

## Дезактивация населенных пунктов Брянской области после аварии на Чернобыльской АЭС

М.И. Балонов<sup>1</sup>, В.Ю. Голиков<sup>1</sup>, В.И. Пархоменко<sup>2</sup>, А.В. Пономарев<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева, Санкт-Петербург

<sup>2</sup> Брянская государственная инженерно-технологическая академия, Брянск

<sup>3</sup> ОАО «ЛЕНЭНЕРГО», Кингисепп

*В статье впервые на русском языке описан опыт кампании дезактивации населенных пунктов Зоны жесткого контроля Брянской области, которая была проведена летом 1989 г. силами Гражданской обороны РСФСР совместно с сотрудниками НИИ радиационной гигиены. Приведены радиологические критерии для проведения дезактивации, рассмотрены дозиметрические аспекты внешнего облучения жителей. На основе расчетного моделирования и экспериментальных работ обоснованы рекомендации по дезактивации населенных пунктов. За 5 месяцев были дезактивированы 93 населенных пункта с населением около 90 тыс. человек. Повторные измерения через год и позднее показали отсутствие вторичного переноса радионуклидов на дезактивированные участки. Эффективность дезактивации оценили модельным расчетом и путем ТЛД-измерений дозы у жителей до и после дезактивации. Результаты двух оценок согласуются и составляют в среднем 20%. Коллективная эффективная доза, предотвращенная в результате дезактивации 1989 г., оценена в 350 чел.-Зв.*

Ключевые слова: чернобыльская авария, облучение населения, дезактивация, доза внешнего облучения.

### 1. Введение

Вскоре после аварии на Чернобыльской АЭС в апреле 1986 г. на территории западных районов Брянской области РСФСР произошли значительные выпадения смеси радиоактивных продуктов ядерного деления и активации. Более 2000 км<sup>2</sup> равнинной местности подверглись радиоактивному загрязнению от 0,6 до 1,5 МБк м<sup>-2</sup> цезия-137, а около 500 км<sup>2</sup> – свыше 1,5 МБк м<sup>-2</sup> [1, 2]. В отдельных населенных пунктах Красногорского района средний уровень выпадений цезия-137 достигал 3 и 4 МБк м<sup>-2</sup>, а мощность экспозиционной дозы гамма-излучения – нескольких сот мкГр ч<sup>-1</sup> весной 1986 г. Таких высоких уровней радиации не было в других 18 регионах России, в разной степени затронутых чернобыльской аварией. Характерной особенностью радиоактивного загрязнения области являлись высокие градиенты поверхностного загрязнения местности из-за интенсивных осадков во время прохождения радиоактивного облака 27–29 апреля 1986 г.

На территории западных районов Брянской области с уровнем радиоактивного загрязнения более 0,6 МБк м<sup>-2</sup> (15 Ки·км<sup>-2</sup>) цезия-137 (так называемая Зона жесткого контроля, ЗЖК) в 1986 г. находились 274 населенных пункта (НП) с населением 112 тысяч человек. Высокие уровни гамма-излучения в населенных пунктах ЗЖК и в их окрестностях приводили к внешнему облучению жителей в эффективной дозе, равной десяткам мЗв в первый год после аварии (до ~70 мЗв в с. Заборье) и постепенно снижающейся со временем [3, 4].

Для снижения уровней внешнего облучения населения в начальный период после чернобыльской аварии и в последующие 3 года широко применялась дезактивация населенных пунктов [3, 5]. Непосредственной целью дезактивации населенных пунктов было удаление радиоактивного загрязнения, находящегося в населенных пунктах.

Эта работа, которую обычно выполняли военнослужащие инженерных и химических войск и частей гражданской обороны, включала мытье зданий водой или специальными растворами, удаление загрязненной почвы, очистку и мытье улиц, дорог и площадей, а также очистку открытых источников водоснабжения. Особое внимание уделялось детским садам, школам, больницам и другим зданиям, часто посещаемым большим количеством людей.

Согласно данным службы гражданской обороны РСФСР, суммированным в [3, 5], в Брянской области «в 1986 г. было дезактивировано 16 700 жилых домов и общественных зданий в 126 НП, обустроено 152 км и заасфальтировано 95 км дорог, вывезено в места захоронения 9 тыс. м<sup>3</sup> загрязненного грунта. В результате уровни МЭД  $\gamma$ -излучения в местах проведения работ снизились в 10–15 раз. В 1987 г. оборудовано 193 км дорог с твердым покрытием, отсыпано 152,5 км дорог и обработано лигносульфонатом 160 км обочин, построено 74 км водопроводных линий, обустроено 5632 колодца и артезианских скважин, газифицировано 2344 квартиры. В 1988 г. дезактивировано 284,5 км дорог, очищено 19 животноводческих ферм и 12 машинных дворов, вывезено для захоронения 147,9 тыс. м<sup>3</sup> загрязненного грунта, завезено 368,2 тыс. м<sup>3</sup> чистого грунта. Местным органам власти по актам сдано 88 НП из 91, подлежащих дезактивации». Эффективность ранних усилий по дезактивации НП еще предстоит проанализировать в количественном выражении. Объем и результаты дезактивационных работ в 1989 г. представлены в данной статье.

По тем же источникам [3, 5], «всего в 1986–1989 гг. в западных районах Брянской области проведена планомерная дезактивация 302 НП, в том числе в 50 – дважды и в 6 – трижды. Вместе с тем, проведенные работы не привели к требуемым результатам: достигнутый коэффициент снижения загрязненности составил в целом 1,2–1,6. В основном это было обусловлено большим временем, прошедшим

после загрязнения, за которое радионуклиды глубоко проникли в материалы и почву, а также малой эффективностью разработанных методов и средств дезактивации». По этим причинам масштабные дезактивационные работы в зоне чернобыльской аварии в дальнейшем не проводились.

Этот уникальный опыт неожиданно опять приобрел актуальность в связи с тяжелой ядерной аварией на АЭС «Фукусима-1» в марте 2011 г., вследствие которой более 100 тыс. жителей близлежащих районов были эвакуированы превентивно (12–15 марта) или в плановом порядке (весной – летом 2011 г.). В настоящее время идет крупномасштабная дезактивация НП, где проживает население, и планируется дезактивация оставленных НП перед возвращением в них жителей [6].

Данная статья посвящена описанию и оценке эффективности кампании дезактивации населенных пунктов ЗЖК западной части Брянской области, которая была проведена летом 1989 г. силами Гражданской обороны РСФСР в тесном сотрудничестве с сотрудниками НИИ радиационной гигиены и его Новозыбковского филиала. Аналогичные кампании дезактивации проводились в том же году в Белоруссии и Украине, но о публикации соответствующих радиологических данных нам не известно. Часть материалов нашей статьи была ранее представлена на Международном семинаре по уровням вмешательства и мерам защиты при ядерных авариях (Кадараш, Франция, 1991) и опубликована в трудах семинара [7].

## 2. Дезактивация населенных пунктов как мера радиационной защиты населения

Согласно классификации Международной комиссии по радиационной защите (МКРЗ) мер защиты населения в случае крупной радиационной аварии, дезактивация населенных пунктов осуществляется на восстановительном этапе. Эта мера приведена в дочернобыльской Публикации МКРЗ 40 (1984) и в обеих постчернобыльских Публикациях 63 (1992) и 109 (2008) МКРЗ, посвященных защите при радиационных авариях [8–10].

Общепринятой методологической основой для принятия решения о дезактивации является теория оптимизации радиационной защиты [11–13]. Однако в нестабильных социально-экономических условиях СССР конца 1980-х гг. корректный оптимизационный анализ был затруднен. Поэтому, а также в силу традиции отечественного радиологического нормирования Национальная комиссия по радиационной защите СССР (НКРЗ СССР) предпочла выработку единых дозовых критериев, адекватных уникальной ситуации долгосрочного облучения населения загрязненной территории.

В конце 1988 г. Правительство СССР утвердило уровень вмешательства в постчернобыльскую ситуацию, равный 350 мЗв прогнозируемой дозы во всем теле за 70 лет жизни, начиная с момента аварии [14], а весной 1989 г. началась подготовка к дезактивации населенных пунктов, где этот критерий мог быть превышен. На дерново-подзолистых почвах Брянской области превышение уровня пожизненной дозы 350 мЗв для сельских жителей, согласно консервативному прогнозу, ожидалось при средней плотности выпадений цезия-137 в населенных пунктах  $\sigma_{137}$  около 1 ТБк·км<sup>-2</sup>, что соответствовало в тот период мощности дозы на высоте 1 м над целиной около 0,2 мР·ч<sup>-1</sup> (~1,7 мГр·ч<sup>-1</sup>). Этот уровень мощности экспо-

зиционной дозы и был принят в качестве критерия дезактивации НП [3, 7]. В Брянской области таких сел в 1989 г. оказалось 39 с населением 14 тыс. человек.

## 3. Дозиметрические аспекты дезактивации

Особенности формирования дозы внешнего облучения применительно к изотопному составу и распределению радионуклидов по глубине почвы, характерному для Брянской области в 1989 г., были оценены расчетным методом. К этому времени «чернобыльская смесь» радионуклидов почти полностью состояла из двух радионуклидов цезия с отношением <sup>134</sup>Cs/<sup>137</sup>Cs = 0,17.

Мощность кермы в воздухе  $\dot{K}$  (E,  $\rho_1$ ,  $\rho_2$ ), Гр·с<sup>-1</sup>, в точке на 1 м выше поверхности почвы от изотропного кольцевого источника гамма-излучения с энергией E, МэВ, с распределением S(x) по глубине почвы x (см) вычисляли двойным интегрированием:

$$\dot{K}(E, \rho_1, \rho_2) = k \cdot \int_{x_2}^{x_1} S(x) \cdot dx \cdot \int_{p_1}^{p_2} \dot{K}(E, r) \cdot C(E, x, \rho) \cdot 2\pi r \cdot d\rho, \quad (1)$$

где: k – численный коэффициент;

S(x) = S(0)·exp(-0,3·x) – функция распределения радионуклидов цезия по глубине почвы, Бк·см<sup>-3</sup>;

x – в см, по данным собственных наблюдений в Брянской области в 1988–1990 гг., причем  $\int_0^x S(x) \cdot dx = \sigma$ , где

10<sup>4</sup>·σ – поверхностная плотность радионуклида на почве, Бк·м<sup>-2</sup>;

$\dot{K}$  (E, r) – мощность кермы в воздухе от точечного источника гамма-излучения с энергией E, находящегося на расстоянии r (см), Гр·с<sup>-1</sup> [15];

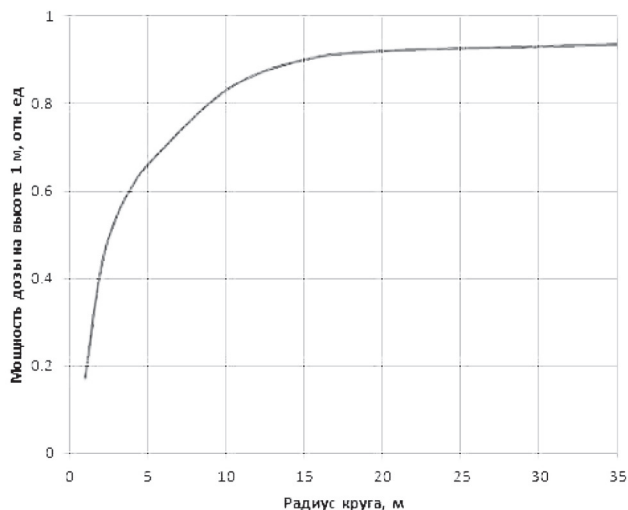
$$r = \sqrt{(100 + x)^2 + \rho^2};$$

C(E, x, ρ) – фактор экранирования гамма-излучения почвой, отн. ед. [16].

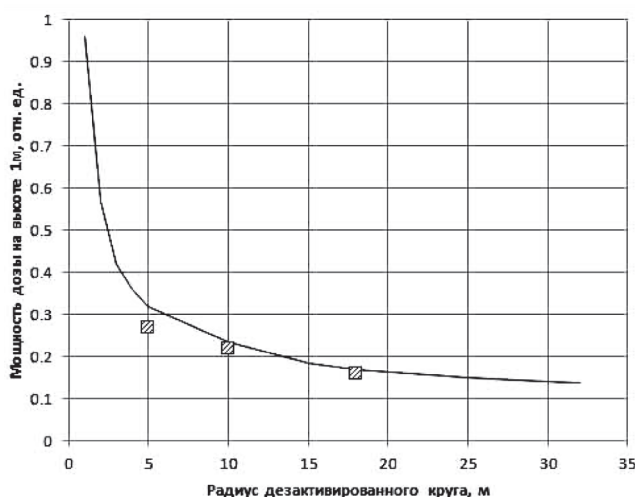
Для вычисления по формуле (1) были использованы численные значения функций  $\dot{K}$  (E, r) для воздуха с плотностью 1,2·10<sup>-3</sup> г·см<sup>-3</sup> и C(E, x, ρ) для почвы с плотностью 1,6 г·см<sup>-3</sup> из работ Jacob и Paretzke [15, 16], где был применен метод Монте-Карло.

Суммированием по энергиям E в диапазоне 0,5–0,8 МэВ вычислили зависимость мощности дозы в воздухе на высоте 1 м над почвой от радиуса дискового источника с изотопным составом «чернобыльской смеси» в 1989 г. с экспоненциальным распределением по глубине почвы S(x). На рисунке 1 представлена такая зависимость от радиуса кругового (ρ=0) источника радионуклидов цезия в почве с указанным ранее распределением по глубине. Из рисунка 1 видно, что вклад в дозу гамма-излучения, приходящего с расстояния больше 5 м, составляет около 30%, с расстояния больше 10 м – почти 20% и с расстояния более 30 м – около 10%.

Подобное вычисление позволило предсказать и снижение мощности дозы гамма-излучения в центре кругового источника на высоте 1 м в результате удаления источника (дезактивации почвы) в зависимости от радиуса очищенного участка (рис. 2). Из рисунка 2 следует, что снижение мощности кермы в 2 раза происходит после удаления вокруг «мишени» загрязненного слоя почвы радиусом 2–3 м, в 3 раза – 5–6 м, в 5 раз – 14 м. Влияние строений на данном этапе работы не рассматривали.



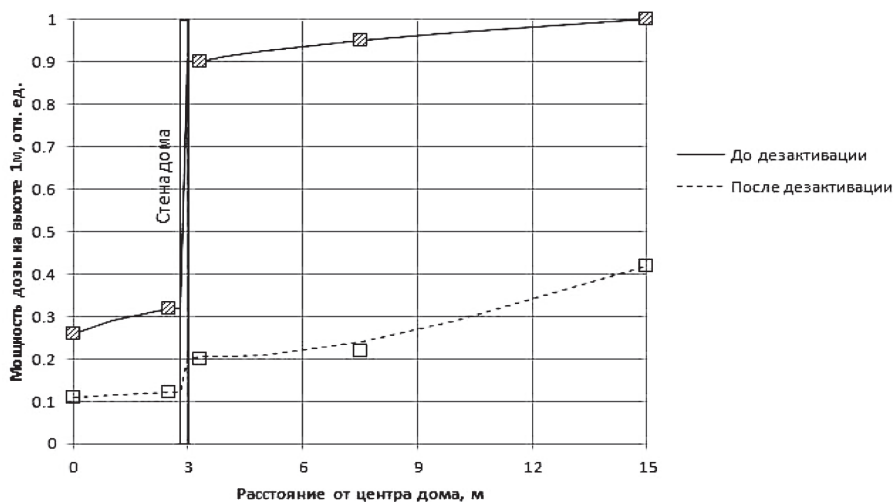
**Рис. 1.** Расчетная зависимость относительной мощности дозы на высоте 1 м над центром круга почвы от его радиуса ( $\rho_2$ , м), нормированной к мощности кермы от бесконечно протяженного источника



**Рис. 2.** Расчетная зависимость относительной мощности дозы на высоте 1 м над центром дезактивированного круга почвы от его радиуса ( $\rho_1$ , м), нормированной к мощности дозы от бесконечно протяженного источника. Значками показаны результаты экспериментальной дезактивации почвы радиусом 5, 10 и 18 м

Корректность описанного расчета была проверена в ходе пробной дезактивации целинного участка местности около села Бабаки, Брянская область, с мощностью дозы в воздухе  $2,5 \pm 0,1$  мкГр $\cdot$ ч $^{-1}$  и показателем заглубления цезия-134, 137, равным  $0,3 \pm 0,1$  см $^{-1}$ . После удаления бульдозером верхнего слоя почвы толщиной около 10 см в круге радиусом 5, 10 и 18 м снижение мощности дозы в центре дезактивируемого пятна существенно зависело от его радиуса. На рисунке 2 нанесены три точки, полученные в результате измерения мощности дозы в воздухе прибором ДРГ-1Т в ходе этого эксперимента. Хорошее совпадение результатов измерений с расчетной кривой подтверждает точность расчета и позволяет использовать его результаты для управления процессом дезактивации.

Возможности снижения мощности дозы вокруг и внутри деревянного дома путем удаления загрязненной почвы на расстоянии до 12 м от геометрического центра дома были также испытаны экспериментально. Для этого мощность дозы на высоте 1 м от пола (внутри дома) или поверхности грунта (вне дома) была измерена на разных расстояниях от центра дома до дезактивации (рис. 3, кривая 1). Затем вокруг здания был удален бульдозером верхний слой почвы толщиной около 10 см до расстояния 12 м от стен. Снижение измеренной мощности дозы в воздухе в доме и вне его в результате такой дезактивации демонстрирует кривая 2 на рисунке 3. Как внутри дома, так и снаружи мощность дозы была снижена в 2–4 раза. В остаточную мощность дозы внутри дома некоторый вклад дает излучение радионуклидов, отложившихся на крыше и стенах.

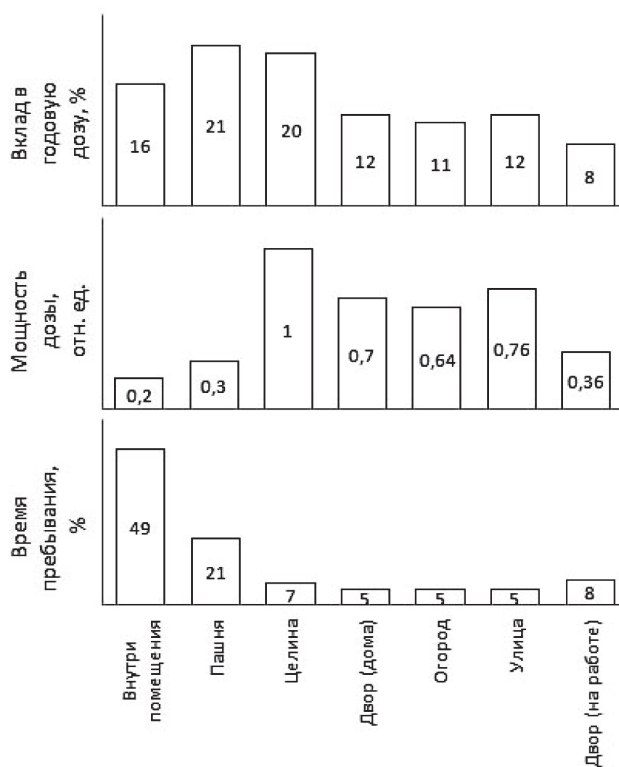


**Рис. 3.** Зависимость измеренной мощности дозы от расстояния до центра деревянного одноэтажного жилого дома на высоте 1 м от пола или поверхности грунта до и после дезактивации почвы соответственно в полосе шириной 12 м вокруг дома

Следующим этапом в выяснении закономерностей формирования дозы внешнего облучения населения был опрос около 1000 жителей четырех больших сел ЗЖК (Святск, Яловка, Николаевка, Заборье) о режиме их поведения в разные сезоны с одновременным измерением мощности дозы в доме и на личном участке и раздачей термолюминесцентных дозиметров (ТЛД). Опрос был выполнен нашими специалистами летом 1989 г. по карте «Дозиметрия-89» (приложение 1).

Также была измерена мощность дозы в воздухе во многих точках на территории этих сел и окружающей местности (поля, луга, леса и др.). Суммируя произведения средней мощности дозы на среднее время пребывания в течение года в типовых участках сел и окружающей местности с учетом коэффициента перехода от мощности дозы в воздухе к эффективной дозе получили среднюю оценку годовой эффективной дозы для следующих категорий жителей: дети дошкольного возраста (до 7 лет), школьники, механизаторы, шоферы, животноводы, пастухи, служащие, пенсионеры. Для перехода от мощности дозы в воздухе к эффективной дозе использованы данные собственных измерений, опубликованные в [17]. Вычисленная таким образом средняя годовая доза у жителей четырех сел хорошо совпала с результатами индивидуальной ТЛ-дозиметрии [18].

Наряду с вычислением всей годовой дозы, определили вклады в дозу внешнего облучения от пребывания разных категорий жителей на разных участках села и окружающей местности. На рисунке 4, где в качестве примера приведены такие вклады в дозу у механизаторов, можно видеть, что эти вклады сравнимы по величине.



**Рис. 4.** Роль различных участков в селах и их окрестностях в формировании годовой эффективной дозы внешнего облучения механизаторов: среднее время пребывания (%), относительная мощность дозы и вклад в дозу (%)

Большой вклад в дозу связан с пребыванием в домах, на пашне и на целине. Специальными измерениями мощности дозы с коллиматорами, а также расчетами было показано, что вклад в годовую дозу гамма-излучения радионуклидов, фиксированных на крыше, в 1989 г. был незначителен: около 1% для жителей первого этажа и несколько процентов для жителей верхнего (обычно второго) этажа и мансарды. Наибольшие резервы снижения дозы для этой категории жителей лежали в дезактивации приусадебных участков, дворов и улиц и во вспашке целинных участков. Для снижения дозы у детей актуальной оставалась дезактивация приусадебных участков, дворов и улиц, а также дворов детских садов и школ.

#### 4. Крупномасштабная кампания дезактивации населенных пунктов Брянской области в 1989 г.

Штаб Гражданской обороны РСФСР выделил для этой работы на все лето 1989 г. 652-й отдельный механизированный полк в составе 700 военнослужащих (2 батальона, 7 рот) и 300 строительных и транспортных машин (бульдозеры, грейдеры, грузовики и др.). Специалистам НИИРГ было поручено определить объекты дезактивации, рекомендовать ее исполнителям наиболее эффективные методы и вести контроль эффективности дезактивации.

До начала работы авторами статьи был подготовлен текст Памятки для военнослужащих и населения, проводящих дезактивацию населенных пунктов Брянской области в 1989–1990 гг. (приложение 2). Памятка была напечатана тиражом 300 экземпляров и распространена среди населения и военнослужащих.

Для планирования предстоящих дезактивационных работ сотрудники Росгидромета при участии сотрудников НИИРГ провели подробную гамма-съемку территории населенных пунктов и прилегающих угодий с вертолета и составили карты с изолиниями мощности дозы в воздухе (рис. 5). Дезактивации подлежали участки в населенных пунктах внутри изолиний  $0,2 \text{ мР} \cdot \text{ч}^{-1}$  (около  $1,7 \text{ мкГр} \cdot \text{ч}^{-1}$ ) и, по возможности, прилегающие к ним. Более детальные дозиметрические данные получали вокруг каждого объекта, подлежащего дезактивации, путем ручной гамма-съемки дозиметрами типа ДРГ-1Т (рис. 6). Подобные измерения проводили также в ходе дезактивации для выявления оставшихся радиоактивных загрязнений и после ее завершения для оценки эффективности дезактивации.

За 5 месяцев (май – октябрь 1989 г.) работы в Брянской области военнослужащие полка Гражданской обороны дезактивировали 93 населенных пункта ЗЖК с населением около 90 тыс. человек, включая наиболее загрязненные участки в г. Новозыбкове с населением 46 тыс. человек. Наиболее тщательно были обработаны 39 сел с высоким уровнем радиоактивного загрязнения, где мощность дозы на многих участках превышала критерий дезактивации  $0,2 \text{ мР} \cdot \text{ч}^{-1}$ .

Использовали следующие основные технологии дезактивации НП:

- снятие бульдозерами и удаление за пределы населенного пункта слоя целинной почвы толщиной 5–10 см с площадей, тротуаров улиц, дворов школ, детских садов, больниц и церквей, площадок для отдыха и спорта, участков вокруг производственных и жилых зданий, а при возможности – и из полосы вокруг них шириной до 10 м;

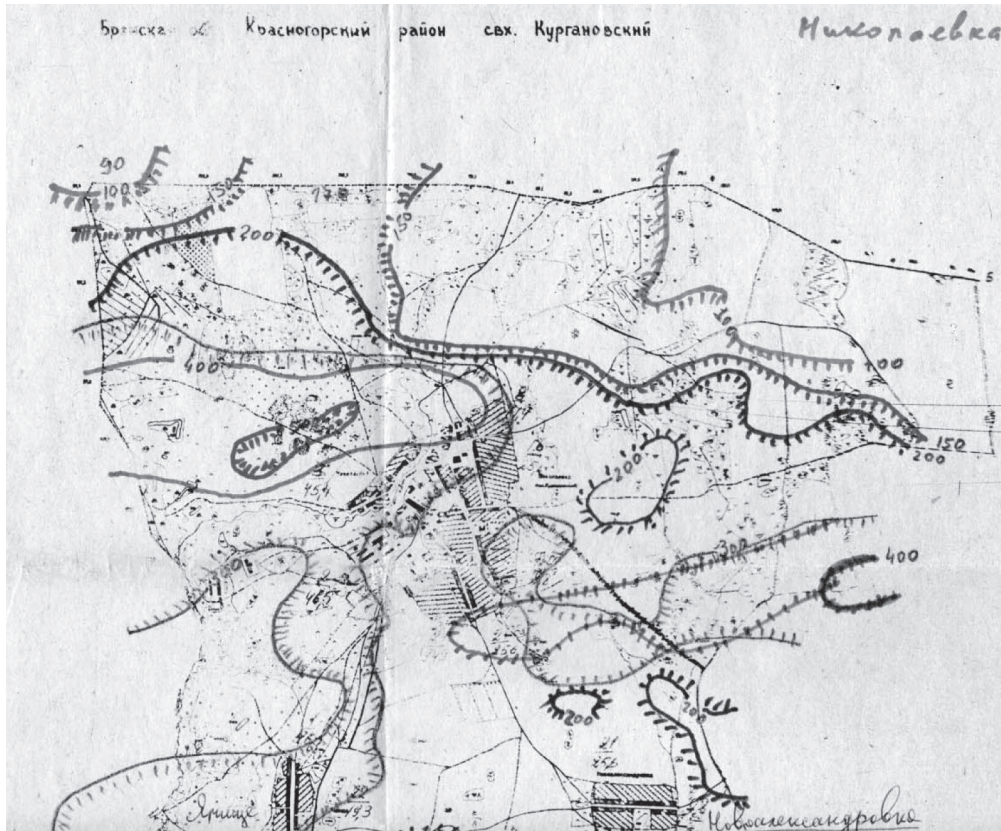


Рис. 5. Образец карты вертолетной гамма-съемки территории Красногорского района Брянской области, сделанной весной 1989 г. сотрудниками Росгидромета (В.П. Сныков и др.) и использованной для планирования дезактивационных работ. Числа при изолиниях даны в мкР·ч<sup>-1</sup>

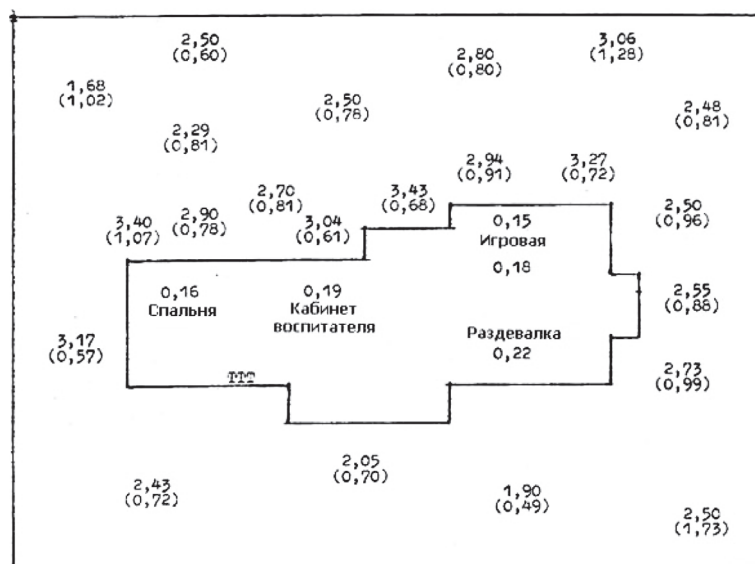


Рис. 6. Мощность дозы, мкГр·ч<sup>-1</sup>, во дворе детского сада села Яловка до и после (в скобках) дезактивации

- засыпка очищенных и неочищенных участков слоем чистого грунта, песка;
- асфальтирование отдельных площадок у дорог;
- ремонт дорог и колодцев.

На индивидуальных приусадебных участках и во дворах жилых домов, где работа бульдозера невозможна, военнослужащие и местные жители удаляли слой грунта лопатами. Дезактивацию строений в 1989 г. не проводили.

Удаленный грунт вывозили за пределы сел и захоронивали в малопосещаемых местах, как правило, в лесных оврагах на расстоянии 2–5 км от сел. Мощность дозы над складированным загрязненным грунтом не превышала значительно таковую в селе вследствие самоэкранирования источника. Тем не менее, места захоронения маркировали знаком «Радиационная опасность». Объем выполненных работ характеризует таблица 1.

Таблица 1

**Объем дезактивационных работ, выполненных летом 1989 г. в Брянской области (по данным Штаба Гражданской обороны РСФСР)**

Операции	Количество
Дезактивировано:	
Населенные пункты	93
Население, тыс. человек	90
Производственные здания	32
Индивидуальные приусадебные участки	1136
Территория, млн м <sup>2</sup>	1,4
Площадь машинных дворов и животноводческих ферм, тыс. м <sup>2</sup>	25
Улицы, дороги, км	190
Удален загрязненный грунт, тыс. кубометров	325
Завезен «чистый» грунт, тыс. кубометров	466

Дозиметрическое сопровождение работ по дезактивации включало:

- подробную гамма-съемку территории населенных пунктов и прилегающих угодий с вертолета и составление карт с изолиниями мощности дозы (Росгидромет);
- массовое наземное измерение мощности дозы в населенных пунктах, в том числе в личных дворах и домах, до и после дезактивации (30 тыс. измерений, НИИРГ);
- инструктирование командиров подразделений по наиболее эффективным методам дезактивации и наблюдение за их осуществлением (НИИРГ);
- индивидуальная ТЛ-дозиметрия жителей до и после дезактивации (742 измерения, НИИРГ);
- индивидуальная ТЛ-дозиметрия военнослужащих в период дезактивации (334 измерения, НИИРГ);
- оценка дозовой эффективности дезактивации и ее экономической обоснованности (НИИРГ).

Снижение мощности дозы в воздухе после удаления загрязненной почвы и/или засыпки ее чистым грунтом наблюдалось повсеместно и было тем сильнее, чем больше размер дезактивированного участка и чем более тщательно была выполнена дезактивация. На больших участках вокруг школ и детских садов в крупных селах Яловке (см. рис. 6) и Святске, где поверхностная активность цезия-137 на почве превышала 1,5 МБк·м<sup>-2</sup>, а мощность дозы в воздухе до дезактивации составляла от 0,15 до 0,4 мР·ч<sup>-1</sup> (1,3 до 3,5 мкГр/ч), после снятия грейдерами и удаления поверхностного слоя почвы, подсыпки чистого песка и асфальтирования дорожек мощность дозы снизилась в 3–5 раз до уровня меньше 0,1 мР·ч<sup>-1</sup> (1 мкГр/ч).

В этих же селах военнослужащие и жители дезактивировали вручную (из-за малых размеров участков) личные подворья, что привело к снижению мощности дозы в среднем в 2 раза. Однако высокая трудоемкость таких процедур не позволила провести их повсеместно на всех загрязненных участках.

Опыт радиационного контроля до, во время и после дезактивации был оформлен авторами в виде утвержденных «Методических рекомендаций по дозиметрическому контролю эффективности дезактивационных мероприятий». Этот документ в дальнейшем был использован в проектах МАГАТЭ по дезактивации сельских населенных пунктов и вошел в соответствующую публикацию [19].

Через год после дезактивации была проведена серия из 400 повторных измерений, которые показали дальнейшее снижение мощности дозы на дезактивированных участках в среднем на 10–15%, что соответствовало радиоактивному распаду и заглоблению радионуклидов и не указывало на вторичный перенос радионуклидов на дезактивированные участки.

## 5. Оценка эффективности дезактивации 1989 г.

Эффективность дезактивации можно охарактеризовать с помощью следующих количественных показателей: фактора снижения мощности дозы (ФСМД), который равен отношению мощности дозы над поверхностью до и после дезактивации, и фактора снижения эффективной дозы (ФСЭД), который равен отношению эффективной дозы внешнего облучения разных категорий жителей за одинаковый промежуток времени до и после дезактивации с учетом радиоактивного распада. Первый показатель (ФСМД) характеризует эффективность примененной технологии дезактивации, а второй (ФСЭД) – относительное снижение эффективной дозы внешнего облучения жителей и связанного с ней радиационного риска. ФСЭД имеет прямое отношение к радиационной защите населения территории, загрязненной радионуклидами.

В таблице 2 приведены значения эффективности и удельной стоимости (на 1 м<sup>2</sup>) основных технологий дезактивации почвы после радиоактивных выпадений [20]. Показатель эффективности ФСМД приводится для источника бесконечной площади и для условий дезактивации на всей его площади. В реальных условиях ограниченной площади загрязненного и дезактивированного участков, а также неидеального соблюдения технологии дезактивации ее эффективность ниже, а значения ФСМД выше значений, приведенных в таблице 2. Примеры и пояснения по этим вопросам приведены выше в разделе 4.

Таблица 2

**Эффективность и удельная стоимость основных технологий дезактивации почвы [20]**

Участок	Технология	ФСМД, отн. ед.	Стоимость*, USD на м <sup>2</sup>
Подворье	Ручная перекопка	3	1
Подворье	Тройная перекопка	5–10	2
Подворье	Машинное удаление верхнего слоя (Бобкэт)	10–30	1
Поле, луг, газон	Вспашка с заглоблением верхнего слоя	5–10	0,01

\* – указанная стоимость не включает стоимость транспортировки и захоронения отходов дезактивации.

Как специалисты по радиационной защите населения авторы данной работы были заинтересованы, в первую очередь, в дозовой эффективности дезактивации (ФСЭД) и использовали для ее определения два способа. Согласно первому из них, для каждой категории жителей, указанной в таблице 3, умножали ранее установленное с помощью опроса среднее время пребывания человека в течение года в отдельных местах населенного пункта [21] и за его пределами на уменьшенную после дезактивации и измеренную мощность дозы в воздухе и соответствующие коэффициенты перехода к эффективной дозе [17]. Просуммировав эти произведения по местам пребывания, получили оценку годовой эффективной дозы внешнего облучения после дезактивации для каждой категории жителей. Среднюю эффективную дозу у жителей населенного пункта вычисляли взвешиванием дозы для каждой категории жителей по доле лиц данной категории в населении. Уменьшение расчетной годовой дозы, представленное для наглядности в процентах к прежнему значению, т.е. равное  $(1-1/ФСЭД) \cdot 100\%$ , рассматривали как дозовый показатель эффективности дезактивации (см. табл. 3).

Таблица 3

**Расчетное снижение эффективной дозы у населения (1-1/ФСЭД) вследствие дезактивации населенных пунктов (%)**

Профессия, род занятий (число опрошенных лиц)	Название села (число жителей)			Среднее
	Святск (640)	Яловка (1400)	Николаевка (470)	
Пастухи, шоферы (104)	5,9	8,3	7,2	7
Другие лица, работающие вне помещений (304)	9,7	12,5	9,6	11
Лица, работающие в помещениях (204)	12,7	16,7	12,2	14
Пенсионеры (154)	15,2	19,7	15,2	17
Школьники (204)	15,2	17,2	-	16
Дошкольники (104)	29,3	28,6	-	29
Средневзвешенное по числу опрошенных лиц				15%

Различия в эффективности дезактивации, достигнутой в трех крупных селах, невелики в пределах каждой категории жителей. Наименьшая эффективность защиты (снижение дозы в среднем на 7%) получена для шоферов и пастухов, чье производственное время протекает вне дезактивированных сел. Несколько выше (11%) показатель у других лиц, работающих вне помещений и часто вне села (полеводы, механизаторы и др.). Средний эффект дезактивации (14–17%) – у работающих в помещениях (служащие, доярки и др.), пенсионеров и школьников. Высший показатель (29%) относится к детям дошкольного возраста, большинство из которых посещают детский сад. На территории детского сада и многих индивидуальных дворов, где проводят время дети, мощность дозы снижена дезактивацией радикально. Средняя в селах эффективность дезактивации, взвешенная по числу опрошенных лиц, которое указано в первом столбце таблицы 3, составляет по расчету 15%.

Второй способ оценки эффективности дезактивации – индивидуальная ТЛ-дозиметрия жителей до (май 1989 г.)

и после (октябрь 1989 г.) проведения дезактивации. Результаты, представленные в таблице 4, свидетельствуют о несколько большей эффективности дезактивации для всего населения ( $26 \pm 5\%$ ), чем расчетная оценка. В таблице 4 приведены также данные последующих измерений в 1990 и 1991 гг., согласно которым доза внешнего гамма-излучения монотонно убывает со временем.

Таблица 4

**Средняя месячная доза внешнего облучения взрослых сельских жителей, измеренная индивидуальными термомюлюминесцентными дозиметрами до и после дезактивации**

Название села	До дезактивации	После дезактивации			(1-1/ФСЭД), %
	Май 1989 г.	Октябрь 1989 г.	1990 г.	Июнь 1991 г.	
Яловка	0,51	0,35	0,31	0,28	31
Старый Вышков	0,49	0,31	-	0,25	37
Кузнец	0,70	0,57	0,35	0,35	19
Кожаны	0,55	0,47	0,35	-	15
					<b>26 ± 5%*</b>

\* – среднее ± стандартная ошибка среднего.

Сопоставляя оба способа оценки эффективности дезактивации, достигнутой в рассматриваемых 7 селах, можно полагать, что наиболее вероятная оценка лежит между ними и составляет около 20%. Такая заметная эффективность дезактивации достигнута далеко не во всех 93 населенных пунктах, а лишь в тех 39 селах, где эту работу выполняли более тщательно.

Оценим коллективную эффективную дозу у населения КЭД, которая была предотвращена в результате кампании дезактивации 1989 г. По данным наших регулярных наблюдений, включая ИДК жителей, средняя пожизненная эффективная доза внешнего облучения сельских жителей «чернобыльской смесью» радионуклидов в России на расстоянии между 100 и 1000 км от ЧАЭС составила 68 мЗв на 1 МБк м<sup>-2</sup> выпадений <sup>137</sup>Cs в 1986 г. [22]. Из динамики накопления дозы внешнего облучения, представленной в [21, 22], следует, что к лету 1989 г. жители получили 30–40% пожизненной дозы и еще 60–70% дозы ожидалось в будущем, т.е. 40–50 мЗв на 1 МБк м<sup>-2</sup> выпадений <sup>137</sup>Cs в 1986 г.

Тогда в предположении об устойчивости в будущем эффекта дезактивации, проведенной в 1989 г., предотвращенная коллективная доза у 14 тыс. жителей сел со средней  $\sigma$  около 1,5 МБк · м<sup>-2</sup> оценивается:

$$\Delta KЭД_1 = (40-50) \cdot 1,5 \cdot 14 \cdot 10^3 \cdot 0,2 \cdot 10^{-3} \approx 200 \text{ чел} \cdot \text{Зв.}$$

В других 63 населенных пунктах, где проживает 30 тыс. человек при средней  $\sigma$  около 0,7 МБк · м<sup>-2</sup>, эффективность дезактивации была ниже и оценивается около 10%:

$$\Delta KЭД_2 = (40-50) \cdot 0,7 \cdot 30 \cdot 10^3 \cdot 0,1 \cdot 10^{-3} \approx 100 \text{ чел} \cdot \text{Зв.}$$

В г. Новозыбкове с населением около 50 тыс. и  $\sigma$ , тоже равной 0,7 МБк · м<sup>-2</sup>, ожидаемая доза по данным ИДК оценена в 2 раза ниже, чем в селах [21, 22], а эффективность дезактивации едва ли была более 5%:

$$\Delta KЭД_3 = (20-30) \cdot 0,7 \cdot 50 \cdot 10^3 \cdot 0,05 \cdot 10^{-3} \approx 50 \text{ чел} \cdot \text{Зв.}$$

$$\text{Итого, } \Delta KЭД = \Delta KЭД_1 + \Delta KЭД_2 + \Delta KЭД_3 \approx 350 \text{ чел} \cdot \text{Зв.}$$

Учитывая консервативность сделанных предположений, полагаем это значение верхней оценкой достигнутого ре-

зультата кампании дезактивации 1989 г. Эта оценка значительно, в 1,5–4 раза ниже ранней оценки предотвращенной коллективной дозы, сделанной нами в 1990 г. В тот период мы не располагали долгосрочными наблюдениями динамики дозы внешнего облучения жителей и потому сделали весьма консервативное предположение о будущем, учитывая только радиоактивный распад и не учитывая миграцию радионуклидов в населенном пункте и окружающей среде. Позднее эти процессы были нами детально исследованы, а дозы внешнего облучения населения верифицированы индивидуальными ТЛД-измерениями [18, 21, 22].

Согласно результатам 9 серий индивидуальных ТЛД-измерений и контроля доз внутреннего облучения с помощью счетчиков всего тела, средняя месячная суммарная эффективная доза у военнослужащих 7 подразделений, располагавшихся и работавших в различных участках Брянской области, составляла от 0,15 до 0,7 мЗв. Индивидуальная доза за 5 месяцев не превысила 3 мЗв, а коллективная доза у 700 человек оценена около 1,2 чел.-Зв. Коллективная доза, полученная военнослужащими, более чем на два порядка величины ниже коллективной дозы у населения, предотвращенной вследствие дезактивации.

Сопоставим достигнутый эффект с денежными расходами на проведение дезактивационных работ 700 военнослужащих в течение 5 месяцев, показанными в таблице 5. Общая сумма расходов составила около 6 млн рублей, а стоимость предотвращения 1 чел.-Зв находилась с учетом приведенной выше оценки ΔКЭД на уровне 15–20 тыс. руб.

Таблица 5

**Стоимость дезактивационных работ в Брянской области летом 1989 г. (млн руб): 700 военнослужащих, 300 машин, 5 месяцев работы (по данным Штаба Гражданской обороны РСФСР)**

Расходы	Стоимость, млн руб.
Питание военнослужащих	0,25
Обмундирование	0,20
Денежное содержание	1,65
Горюче-смазочные материалы	0,08
Эксплуатация машин	3,41
Аренда зданий	0,09
Социальные и культурные расходы	0,03
Всего	5,7

В рассматриваемый период, в конце 1980-х гг., монетарный анализ «затраты – выгода» не использовался в отечественном радиационно-гигиеническом регулировании; первое положение о нем вошло в НРБ-96 на 7 лет позже. Напротив, в международном регулировании этот анализ был весьма распространен, особенно в наиболее экономически развитых странах. Согласно [23], в тот период в разных странах обоснованными считались затраты на радиационную защиту в диапазоне 10–100 тыс. долларов США на предотвращение коллективной эффективной дозы в 1 чел.-Зв. Поскольку покупательная способность рубля в конце 1980-х гг. была явно ниже доллара США, расходы на дезактивацию населенных пунктов Брянской области можно считать вполне оправданными с позиций анализа «затраты – выгода».

По нашему мнению, ежегодные кампании дезактивации населенных пунктов Брянской области в 1986–1989 гг. спо-

собствовали также снижению социальной напряженности населения, обеспокоенного чрезвычайной ситуацией. Для оценки дозовой эффективности предыдущих кампаний дезактивации радиологических данных недостаточно. Можно лишь предполагать, что они предотвратили коллективную эффективную дозу того же порядка, что и дезактивация 1989 г., а всего в 1986–1989 гг. – порядка 1 тысячи чел.-Зв. Однако по инициативе местных властей с 1990 г. многие жители ЗЖК, в том числе дезактивированных поселков, переселились в незагрязненные районы. По нашей оценке, это уменьшило предотвращенную дезактивацией ожидаемую коллективную эффективную дозу ΔКЭД на 20–30%.

## 6. Заключение

В статье описан уникальный опыт крупномасштабной дезактивации населенных пунктов западных районов Брянской области с наибольшими уровнями чернобыльских радиоактивных выпадений, которая была проведена летом 1989 г. силами Гражданской обороны РСФСР в тесном сотрудничестве с сотрудниками Института радиационной гигиены. Результатом дезактивации было предотвращение значительной части ожидаемой дозы внешнего облучения жителей, а также снижение социальной напряженности среди населения.

Дезактивация населенных пунктов является классической мерой радиационной защиты, в управлении которой уместен и плодотворен оптимизационный анализ. В данной работе оптимизация защиты была проведена в неявной форме путем определения источников излучения, вносящих основной вклад в дозу внешнего облучения сельских жителей (радионуклиды  $^{134}\text{Cs}$  и  $^{137}\text{Cs}$  в верхнем слое почвы), и сосредоточения усилий на удалении источника за пределы населенного пункта.

Радиологический критерий для проведения дезактивации участка населенного пункта был установлен на основе критерия не превышения пожизненной дозы 350 мЗв и составлял  $1,7 \text{ мкГр}\cdot\text{ч}^{-1}$  в терминах мощности дозы в воздухе на открытой местности.

Расчетным и экспериментальными способами было показано, что приемлемая эффективность снижения мощности дозы в точке на высоте 1 м над поверхностью почвы достигается при удалении радионуклидов из кругового слоя почвы толщиной не менее 5 см и радиусом до 10 м.

Проведению дезактивационных работ предшествовала подробная гамма-съемка территории населенных пунктов и прилегающих угодий с вертолета, завершившаяся составлением карт с изолиниями мощности дозы, и более детальная подворная ручная гамма-съемка каждого объекта, подлежащего дезактивации. Подобные измерения проводили также в ходе дезактивации и после ее завершения.

За 5 месяцев работы в Брянской области летом 1989 г. военнослужащие Гражданской обороны дезактивировали 93 населенных пункта с населением около 90 тыс. человек. Наиболее тщательно были обработаны 39 сел с высоким уровнем радиоактивного загрязнения.

Снижение мощности дозы в воздухе после удаления загрязненной почвы и/или засыпки ее чистым грунтом наблюдалось повсеместно и было тем сильнее, чем больше был размер дезактивированного участка и чем более тщательно была выполнена дезактивация. На больших участках вокруг школ и детских садов мощность дозы снизилась в 3–5 раз до уровня меньше  $1 \text{ мкГр}/\text{ч}$ . Личные подворья



военнослужащие и жители дезактивировали вручную, что привело к снижению мощности дозы в среднем в 2 раза.

Повторные измерения через год и позднее показали дальнейшее снижение мощности дозы на дезактивированных участках, соответствующее радиоактивному распаду и заглоблению радионуклидов, и отсутствие вторичного переноса радионуклидов на дезактивированные участки.

Удаленный грунт вывозили за пределы сел и захоронивали в малопосещаемых лесных оврагах на расстоянии 2–5 км от сел.

Эффективность дезактивации в терминах снижения годовой и пожизненной дозы внешнего облучения жителей нескольких дезактивированных сел оценили модельным расчетом с использованием измерений мощности дозы до и после дезактивации, а также путем ТЛД-измерений индивидуальной дозы у жителей за месяц до и после дезактивации. Результаты двух оценок согласуются и составляют в среднем 20%.

Наименьшая эффективность дезактивации (снижение годовой дозы в среднем на 7%) получена для шоферов и пастухов, которые работают преимущественно вне дезактивированных сел. Несколько выше (11%) показатель у других лиц, работающих вне помещений и часто вне села (полеводы, механизаторы и др.). Средний эффект дезактивации (14–17%) – у работающих в помещениях (служащие, доярки и др.), пенсионеров и школьников. Высший показатель (29%) относится к детям дошкольного возраста, большинство из которых посещает детские сады.

Коллективная эффективная доза у населения Брянской области, которая была предотвращена в результате кампании дезактивации 1989 г., оценена в 350 чел.-Зв. Для оценки дозовой эффективности ежегодных кампаний дезактивации населенных пунктов в 1986–1988 гг. радиологических данных недостаточно. Можно лишь предполагать, что они предотвратили коллективную эффективную дозу того же порядка, что и дезактивация 1989 г., а всего в 1986–1989 гг. – порядка 1 тысячи чел.-Зв.

Анализ денежных расходов на проведение дезактивационных работ 700 военнослужащих в течение 5 месяцев показал, что стоимость предотвращения 1 чел.-Зв находилась на уровне 15–20 тыс. руб. С позиций анализа «затраты – выгода» конца 1980-х гг. расходы на дезактивацию населенных пунктов Брянской области были вполне оправданными.

Впоследствии экспериментальные работы по дезактивации НП Брянской области были продолжены специалистами НИИРГ и его Новозыбковского филиала в сотрудничестве с Национальной лабораторией Riso, Дания. Результаты исследований [20, 24, 25], наряду с материалами авторов данной статьи [7], были использованы для обобщения уникального опыта постчернобыльской дезактивации и подготовки практических руководств на случай будущей ядерной аварии [19, 26].

Опыт проведения, мониторинга и оценки эффективности крупномасштабной дезактивации в Брянской области после чернобыльской аварии был доложен на совещаниях 2011–2013 гг. органам власти и специалистам по радиационной защите Японии, где в настоящее время ведутся аналогичные работы в зоне фукусимской аварии.

## Литература

1. Атлас радиоактивного загрязнения европейской части России, Белоруссии и Украины / под ред. Ю.А. Израэля. –

М.: Федеральная служба геодезии и картографии России, 1998. – 143 с.

2. Де Корт, М. Атлас загрязнения Европы цезием после чернобыльской аварии / М. Де Корт [и др.]. – Люксембург: Европейская Комиссия, EUR 16733, 1998. – 176 с.
3. Алексахин, Р.М. Крупные радиационные аварии: последствия и защитные меры / Р.М. Алексахин ; под ред. Л.А. Ильина и В.А. Губанова. – М.: ИЗДАТ, 2001. – 752 с.
4. Накопленные средние эффективные дозы (внешнего и внутреннего облучения всего тела жителей населенных пунктов Брянской, Калужской, Орловской, Тульской, Рязанской и Липецкой областей РФ за первый год после аварии на Чернобыльской АЭС и за период с 1986 до конца 1995 г.) / под ред. М.И. Балонова, М.Н. Савкина и В.А. Питкевича // Радиация и Риск, 1999. – 125 с.
5. Чернобыль. Пять трудных лет // Сборник материалов. – М.: ИЗДАТ, 1992. – 125 с.
6. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation 2013. Sources and Effects of Ionizing Radiation (2013 Report to the General Assembly, with Annexes), Annex A. Levels and effects of radiation exposure due to the nuclear accident after the 2011 Great East-Japan earthquake and tsunami. – New York: United Nations; to be published, 2013.
7. Balonov, M.I. Theory and practice of a large-scale programme for the decontamination of the settlements affected by the Chernobyl accident / M.I. Balonov [et al.] // Proc. Int. Sem. on Intervention Levels and Countermeasures for Nuclear Accidents, Rep. EUR 14469. – Luxembourg 397–415, 1992. – P. 397–415.
8. International Commission on Radiological Protection. Protection of the Public in the Event of Major Radiation Accidents: Principles for Planning, Publication 40. – Oxford and New York: Pergamon Press, 1984. – 22 p.
9. International Commission on Radiological Protection. Principles for Intervention for Protection of the Public in a Radiological Emergency, ICRP Publication 63. Oxford and New York: Pergamon Press, 1993. – 30 p.
10. International Commission on Radiological Protection. Application of the Commission's Recommendations for the Protection of People in Emergency Exposure Situations. ICRP Publication 109. Ann. ICRP 39 (1), 2009. – 105 p.
11. International Commission on Radiological Protection. Cost-Benefit Analysis in the Optimization of Radiation, Publication 37 // Annals of the ICRP. – V. 10, Nos. 2/3. – 1983. – P. 1–77.
12. International Commission on Radiological Protection. Optimization and Decision-Making in Radiological Protection, Publication 55 // Annals of the ICRP. – V. 20, № 1. – 1989. – P. 1–60.
13. International Commission on Radiological Protection. The Optimisation of Radiological Protection – Broadening the Process. ICRP Publication 101b // Ann. ICRP 36 (3). ICRP Publication 101b. Ann. ICRP 39 (1). – 2009. – P. 65–104.
14. Предел индивидуальной дозы за жизнь, установленный для населения контролируемых районов РСФСР, БССР и УССР, подвергшихся радиоактивному загрязнению в результате аварии на ЧАЭС: утв. МЗ СССР 22.11.1988 г.
15. Jacob, P. Monte Carlo Calculation and Analytical Approximation of Gamma-Rays Buildup Factors in Air / P. Jacob [et al.] // Nucl. Sci. Eng. – 1984. – V. 87. – P. 113–122.
16. Jacob, P. Gamma-Ray Exposure from Contaminated Soil / P. Jacob [et al.] // Nucl. Sci. Eng. – V. 93, 1986. – P. 248–261
17. Golikov, V. Evaluation of conversion coefficients from measurable to risk quantities for external exposure over contaminated soil by use of physical human phantoms / V. Golikov [et al.] // Radiat. Environ. Biophys. – 2007. – V. 46 (4). – P. 375–382.
18. Golikov, V. Model validation for external doses due to environmental contamination by the Chernobyl accident / V. Golikov [et al.] // Health Physics. – 1999. – V. 77 (6). – P. 654–661.
19. Руководство по дезактивации сельских населенных пунктов в отдаленный период после радиоактивного загрязнения долгоживущими радионуклидами. Рабочий Документ ТС проекта RER/9/059. – Вена.: МАГАТЭ, 2001. – 103 с.
20. Practical Means for Decontamination 9 Years After a Nuclear Accident / Ed. by Roed J., Andersson K., Prip H. – Risoe-R-828(EN), Risø National Lab., Roskilde, 1995. – 82 p.

21. Golikov, V. External exposure of the population living in areas of Russia contaminated due to the Chernobyl Accident / V. Golikov [et al.] // Radiat. Environ. Biophys. – 2002. – P. 185–193.
22. Международное Агентство по Атомной Энергии. Экологические последствия аварии на Чернобыльской АЭС и их преодоление: Двадцатилетний опыт. – Вена.: МАГАТЭ, 2006. – 180 с.
23. Международный Консультативный Комитет. Международный чернобыльский проект. Технический доклад «Оценка радиологических последствий и защитных мер». – Вена: МАГАТЭ, 1992. – 740 с.
24. Roed, J. Decontamination in a Russian settlement / J. Roed [et al.]. – Riso-R-870(EN). Riso National Laboratory, Roskilde, Denmark, 1996.
25. Roed, J. Mechanical Decontamination Tests in Areas Affected by the Chernobyl Accident / J. Roed [et al.]. – Riso-R-1029(EN). Riso National Laboratory, Roskilde, Denmark, 1998.
26. Remediation of Contaminated Environments / Ed. by Voigt G., Fesenko. – S. Elsevier, 2008. – 477 p.

Приложение 1

ИНДИВИДУАЛЬНАЯ КАРТА «ДОЗИМЕТРИЯ-1989» № \_\_\_\_\_

1. ФИО \_\_\_\_\_
2. Пол \_\_\_\_\_ 3. Дата рождения \_\_\_\_\_ 4. Масса тела \_\_\_\_\_ кг
5. Адрес: Район \_\_\_\_\_ Город, ПГТ, село \_\_\_\_\_
- Улица \_\_\_\_\_ Номер дома \_\_\_\_\_ Номер квартиры \_\_\_\_\_
6. Место работы \_\_\_\_\_ 7. Профессия \_\_\_\_\_
8. Жилой дом (материал стен, число этажей) \_\_\_\_\_
9. Схема дома и участка с размерами и мощность дозы (мкР/ч) до и после (в скобках) дезактивации

255 (195)	233 (142)	156 <b>Сад</b> 164	174
<b>Двор</b>		27 (25)	32 (30)
		<b>Дом</b>	
216 (157)	227 (149)	31 (25)	41 (35)
		116 (85)	
<b>Огород</b>		180	

Скамейка 259 222 232 (100) (110) (104) **Улица**

10. Описание процедур дезактивации \_\_\_\_\_

11. Время пребывания (часов в день):

Время года	Индивидуальное хозяйство		На работе/учебе				На отдыхе	
	В помещении	Вне помещения	В помещении	Двор	Пашня	Целина	Лес	Луг
Весна								
Лето								
Осень								
Зима								

12. Индивидуальная дозиметрия

Дозиметр выдан (дата)				
Дозиметр собран (дата)				
Доза, мЗв				

Дата заполнения карты: « \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 1989 г.

Ответственный \_\_\_\_\_

Подпись

ФИО

Приложение 2

**Памятка для военнослужащих и населения, проводящих дезактивацию населенных пунктов Брянской области в 1989–1990 гг.**

1. Целью дезактивационных работ является уменьшение поглощенной дозы в организме жителей, которая создается гамма-излучением радиоактивных веществ, рассеянных на местности (почве, строениях и т.д.) после аварии на Чернобыльской АЭС. Проведение этих работ необходимо в тех 35 населенных

пунктах Брянской области, где, согласно дозиметрическому прогнозу, средняя доза внешнего и внутреннего облучения жителей за 70 лет без дезактивации может превысить установленный Министерством здравоохранения СССР безопасный предел дозы за жизнь, равный 35 бэр (350 мЗв). Успешное проведение дезактивации в этих населенных пунктах уменьшит ожидаемую дозу внешнего облучения и позволит уже в 1990 г. отменить многие ограничения в режиме поведения и питания населения, ведения личного приусадебного хозяйства.

2. Для уменьшения дозы внешнего облучения жителей следует всеми доступными средствами снижать уровень гамма-фона в населенных пунктах. Поскольку снижение гамма-фона на всей территории населенного пункта требует очень больших материальных и трудовых затрат, в первую очередь, дезактивируются места регулярного и длительного пребывания людей. К ним относятся территории вокруг детских учреждений (детские сады, ясли, школа), общественных (клуб, магазин, медпункт, церковь и др.) и производственных (мех. двор, ферма, цех и др.) зданий, личные подворья и другие общественные места (площадь, спортплощадка, танцплощадка и т.д.). При дезактивации территории вокруг здания гамма-фон внутри него также уменьшается.

3. Более 95% радиоактивных веществ – главным образом, радиоизотопов цезия – содержится в верхнем слое почвы толщиной 3 см, если почву не перекапывали после аварии на ЧАЭС. Поэтому наиболее значительное, устойчивое на длительное время снижение гамма-фона достигается срезанием и удалением верхнего слоя почвы толщиной 5–10 см. Срезанную почву необходимо вывезти за пределы населенного пункта в специально отведенные овраги, карьеры и т.п. На большой площади почвенный слой целесообразно удалять с помощью строительной техники – бульдозеров, грейдеров. На малых участках, особенно на личных подворьях, эту работу приходится выполнять вручную. На место удаленного грунта можно подсыпать щебень, песок или чистую почву; отдельные участки можно бетонировать или асфальтировать, закрыть плиткой. В результате срезания и удаления радиоактивной почвы происходит снижение гамма-фона в 1,5–5 раз в зависимости от размеров участка и тщательности выполнения дезактивации.

Снижение гамма-фона в 1,5–2,5 раза достигается при засыпке территории слоем песка или чистой почвы толщиной около 10 см. Однако в этом случае из-за уноса песка дождевой водой защитный эффект с годами может уменьшиться. Близкую по величине эффективность снижения гамма-фона – в 1,5–3 раза – дает перекапывание почвы на глубину 10–20 см. Дополнительно уменьшить гамма-фон над поверхностью перекопанного огорода, сада, поля можно, засыпав его сверху слоем торфа или чистой почвы.

4. Исследования показали, что большой вклад в величину гамма-фона в данной точке дает излучение, выходящее из почвы на расстоянии в несколько метров и более от нее. Поэтому для снижения гамма-фона, например, у скамейки на улице, совершенно недостаточно дезактивировать участок почвы под ней, а необходимо очистить, засыпать или перекопать территорию достаточного большого размера. При срезании почвы в круге радиусом 5 м гамма-фон на высоте 1 м над его центром уменьшается в 2 раза, при радиусе 10 м – в 3 раза, а при радиусе 20 м – в 5 раз. Для того чтобы снизить гамма-фон на всей площади участка, например, личного подворья, нужно дезактивировать почву как на

самом участке, так и за его пределами в прилегающей полосе шириной 5–10 м, даже если эта полоса находится за забором.

5. Перед дезактивацией почвы на участке необходимо убрать и вывезти мусор, снести ветхие строения и заборы, удалить сорняки, ненужные кусты и деревья, грунт из-под стоков с крыш. Соломенные, деревянные и старые шиферные крыши, поросшие мхом, нужно заменить. Как показали исследования, радиоактивное загрязнение железных и шиферных крыш невелико по сравнению с загрязнением почвы и дает незначительный вклад в гамма-фон в доме.

6. Дозиметрический контроль является важной составной частью дезактивационных работ. Гамма-фон обязательно измеряют на территории до и после дезактивации, чтобы определить ее необходимость и эффективность, выявить отдельные пятна радиоактивного загрязнения, подлежащие удалению. Подробная гамма-съемка всех 35 населенных пунктов Брянской области, где запланированы дезактивационные работы, проведена весной 1989 г.

7. Дезактивацию населенных пунктов Брянской области с мая по октябрь 1989 г. успешно производят подразделения войск Гражданской обороны СССР при дозиметрическом контроле специалистов Ленинградского института радиационной гигиены. С помощью мощной строительной техники выполнен большой объем работ по очистке территории детских учреждений, вокруг общественных и производственных зданий, засыпке чистым песком, подсыпке дорог. На участках вокруг школ и детских садов в селах Яловке и Святске в результате удаления верхнего слоя почвы гамма-фон снижен в 3–5 раз до уровней менее 100 мкР/ч. Благодаря этому ожидается снижение ежегодной дозы гамма-излучения у детей на 30–50% при условии дезактивации и личного подворья. К сожалению, громоздкие бульдозеры и грейдеры для работы на подворьях непригодны. Дезактивацию личных подворий нужно производить вручную, лопатами с участием жителей – хозяев домов. Численность военнослужащих недостаточна, чтобы выполнить работу своими силами.

#### Уважаемые граждане!

Обращаемся к Вам с предложением совместно выполнить эту важную работу. Если Вы в свои выходные дни до октября 1989 г. срежете лопатами верхний слой грунта на своем подворье, уберете мусор и вынесете его на обочину дороги перед домом, то военнослужащие увезут загрязненную почву и мусор из села и привезут Вам чистый песок для засыпки подворья. Пожилым людям будет обязательно оказана помощь. После окончания работы дозиметрист измерит гамма-фон и сообщит Вам результаты дезактивации.

Дезактивация уменьшит радиацию в Вашем доме, обеспечит сохранение Вашего здоровья и здоровья Ваших детей.

Брянский штаб гражданской обороны  
Брянская областная санэпидстанция  
Ленинградский НИИ радиационной гигиены

M.I. Balonov<sup>1</sup>, V.Yu. Golikov<sup>1</sup>, V.I. Parkhomenko<sup>2</sup>, A.V. Ponomarev<sup>3</sup>

#### Decontamination of localities in the Bryansk region after the Chernobyl accident

<sup>1</sup> Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Saint-Petersburg

<sup>2</sup> Bryansk State Academy for Engineering and Technologies, Bryansk

<sup>3</sup> JSC Lenenergo, Kingisepp

*Abstract. The paper presents at first time in Russian the experience of decontamination of settlements located in the 'Strict control area' of the Bryansk region. Large scale decontamination campaign was implemented in summer 1989 by Russian Civil Defence forces jointly with the experts of the Institute of Radiation Hygiene. Radiological criteria for decontamination are presented and external dosimetry of the public considered. Recommendations for decontamination of settlements were developed based on modeling and experiments. During five months, 93 settlements with population of 90 ths. were decontaminated. Repeated radiation measurements next year and afterwards proved that there was no radioactive re-contamination of the treated areas. Effectiveness of decontamination was estimated by modeling and by individual TLD measurements conducted before and after decontamination. The results of two methods agreed well and the average effectiveness was estimated as 20%. The collective effective dose averted by the decontamination works in 1989 was estimated as 350 man-Sv.*

Key words: Chernobyl accident, public exposure, decontamination, external dose.

В.Ю. Голиков  
Тел. (812) 233-42-83  
E-mail: journal@niirg.ru

Поступила: 15.01.2014