

УДК 574:539.1.04+621.039.7

ОПЫТ ОЧИСТКИ РАДИОАКТИВНОГО ГРУНТА НА ТЕРРИТОРИИ НИЦ «КУРЧАТОВСКИЙ ИНСТИТУТ»

Волков В.Г., Данилович А.С., Зверков Ю.А., Иванов О.П., Колтышев С.М., Лемус А.В., Потапов В.Н., Семенов С.Г., Степанов В.Е., Чесноков А.В., Шиша А.Д. (НИЦ «Курчатовский ин-т», г. Москва)

Реабилитация площадок ядерных и радиационно опасных объектов и загрязненных территорий в значительной мере осложняется большим объемом радиоактивного грунта. С подобной ситуацией в НИЦ «Курчатовский институт» столкнулись при ликвидации старых хранилищ радиоактивных отходов и реабилитации площадки их размещения [1]. По предварительным оценкам с этой площадки в процессе реабилитации необходимо было извлечь и удалить на длительное контролируемое хранение до 15—20 тыс. м³ загрязненного грунта, представлявшего собой низкоактивные отходы. Извлечение и последующее удаление такого объема грунта требовали значительных материальных и финансовых затрат и транспортных операций. По этой причине было решено очищать грунт непосредственно на площадке старых хранилищ, что потребовало разработки методов контроля и технологий обращения с загрязненным грунтом, в том числе нацеленных на снижение подлежащего удалению объема, а также определенной последовательности выполнения работ. В результате была создана опытно-промышленная установка дезактивации загрязненного грунта, разработаны и апробированы методы измерения его удельной активности, начиная от первичной оценки объема до контроля активности грунта, возвращаемого на площадку для обратной засыпки или удаляемого как радиоактивные отходы, разработаны и внедрены автоматизированные системы дистанционного контроля радиационной обстановки рабочих зон и площадки в целом.

В соответствии с выбранной технологией реабилитацию площадки старых хранилищ и очистку на ней радиоактивного грунта осуществляли в следующей последовательности:

удаление крупногабаритного строительного мусора и растительности, благоустройство и частичное профилирование территории, организация транспортных маршрутов, создание пункта специальной обработки транспортных средств и механизмов, выбор технологического

оснащения и типа упаковок для радиоактивных отходов;

первичное радиационное обследование для оценки пространственного распределения мощности эквивалентной дозы γ -излучения, уточнения нуклидного состава загрязнения и объема грунта, подлежащего удалению;

ликвидация с помощью традиционной строительной техники и дистанционно управляемых робототехнических механизмов старых хранилищ, включая извлечение радиоактивных отходов, их дозиметрическую сортировку, упаковку в контейнеры и удаление на полигон МосНПО «Радон»;

извлечение грунта экскаватором, его дозиметрическая сортировка на ковше экскаватора и транспортировка на опытно-промышленную установку;

очистка загрязненного грунта на опытно-промышленной установке, которая включала выделение загрязненной фракции, ее упаковку в контейнеры и удаление на полигон МосНПО «Радон», возврат очищенных фракций на площадку для обратной засыпки котлованов, образовавшихся при ликвидации хранилищ;

заключительное радиационное обследование для выявления и ликвидации участков остаточного поверхностного загрязнения.

Первичное радиационное обследование. Это обследование было выполнено осенью 2002 г. методом γ -съемки, а также выборочного бурения разведочных скважин, отбора и лабораторных исследований проб грунта.

Пространственное распределение мощности эквивалентной дозы γ -излучения на площадке было оценено путем детальной пешеходной γ -съемки. Для достоверности и детализации мощность дозы измеряли по предварительно размеченной равномерной координатной сетке с шагом 1×1 м на расстоянии не более 3—5 см от поверхности грунта (всего ~20 тыс. точек измерений). В результате на территории площадки было обнаружено около 350 небольших по размеру аномалий с превышением контрольного

уровня 0,01 мЗв/ч, установленного для персонала, из них 200 точек с мощностью дозы 0,01—0,025 мЗв/ч, 110 — 0,025—0,1 мЗв/ч, 30 — 0,1—1 мЗв/ч, 10 — свыше 1 мЗв/ч. Максимальная мощность эквивалентной дозы γ -излучения небольших аномалий составила ~7 мЗв/ч. На других больших по размеру аномалиях она варьировала от 0,7—1 до 2,5—3 мкЗв/ч.

По результатам γ -съемки площадки была составлена карта пространственного распределения мощности эквивалентной дозы γ -излучения и выбраны места бурения разведочных скважин для оценки состава и глубины загрязнения грунта. В процессе бурения и обследования из разведочных скважин отбирали и исследовали пробы грунта. Анализ показал, что грунт загрязнен, в основном, ^{137}Cs и ^{60}Co , причем соотношение активности указанных дозообразующих радионуклидов в грунте изменялось от 10 до 100.

В результате первичного обследования были выявлены и локализованы участки с повышенным поверхностным загрязнением грунта, а также уточнен характер загрязнения и объем. По уточненным оценкам объем загрязненного грунта составил ~10 тыс. м³ (~16 тыс. т).

С учетом первичного обследования и анализа пространственного распределения мощности дозы было решено в первую очередь очищать загрязненный грунт и ликвидировать хранилища, расположенные вблизи внешнего ограждения площадки, которое соседствовало с городской жилой застройкой. Подобная стратегия реабилитации максимально снижала техногенное влияние работ на прилегающую городскую территорию.

В дальнейшем для измерения и контроля уровня загрязнения грунта на площадке использовали радиометрические методы.

Очистка радиоактивного грунта. Ликвидация последствий аварии на Чернобыльской АЭС показала, что мельчайшие частицы почвы аккумулируют значительную часть радионуклидов. Это позволяет, разделив загрязненный грунт на фракции по крупности, выделить и сконцентрировать мелкодисперсную фракцию с наибольшей частью загрязнения. Для этого одной из наиболее эффективных технологий является водно-гравитационная сепарация загрязненного грунта, предложенная специалистами ВНИИНМ им. А.А. Бочвара [2]. Как показали исследования, по данной технологии вместе с мелкодисперсной фракцией, составляющей 10—20% массы исходного загрязненного грунта, можно удалить до 80—85% радионуклидов.

Анализ гранулометрического состава и активности фракций различных проб подтвердил возможность применения этой технологии для очистки грунта на площадке старых хранилищ (табл. 1, 2).

Указанная технология была реализована с помощью опытно-промышленной установки на основе аппаратной схемы, разработанной специалистами ВНИИНМ им. А.А. Бочвара и ВНИИХТ [3]. На начальном этапе производительность составляла 1 т/ч, однако в процессе пусконаладочных работ и опытной эксплуатации аппаратную схему установки усовершенствовали. В результате была обеспечена стабильность работы и до 4—5 т/ч увеличена производительность при коэффициенте дезактивации грунта 5—6 (в среднем по песковой и крупнокусовой фракциям грунта).

Выделенную мелкодисперсную фракцию обезвоживали, после чего упаковывали в контейнеры и удаляли на полигон МосНПО «Радон». Очищенные крупнокусовую и песковую

Таблица 1. Гранулометрический состав и активность фракций пробы исходного грунта по результатам ситового отсева

Размер фракции, мм	Выход		Активность		
	Масса, г	%	Суммарная, кБк	Удельная, кБк/кг	%
+2	704	13,9	109	154,8	22
–2 — +0,5	1678	33,2	136,1	81,1	27,5
–0,5 — +0,1	2336	46,2	207,9	89,0	41,9
–0,1 — +0	338	6,7	42,7	126,4	8,6
Всего	5056	100	495,7	98,0	100

Т а б л и ц а 2. Гранулометрический состав и активность фракций пробы исходного грунта по результатам дезинтеграции

Размер фракции, мм	Выход		Активность		
	Масса, г	%	Суммарная, кБк	Удельная, Бк/г	%
+1	112	4	0,246	2,2	8
–1 — +0,63	176	10	0,229	1,3	7,5
–0,63 — +0,315	688	25	0,826	1,2	26,9
–0,315 — +0,2	400	43	0,44	1,1	14,3
–0,2 — +0,1	160	11	0,4	2,5	13
–0,1 — +0	64	7	0,928	14,5	30,2
Всего	1600	100	3,069	1,9	100

фракции грунта возвращали на площадку и использовали для обратной засыпки котлованов.

Для контроля удельной активности установку оснастили измерительной системой радиометрического контроля как исходного загрязненного грунта, так и выходных продуктов его дезактивации [4], что способствовало повышению эффективности, в том числе экономических показателей эксплуатации. Разработанная измерительная система включала работающие в счетном режиме сцинтилляционные блоки детектирования, которые были установлены на входном и выходных конвейерах установки.

Испытания показали, что при движении конвейеров для корректных измерений удельной активности необходимо формировать однородный слой исходного грунта и его выходных фракций. Кроме того, оказалось, что использование одного детектора требует периодической перенастройки системы, поскольку в процессе работы установки γ -фон изменялся. По этой причине была выбрана схема измерений с двумя детекторами, оснащенными радиационной защитой. Согласно этой схеме один детектор через отверстие в защите регистрирует поток γ -квантов грунта или его фракций, другой полностью закрытый защитой измеряет γ -фон. Удельная активность определяется по разнице измерений. Такая схема не только исключила влияние изменения фонового излучения на результаты, но и повысила их точность.

Анализ эксплуатации установки показал, что удельная активность исходного грунта характеризуется значительной неоднородностью. Поэтому для повышения эффективности работы установки необходимо было подвергать грунт предварительной радиометрической сортировке,

чтобы минимизировать подлежащий очистке объем.

Первоначально эту операцию проводили вручную, что оказалось малоэффективным и требовало много времени. Поэтому была разработана и создана установка радиометрической сепарации загрязненного грунта проектной производительностью до 15 т/ч, позволившая механизировать сортировку исходного грунта в зависимости от удельной активности [5]. Данную установку оснастили радиометрической системой и блоком механической сепарации, обеспечивающими контроль удельной активности $A_{уд}$ и сортировку грунта, которые осуществляли в соответствии с критериями, выбранными с учетом технологических возможностей опытно-промышленной установки дезактивации радиоактивного грунта:

$A_{уд} < 10$ кБк/кг — грунт возвращали на склад и использовали для обратной засыпки котлованов;

$10 \text{ кБк/кг} < A_{уд} < 50 \text{ кБк/кг}$ — грунт направляли на опытно-промышленную установку для дезактивации;

$A_{уд} \geq 50$ кБк/кг — грунт упаковывали в контейнеры и удаляли на полигон МосНПО «Радон» как радиоактивные отходы.

Контроль поверхностного загрязнения грунта. Поверхностное загрязнение грунта на площадке контролировали автоматизированной системой с гамма-локатором, позволяющей дистанционно измерять радиоактивное загрязнение, а также оценивать радиационную обстановку в зонах проведения работ и вблизи радиационно опасных объектов [6]. С помощью гамма-локатора, установленного на крыше здания, которое находилось за внешним ограждением площадки, сканировали не только рабочие зоны,

но и площадку в целом. Это позволяло оперативно выявлять и локализовывать наиболее интенсивно излучающие объекты и загрязненные участки.

Измерения, полученные гамма-локатором, обрабатывали с помощью специальных программных средств, что позволяло оценивать поверхностную активность на участках, где радиационная обстановка в основном определялась радиоактивным загрязнением грунта. На основе этих результатов составляли карты пространственного распределения мощности эквивалентной дозы γ -излучения на площадке на высоте 1 м и выше от поверхности грунта (рис. 1).

Как показал анализ, пространственное распределение мощности дозы на площадке в основном формируется рабочими зонами, а также участками временного складирования контейнеров с радиоактивными отходами и загрязненных металлических и строительных конструкций, извлеченных при ликвидации хранилищ. Вклад загрязненного грунта в радиационную обстановку превалировал только на участках, расположенных вдали от интенсивных источников γ -излучения, которыми, главным образом, являлись ликвидируемые хранилища. Тем не менее обработка и анализ результатов измерений с помощью гамма-локатора давали возможность контролировать все изменения ра-

диационной обстановки и оперативно выявлять наиболее радиационно опасные участки, что в свою очередь контролировало дозовые нагрузки и предотвращало необоснованное облучение персонала.

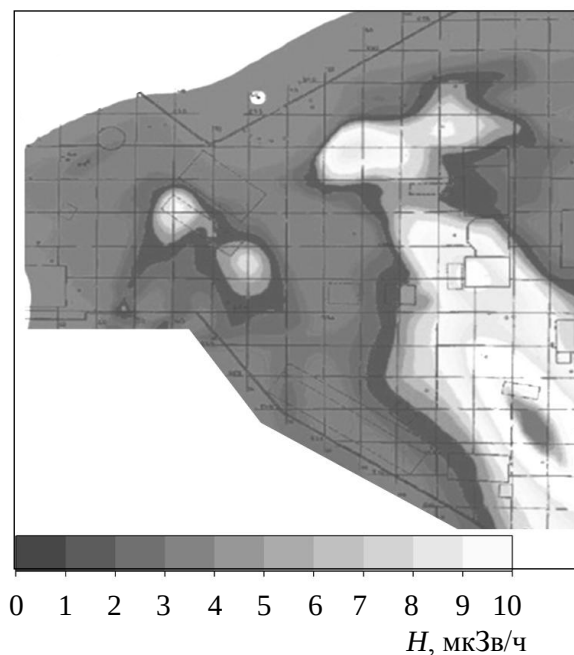
Контроль остаточного загрязнения грунта. Участки временного складирования контейнеров с отходами, загрязненных металлических и бетонных конструкций, извлеченных при ликвидации хранилищ, интенсивное движение транспортных средств, строительных и робототехнических механизмов обусловили вторичное поверхностное загрязнение территории площадки, что потребовало дополнительного радиационного обследования для оценки остаточного загрязнения грунта, выявления и последующей ликвидации загрязненных участков.

Это обследование было проведено летом 2008 г. и выполнено по координатной сетке с шагом 5×10 м с использованием как дозиметрических, так и радиометрических методов.

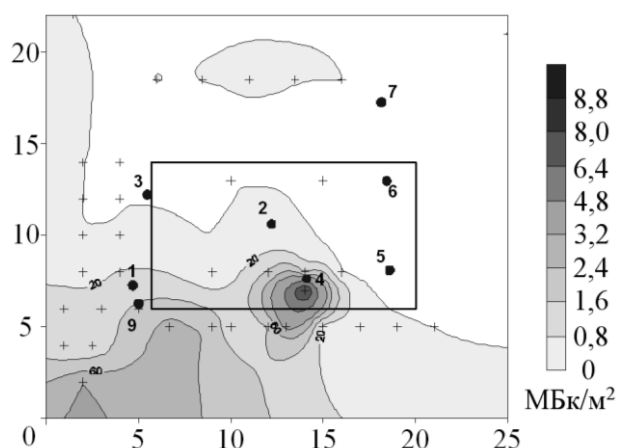
В результате была получена карта остаточного пространственного распределения мощности эквивалентной дозы γ -излучения на высоте 10 см над поверхностью грунта и выявлено до 20 небольших аномалий излучением в диапазоне 2,4—60 мкЗв/ч и два больших участка локального загрязнения излучением 2—50 мкЗв/ч. Кроме того, обнаружены бетонные блоки размером $2,4 \times 0,6 \times 0,4$ м и железобетонные плиты размером $6 \times 2 \times 0,14$ м и $3 \times 1,75 \times 0,17$ м с уровнем излучения до 60 мкЗв/ч, которые использовали для организации дорожного покрытия и сооружения внешней радиационной защиты при ликвидации хранилища с высокоактивными отходами.

В дальнейшем с помощью радиометра «Корад» [4, 7] на выявленных радиационных аномалиях измеряли поверхностное загрязнение грунта ^{137}Cs и ^{60}Co . Для этого радиометр устанавливали в контрольных точках координатной сетки на локализованных очагах загрязненной поверхности грунта и определяли усредненную по площади $\sim 0,25 \text{ м}^2$ поверхностную активность ^{137}Cs и ^{60}Co в слое почвы в пределах до трех значений длины свободного пробега фотонного излучения ^{137}Cs (25—30 см).

Карта распределения поверхностной активности ^{137}Cs в грунте, полученная по результатам измерений радиометром «Корад» для одного из



Р и с. 1. Карта пространственного распределения мощности эквивалентной дозы γ -излучения, полученная по результатам измерений гамма-локатором в процессе реабилитации площадки старых хранилищ

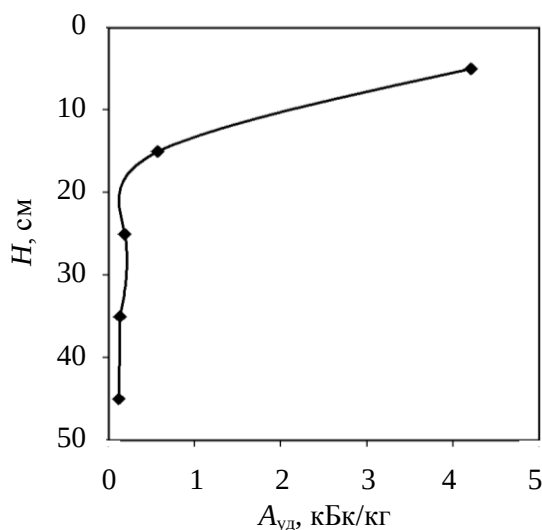


Р и с. 2. Карта распределения поверхностного загрязнения ^{137}Cs грунта, полученная по результатам измерений радиометром «Корад»: + — точка измерения; • — место бурения и номер разведочной скважины

участков загрязнения размером 20×25 м, приведена на рис. 2. На основе результатов этих измерений также оценивали глубину загрязнения грунта ^{137}Cs и ^{60}Co .

В случае загрязнения грунта на большую глубину бурили шурфы или разведочные скважины и обследовали с помощью разработанного погружного спектрометрического коллимированного детектора [4, 7], что позволяло детально измерить распределение радионуклидов по глубине шурфов и скважин и тем самым получить более точную оценку удельной активности и объема загрязненного грунта (рис. 3).

Итоговые результаты работ по очистке грунта. В 2003—2007 гг. в результате реабилитации площадка старых хранилищ была очищена до уровня 2—3 мкЗв/ч. За этот период извле-



Р и с. 3. Распределение удельной активности ^{137}Cs по глубине пробуренной скважины

чено и на опытно-промышленной установке переработано более 7 тыс. м^3 загрязненного грунта, из которых около 1250 м^3 как радиоактивные отходы были удалены на полигон МосНПО «Радон».

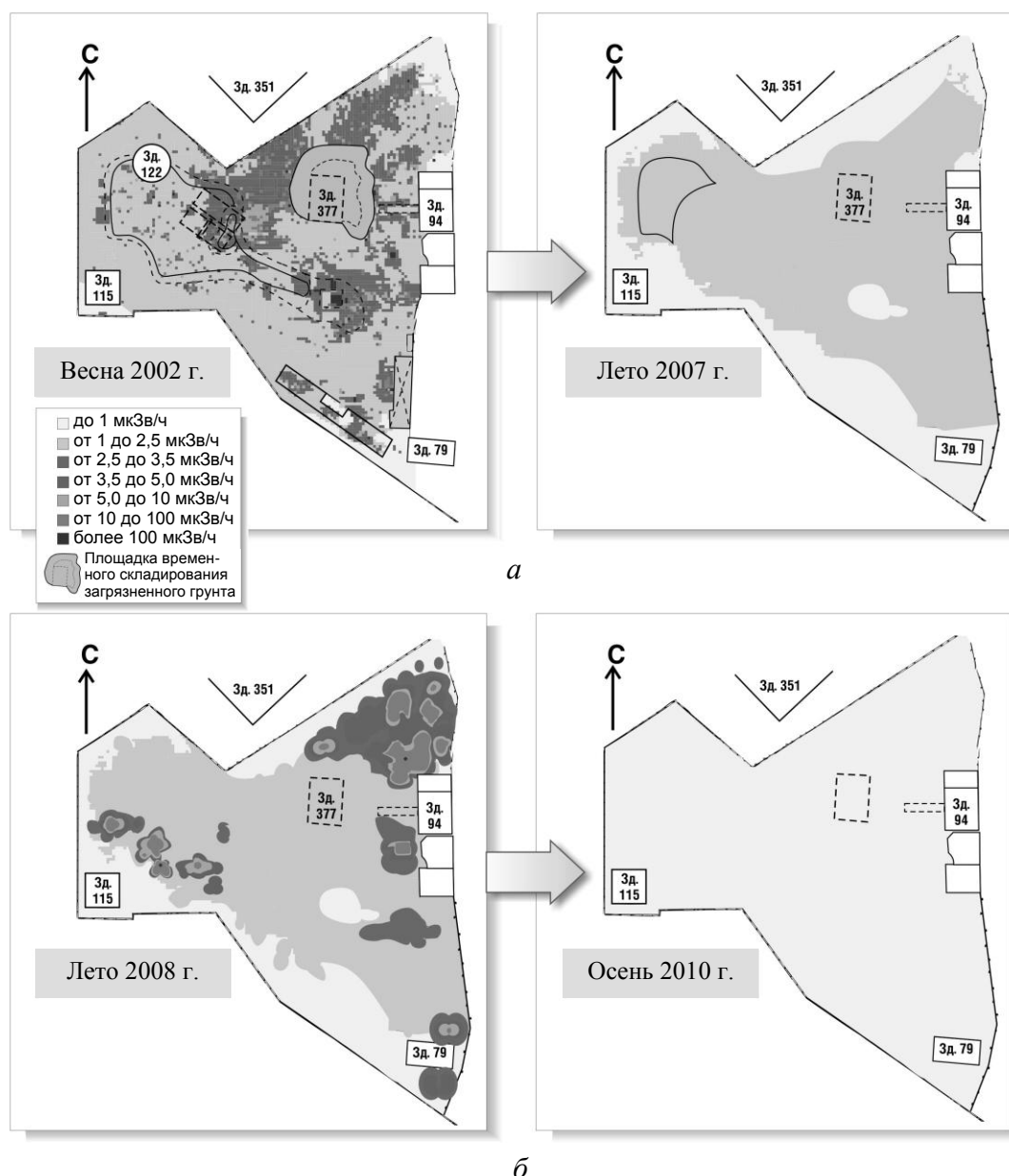
В 2008 г. при заключительном радиационном обследовании площадки вновь были выявлены локальные радиационные аномалии и участки с остаточным загрязнением грунта общей площадью свыше 6500 м^2 . В процессе ликвидации радиационных аномалий было принято решение дополнительно очистить территорию и довести ее радиационное состояние до 1 мкЗв/ч. В итоге этих работ в 2008—2010 гг. дополнительно было извлечено около 3 тыс. м^3 загрязненного грунта, который также был направлен на установку для очистки.

Таким образом, при реабилитации площадки старых хранилищ было извлечено и с помощью опытно-промышленной установки переработано более 10 тыс. м^3 загрязненного грунта, из них только 1800 м^3 как радиоактивные отходы были удалены на полигон МосНПО «Радон».

На этапе дополнительной очистки территории площадки было извлечено и от поверхностного загрязнения очищено до 100 бетонных блоков и 135 железобетонных дорожных плит, а также значительное количество фрагментов металлических и бетонных строительных конструкций. Их очистили с помощью водоструйной высоконапорной мини-мойки Kercher и водоструйного агрегата сверхвысокого давления Falch T25 немецкого производства.

В настоящее время мощность эквивалентной дозы γ -излучения на территории площадки старых хранилищ составляет 0,4—1 мкЗв/ч, что не превышает установленного контрольного уровня. Динамика изменения радиационной обстановки на площадке старых хранилищ в процессе ее реабилитации показана на рис. 4.

Выводы. Извлечение и удаление на длительное контролируемое хранение радиоактивного грунта является наиболее распространенным способом реабилитации загрязненных территорий. Однако этот способ при реабилитации значительных по площади территорий не является оптимальным из-за необходимости обращения с большим объемом загрязненного грунта, существенных материальных и финансовых затрат, в том числе транспортных операций.



Р и с. 4. Динамика изменения пространственного распределения мощности эквивалентной дозы γ -излучения на площадке старых хранилищ в 2002—2007 (а) и 2008—2010 гг. (б)

Кроме того, его применение в случае сильной пространственной неоднородности загрязнения грунта приводит к увеличению извлекаемого объема в результате перемешивания с чистым грунтом. В связи с этим работы по извлечению грунта должны сопровождаться его контролем и сепарацией в зависимости от удельной активности, что необходимо для выделения загрязненной части и минимизации подлежащего удалению объема. Традиционные методы контроля загрязнения грунта, основанные на полевой γ -спектрометрии или отборе и лабораторном спектрометрическом анализе проб, малоэффективны из-за несоответствия их

пространственного разрешения характерным размерам неоднородности загрязнения грунта и невысокой оперативности. По этим причинам более эффективны радиометрические методы, обеспечивающие требуемую оперативность контроля и сепарации извлекаемого грунта по его удельной активности.

Более прогрессивной и экономически приемлемой технологией реабилитации больших территорий является извлечение загрязненного грунта, его предварительная сепарация и дезактивация непосредственно на месте.

Техническая реализуемость и эффективность этой технологии подтверждены практи-

ческим опытом НИЦ «Курчатовский институт», полученным при реабилитации площадки старых хранилищ и очистке на ней загрязненного грунта. В результате накоплен опыт полного цикла обращения с радиоактивным грунтом, включающего первичную оценку нуклидного состава загрязнения и объема, извлечение и радиометрический контроль, предварительную сепарацию и очистку, что в 5—6 раз снижает объем низкоактивных отходов, требующих удаления на длительное хранение. Этот опыт был учтен при разработке концепции реабилитации радиационно опасных объектов и территории Кирово-Чепецкого химического комбината [8], технических предложений по переработке проекта ликвидации последствий радиационной аварии на Подольском заводе цветных металлов [9]. Он может быть полезен при разработке проектов реабилитации других радиоактивно загрязненных производственных объектов и территорий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Велихов Е.П., Пономарев-Степной Н.Н., Волков В.Г. и др. Реабилитация радиоактивно загрязненных объектов и территории РНЦ «Курчатовский институт». — Атомная энергия, 2007, т. 102, вып. 5, с. 300—306.
2. Михайкин С.В. Очистка грунта методом гидросепарации. — Безопасность окружающей среды, 2006, № 3, с. 48—50.
3. Волков В.Г., Зверков Ю.А., Иванов О.П. и др. Дезактивация радиоактивно загрязненного грунта в РНЦ «Курчатовский институт». — Атомная энергия, 2007, т. 103, вып. 6, с. 381—387.
4. Danilovich A.S., Ivanov O.P., Potapov V.N. et al. Instruments and methods for precise field measurements of soil radiocontamination. — In: Proc. of Radioecology & Environmental Radioactivity Conf. Bergen, Norway, 2008, Pt 2, p. 155—158.
5. Данилович А.С., Колтышев С.М. Установка радиометрической сепарации загрязненного грунта. — Приборы, 2009, № 12, с. 56—59.
6. Danilovich A.S., Ivanov O.P., Potapov V.N. et al. Remote monitoring of radiological conditions during rehabilitation works at Kurchatov institute site with gamma locator system. — In: Proc. of Radioecology & Environmental Radioactivity Conf. Bergen, Norway, 2008, Pt 2, p. 159—162.
7. Потапов В.Н., Иванов О.П., Игнатов С.М. и др. Новые приборы и системы радиационного контроля и их использование при проведении реабилитационных работ на территории временных хранилищ радиоактивных отходов РНЦ «Курчатовский институт». — В сб.: VII Межд. конф. «Безопасность ядерных технологий: обращение с радиоактивными отходами». Санкт-Петербург, 2004, с. 371—374.
8. Волков В.Г., Павленко В.И., Чесноков А.В., Арустамов А.Э. Обращение с радиоактивными отходами при реабилитации загрязненных объектов и территорий Кирово-Чепецкого химического комбината. — Атомная энергия, 2009, т. 107, вып. 4, с. 231—235.
9. Волков В.Г., Волкович А.Г., Данилович А.С. и др. Подготовка объектов Подольского завода цветных металлов к реабилитации. — Там же, 2010, т. 109, вып. 2, с. 89—95.

Поступила в Редакцию 2.11.10

Рефераты статей

УДК 621.039.51

Краюшкин А.В., Захарова Л.Н. Стохастические эффекты при определении максимальной мощности канала в РБМК. — Атомная энергия, 2011, т. 110, вып. 2, с. 63—66.

В связи с задачей повышения мощности реакторов ранее сформулировано утверждение о том, что система контроля распределения энерговыделения РБМК систематически превышает максимальную мощность канала. В статье это утверждение анализируется с помощью математического моделирования, включающего стохастические вариации некоторых параметров. Рис. 2, табл. 2, список лит. 2 назв.

УДК 621.311.25.004.7

Былкин Б.К., Перегуда В.И., Шапошников В.А., Тихоновский В.Л. Состав и структура

имитационных моделей для оценки затрат на вывод из эксплуатации блоков АЭС. — Атомная энергия, 2011, т. 110, вып. 2, с. 66—70.

Рассмотрены методические и практические подходы к реализации итерационного многокритериального анализа для оценки затрат на вывод из эксплуатации блоков АЭС и его оптимального построения с использованием информационных технологий. Проанализированы сложившиеся в настоящее время объективные предпосылки, способствующие разработке и использованию в практической деятельности имитационных моделей для вывода из эксплуатации блоков АЭС. Рис. 2, список лит. 9 назв.

Продолжение см. на с. 116