площадью 6×12 м, включая хозяйственные постройки такой же площади, прилегающие к дому территорию и огороды.

Взяв эти данные за основу и применив поправочный инфляционный коэффициент, определили стоимость проведения дезактивации такой территории (в ценах 2005 г. 289 тыс. руб.) и стоимость предотвращенной дозы облучения населения (23,8—238 млн руб.) за дозу 1 чел.-Зв в диапазоне дозы внешнего облучения 0,3—3 мЗв/год. При таких условиях проведение дезактивационных мероприятий — необоснованная мера, поскольку затраты выходят далеко за рамки эффективности, рекомендованной МКРЗ (20 тыс. дол. за дозу 1 чел.-Зв) [17], в связи с чем возникла необходимость оценки границ оправданности проведения дезактивационных мероприятий в зонах локальных радиоактивных загрязнений.

Очевидно, что эффективность такого типа мер находится в прямой зависимости как от дозы внешнего облучения жителей населенных пунктов, так и от плотности населения на загрязненных участках. Представленные данные по необоснованно высокой стоимости сэкономленной дозы связаны с тем, что на одного человека, проживающего на загрязненной территории, приходится более 800 м² площади. Такая ситуация является характерной для сельской местности с малой плотностью населения. Естественно, что в случае локального радиоактивного загрязнения поселков и тем более городов площадь участков, приходящаяся на одного человека, может быть существенно меньше, например, в детских садах, школах, больницах, жилых или производственных зданиях. Для оценочных прогнозов эффективности дезактивационных мер были выполнены расчеты различных вариантов плотности

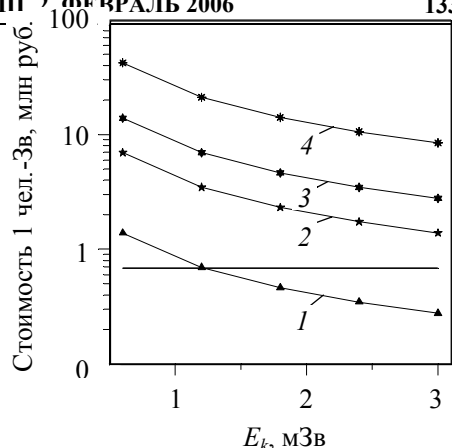
населения в зонах локального радиоактивного загрязнения (10, 50, 100 и 300 м² на 1 чел.) при дозе внешнего облучения более 0,6 мЗв/год (рис. 4).

При площади локального радиоактивного загрязнения 10 м²/чел. и дозе внешнего облучения 1,2 мЗв/год дезактивационные мероприятия оправданы. При меньшей плотности населения на загрязненных участках при одной и той же дозе внешнего облучения стоимость сэкономленной дозы в результате дезактивации резко возрастает. Таким образом, на основе расчетов была разработана модель оценки оправданности дезактивационных работ с учетом рекомендаций МКРЗ и определены затраты на их проведение в ценах 2005 г. (рис. 5).

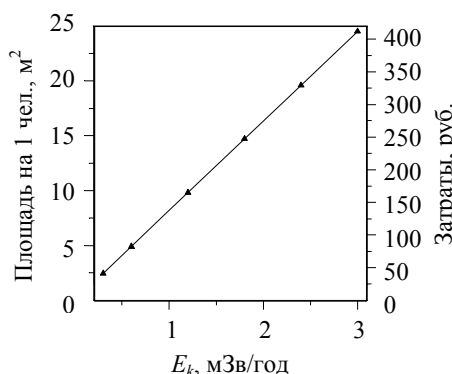
Приходящаяся на одного человека площадь территории, при которой дезактивация является оправданной мерой, является малой, однако в случае локального радиоактивного загрязнения вероятно формирование участков с такой плотностью населения, что делает полученные результаты актуальными. Возможно также, что рекомендации МКРЗ по оценке стоимости дозы 1 чел.-Зв требуют пересмотра, поскольку они были установлены в 1983 г. и к настоящему времени не в полной мере отражают экономические реалии. Поэтому параметры, установленные в данных рекомендациях, в некоторых ситуациях могут быть превышены, например, в случае загрязнения объектов социального характера. В то же время эти рекомендации должны являться ориентиром при планировании дезактивационных мер по снижению дозы внешнего облучения населения, находящегося или проживающего непосредственно в зонах локального радиоактивного загрязнения или вблизи таких зон.

Заключение. Разработана методология реабилитации зон локальных радиоактивных загрязнений, которая может быть использована для обоснования защитных и реабилитационных мероприятий при различных видах локальных загрязнений. В случае, когда формирование дозы облучения будет происходить за счет нескольких путей, обоснование оптимальной системы мер по реабилитации зон локальных радиоактивных загрязнений должно основываться на сравнительном анализе достоинств и недостатков различных типов мероприятий (дезактивационных, сельскохозяйственных, ограничительных), что является самостоятельной и сложной задачей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ



Р и с. 4. Зависимость стоимости предотвращенной дозы 1 чел.-Зв от дозы внешнего облучения при дезактивации участков с плотностью населения 10 (1), 50 (2), 100 (3), 300 м² (4) на 1 чел.: — — оправданность применения контрмер



Р и с. 5. Зависимость площади участка на 1 чел. и затрат, необходимых на дезактивацию, от дозы внешнего облучения для оправданной реабилитации

1. **Нормы** радиационной безопасности (НРБ-99). Гигиенические нормативы. М., Минздрав России, 1999. 116 с.
2. **Губернаторова В.В., Даричева О.А., Даричев С.В.** Особенности радиационно-гигиенического мониторинга на объекте подземного ядерного взрыва «Глобус-1» в поздний послеаварийный период. Тезисы докл. конф. «Актуальные вопросы радиационной гигиены». СПб, 2004, с. 72—74.
3. **Алексахин Р.М., Булдаков Л.А., Губанов В.А. и др.** Крупные радиационные аварии: последствия и защитные меры. Под. ред. Л.А. Ильина, В.А. Губанова. М.: ИздАТ, 2001. 752 с.
4. **Польский О.Г.** Радиационно-экологический аудит в системе обеспечения безопасности населения Московского мегаполиса. Дис. на соискание ученой степени докт. биол. наук. М., 2004. (ВНИИСХРАЭ). 46 с.
5. **Dosimetric and Medical Aspects of the Radiological Accident in Goiania in 1987.** IAEA-TECDOC-1009. Vienna: IAEA, 1998.
6. **Sources and Effects of Ionizing Radiation.** United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, 1993 Report to the General Assembly, with Scientific Annexes. New York, 1993.
7. **Расчет** доз облучения населения, проживающего в зоне наблюдения предприятий Федерального агентства по атомной энергии. Методические указания. М., Фед. медико-биол. агентство, 2003. 21 с.
8. **Fesenko S.V., Colgan P.A., Sanzharova N.I. et al.** The dynamics of the transfer of ^{137}Cs to animal fodder's in areas of Russia affected by the Chernobyl accident. — *Radiat. Prot. Dosim.*, 1997, v. 69, № 4, p. 289—298.
9. **Панов А.В., Санжарова Н.И., Мошаров О.В.** Оценка коэффициентов перехода ^{137}Cs из различных типов почв в основные дозообразующие пищевые продукты в отдаленный период после аварии на Чернобыльской АЭС. — В сб.: Всерос. конф. «Экспериментальная информация в почвоведении: теория и пути стандартизации». М., МГУ, 20—22 декабря, 2005, с. 51—52.
10. **Гигиенические** требования безопасности и пищевой ценности продуктов: 2.3.2. Продовольственное сырье и пищевые продукты. СанПиН 2.3.2.1078-01. М., Мин-во здравоохранения РФ, 2002. 164 с.
11. **Фесенко С.В., Пахомов А.Ю., Пастернак А.Д. и др.** Закономерности изменения содержания ^{137}Cs в молоке в отдаленный период после аварии на Чернобыльской АЭС. — *Радиационная биология. Радиоэкология*, 2004, т. 44, вып. 3, с. 336—345.
12. **Remediation Strategies for Contaminated Territories Resulting from the Chernobyl Accident.** Final Report. GSF—Forschungszentrum, Neuherberg, 2001. 300 p.
13. **Fesenko S., Jacob P., Alexakhin R. et al.** Important factors governing exposure of the population and countermeasure application in rural settlements of the Russian Federation in the long term after the Chernobyl accident. — *J. Environ. Radioact.*, 2001, v. 56, № 1—2, p. 77—98.
14. **Фесенко С.В., Панов А.В., Алексахин Р.М.** Методический подход к обоснованию защитных мероприятий в сельских населенных пунктах в отдаленный период после аварии на Чернобыльской АЭС. — *Радиационная биология. Радиоэкология*, 2001, т. 41, № 4, с. 415—426.
15. **Методические** указания МУК 2.6.1.1194-03 Радиационный контроль. Стронций-90 и цезий-137. Пищевые продукты. Отбор проб, анализ и гигиеническая оценка. М., Фед. центр Госсанэпиднадзора, 2003.
16. **Федеральный закон «О радиационной безопасности населения».** — В кн.: Собрание законодательства Российской Федерации, 1996, № 11, ст. 1362.
17. **Cost—Benefit Analysis in the Optimization of Radiation Protection.** Publication № 37. Annals of the ICRP, 1983, v. 10, № 2/3. Oxford: Pergamon Press. 95 p.
18. **Пономарев А.В.** Закономерности внешнего облучения населения радиоактивными продуктами Чернобыльской аварии. Автореф. дис. на соискание ученой степени канд. биол. наук. Санкт-Петербург, 1997. СПб НИИ радиационной гигиены. 22 с.

Поступила в Редакцию 16.11.05

УДК 621.039.58:519.25

ВЕРОЯТНОСТНЫЙ ПОДХОД К УСТАНОВЛЕНИЮ КОНТРОЛЬНЫХ