ОБРАЩЕНИЕ С РАДИОАКТИВНЫМИ ОТХОДАМИ ПРИ ВЫВОДЕ ИЗ ЭКСПЛУАТАЦИИ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО КОРПУСА «Б» АО «ВНИИНМ»

А. Ю. Кузнецов¹, С. В. Белоусов², С. В. Хлебников², К. Г. Бочаров³

¹Служба Генерального инспектора Государственной корпорации по атомной энергии «Росатом», Москва

²АО «Высокотехнологический научно-исследовательский институт неорганических материалов
имени академика А. А. Бочвара», Москва

³Госкорпорация «Росатом», Москва

Статья поступила в редакцию 18 ноября 2019 г.

В статье приводится анализ системы обращения с радиоактивными отходами (РАО), функционировавшей при выводе из эксплуатации исследовательского корпуса «Б» АО «ВНИИНМ». Диверсификация источников финансирования работ по выводу из эксплуатации и их разбивка по годам выполнения контрактов предопределили осуществление трех организационно-технических схем передачи РАО специализированной организации. Приведены примеры обращения с крупногабаритными РАО, образовавшимися при демонтаже емкостного оборудования. Описана схема функционирования узла по обращению с РАО, располагавшегося в корпусе «Б», приведен перечень оборудования, задействованного при работе узла. Проведен анализ объемов РАО, образовавшихся в 2013–2015 гг. при реализации работ исполнителями. Намечены пути снижения объемов образующихся радиоактивных отходов при проведении работ по выводу из эксплуатации ядерно и радиационно опасных объектов (ЯРОО), и апробированные при выводе из эксплуатации корпуса «Б» в частности. В статье отмечается, что при проведении работ по выводу из эксплуатации неизбежно будут образовываться отходы, загрязненные техногенными радионуклидами, не относящиеся к категории РАО и не являющиеся материалами неограниченного использования. Отмечается необходимость организации безопасного обращения с подобными отходами.

Ключевые слова: радиоактивные отходы, вывод из эксплуатации, радиоактивно загрязненное оборудование, дезактивация, компактирование, материалы, загрязненные техногенными радионуклидами, удельная активность.

Проведение работ по выводу из эксплуатации объектов использования атомной энергии (ОИАЭ) является неотъемлемой частью их жизненного цикла. В федеральных целевых программах «Обеспечение ядерной и радиационной безопасности на 2008 год и на период до 2015 года» (ФЦП ЯРБ-1) и «Обеспечение ядерной и радиационной безопасности на 2016–2025 годы и на период до 2030 года» (ФЦП ЯРБ-2) значительное внимание уделено обеспечению решения проблемы вывода из эксплуатации

ранее остановленных ЯРОО и обращению с РАО, образующихся при их ликвидации [1–3].

Часть ранее остановленных ОИАЭ расположена в крупных населенных пунктах. Исторически сложилось, что основная научно-исследовательская база атомной отрасли также находится в городах. Один из исследовательских кластеров возник в конце 40-х годов на территории нынешнего района «Щукино» Северо-Западного административного округа города Москвы и включал Курчатовский институт, ВНИИНМ,

Институт биофизики. В настоящее время объекты этих предприятий располагаются в районе плотной жилой застройки. Эксплуатирующие организации АО «ВНИИНМ» и НИЦ «Курчатовский институт» ведут планомерную работу по ликвидации остановленных радиоактивно загрязненных объектов [4–11].

Одним из объектов АО «ВНИИНМ», подлежащих ликвидации, являлся исследовательский корпус «Б», построенный в 1945 г. для проведения экспериментальных работ с использованием ядерных материалов и радиоактивных веществ, в результате чего часть оборудования, помещений и инженерных систем оказалась загрязненной радиоактивными веществами. Корпус представлял собой отдельно стоящее четырех-шестиэтажное здание с площадью застройки 2 407 м² и общей площадью помещений 7 469 м² [9].

Рис. 1. Исследовательский корпус «Б»

Для вывода его из эксплуатации была разработана проектная документация, согласно которой работы проводились в три этапа:

1) подготовительный этап (реализован в 2013 г.) — реконструкция санпропускника, создание участков по обращению с радиоактивными и промышленными отходами, монтаж дополнительных систем: контроля радиационной безопасности; физической защиты; пожарной сигнализации; поэтажной системы вентиляции;

2) основной этап (реализован в 2013–2014 гг.) — удаление промышленных отходов, химических реактивов, дезактивация и демонтаж технологического оборудования и трубопроводов, демонтаж инженерных систем корпуса, дезактивация загрязнений строительных конструкций, получение заключения о радиационном состоянии строительных конструкций корпуса. На этом этапе планировалось образование основного количества РАО;

3) заключительный этап (реализован в 2015 г.) — демонтаж строительных конструкций и фундамента здания, реабилитация площадки застройки корпуса. На заключительном этапе образовался основной объем промышленных

отходов (строительные конструкции корпуса) и РАО.

При ликвидации корпуса прогнозировалось образование следующих видов РАО:

- загрязненное технологическое и прочее оборудование;
- жидкие и твердые РАО (ЖРО и ТРО), хранящиеся в вытяжных шкафах и боксах;
- фильтрующие элементы систем вентиляции и газоочистки;
- элементы и фрагменты коммуникаций (трубопроводы, воздуховоды);
- фрагменты загрязненных строительных конструкций (металлические, железобетонные);
- загрязненный строительный мусор (кирпич, штукатурка, стекло, древесина);
- загрязненный грунт;
- ТРО, образующиеся при дезактивации оборудования, транспортных средств и помещений (ветошь, подручные средства и пр.);
- спецодежда и СИЗ персонала;
- полимерные материалы, использовавшиеся для обращения с ТРО.

Согласно проектной документации планировалось образование 4 849,8 м³ РАО (табл. 1). В основу данной цифры легли результаты комплексного инженерного и радиационного обследования корпуса (КИРО).

Таблица 1. Объемы отходов, отнесенных к категории РАО

Виды РАО	Объем РАО, м ³
Технологическое оборудование и инженерные сети	931,7
Химреактивы	90
Мебель	6,6
Строительные конструкции, включая	
кирпич	250
металлические конструкции	3,1
железобетонные конструкции	150
бетонные конструкции	100
деревянные конструкции	300
шлак	380
песок	73,5
грунт	500
цементная стяжка	150
штукатурка	265
пластикат	81
Итого строительных РАО	
в твердом теле	2252,6
в рыхлом теле	3686,3
Ветошь, СИЗ, спецодежда, дезактивационные маты	101,4
ЖРО	30
Вторичные ЖРО	3,8
Всего РАО	4849,8

Организация обращения с РАО

Вывод из эксплуатации исследовательского корпуса «Б» являлся мероприятием ФЦП ЯРБ-1, работы финансировались из двух источников — федерального бюджета и средств специального резервного фонда № 3 (СРФ № 3) Госкорпорации «Росатом». Подобное разделение работ показало свою эффективность, однако потребовало разработки отдельных схем взаимодействия между заказчиком (Госкорпорация «Росатом»), исполнителями госконтрактов (ООО «Квант», ФГУП «РАДОН») и эксплуатирующей организацией (АО «ВНИИНМ»).

Собственником РАО является эксплуатирующая организация — АО «ВНИИНМ». В процессе работ реализовано три организационные схемы взаимодействия при обращении РАО. Первая — при выполнении договоров СРФ № 3: заказчиком работ выступало АО «ВНИИНМ», исполнителем — специализированная организация по обращению с РАО, выбранная на конкурсной основе. При передаче РАО оформлялись двухсторонний акт приема-передачи РАО и паспорт.

Вторая схема реализовывалась при выполнении госконтракта между Госкорпорацией «Росатом» и ООО «Квант». Для передачи образовавшихся РАО заключался трехсторонний договор с нижеследующими сторонами-участниками: АО «ВНИИНМ» — собственник РАО, Госкорпорация «Росатом» — заказчик работ и специализированная организация ООО «Квант» — исполнитель. Оформлялись трехсторонний акт приема-передачи РАО и паспорта на упаковки с РАО.

Третья схема — при выполнении госконтракта между Госкорпорацией «Росатом» и ФГУП «РАДОН». РАО, образованные ООО «Квант», передавались в АО «ВНИИНМ». Для передачи РАО от АО «ВНИИНМ» в ФГУП «РАДОН» оформлялся двухсторонний акт приема-передачи РАО и паспорта на упаковки с РАО в соответствии с утвержденным регламентом проведения работ по удалению РАО с площадки АО «ВНИИНМ» в специализированную организацию для размещения их на временное хранение.

Для организации учета и контроля РАО, а также измерения их радиационных характеристик были разработаны нижеследующие документы:

- регламент «Обращение с радиоактивными отходами, образующимися при выводе из эксплуатации корпуса «Б» ОАО «ВНИИНМ» (ОУК РАО-1-2013);
- регламент «Выполнение измерений радиационных характеристик радиоактивных отходов, образующихся при выводе из эксплуатации корпуса «Б» ОАО «ВНИИНМ» (ОУК РАО-2-2014).

Удаление крупногабаритного оборудования для создания участка по обращению с РАО

Одной из задач подготовительного этапа работ по ВЭ корпуса «Б» являлся демонтаж и удаление крупногабаритного оборудования в помещении большого радиохимического стенда (БРХС). Всего было демонтировано 26 единиц оборудования, включая 2 емкости объемом 8 м³ и 4 единицы длинномерного емкостного оборудования колонного типа (высота оборудования 4,2—6,4 м) [12]. Крупногабаритное емкостное оборудование было загрязнено долгоживущими α -излучающими нуклидами ²³⁵U, ²³⁸U, ²³⁹Pu [13]. Была проведена дезактивация внутренних поверхностей оборудования пенными составами. Применение данного метода позволило добиться значительного сокращения объемов дезактивационных ЖРО, коэффициент дезактивации — 25—70. В результате проведения данных работ понижена активность РАО (изменен класс с 3 до 4) по радиационно-определяющим трансурановым радионуклидам.

В условиях проведения работ в корпусе «Б» полностью удалить загрязнения внутренних поверхностей емкостного оборудования не представлялось возможным, поэтому для предотвращения вторичных загрязнений фрагментация оборудования на площадке проведения работ по выводу из эксплуатации не производилась. Демонтированное оборудование передавалось во ФГУП «РосРАО». При удалении емкостного оборудования его внешняя поверхность покрывалась локализирующим полимерным составом, после чего проводился дозиметрический контроль. Погрузке в транспортировочный контейнер ПУ-2ЭЦ-СТ подлежало только демонтированное оборудование с отсутствием нефиксированных загрязнений, которое по специально созданным транспортировочным путям перемещалось в контейнер (рис. 2).

Специализированной организацией было выполнено фрагментирование 17,5 м³ крупногабаритного оборудования. Работы были выполнены на площадке ФГУП «РосРАО». Подобное организационно-техническое решение при обращении с крупногабаритным емкостным оборудованием позволило обеспечить безопасность работ и снизить затраты. Подобное организационно-техническое решение при обращении с крупногабаритным емкостным оборудованием позволило обеспечить безопасность и снизить затраты при проведении работ.

Рис. 2. Удаление крупногабаритного оборудования из корпуса «Б»:

а — нанесение локализирующего покрытия, б — транспортирование оборудования, в — проведение контрольного обследования внешних поверхностей оборудования, г — загрузка оборудования в транспортный контейнер

Узел по обращению с РАО, образующимися при выводе из эксплуатации корпуса

В освобожденных помещениях БРХС корпуса «Б» был организован узел по обращению с РАО, особенностью которого явилось использование технологического оборудования для дезактивации загрязненных металлических отходов и компактирования РАО (фрагментационного и компактизационного оборудования). Выбор проектировщиком подобного оборудования был обусловлен практической невозможностью обоснования обеспечения безопасности использования технологий глубокой переработки РАО в условиях площадки, находящейся в Москве, и экономической нецелесообразностью дополнительной переработки образующихся объемов РАО на месте.

Для создания узла по обращению с РАО в соответствии с проектной документацией проведено обустройство проемов в стенах, создана транспортировочная система

(грузоподъемные механизмы) для перемещения отходов с верхних этажей корпуса, установлено оборудование.

В состав узла по обращению с РАО входили следующие участки:

- участок приема потоков отходов с верхних этажей с помощью подъемника и с первого этажа с помощью грузовых тележек;
- участок сортировки, фрагментации, компактирования отходов, формирования первичных упаковок;
- участок жидкостной дезактивации (ультразвуковая ванна);
- участок загрузки транспортного контейнера КРАД 3.0 первичными упаковками (бочками, упакованными брикетами, отдельными фрагментами оборудования и пр.);
- участок паспортизации первичных упаковок и контейнеров.

Основным технологическим оборудованием участка обращения с РАО являлось:

- оборудование для компактирования отходов:

Рис. 3. Оборудование для компактирования отходов: а — пресс-компактор в бочку; б — пресс-пакетировщик

Рис. 4. Перемещение бочек с РАО при помощи микроэлектропогрузчика

Рис. 5. Контейнер с РАО на транспортировочной тележке

- пресс-компактор в бочку — эффективное компактирование отходов в бочки объемом 200 л (рис. 3а);
- пресс-брикетировщик металлического лома — существенное сокращение объемов металлических отходов (рис. 3б). Пресс располагался в герметичной камере. При работе пресса на выходе формировались брикеты габаритных размеров $(300 \div 500) \times 600 \times 240$ мм;
- дезактивационное оборудование — ультразвуковая ванна, оснащенная комплексом для приготовления дезактивирующих растворов и насосным оборудованием;
- логистическое оборудование:
  - грузовые подъемники, предназначенные для механизации перемещения отходов со 2–4-го этажей корпуса;
  - микроэлектропогрузчик, предназначенный для перемещения упаковок на участке по обращению с РАО внутри корпуса (рис. 4);
  - грузовая платформа — передаточная тележка г/п 10 т, предназначенная для механизации
- процесса перемещения контейнеров с ТРО в зону паспортизации и далее под погрузку в спецавтотранспорт (рис. 5);
- ручная гидравлическая тележка г/п 1,0 т, предназначенная для перемещения упаковок с отходами в местах демонтажных работ;
- вилочный минипогрузчик г/п 1,3 т, предназначенный для перемещения упаковок с РАО в условиях помещений при загрузке контейнеров пресс-брикетами и перемещения бочек;
- вилочный дизельный погрузчик г/п 3,5 т, предназначенный для перемещения пустых и полных контейнеров с РАО на открытой площадке;
- оборудование газоочистки. При создании системы удаления газообразных выбросов на участке по обращению с РАО для очистки от аэрозолей перед направлением в систему централизованной вентиляции и последующей газоочистки использовались высокопроизводительные промышленные пылесосы, укомплектованные НЕРА-фильтрами с эффективностью очистки 99,995 % и устройствами

Рис. 6. Промышленные пылесосы

безопасной выгрузки отходов из них в упаковку (рис. 6);

- оборудование для характеристики РАО. Для определения радиационных характеристик РАО использовался многоканальный гамма-спектрометр для измерения рентгеновского и гамма-излучения с программным обеспечением для обработки гамма-спектров.

Обращение с радиоактивно загрязненными материалами, образовавшимися при выводе из эксплуатации исследовательского корпуса «Б», было подробно описано в проектной документации, разработанной АО «РАОПРОЕКТ» и прошедшей все необходимые экспертизы и согласования. Демонтированное радиоактивно загрязненное технологическое оборудование, инженерные и технологические коммуникации после проведения дезактивации в местах демонтажа фрагментировались на части габаритными размерами не более 1000×750 мм. Фрагменты обрачивались полиэтиленовой пленкой, концы которой закреплялись скотчем, после чего они грузились в контейнеры-тележки и ручные гидравлические тележки и далее перемещались из помещения по коридору к грузовому подъемнику для транспортирования со 2—4-го этажей на 1 этаж в узел по обращению с РАО.

Мелкие радиоактивно загрязненные элементы оборудования, коммуникаций, обрезки,

бумага, древесина, обтирочный материал, строительные отходы, а также отходы, образовавшиеся в процессе дезактивации помещений, сортировались, упаковывались в полиэтиленовую пленку, укладывались в бочки, которые далее транспортировались посредством специализированных тележек-«бочкокатов» из помещений в узел обращения с РАО.

На узле по обращению с РАО металлические отходы отправлялись на пресс-пакетировщик, оборудованный шлюзом. ТРО, требующие прессования, отправлялись на вертикальный пресс-компактор, где прессовались в 200-литровые металлические бочки. Неметаллические отходы в контейнерах-тележках, не подлежащие прессованию, упаковывались в такие же бочки.

В результате работы оборудования по компактированию отходов образовывались 200-литровые бочки с прессованными отходами и брикеты, полученные с помощью пресса-пакетировщика.

После нанесения фиксирующего состава брикеты упаковывались в пленку в несколько слоев, далее миниэлектропогрузчиком перемещались на передаточный стол-площадку, где с помощью второго миниэлектропогрузчика производили их дальнейшую погрузку в транспортный контейнер, установленный на грузовой платформе. Аналогично осуществлялось перемещение и 200-литровых бочек.

По завершении загрузки контейнера выполнялся его радиационный контроль и последующая дезактивация, если она требовалась. Далее с помощью грузовой платформы по рельсам контейнер с ТРО перемещался в другое помещение, где происходила его паспортизация. После проведения паспортизации и оформления документов транспортный контейнер, находящийся на грузовой платформе, отправлялся на наружную площадку, где осуществлялась дальнейшая его погрузка в специальный автотранспорт с помощью автокрана.

В качестве упаковочных комплектов для транспортировки отходов в специализированные организации использовались контейнеры КРАД-3,0, КМЗ, КМЗ-РАДОН, ПУ-2ЭЦ-СХ, ПУ-2ЭЦ-СТ, мягкие упаковки типа «Биг-бэг».

Образование РАО при выводе из эксплуатации исследовательского корпуса «Б»

При производстве работ по выводу из эксплуатации исследовательского корпуса «Б» всего образовалось 22 771,5 т отходов. В табл. 2 приведено распределение отходов по категориям.

Таблица 2. Распределение отходов, образовавшихся при ВЭ, по категориям

Категория отхода	Количество	
	т	%
РАО	777,5	3,4
Отходы материалов, загрязненных радионуклидами, не относящихся к РАО	127	0,6
Отходы I–IV классов опасности (химические реактивы с истекшим сроком годности)	27,013	0,1
Строительные отходы (V класс опасности)	21840	95,9

Большую часть отходов составляли строительные отходы, не имеющие радиоактивного загрязнения и в основном образовавшиеся при демонтаже строительных конструкций корпуса. Радиоактивно загрязненные отходы составляли приблизительно 4 % от массы всех отходов, образовавшихся при выводе из эксплуатации корпуса.

Всего при выводе из эксплуатации исследовательского корпуса «Б» образовалось 1 603,2 м³ РАО суммарной активностью 7,76·10¹⁰ Бк. Это меньше количества РАО, прогнозируемого на стадии КИРО и запроектированного для вывода из эксплуатации. Эффективными путями уменьшения объемов РАО явились следующие мероприятия:

- использование современных методов дезактивации, благодаря которым образуется малое

количество вторичных отходов (сухие методы дезактивации);

- использование промышленных пылесосов, широко примененных при выводе из эксплуатации корпуса «Б» для обеспыливания [14];
- тщательная сортировка образовавшихся отходов. Данный метод снижения объемов РАО будет эффективен при определенных трудозатратах, которые, как правило, не включаются в сметную документацию, однако нахождение экономически оптимальных затрат на сортировку будет финансово выгодно организациям, проводящим работы по выводу из эксплуатации, и государственному заказчику, т. к. в результате правильно проведенной сортировки значительно уменьшаются объемы РАО;
- применение современных методов измерения радиационных характеристик отходов. Измерение радиационных характеристик РАО — весьма непростая задача, пути решения которой подробно описаны в работе [15]. Использование высокочувствительных гамма-спектрометров, отбор представительных проб отходов для лабораторных исследований и измерений, разработка и применение современных методов детекции трудноопределимых радионуклидов позволило провести тщательную паспортизацию РАО корпуса «Б» и вывести часть строительных отходов из-под регулирующего надзора.

Обратной стороной тщательного измерения радиационных характеристик отходов является неизбежное образование отходов, загрязненных радионуклидами, которые нельзя отнести ни к РАО, ни к отходам неограниченного использования — материалов, загрязненных техногенными радионуклидами (МЗТРН). Обращение с подобными отходами в настоящее время регулируется п. 3.11 ОСПОРБ 99/2010.

МЗТРН (ОНАО), не относящиеся к категории РАО, образовались при выводе из эксплуатации корпуса «Б» в 2015 г. Они были удалены с территории АО «ВНИИНМ» только в 2018 году с соблюдением всех мер безопасности.

Обращение с подобными отходами в настоящее время является предметом оживленной дискуссии. Авторы [1] констатируют очевидную незавершенность правовой конструкции по этой группе радиоактивно загрязненных отходов, что является серьезным препятствием при обращении с ними. В работе [3] указывается на необходимость выделения подобных отходов в отдельный класс, установления тарифа для их захоронения и создания пунктов захоронения таких отходов. Утверждение авторов [3] о необходимости эксплуатирующим организациям

избегать образования ОНАО во многих случаях не реализуемо, так как экономически эффективно дезактивировать отходы можно лишь до определенного предела, и этим пределом зачастую как раз является образование МЗТРН (ОНАО). Накопление подобных отходов на площадках и их безопасное хранение потребует затрат и будет лишь временным решением, поэтому вопрос хранилищ и тарифа на размещение (захоронение) ОНАО стоит наиболее остро.

Одним из способов решения проблемы, по мнению авторов [16], является их использование при закрытии ПЗРО и консервации пунктов хранения ТРО. Применение подобного подхода потребует весьма тщательной законодательной проработки, внесения изменений в проектную документацию хранилищ и лицензий эксплуатирующих организаций.

Другим способом решения проблемы обращения с МЗТРН (ОНАО) видится их отнесение к опасным отходам соответствующего класса опасности. Так, ФГУП «РосРАО» идентифицировало и классифицировало 12 наименований отходов IV класса опасности, выведенных из-под регулирования ФЗ № 190 «Об обращении с радиоактивными отходами» и подзаконных актов:

- 8 наименований отходов, загрязненных техногенными радионуклидами, образующимися в процессе вывода из эксплуатации ОИАЭ;

- 4 наименования отходов, загрязненных природными радионуклидами, образующимися в процессе очистки оборудования топливно-энергетического комплекса.

Распределение РАО, образовавшихся при выводе из эксплуатации, по годам передачи специализированным организациям приведено на рис. 7.

Как указывалось выше, практические работы по выводу из эксплуатации корпуса «Б» проводили две организации — АО «ВНИИНМ» и ООО «Квант». Объемы и активности РАО, образованных организациями-исполнителями работ, приведены на рис. 8.

ООО «Квант» выполнило большой объем работ по выводу из эксплуатации исследовательского корпуса «Б», и в результате его деятельности образовалось приблизительно 85 % от общего объема РАО. АО «ВНИИНМ» за счет наличия в структуре предприятия высоко профессиональных подразделений по выводу из эксплуатации и обращению с РАО успешно выполнило задачу по обращению с наиболее активными РАО, образовавшимися при ВЭ корпуса. Анализ полученного в ходе работ опыта показал, что эксплуатирующая организация, осуществляющая ВЭ ЯРОО, может и должна выполнять наиболее радиационно опасные работы в проектах вывода из эксплуатации, что существенно повысит безопасность работ.

Рис. 7. Передача специализированным организациям РАО по годам (а — по объему переданных РАО, б — по активности переданных РАО)

Рис. 8. Образование РАО исполнителями работ по ВЭ корпуса «Б»: (а — объемы РАО, б — активности РАО)

Заключение

В рамках успешно завершённого проекта вывода из эксплуатации исследовательского корпуса «Б» АО «ВНИИНМ» был разработан и апробирован на практике набор организационных и технических решений по безопасному и эффективному обращению с РАО в условиях городской черты.

Проект длился три года, работы велись по государственным контрактам, финансируемым из средств федерального бюджета, и договорам из средств специального резервного фонда № 3 «Вывод из эксплуатации» Госкорпорации «Росатом». Разнообразие источников финансирования привело к необходимости разработки организационно-технических схем взаимодействия участников проекта, выполнявших работы по выводу из эксплуатации, и специализированных организаций по обращению с РАО. Каждая из них была реализована в условиях существующей нормативно-правовой базы.

При выводе из эксплуатации корпуса «Б» на долю РАО пришлось 3,4% общего количества отходов. Затраты на передачу РАО специализированным организациям составили приблизительно 32% фактического бюджета проекта. Затраты на проведение работ по выводу из эксплуатации корпуса «Б» были значительно сокращены за счет уменьшения количества РАО, а также за счет уменьшения стоимости приема РАО на хранение, в том числе вследствие проведения конкурентных закупочных процедур.

Анализ выполненных работ показал, что снижение затрат на вывод ЯРОО из эксплуатации возможно только при активном внедрении современных технологий, таких как компактирование отходов, методы дезактивации (дающих небольшие объемы вторичных отходов), использовании современного спектрометрического оборудования и методик измерений для быстрой и точной характеристики отходов.

Опыт проведения работ по выводу из эксплуатации исследовательского корпуса «Б» показал, что безусловное обеспечение безопасности проведения работ и обращения с РАО, в частности, гарантируется активной позицией эксплуатирующей организации при проведении работ и обеспечении их безопасности.

Литература

1. Абалкина И. Л., Линге И. И. Особенности обращения с РАО от вывода из эксплуатации // Радиоактивные отходы. 2018. № 3 (4). С. 6—15.

2. Бочаров К. Г., Михеев С. В., Ведерникова М. В. Перспективы работ по накопленным РАО в организациях Топливной компании АО «ТВЭЛ» // Радиоактивные отходы. 2017. № 1 (1). С. 87—94.

3. Абрамов А. А., Дорофеев А. Н., Дерябин С. А. Развитие ЕГС РАО в рамках работ по федеральной целевой программе обеспечения ядерной и радиационной безопасности // Радиоактивные отходы. 2019. № 1 (6). С. 8—24.

4. Пономарев-Степной Н. Н., Волков В. Г., Городецкий Г. Г., Зверков Ю. А., Иванов О. П., Колтышев С. М., Лемус А. В., Семенов С. Г., Степанов В. Е., Чесноков А. В., Шиша А. Д. Извлечение радиоактивных отходов и ликвидация старых хранилищ в РНЦ «Курчатовский институт» // Атомная энергия. 2007. Т. 103. № 2. С. 129—133.

5. Велихов Е. П., Пономарев-Степной Н. Н., Волков В. Г., Городецкий Г. Г., Зверков Ю. А., Иванов О. П., Колтышев С. М., Музрукова В. Д., Семенов С. Г., Степанов В. Е., Чесноков А. В., Шиша А. Д. Реабилитация радиоактивно загрязненных объектов и территории РНЦ «Курчатовский институт» // Атомная энергия. 2007. Т. 102. № 5. С. 300—306.

6. Волков В. Г., Зверков Ю. А., Колядин В. И., Лемус А. В., Музрукова В. Д., Павленко В. И., Семенов С. Г., Фадин С. Ю., Шиша А. Д. Подготовка к выводу из эксплуатации исследовательского реактора МР в РНЦ «Курчатовский институт» // Атомная энергия. 2008. Т. 104. № 5. С. 259—264.

7. Данилович А. С., Павленко В. И., Потапов В. Н., Семенов С. Г., Чесноков А. В., Шиша А. Д. Технологии обращения с РАО при выводе из эксплуатации исследовательских реакторов МР и РФТ // Радиоактивные отходы. 2018. № 2 (3). С. 63—72.

8. Евстигнеев В. П., Газин Р. Х., Семенов С. Г., Чесноков А. В., Шиша А. Д. Обращение с отработавшим ядерным топливом исследовательских реакторов в НИЦ «Курчатовский институт» // Атомная энергия. 2019. Т. 126. № 2. С. 92—98.

9. Кузнецов А. Ю., Белоусов С. В., Савин С. К., Комаров Е. А., Удаляя М. В., Собко А. А. Основные результаты вывода из эксплуатации исследовательского корпуса «Б» АО «ВНИИНМ» // Атомная энергия. 2017. Т. 123. № 4. С. 210—216.

10. Кузнецов А. Ю., Белоусов С. В., Азовсков М. Е., Ефремов А. Е., Хлебников С. В. Подготовка к выводу из эксплуатации комплекса зданий установки У-5 АО «ВНИИНМ» // Атомная энергия. 2018. Т. 125. № 4. С. 222—227.

11. Кузнецов А. Ю., Анциферова Е. Ю., Белоусов С. В., Верещагин И. И., Хлебников С. В. Реабилитация здания 53 АО «ВНИИНМ» // Атомная энергия. 2019. Т. 126. № 3. С. 167—170.

12. Кузнецов А. Ю., Азовсков М. Е., Белоусов С. В., Верещагин И. И., Ефремов А. Е., Хлебников С. В. Обращение с крупногабаритными радиационно-

загрязненными емкостями при выводе из эксплуатации исследовательского корпуса «Б» АО «ВНИИНМ» // Известия вузов. Ядерная энергетика. 2019. № 1. С. 107–118.

13. Кузнецов А. Ю., Белоусов С. В., Савин С. К., Азовсков М. Е., Хлебников С. В., Ефремов А. Е., Верецагин И. И., Широков С. С. Исследование осадков и отложений в системах специальных коммуникаций корпуса «Б» АО «ВНИИНМ» // Атомная энергия. 2016. Т. 120. № 3. С. 162–164.

14. Кузнецов А. Ю., Азовсков М. Е., Белоусов С. В., Верецагин И. И., Ефремов А. Е., Хлебников С. В. Применение дезактивации вакуумированием при проведении работ по подготовке и выводу

из эксплуатации объектов АО «ВНИИНМ» // Вопросы атомной науки и техники. Сер. Материаловедение и новые материалы. 2017. № 3 (90). С. 88–99.

15. Варлаков А. П., Германов А. В., Сергеечева Я. В., Ивлиев М. В. О разработке требований к измерениям радиационных характеристик ТРО, образующихся при ВЭ ЯРОО // Радиоактивные отходы. 2018. № 4 (5). С. 76–82.

16. Ведерникова М. В., Иванов А. Ю., Линге И. И., Самойлов А. А. Оптимизация обращения с загрязненными материалами и РАО в пределах промышленных площадок // Радиоактивные отходы. 2019. № 2 (7). С. 6–17.

Информация об авторах

Кузнецов Андрей Юрьевич, кандидат химических наук, начальник информационно-аналитического отдела, СГИК «Росатома» (119180, Москва, Старомонетный пер., д. 26, стр. 2), e-mail: A_Quznetsov@mail.ru, andyurkuznetsov@rosatom.ru.

Белоусов Сергей Вячеславович, заместитель директора отделения вывода из эксплуатации — начальник отдела технологий дезактивации, АО «ВНИИНМ» (123060, Москва, ул. Рогова, 5а), e-mail: SVBelousov@bochvar.ru.

Хлебников Сергей Владимирович, инженер-технолог 1-й категории отдела технологий дезактивации, АО «ВНИИНМ» (123060, Москва, ул. Рогова, 5а), e-mail: SVKhlebnikov@bochvar.ru.

Бочаров Кирилл Геннадьевич, заместитель генерального инспектора, Госкорпорация «Росатом» (119017, Москва, ул. Б. Ордынка, 24), e-mail: KGeBocharov@rosatom.ru.

Библиографическое описание статьи

Кузнецов А. Ю., Белоусов С. В., Хлебников С. В., Бочаров К. Г. Обращение с радиоактивными отходами при выводе из эксплуатации исследовательского корпуса «Б» АО «ВНИИНМ» // Радиоактивные отходы. 2020. № 1 (10). С. 73–84. DOI: 10.25283/2587-9707-2020-1-73-84.

RADIOACTIVE WASTE MANAGEMENT DURING DECOMMISSIONING OF RESEARCH BUILDING “B” AT JSC “VNIINM” SITE

Kuznetsov A. Yu.¹, Belousov S. V.², Khlebnikov S. V.², Bocharov K. G.³

¹ROSATOM SGIC, Moscow, Russia,

²JSC “VNIINM”, Moscow, Russia,

³State Corporation “Rosatom”, Moscow, Russia

Article received on December 4, 2019

The paper focuses on the radioactive waste management system that has been put in place to support the decommissioning of building “B”. Based on the diversification of financial sources for decommissioning, their breakdown by contract implementation timeline, three organizational and engineering flowcharts for the transfer of

radioactive waste to a specialized organization were set. The paper presents operational flowchart for the radioactive waste treatment unit located in the building “B”, as well as the list of equipment involved in its operation. The basic equipment involved is as follows: equipment for RW compaction and decontamination, equipment for local gas cleaning systems, industrial vacuum cleaners, logistics support equipment (freight elevators, platforms, loaders), equipment for RW characterization CANBERRA Inspector-2000, as well as transport packages used to ship the waste to specialized organizations (Krad-3.0, KMZ, KMZ-RADON, PU-2EC-SH, PU-2EC-ST), soft packages of “big-bag” type. A total of 22 771.5 tons of waste were generated during the decommissioning. Radioactive waste amounted only to some 3.4% of the total amount of waste. The costs associated with the transfer of radioactive waste to specialized organizations accounted for some 32% of the actual project budget. The cost of hull B decommissioning was reduced significantly due to the decrease both in the amount of radioactive waste and the cost associated with radioactive waste receipt by applying competitive procurement procedures. The paper argues that during decommissioning, waste contaminated with man-made radionuclides that cannot be categorized neither as radioactive waste nor as materials that can be used unrestrictedly are inevitably generated. The paper stresses that the safe management of such waste should be ensured. The decommissioning experience gained at the site of building “B” showed that the unconditional safety of operations and radioactive waste management, in particular, can be ensured by the active position of the operating organization.

Keywords: radioactive waste, decommissioning, radioactive contaminated equipment, decontamination, compaction, specific activity.

References

1. Abalkina I. L., Linge I. I. Osobennosti obrashcheniya s RAO ot vyvoda iz ekspluatatsii [Peculiarities of decommissioning waste management]. *Radioaktivnye othody — Radioactive Waste*, 2018, no. 3 (4), pp. 6–15.
2. Bocharov K. G., Mikheev S. V., Vedernikova M. V. Perspektivy rabot po nakoplenym RAO v organizatsiyah Toplivnoj kompanii AO “TVEL” [Prospects of work on the accumulated RW in the organizations of the Fuel company JSC “TVEL”]. *Radioaktivnye othody — Radioactive Waste*, 2017, no. 1, pp. 87–94.
3. Abramov A. A., Dorofeev A. N., Deryabin S. A. Razvitie EGS RAO v ramkah rabot po federal'noj celevoj programme obespecheniya yadernoj i radiacionnoj bezopasnosti [Development of USS RW in the Framework of Federal Targeted Program of Nuclear and Radiation Safety Assurance]. *Radioaktivnye othody — Radioactive Waste*, 2019, no. 1 (6), pp. 8–24.
4. Ponomarev-Stepnoi N. N., Volkov V. G., Gorodetsky G. G., Zverkov Y. A., Ivanov O. P., Koltyshev S. M., Lemus A. V., Semenov S. G., Stepanov V. E., Chesnokov A. V., Shisha A. D. Izvlechenie radioaktivnykh othodov i likvidatsiya starykh hranilishch v RNC “Kurchatovskij institute” [Extraction of radioactive wastes and liquidation of old repositories at the Russian Science Center Kurchatov Institute]. *Atomnaya energiya — Atomic Energy*, 2007, vol. 103, no. 2, pp. 647–652.
5. Velikhov E. P., Ponomarev-Stepnoi N. N., Volkov V. G., Gorodetskii G. G., Zverkov Yu. A., Ivanov O. P., Koltyshev S. M., Muzrukova V. D., Semenov S. G., Stepanov V. E., Chesnokov A. V., Shisha A. D. Reabilitatsiya radioaktivno zagryaznennykh ob'ektov i territorii RNC “Kurchatovskij institute” [Rehabilitation of the radioactively contaminated objects and territory of the Russian Science Center Kurchatov Institute]. *Atomnaya energiya — Atomic Energy*, 2007, vol. 102, no. 5, pp. 375–381.
6. Volkov V. G., Zverkov Yu. A., Kolyadin V. I., Lemus A. V., Muzrukova V. D., Pavlenko V. I., Semenov S. G., Fadin S. Yu., Shisha A. D. Podgotovka k vyvodu iz ekspluatatsii issledovatel'skogo reaktora MR v RNC “Kurchatovskij institute” [Preparations for decommissioning the MR research reactor at the Russian Science Center Kurchatov institute]. *Atomnaya energiya — Atomic Energy*, 2008, vol. 104, no. 5, pp. 335–341.
7. Danilovich A. S., Pavlenko V. I., Potapov V. N., Semenov S. G., Chesnokov A. V., Shisha A. D. Tekhnologii obrashcheniya s RAO pri vyvode iz ekspluatatsii issledovatel'skikh reaktorov MR i RFT [Technologies of radwaste management at a decommissioning of the MR and RFT research reactors]. *Radioaktivnye othody — Radioactive Waste*, 2018, no. 2 (3), pp. 63–72.
8. Evstigneev V. P., Gazin R. Kh., Semenov S. G., Chesnokov A. V., Shisha A. D. Obrashchenie s otrabotavshim yadernym toplivom issledovatel'skikh reaktorov v NIC “Kurchatovskij institute” [Spent Fuel Management of Research Reactors in the NRC “Kurchatov Institute”]. *Atomnaya energiya — Atomic Energy*, 2019, vol. 126, no. 2, pp. 92–98.
9. Kuznetsov A. Yu., Belousov S. V., Savin S. K., Komarov E. A., Udalaya M. V., Sobko A. A. Osnovnye rezul'taty vyvoda iz ekspluatatsii issledovatel'skogo korpusa B AO “VNIINM” [Main Results of the Decommissioning of the Research Building B of JSC “VNIINM”]. *Atomnaya energiya — Atomic Energy*, 2017, vol. 123, no. 4, pp. 210–216.
10. Kuznetsov A. Yu., Belousov S. V., Azovskov M. E., Efremov A. E., Khlebnikov S. V. Podgotovka k vyvodu iz ekspluatatsii kompleksa zdaniy ustanovki U-5

- AO "VNIINM" [Decommissioning Complex of Buildings U-5 Research Facility JSC "VNIINM"]. *Atomnaya energiya — Atomic Energy*, 2018, vol. 125, no. 4, pp. 222–227.
11. Kuznetsov A. Yu., Antsiferova E. Yu., Belousov S. V., Vereshchagin I. I., Khlebnikov S. V. Reabilitatsiya zdaniya 53 AO "VNIINM" [Rehabilitation of the building 53 JSC "VNIINM"]. *Atomnaya energiya — Atomic Energy*, 2019, vol. 126, no. 3, pp. 167–170.
12. Kuznetsov A. Yu., Azovskov M. E., Belousov S. V., Vereshchagin I. I., Efremov A. E., Khlebnikov S. V. Obrashchenie s krupnogabaritnymi radiacionno-zagryaznennymi emkostyami pri vyvode iz ekspluatatsii issledovatel'skogo korpusa "B" AO "VNIINM" [Treatment with large Radiation Contaminated Tanks at the Decommissioning of the Research Building "B" VNIINM]. *Izvestiya vuzov. Yadernaya energetika — Nuclear Energy and Technology*, 2019, no. 1, pp. 107–118.
13. Kuznetsov A. Yu., Belousov S. V., Savin S. K., Azovskov M. E., Khlebnikov S. V., Efremov A. E., Vereshchagin I. I., Shirokov S. S. Issledovanie osadkov i otlozhenij v sistemah special'nykh kommunikatsionnykh korpusa B AO "VNIINM" [Investigation of Precipitates and Deposits in the Special Piping in Building B at the Bochvar All-Russia Research Institute for Inorganic Materials]. *Atomnaya energiya — Atomic Energy*, 2016, vol. 120, no. 3, pp. 209–213.
14. Kuznetsov A. Yu., Azovskov M. E., Belousov S. V., Vereshchagin I. I., Efremov A. E., Khlebnikov S. V. Primenenie dezaktivatsii vakuumirovaniem pri provedenii rabot po podgotovke i vyvode iz ekspluatatsii ob"ektov AO "VNIINM" [The Use of Decontamination with Evacuation During the Work on the Preparation and Decommissioning Objects of JSC "Vniinm"]. *Voprosy atomnoj nauki i tekhniki. Seriya: materialovedenie i novye materialy — Issues on Atomic Science and Technology. Series: Materials Science and New Materials*, 2017, no. 3 (90), pp. 88–99.
15. Varlakov A. P., Germanov A. V., Sergeichev Y. V., Ivliev M. V. O razrabotke trebovanij k izmereniyam radiacionnykh harakteristik TRO, obrazuyushchih-sya pri VE YAROO [On the Development of Requirements for Measurement of Radiation Characteristics of solid radioactive waste generated during decommissioning]. *Radioaktivnye othody — Radioactive Waste*, 2018, no. 4 (5), pp. 76–82.
16. Vedernikova M. V., Ivanov A. Yu., Linge I. I., Samoilov A. A. Optimizatsiya obrashcheniya s zagryaznennymi materialami i RAO v predelakh promyshlennykh ploshchadok [Optimization the Contaminated Materials and Radioactive Waste Management within Industrial Sites]. *Radioaktivnye othody — Radioactive Waste*, 2019, no. 2 (7), pp. 6–17.

Information about the authors

Kuznetsov Anrey Yuryevich, PhD, Head of information and analytical Department, "Rosatom SGIC" (26, 2, Staromonetny lane, Moscow, 119180, Russia), e-mail: A_Quznetsov@mail.ru, andyurkuznetsov@rosatom.ru.

Belousov Sergey Vyacheslavovich, Deputy Director, Department of decommissioning — head of Department of technology of decontamination, JSC "VNIINM" (5a, Rogova St., Moscow, 123060, Russia), e-mail: SVBelousov@bochvar.ru.

Khlebnikov Sergey Vladimirovich, Engineer-technologist of the 1-st category of decontamination technologies Department, JSC "VNIINM" (5a, Rogova St., Moscow, 123060, Russia), e-mail: SVKhlebnikov@bochvar.ru.

Bocharov Kirill Gennadyevich, Deputy inspector General, State Corporation "Rosatom" (24, Bolshaya Ordynka St., Moscow, 119017, Russia), e-mail: KGeBocharov@rosatom.ru.

Bibliographic description

Kuznetsov A. Yu., Belousov S. V., Khlebnikov S. V., Bocharov K. G. Radioactive Waste Management During Decommissioning of Research Building "B" at JSC "VNIINM" Site. *Radioactive Waste*, 2020, no. 1 (10), pp. 73–84. (In Russian). DOI: 10.25283/2587-9707-2020-1-73-84.