

Радиационно-гигиеническая оценка возможностей применения механической дезактивации в населенных пунктах Брянской области

В.П. Рамзаев¹, А.Н. Барковский¹, А.С. Мишин¹, Б.Ф. Воробьев¹, К.Г. Андерссон²

¹ ФГУН «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева» Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Санкт-Петербург

² Национальная Лаборатория Рисо, Технический Университет Дании – ДТУ, Роскилде, Дания

В статье приведены обобщенные сведения, касающиеся технологии проведения и результатов механической дезактивации почвы и строений на территории двух баз отдыха, расположенных в Брянской области. Обе базы были сильно загрязнены после Чернобыльской аварии. В результате проведенных мероприятий удалось примерно в 4–5 раз снизить мощность дозы гамма-излучения вне помещений. Мощность Чернобыльской компоненты гамма-излучения внутри помещений была уменьшена в 3–4 раза. Долговременный мониторинг дезактивированных и прилегающих контрольных территорий показал высокую стабильность полученных результатов.

Ключевые слова: Чернобыльская авария, доза внешнего облучения, механическая дезактивация.

Введение

Чернобыльская авария и последовавшие за ней контрмеры привели к весьма существенным и долговременным изменениям уклада жизни населения юго-западной части Брянской области. Весьма болезненными были многочисленные защитные мероприятия, касающиеся производства и потребления местной сельскохозяйственной продукции [1, 2, 3]. Вместе с тем ограничения, которые были введены в отношении посещения лесов и других природных объектов, а также баз отдыха и пионерских лагерей, расположенных преимущественно в лесных массивах, существенно уменьшили возможности людей (в особенности городских жителей) для полноценного отдыха.

Одной из важных причин, вынуждающих власти ограничивать пребывание населения внутри лесных массивов и в местах организованного отдыха за городом, является высокая мощность дозы гамма-излучения от радионуклидов Чернобыльского происхождения. Мощность дозы гамма-излучения в воздухе внутри лесов в 2,5–3 раза превышает величины соответствующего показателя для земельных площадок и огородов внутри населенных пунктов (н.п.) [4]. В целом же накопленная доза аварийного облучения внутри лесных массивов может в 4 раза превышать такую для ареала н.п. [5]. В настоящее время Чернобыльская компонента внешнего излучения определяется исключительно цезием-137 ($T_{1/2}=30,0$ лет) [4,6].

Второй важнейшей причиной, приведшей к введению ограничительных мер в отношении посещения лесов, является высокая загрязненность грибов и ягод радионуклидами цезия [2, 3].

В настоящем сообщении приводятся обобщенные данные о результатах дезактивационных работ, проведенных на территории двух баз отдыха, которые расположены внутри сильно загрязненных лесных массивов Брянской области. Главной целью запланированных и выполненных защитных мероприятий являлась практическая отработка технологий и методов, направленных на снижение мощ-

ности дозы внешнего облучения человека на отдаленном этапе крупномасштабной радиационной аварии. Среди прочих, решилась задача по уменьшению воздействия Чернобыльского загрязнения на отдыхающих, а также на работников, занятых в обслуживании баз отдыха. Предполагалось, что проведение таких работ будет способствовать восстановлению нормального функционирования этих объектов, являвшихся излюбленными местами проведения выходных и отпусков жителей г. Новозыбкова и других населенных пунктов.

Все работы по планированию, практическому осуществлению защитных мероприятий, а также по их дозиметрическому и радиометрическому сопровождению выполнены сотрудниками ФГУН НИИРГ им. проф. П.В. Рамзаева и национальной лаборатории Risø (Дания) по единой согласованной программе. В разработке программы принимала участие местная администрация и органы санэпиднадзора. В 1995 г. к полевым работам привлекались преподаватели и студенты Обнинского института атомной энергетики. Основные научные результаты представлены в виде журнальных публикаций, которые прошли независимую экспертизу [7, 8, 9, 10]. Детальное описание примененных технологий и методов, а также всех полученных результатов приведено в двух иллюстрированных научных отчетах Risø [11, 12].

Общая характеристика объектов дезактивации

Базы отдыха расположены в лесу на берегу реки Ипуть вблизи н.п. Новые Бобовичи (Новозыбковский район) и Муравинка (Злынковский район). Во время проведения дезактивации (1995 г. – база «Н.Бобовичи», 1997 г. – база «Муравинка») оба объекта обладали всей инфраструктурой, необходимой для однодневного и более продолжительного пребывания людей. Имелись одно-двухэтажные летние и утепленные домики для проживания, пищеблок, централизованное электро- и водоснабжение. Жилые до-

мики и вспомогательные строения были покрыты асбесто-цементным шифером. На поверхности некоторых крыш, в особенности в Н.Бобовичах, содержался довольно толстый слой органического материала, состоявший из листьев, сосновых иголок, мхов и лишайников. На базе «Н.Бобовичи» имелось несколько заасфальтированных дорожек и место для парковки автомобилей. На базе «Муравинка» преобладали грунтовые дорожки. Пространства между домами были частично заняты декоративными кустарниками и деревьями, среди которых преобладали сосны. На базе «Муравинка» имелись также березовые насаждения, появившиеся, по-видимому, уже после возведения домов. Строительство базы «Муравинка» было завершено в 70-е гг., а базы «Н.Бобовичи» – в первой половине 80-х гг. прошлого века.

Данные объекты были выбраны для проведения дезактивации по следующим соображениям. Во-первых, места расположения баз были сильно загрязнены в результате Чернобыльской аварии: в 1986 г. уровни поверхностного загрязнения почвы цезием-137 в ареале Н.Бобовичей и Муравинки были около 1,1 МБк/м² [13]. Во-вторых, после Чернобыльской аварии никакие масштабные инженерные работы (включая дезактивацию) здесь не проводились. Наконец, в отличие от многих других аналогичных мест отдыха, данные базы были «живыми», т.е. принимали отдыхающих. Это обстоятельство позволяло надеяться на то, что помимо чисто научных результатов, нужных, прежде всего, самим исследователям для разработки практических рекомендаций по снижению доз внешнего облучения в случае широкомасштабной радиационной аварии, проведенная дезактивация принесет непосредственную пользу местным жителям.

Программа запланированных и выполненных работ

На основании персонального опыта, имевшегося у каждого участника, а также исходя из обобщенных результатов, полученных при проведении лабораторных экспериментов, теоретических изысканий и аналогичных практических работ [14, 15], была разработана и осуществлена следующая программа.

1. Составление детальной план-карты местности с нанесением на нее всех строений, дорог и прочих сооружений.

2. Измерение мощности экспозиционной дозы (МЭД) гамма-излучения в воздухе на местности по сетке с шагом 10 м (на отдельных участках с шагом 1 м и менее) с разделением на природную и Чернобыльскую компоненты для ряда выбранных точек. Измерение МЭД внутри помещений по схеме, зависящей от размера объекта. Для проведения работ использовали гамма-дозиметры ДРГ 01Т, ДРГ 001, EL 1101 (фирма Atomteh, Беларусь), ионизационную камеру RSS-112 (Reuter Stokes, США), концентратомер РКП-305.

3. Измерение уровней загрязнения почвы, асфальтовых поверхностей и шиферных листов с помощью коллимированных детекторов гамма-излучения. В частности, использовался прибор «Корад» фирмы «РЭКОМ» (г. Москва).

4. Отбор проб почвы для оценки общего запаса и вертикального распределения цезия-137 по профилю. Для

получения проб использовали металлические и пластиковые пробоотборники. Полученные керны разделяли на слои толщиной от 2 до 5 см непосредственно в полевых условиях с помощью ножа или в лабораторных условиях с помощью алмазной пилы после замораживания образцов при –20°С.

5. Снятие поверхностного слоя почвы (5–10 см) вокруг трех жилых домиков на каждой базе. Для работ на базе «Н.Бобовичи» применяли совковые лопаты. На базе «Муравинка» в основном использовали мини-бульдозер «Bobcat», который был специально привезен для этой цели из Дании. Однако на ограниченных «неудобных» участках приходилось применять лопаты. Общая площадь обработанной территории была равна 270 и 2000 м² в Н.Бобовичах и Муравинке, соответственно. Вместе с поверхностным слоем грунта были удалены все кустарниковые растения. В то же время, по возможности, мы старались не повреждать корни деревьев с тем, чтобы сохранить их в живом состоянии на будущее.

6. Контроль эффективности снятия слоя почвы с помощью ручного дозиметра, который располагался на высоте 10 см над уровнем земли. 30 мкР/час считали приемлемой величиной, после достижения которой снятие почвы на данном участке останавливали и переходили к следующему.

7. Покрытие дезактивированного участка слоем песка толщиной 5–10 см. В Н.Бобовичах использовали песок, доставленный из ближайшего карьера, в то время как в Муравинке песок был получен непосредственно на месте проведения работ с помощью экскаватора, который вырыл восемь ям размерами приблизительно 3х3 м и глубиной около 2 м.

8. Полная замена старой кровли на новое шиферное покрытие на одном из домов на каждой базе. Очистка крыш с помощью воды под высоким давлением и специальной механической щетки на двух домах в Н.Бобовичах. С технологической точки зрения этот этап дезактивации следовало бы провести до очистки земляных поверхностей. Однако мы сознательно пошли на некоторое отклонение от более логичной и правильной схемы, т.к. хотели выяснить, какой же вклад вносит загрязнение крыш в мощность дозы гамма-излучения внутри и вне помещений. Такие измерения с нужной точностью можно провести лишь после того, как земляные площадки вокруг строений будут очищены и покрыты свежим незагрязненным песком. Для того, чтобы избежать повторного загрязнения почвы тем материалом, который снимался или смывался с крыш, с помощью пластиковых стоков и накопительной бочки была организована простая, но эффективная система перехвата твердых и жидких отходов.

9. Повторное измерение уровней загрязнения почвы, асфальтовых поверхностей и шиферных листов с помощью коллимированных детекторов гамма-излучения.

10. Дезактивация заасфальтированной танцевальной площадки с использованием механического скрепера для твердых поверхностей.

11. В Н.Бобовичах удаленный слой грунта и снятый с крыш и танцевальной площадки органический материал были размещены внутри двух незаконченных кирпичных фундаментов (общий объем около 26 м³), кото-

рые располагались на границе зоны отдыха. В Муравинке почва и небольшое количество органики, удаленной с крыш, были захоронены в восьми ямах, которые вырыл экскаватор для получения чистого песка. После заполнения ямы были покрыты слоем чистого песка толщиной 20–30 см.

12. Применение метода «тройной перекопки» [8] для снижения мощности дозы в воздухе на целинном участке (10x10 м), расположенном в пойме реки Ипать. Суть метода заключается в том, что поверхностный, наиболее загрязненный слой земли (толщина около 5–7 см) перемещают на глубину 25–30 см, а на его место располагают слой почвы с глубины 7–15 см.

13. После проведения всего комплекса дезактивационных работ было выполнено повторное измерение МЭД гамма-излучения в воздухе на местности по установленной сетке с шагом 10 м (на отдельных участках с шагом 1 м и менее), а также внутри помещений с целью оценки эффективности проведенного вмешательства.

14. Отбор проб почвы для оценки общего запаса и вертикального распределения цезия-137 по профилю в местах проведения дезактивации.

15. Измерение содержания радионуклидов цезия и природных радионуклидов в пробах почвы и органического материала в лабораторных условиях с использованием полупроводниковых (особо чистый германий) и сцинтилляционных NaI(Tl) детекторов.

16. Ежегодный мониторинг мощности гамма-излучения и уровней загрязнения объектов окружающей среды в течение нескольких лет после проведения дезактивации с целью определения стабильности достигнутого эффекта.

Радиационно-гигиеническая обстановка до и после проведения дезактивации

Средний уровень поверхностного загрязнения почвы цезием-137 в 1995 г. на базе в Н.Бобовичах был равен 990 ± 320 кБк/м² (10 проб). Около 74% общего запаса сохранилось в верхнем 5-сантиметровом слое почвы. Загрязнение почвы в Муравинке в 1997 г. оказалось несколько выше и составило 1250 ± 360 кБк/м² (10 проб), при этом около 95% общего запаса цезия-137 находилось в верхних пяти сантиметрах земли. Шифер, снятый с крыш домов, оказался менее загрязненным, чем почва: 153 ± 74 кБк/м² (3 пробы) и 144 ± 36 кБк/м² (16 проб) для Н.Бобовичей и Муравинки, соответственно. Весьма высокая активность – до 140 кБк/кг (на сухой вес пробы) была обнаружена в органическом материале, удаленном с крыш в Н.Бобовичах.

Средняя величина мощности дозы гамма-излучения, зарегистрированная над земляными площадками, составила 0,85 и 1,00 мкГр/час в Н.Бобовичах и Муравинке, соответственно. Мощность дозы внутри помещений была существенно ниже – 0,39 мкГр/час в Н.Бобовичах и 0,43 мкГр/час в Муравинке. Величина МЭД в основном определялась вкладом Чернобыльской компоненты, т.к. мощность дозы от природных радионуклидов составила всего 0,028 мкГр/час (земляные площадки) и 0,016 мкГр/час (внутри деревянных домов) в Н.Бобовичах, и 0,018 мкГр/час (земляные площадки) и 0,018 мкГр/час (внутри деревянных

домов) в Муравинке. Эти величины мощности дозы были значительно ниже среднемировых значений – 0,057 мкГр/час (открытые места) и 0,075 мкГр/час (помещения), приведенных в отчете НКДАР ООН [16]. В целом же вклад природных радионуклидов в интегральную величину МЭД не превышал 15% для обследованных зон отдыха. Этот сравнительно низкий уровень природной компоненты значительно облегчил оценку эффективности проведенных мероприятий и последующий мониторинг дезактивированных объектов.

Проведение дезактивации привело к существенному уменьшению общего запаса цезия-137 в почве на обработанных участках – до 240 ± 74 кБк/м² (9 проб) и 152 ± 66 кБк/м² (21 проба) в Н.Бобовичах и Муравинке, соответственно. Следует отметить, что это остаточное загрязнение оказалось погребенным под слоем сравнительно чистого песка толщиной 5–10 см, который является дополнительным защитным экраном.

В результате проведенных мероприятий в Муравинке и Н.Бобовичах мощность дозы гамма-излучения на открытой местности вблизи центра дезактивированной территории снизилась примерно в 5 раз. Весьма существенным оказалось влияние дезактивации на МЭД внутри небольших деревянных домиков, предназначенных для проживания на базе в Н.Бобовичах. Наблюдалось 2–3-кратное снижение МЭД, причем очистка крыш обусловила около 30% наблюдаемого эффекта, а полная замена старого шифера на новый – около 40%. В Муравинке дезактивации подверглись двухэтажные жилые дома и территория вокруг них. На первом этаже дома, на котором был полностью заменен шифер, МЭД снизилась приблизительно в три раза. Замена покрытия крыши обусловила около 16% наблюдаемого эффекта. На втором этаже того же дома наблюдалось менее выраженное снижение МЭД (примерно в 2,5 раза); около 40% снижения дозы облучения было связано с заменой покрытия крыши.

Весьма эффективной оказалась обработка асфальтовой поверхности с помощью механического скребка – уровень загрязнения удалось снизить с 629 ± 40 кБк/м² (2 пробы) до 78 ± 30 кБк/м² (6 проб), т.е. в восемь раз. Интересно отметить, что около 45% удаленной активности находилось в органическом материале (листья, сосновые иглы, мхи и лишайники, перегной), покрывавшем танцевальную площадку в Н.Бобовичах в 1997 г.

Использование метода «тройной перекопки» на заливной пойме в Н.Бобовичах в 1995 г. привело к двукратному снижению мощности дозы гамма-излучения от Чернобыльских выпадений (с 0,80 до 0,40 мкГр/час в центре обработанного участка). Сравнительно слабая выраженность наблюдавшегося эффекта связана, прежде всего, с небольшим размером обработанного участка – всего 100 м². С помощью простой модели переноса гамма излучения, основанной на методе Монте Карло, было показано [8], что при расширении обработанной территории можно ожидать дополнительного существенного снижения МЭД. Последнее замечание, в принципе, справедливо в отношении всех объектов, которые подверглись дезактивации в рамках нашего проекта. Полная обработка всей территории и всех строений на базах в Н.Бобовичах и Муравинке, как ми-

нимум, удвоила бы эффект, полученный в отношении снижения МЭД.

Ежегодный мониторинг (в 1995–2003 гг.) дезактивированных и контрольных объектов показал, что динамика Чернобыльской компоненты во всех локациях была связана прежде всего с радиоактивным распадом загрязнителей; миграция радионуклидов цезия имела меньшее значение. Вторичного загрязнения уже очищенных территорий не произошло. Повторный пробоотбор почвы, проведенный в 2002 г. в местах дезактивации, показал, что запас цезия-137 в верхнем 20-сантиметровом слое снизился с 240 до 150 Бк/м² в Н.Бобовичах и со 152 до 111 Бк/м² в Муравинке.

В течение нескольких лет, прошедших с момента Чернобыльской аварии, во многих н.п. Брянской области были проведены широкомасштабные дезактивационные работы. В некоторых сельских н.п. дозы внешнего облучения были снижены на 25% [17]. В г. Новозыбкове, несмотря на то, что около 30% территории было обработано тем или иным способом, доза внешнего облучения упала лишь на 10–20% [1]. В результате наших работ, проведенных в Н.Бобовичах и Муравинке, был достигнут намного более выраженный эффект. Одной из важных причин высокой эффективности выполненной дезактивации являлось поверхностное расположение загрязнителя в почве и существенная остаточная загрязненность крыш. Однако, по нашему мнению, одним из главных обстоятельств было применение адекватных технологий, методов и инструментов, а также использование в работах квалифицированного персонала. Постоянное дозиметрическое и радиометрическое сопровождение всех этапов работ также способствовало достижению хорошего конечного результата.

Долговременный мониторинг радиационной обстановки на дезактивированных объектах дал возможность пронаблюдать за восстановлением нарушенных компонентов лесной экосистемы. В связи с тем, что все деревья выжили после вмешательства, на дезактивированных участках произошло восстановление лесной подстилки и нормального лесного биоценоза в целом. Появление съедобных грибов – сыроежек и маслят, а также ядовитых – мухоморов явилось одним из самых заметных свидетельств этого процесса. Содержание цезия-137 в грибах, собранных на обработанных участках, оказалось на 1–2 порядка ниже, чем в пробах грибов аналогичных видов из близлежащего контрольного леса. Снижение уровней радиоактивного загрязнения съедобных грибов следует рассматривать как положительный эффект проведенных защитных мероприятий, направленных, в основном, на снижение доз внешнего облучения.

Заключение

Проведенные полномасштабные эксперименты позволили в полевых условиях отработать технологию и методы для существенного снижения дозы внешнего облучения человека на отдаленном этапе радиационной аварии. Методика и инструменты, которые были апробированы для дезактивации баз отдыха Н.Бобовичи и Муравинка, могут быть применены для улучшения показателей радиационной обстановки на других рекреационных и иных объектах, расположенных внутри за-

грязненных лесных массивов в юго-западных районах Брянской области. Вместе с тем, апробированные технологические приемы по дезактивации, а также схемы дозиметрического и радиометрического сопровождения могут быть рекомендованы для прямого практического применения в случае возникновения широкомасштабного или локального радиоактивного загрязнения в будущем.

Список использованной литературы

1. Новозыбков: Историко-краеведческий очерк [Текст]. – Брянск: Брянский гос. университет, 2001. – 484 с.
2. Shutov, V.N. The role of mushrooms and berries in the formation of internal exposure doses to the population of Russia after the Chernobyl accident [Текст] / V.N. Shutov, G.Ya. Bruk, L.N. Basalaeva [et al.] // Radiation Protection Dosimetry. -1996. – V. 67. – P. 55–64.
3. Travnikova, I.G. Contribution of different foodstuffs to the internal exposure of rural inhabitants in Russia after the Chernobyl accident [Текст] / I.G. Travnikova, G.J. Bruk, V.N. Shutov [et al.] // Radiation Protection Dosimetry. – 2001. – V. 93. – P. 331–339.
4. Ramzaev, V. Gamma-dose rates from terrestrial and Chernobyl radionuclides inside and outside settlements in Bryansk region, Russia in 1996–2003 [Text] / V. Ramzaev, H. Yonehara, R. Hille [et al.] // Journal of Environmental Radioactivity. – 2006. – V. 85. – P. 205–227.
5. Ramzaev, V. An assessment of cumulative external doses from Chernobyl fallout for a forested area in Russia using the optically stimulated luminescence from quartz inclusions in bricks [Текст] / V. Ramzaev, L. Botter-Jensen, K.J. Thomsen [et al.] // Journal of Environmental Radioactivity. – 2008. – V. 99. – P. 1154–1164.
6. Bailiff, I. Comparison of retrospective luminescence dosimetry with computational modelling in two highly contaminated settlements downwind of the Chernobyl NPP [Text] / I. Bailiff, V. Stepanenko, H.Y. Goksu [et al.] // Health Physics. – 2004. – V. 86. – P. 25–41.
7. Fogh, C.L. Decontamination in a Russian settlement [Текст] / C.L. Fogh, K.G. Andersson, A.N. Barkovsky [et al.] // Health Physics. – 1999. – V. 76. – P. 421–430.
8. Roed, J. Triple digging – a simple method for restoration of radioactively contaminated urban soil areas [Текст] / J. Roed, K.G. Andersson, A.N. Barkovsky [et al.] // Journal of Environmental Radioactivity. – 1999. – V. 45. – P.173–183.
9. Roed, J. Reduction of external dose in a wet-contaminated housing area in the Bryansk Region, Russia [Текст] / J. Roed, K.G. Andersson, A.N. Barkovsky [et al.] // Journal of Environmental Radioactivity. – 2006. – V. 85. – P. 265–279.
10. Ramzaev, V. Long-term stability of decontamination effect in recreational areas near the town Novozybkov, Bryansk Region, Russia [Текст] / V. P. Ramzaev, K.G. Andersson, A.N. Barkovsky [et al.] // Journal of Environmental Radioactivity. – 2006. – V. 85. – P. 280–298.
11. Decontamination in a Russian settlement [Текст] : report Risø-R-870 (EN) / Risø National Laboratory. – Roskilde, Denmark, 1996. – 102 p.
12. Mechanical decontamination tests in areas affected by the Chernobyl accident [Текст] : report Riso -R-1029 (EN) / Risø National Laboratory – Roskilde, Denmark, 1998. – 98 p.
13. Балонов, М.И. Накопленные средние эффективные дозы [Текст] / М.И. Балонов, М.Н.Савкин, В.А.Питкевич [и др.] // Радиация и риск, специальный выпуск. – 1999. – С. 1-125.
14. Practical Means for Decontamination 9 Years after a Nuclear Accident [Текст] : report Riso – R-828 (EN) / Risø National Laboratory. – Roskilde, Denmark, 1995. – 80 p.

15. Strategies of decontamination. Experimental collaboration project № 4 [Text] : report EUR 16530 EN / European Commission. – Luxembourg, 1996. – 174 p.
16. Sources and effects of ionizing radiation [Текст] / United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. UNSCEAR 2000 Report to the General Assembly with Scientific Annexes. Vol. 1. United Nations. – New York, 2000. – 654 p.
17. Pathway analysis and dose distributions. Joint study project 5 [Text] : report EUR 16541. European Commission. – Luxembourg, 1996. – 130 p.

V.P. Ramzaev¹, A.N. Barkovsky¹, A.S. Mishin¹, B.F. Vorobiev¹, K.G. Andersson²
Implementation of mechanical decontamination for reduction of external exposure at the territory of the Bryansk Region

¹ Federal Scientific Organization «Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev» of Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Well-being, Saint-Petersburg, Russia

² Risø National Laboratory, Technical University of Denmark – DTU, Roskilde, Denmark

Abstract. The paper contains a review of the data relevant to the technologies and some results of the mechanical decontamination of the ground and buildings located at the territory of two recreational areas in the Bryansk Region. Both areas were significantly contaminated by the Chernobyl debris in 1986. The obtained values of the gamma-dose rate reduction factor were about 0.2 and 0.3 for the outdoor and indoor locations, respectively. The follow-up monitoring of the treated and control areas demonstrated long-term stability of the effect of the decontamination carried out.

Key words: Chernobyl accident, external dose, mechanical decontamination.

Поступила 6.05.08.