
КО ДНЮ РАБОТНИКА АТОМНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

УДК 621.039.73

**ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ РАЗВИТИЕ ФГУП «РосРАО» В РАМКАХ СОЗДАНИЯ
ОТРАСЛЕВОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ ПЕРЕРАБОТКИ, КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ
И ХРАНЕНИЯ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ****В.Н. Коваленко, первый заместитель генерального директора,
О.А. Горбунова[@], начальник проектно-технологического отдела***ФГУП «Предприятие по обращению с радиоактивными отходами «РосРАО»
Москва, 119017 Россия*[@]Автор для переписки, e-mail: OAnGorbunova@rosrao.ru

Описаны перспективные технологические решения по переработке, хранению, транспортированию радиоактивных отходов (РАО), внедряемые ведущим в РФ специализированным предприятием в области обращения с РАО. ФГУП «РосРАО» выполняет государственные задачи по обеспечению ядерной, радиационной, экологической безопасности при обращении со всеми видами РАО. К настоящему времени ФГУП «РосРАО» имеет ряд готовых решений, направленных на экономию ресурсов при сохранении радиационной и экологической безопасности путем снижения логистических издержек за счет использования крупнотоннажных контейнеров для транспортирования и хранения; максимальной переработки РАО на месте их образования или промежуточного хранения с помощью мобильных комплексов; создания и эксплуатации легковозводимых сооружений для временного хранения твердых радиоактивных отходов до передачи на кондиционирование или захоронение. В последние годы завершен ряд крупных проектов, направленных на улучшение радиозэкологической обстановки на территории России: введен в эксплуатацию крупнейший в России Региональный Центр кондиционирования и долговременного хранения РАО в Сайда Губе Мурманской области, выполнены работы для государственных нужд по приведению в безопасное состояние радиационно опасных объектов и рекультивации территорий субъектов РФ, подвергшихся радиационному воздействию в результате прошлой деятельности в Ставропольском и Забайкальском краях, Кировской, Московской, Ивановской, Оренбургской областях.

Ключевые слова: переработка РАО, крупнотоннажные контейнеры, мобильные комплексы, утилизация атомных подводных лодок, легковозводимые хранилища, вывод из эксплуатации объектов использования атомной энергии, реабилитация радиационно загрязненных территорий, очистка нефтедобывающего оборудования от природных радионуклидов.

**TECHNOLOGICAL DEVELOPMENT OF FSUE "RosRAO" AS A PART
OF THE INDUSTRY-SPECIFIC INFRASTRUCTURE FOR PROCESSING,
CONDITIONING AND STORAGE OF RADIOACTIVE WASTE****V.N. Kovalenko, O.A. Gorbunova[@]***Federal State Unitary Enterprise "RosRAO", Moscow, 119017 Russia*[@]Corresponding author e-mail: OAnGorbunova@rosrao.ru

This article describes promising technological solutions for the processing, storage and transportation of radioactive waste (RW) implemented by a leading Russian enterprise specializing in the field of radioactive waste management. Federal State Unitary Enterprise "RosRAO" performs national-level tasks to ensure nuclear, radiation and environmental safety in the treatment of all types of radioactive waste. To date, FSUE "RosRAO" has a number of ready-made solutions aimed at saving resources while maintaining the radiation and environmental safety by reducing logistics costs due to using large containers for transportation and storage; maximum recycling of waste at

the site of its formation or interim storage with the help of mobile systems; creation and operation of easily erected facilities for temporary storage of solid radioactive waste before transferring it for conditioning or disposal. In recent years, we completed a number of major projects focused on improving the radioecological situation on the territory of Russia. The Regional Centre for conditioning and long-term storage of radioactive waste, largest in Russia, was put into operation in Sayda Guba in Murmansk region. Works for state needs were performed to bring radiation-hazardous objects to a safe state and to reclaim territories of the Russian Federation subjects exposed to radiation as a result of past activities in the Trans-Baikal and Stavropol territories, Kirov, Moscow, Ivanovo and Orenburg regions.

Keywords: *processing waste, large-capacity containers, mobile facilities, utilization of nuclear submarines, easily erected storage, decommissioning of nuclear facilities, rehabilitation of radiation-contaminated areas, cleaning of oil-producing equipment from sediments from natural radionuclides.*

Являясь крупнейшим оператором, профессионально эксплуатирующим площадки с хранилищами радиоактивных отходов (РАО) и оказывающим полный комплекс услуг по обращению с РАО на территории РФ, ФГУП «РосРАО» видит своей целью создание отраслевой инфраструктуры переработки, кондиционирования и хранения РАО до передачи Национальному оператору. Для этого реализуются следующие перспективные направления деятельности предприятия:

- формирование полного технологического цикла обращения с РАО любого уровня радиоактивности (очень низкого – ОНАО, низкого – НАО, среднего – САО, высокого – ВАО) на основе внедрения современных научно-технологических разработок, оптимизации существующих технологических решений и эксплуатации новых мобильных комплексов;
- развитие транспортно-технологической инфраструктуры и интегрирование в единую государственную систему обращения с РАО;
- комплексные работы по утилизации атомных подводных лодок (АПЛ), судов атомного технологического обслуживания (АТО) и реабилитации бывших объектов ВМФ РФ;
- активное продвижение услуг в сфере вывода из эксплуатации (ВЭ), ликвидации и утилизации объектов использования атомной энергии (ОИАЭ) и реабилитации загрязненных территорий (РЗТ), в том числе – продвижение услуг на новые рынки по выводу из эксплуатации химических производств;
- выход на новые рынки услуг по обращению с материалами, загрязненными природными радионуклидами (ПРН) выше уровня освобождения, из-под регулирующего контроля по радиационному фактору, но ниже уровня отнесения к РАО (создание полигонов хранения ОНАО);
- активное продвижение услуг в сфере обращения с отходами, загрязненными ПРН, накопленными в топливно-энергетическом комплексе – переработка депонированных нефтешламов, очистка

и возврат оборудования и насосно-компрессорных труб (НКТ) от внутренних отложений с ПРН.

Конкурентноспособность предприятия основывается на ключевых аспектах: высококвалифицированный персонал, постоянно развивающаяся производственно-технологическая база, наличие профильных разрешительных документов и лицензий.

Внедрение перспективных технологических решений направлено на экономию ресурсов при сохранении радиационной и экологической безопасности путем:

- снижения логистических издержек за счет использования **крупнотоннажных контейнеров** для транспортирования и хранения;
- отказа от энергоемких технологий и технологий, приводящих к большим объемам вторичных РАО;
- максимальной переработки РАО на месте их образования или промежуточного хранения с помощью **мобильных комплексов**;
- создания и эксплуатации **легковозводимых сооружений** для временного хранения твердых радиоактивных отходов (ТРО) до передачи на кондиционирование или захоронение.

К настоящему времени ФГУП «РосРАО» имеет ряд готовых решений [1, 2].

Крупнотоннажные контейнеры, выполненные на основе унифицированных 20-ти-футовых контейнеров с сертифицированным внутренним полимерным покрытием, позволяют в 3–5 раз повысить эффективность транспортно-логистических операций. Контейнеры (рис. 1) предназначены:

- для сбора и временного (транзитного) хранения ТРО в местах их образования или нахождения в условиях, исключающих прямое воздействие на контейнер грунтовых вод или каких-либо агрессивных сред (на открытых площадках хранения, под навесами, в павильонах, ангарах);
- транспортирования автомобильным, железнодорожным, морским (только контейнерами УКТН-24000) транспортом от мест сбора до специализированной организации.

В контейнерах в первичных упаковках размещаются ТРО низкой удельной активности: металлические элементы оборудования, трубопроводов, загрязненные изделия из стекла, керамики, полимеров, резины, строительный мусор, грунт, ионообменные смолы, картон, древесина, биологические отходы. Виды первичных упаковок и контейнеров, применяемых для перевозки ТРО в крупнотоннажных контейнерах: мягкие контейнеры типа «Биг-Бэг» до 1.3 м³, металлические бочки 200 дм³, сертифицированные металлические контейнеры типа КМЗ, КРАД-1,3, КРАД-1,36; КРАД-2,7МО; КРАД-3,0; КМ-РАО-2,8; КТО-800.

Контейнер ПУ-2СТК-СК допускает горизонтальную загрузку и разгрузку через торцевые двери и вертикальную загрузку и разгрузку – через съемную крышу (рис. 1).

Конструкция всех крупнотоннажных контейнеров обеспечивает прочность и устойчивость от воздействия статических и динамических нагрузок, возникающих при транспортировании, погрузочно-разгрузочных и складских работах при условии соблюдения норм загрузки и правил крепления груза; возможность многократной дезактивации наружных и внутренних поверхностей.



Рис. 1. Крупнотоннажные контейнеры для ТРО, используемые в ФГУП «РосРАО»: а, б – ПУ-2ЭЦ-СХ; в, г – ПУ-2ЭЦ-СС; д, е, ж – ПУ-2СТК-СК.

По сравнению с аналогичными большегрузными контейнерами для перевозки и временного хранения РАО, такими, как УКТН-24000, ПУ-2ЭЦ-СТ, ПУ-2ЭЦ-СС, контейнер ПУ-2СТК-СК имеет ряд преимуществ:

- удобство выполнения ремонтных работ, технического осмотра контейнера и его составных частей;
- возможность свободной сборки и разборки (извлечения) составных частей системы крепления контейнеров, емкостей, упаковок с ТРО;
- возможность штабелирования загруженных ПУ-2СТК-СК с максимальной нагрузкой на каждый верхний угловой фитинг 942 кН;
- рычажная конструкция фиксации и разблокировки съемной крыши обеспечивает быстрое проведение операций и надежную фиксацию;
- конструкция механизма фиксации съемной крыши размещена внутри контейнера, что предотвращает возможность доступа к грузу и позволяет быстро осуществлять фиксацию крыши или ее разблокировку;
- пол контейнера покрыт нержавеющей сталью 08Х18Н10, обеспечивающей механическую прочность и дезактивацию.

Мобильные комплексы по переработке РАО позволяют оперативно перерабатывать РАО со снижением объемов до 1.5–7 раз непосредственно на месте их образования [3].

РАО представлены широким агрегатным и морфологическим спектром (сыпучие, металлические, прессуемые, сжигаемые, жидкие, гетерогенные, от-

работавшие закрытые источники ионизирующего излучения, грунты и др.) и размещены во всех регионах страны. Создать соответствующий набор стационарных технологий по переработке и кондиционированию всех форм РАО, учитывая их неравномерное сосредоточение по предприятиям страны, а также неточное представление о прогнозах образования различных видов РАО (прежде всего – от ВЭ ОИАЭ), представляется крайне непростой технической и экономической задачей. В современных нормативно-правовых условиях цикл создания подобных стационарных объектов занимает от 3 до 5 лет, что не позволяет гибко и оперативно подстраиваться под нужды отрасли.

Учитывая передовой международный опыт, ФГУП «РосРАО» ориентируется на эксплуатацию мобильных установок для обращения с РАО с целью максимальной переработки отходов на местах их образования. Это позволяет значительно повысить экологическую безопасность на всех стадиях обращения с РАО, снизить логистические расходы, быстро развернуть мощности по переработке на месте.

В 2014–2015 гг. разработан, изготовлен, прошел пуско-наладочные испытания и введен в эксплуатацию мобильный комплекс по сортировке, фрагментации и подпрессовке ТРО в бочках вместимостью 200 дм³ (рис. 2). Мобильный комплекс производительностью 270 м³/год создан на основе трех контейнеров типоразмера 1ССС, основным технологическим элементом которого является пресс с усилием 25 т, обеспечивающий сокращение объема ТРО в 2-4 раза.

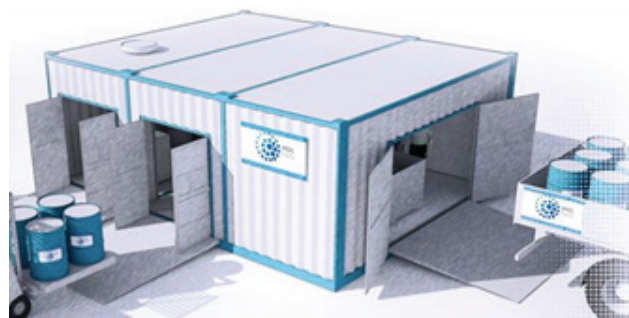


Рис. 2. Мобильный комплекс ФГУП «РосРАО» по сортировке, фрагментации и подпрессовке ТРО в бочках вместимостью 200 дм³.

В рамках сотрудничества с АО «Радиевый институт им. В.Г. Хлопина» в ФГУП «РосРАО» создана мобильная установка очистки жидких радиоактивных отходов (ЖРО), включающая блок ультрафильтрации, блок обратного осмоса, блок упаривания солевого концентрата, образующегося на обратноосмотических мембранах, блок цементирования. Производительность модульного комплекса: 1 м³/ч по исходным ЖРО, бочка 200 дм³ в смену – по конечному цементному компаунду. Очищенную по нормам сброса воду сбрасывают на грунт. Контроль и управление технологическим процессом осуществляется с помощью автоматизированной системы (АСУТП); вспомогательные системы включают радиационный контроль, вентиляцию, освещение, резервное электропитание.

Начаты опытно-конструкторские работы по созданию мобильных установок по компактированию, дезактивации, сжиганию ТРО. В качестве перспективных разработок в этой области – создание по зарубежным аналогам мобильной горячей камеры для перезарядки/разрядки отработавших закрытых источников ионизирующего излучения.

Составной частью разрабатываемого совместно с ОАО «ВНИИХТ» мобильного комплекса по дезактивации ТРО является ледоструйная установка «Градобой», предназначенная для дезактивации поверхностей с использованием криотехнологий. В России нет аналогов подобной мобильной установки, известны установки сухой абразивной обработки, использующие песок или дробь, существенным недостатком которых является пыление и, следовательно, значительное образование вторичных жидких РАО. За рубежом известны установки криогенного бластинга (ASCOJET, BUSE, Cold Jet, Cool Blast, Trivintek и Wickens Dry Ice Blasting), где используются ускоренные твердые гранулы CO₂. Однако, кроме дополнительного аппаратного оформления для получения сухого льда и недостаточной твердости гранул CO₂, позволяющих снять только легкие поверхностные загрязнения, криогенный бластинг нельзя применить для дезактивации радиоактивных загрязнений ТРО, поскольку в результате взаимодействия гранул CO₂ с загрязненной поверхностью образуется радиоактивный кислый туман, загрязняющий окружающее пространство.

В разрабатываемой установке «Градобой» используются монодисперсные гранулы льда. При соударении с поверхностью объекта в точке удара кинетическая энергия гранул переходит в энергию микросжатия поверхности. Возвращаясь в исходное состояние, поверхность «сбрасывает» с себя загрязнение вместе с остатками ледяных гранул. В результате теплообмена гранулы раскалываются и нагреваются, переходя в жидкое и газообразное состояние. Образовавшиеся жидкость и газ, обладая большой

потенциальной энергией, проникают в пространство между загрязнениями и дезактивируют поверхности.

В состав мобильного комплекса дезактивации входит система компрессоров и сопел (бластеров) для получения и разгона ледяных гранул, блок дезактивации ТРО с рециркуляцией талой (загрязненной) воды, проходящей механическую очистку и направляемой вновь на замораживание, а также блок предварительной фрагментации ТРО унифицированным гидрорежущим инструментом. Комплекс будет размещен в унифицированных 20-ти-футовых контейнерах, что позволит перемещать его любыми видами транспорта и в кратчайшие сроки разворачивать на объекте.

Легковозводимые хранилища (сооружения ангарного типа) позволяют размещать на временное хранение в контейнерах отходы категорий ОНАО и НАО (САО). Преимуществом подобных хранилищ (рис. 3) является простота и дешевизна их вывода из эксплуатации.

В регионах РФ в рамках реализации Федеральной целевой программы «Обеспечение ядерной и радиационной безопасности на 2016–2020 годы и на период до 2030 года» (ФЦП ЯРБ-2) по выводу из эксплуатации объектов запланированы масштабные мероприятия, неизбежно влекущие образование больших объемов радиоактивных отходов низкого (НАО) и очень низкого уровня активности (ОНАО). Это металлические и бетонные фрагменты зданий и сооружений, трубопроводов, воздухопроводов, оборудования, загрязненные грунты, строительный мусор. До создания пунктов захоронения в регионах альтернативным вариантом передачи таких отходов в специализированную организацию ФГУП «РосРАО» является только размещение отходов на площадках самих предприятий отрасли, что потребует от предприятий расширения штата персонала для обеспечения ЯРБ, усложнит, удорожит и затянет работы по ВЭ ОИАЭ. При этом в региональных филиалах и отделениях ФГУП «РосРАО» практически исчерпаны свободные объемы для хранения ТРО.

Пуск в эксплуатацию предприятием «РосРАО» легковозводимых хранилищ для временного (до 15 лет) размещения контейнеризированных ТРО при грамотных логистических решениях в регионах позволит оптимизировать удельные затраты на хранение РАО, сократить дефициты объемов хранения до передачи РАО на захоронение Национальному оператору, обеспечить радиационную безопасность регионов, удовлетворить потребность отраслевых предприятий в передаче и размещении РАО.

Комплексные работы по утилизации атомных подводных лодок, судов атомного технологического обслуживания и реабилитации бывших объектов Военно-морского флота РФ ведутся в филиалах ФГУП

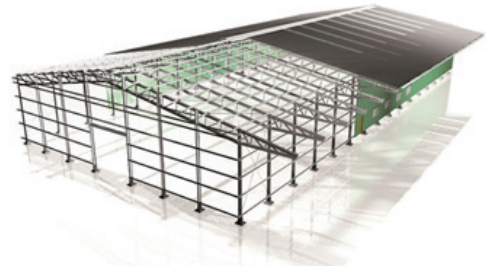


Рис. 3. Временное хранение контейнеризированных ТРО в легковозводимых хранилищах.

«РосРАО» – Северо-Западном центре по обращению с РАО (СЗЦ «СевРАО») и Дальневосточном центре по обращению с РАО (ДВЦ «ДальРАО»).

Региональный Центр «Сайда Губа» (отделение СЗЦ «СевРАО») – пример успешного международного взаимодействия в решении серьезных радиоэкологических проблем. Сайда Губа – рыболовецкий поселок в Мурманской области на побережье Баренцева моря, входит в городской округ ЗАТО Скалистый. В 1990 г. передан Северному флоту, и его пирсовая зона стала использоваться для отстоя выведенных из эксплуатации АПЛ. В 2003 г. Министерством РФ по атомной энергии (ныне Госкорпорация «Росатом») и Федеральным министерством экономики и труда Федеративной Республики Германии в целях реализации договоренности, достигнутой на саммите G-8 «Большой Восьмерки», было заключено соглашение о создании берегового пункта длительного хранения

реакторных отсеков АПЛ, ускорения темпов утилизации АПЛ и создания условий для безопасного обращения с РАО, приведения окружающей среды в Сайда Губе в экологически безопасное состояние (рис. 4).

В 2004 г. начато проектирование и строительство пункта длительного хранения одноотсечных блоков реакторных отсеков утилизированных АПЛ. Первоначально одноотсечные блоки изготавливали на судоремонтном заводе «Нерпа», первые семь из них поставлены на 70-летнее хранение в Сайду Губу в 2006 г. В настоящее время уже более 70 одноотсечных реакторных блоков приняты на хранение и обслуживание. С 2014 г. СЗЦ «СевРАО» – филиал ФГУП «РосРАО» начал самостоятельно формировать одноотсечные блоки, и к 2016 г. ожидается превышение СРЗ «Нерпа» по количеству изготавливаемых блоков в год. В соответствии с утвержденной С.В. Кириенко в 2008 г. «Концепцией обращения с



Рис. 4. Одноотсечные блоки АПЛ в Сайда Губе.

РАО в Северо-Западном регионе России № 2.3663к» начато проектирование и строительство крупнейшего в России Регионального Центра кондиционирования и долговременного хранения РАО (рис. 5). В 2015 г. Центр введен в эксплуатацию и, начиная с 2016 г., в полную силу заработает программа по ликвидации наследия холодной войны в Северо-Западном регионе России.

ФГУП «РосРАО» участвует в реализации мероприятий ФЦП «Обеспечение ядерной и радиационной безопасности» в рамках государственных

контрактов по выводу из эксплуатации, ликвидации и утилизации объектов использования атомной энергии и реабилитации загрязненных территорий.

Выполнены работы для государственных нужд по приведению в безопасное состояние радиационно опасных объектов и рекультивации территорий субъектов Российской Федерации, подвергшихся радиационному воздействию в результате прошлой деятельности (Ставропольский и Забайкальский край, Кировская, Московская, Ивановская, Оренбургская области). Общая площадь рекультивированных



Рис. 5. Региональный Центр кондиционирования и долговременного хранения РАО в Сайда Губе.

земель превышает сотни тысяч квадратных километров [4]. Завершены работы по реабилитации площадок ОАО «Подольский завод цветных металлов», включающие в себя сортировку загрязненного грунта на площадке шлакоотвала № 1-5, вывоз РАО на хранение и реабилитацию территории рафинировочного отделения и шлакоотвала № 1-5 для использования в производственных целях. Опыт ФГУП «РосРАО» по выполнению государственных контрактов по ВЭ и РЗТ позволяет планировать продвижение услуг на новые рынки по выводу из эксплуатации химических производств.

В рамках реализации ФЦП ЯРБ-2 в регионах РФ запланированы масштабные мероприятия по выводу из эксплуатации радиационно опасных объектов, неизбежно влекущие образование больших объемов НАО и отходов, загрязненных радионуклидами выше уровня освобождения, из-под регулирующего контроля по радиационному фактору (далее – ОНАО, очень низкоактивные отходы). Загрязненные грунты, строительный мусор, металлические и бетонные фрагменты зданий и сооружений, трубопроводов, воздухопроводов, оборудования часто являются ОНАО,

содержание радионуклидов в которых, с одной стороны, не позволяет отнести их к РАО (в соответствии с критериями, установленными постановлением Правительства Российской Федерации от 19 октября 2012 г. № 1069 «О критериях отнесения твердых, жидких и газообразных отходов к радиоактивным отходам, критериях отнесения радиоактивных отходов к особым радиоактивным отходам и к удаляемым радиоактивным отходам и критериях классификации удаляемых радиоактивных отходов»), а, с другой стороны, освободить от регулирующего контроля по радиационному фактору в соответствии с ОСПОРБ 99/2010. Обращение с такими отходами ограничено требованиями ОСПОРБ 99/2010, выполнение которых на практике затруднительно из-за отсутствия в действующих нормативно-правовых документах правил обращения с ними, в том числе их захоронения. Фактически в настоящее время обращение с ОНАО осуществляется способами, аналогичными способам обращения с РАО, что существенно удорожает производство работ. Проблема актуальна для многих предприятий и организаций РФ, где осуществляются работы по выводу из эксплуатации ядерных

и радиационно опасных объектов (ЯРОО) и реабилитации загрязненных территорий (РЗТ), известен зарубежный опыт обращения с такими отходами.

ФГУП «РосРАО» ведет работу по созданию полигонов для хранения ОНАО, принимает участие в разработке и утверждении нормативно-правовых документов, регламентирующих требования и обосновывающих проектно-технологические решения по обращению с ОНАО. В 2016-2017 гг. запланировано проведение инженерно-изыскательских работ и разработка проектно-сметной и рабочей документации по созданию пункта размещения отходов производства и потребления с повышенным содержанием радионуклидов в Самарском отделении филиала «Приволжский территориальный округ» ФГУП «РосРАО».

Перспективными разработками ФГУП «РосРАО» совместно с отечественными и зарубежными производителями специфического оборудования являются мобильные установки по очистке нефтегазового оборудования от внутренних наносных загрязнений, содержащих повышенные концентрации ПРН, а также по очистке нефтешламов, депонированных в прудах («амбарах») в местах нефтедобычи. Предлагаемое ФГУП «РосРАО» комплексное решение радиоэкологических проблем топливно-энергетического комплекса РФ характеризуется коммерческой выгодой перевода отходов в товарную продукцию и экологической пользой от утилизации отходов с повышенными концентрациями ПРН. В результатах заинтересованы крупные нефтеперерабатывающие предприятия Приволжского территориального округа, других нефтедобывающих регионов страны. Проведение работы соответствует целям Госкорпорации «Росатом» по диверсификации услуг и выходу на новые рынки экологических услуг за пределами контура Госкорпорации «Росатом», а также соответствует технологической стратегии экологизации нефтедобывающего комплекса, ресурсосбережению и рециклингу нефтяных отходов.

К настоящему времени на предприятиях топливно-энергетического комплекса РФ накоплены значительные объемы нефтешламов, содержащие сконцентрированные примеси ПРН, что обуславливает их отнесение к категории низкорadioактивных отходов. С одной стороны, их передача на хранение в ФГУП «РосРАО» нецелесообразна ввиду огромных объемов и низкого уровня радиационной опасности, с другой – использование нефтешламов без дополнительной очистки недопустимо.

В 2013 г. проведено предварительное исследование образца нефтешламов, имеющего повышенное содержание ПРН, и установлено, что радиационное загрязнение характерно для неорганической составляющей. Органическая фракция представляет собой смесь различных углеводородов парафинового ряда

и, будучи отделена от неорганической фракции с радионуклидами, может служить сырьем для производства различных полезных продуктов (битумов, топлива) либо возвращена в основной производственный цикл нефтеперерабатывающих предприятий. Ее использование должно компенсировать затраты на процесс разделения и утилизацию РАО. Выделенные при этом радиоактивные примеси в жидком или твердом состоянии могут быть переданы на хранение и переработку в ФГУП «РосРАО». Предлагаемое технологическое решение позволит осуществить контролируемое выделение радионуклидов из трехфазной системы «вода – органическая фаза – твердый кек/шлам» в мобильных установках, доставляемых к местам накопления нефтешламов.

Одной из проблем обеспечения радиационно-экологической безопасности на объектах топливно-энергетического комплекса является обращение с оборудованием, загрязненным отложениями, содержащими ПРН. Это насосно-компрессорные трубы (НКТ), емкостное и технологическое оборудование, арматура, насосы, резервуары. Источниками радиоактивного загрязнения являются содержащиеся в земной коре и выносимые на поверхность в результате добычи нефти природные радионуклиды уранового и ториевого рядов, радий и калий-40. Содержащиеся в пластовой воде изотопы радия, находящиеся преимущественно в ионной форме, в результате процессов соосаждения, адсорбции и сокристаллизации с сульфатными осадками бария и стронция отлагаются на внутренних стенках трубопроводов и оборудования в форме не растворимых в воде, кислотах и щелочах солевых отложений с плотностью 3.0–3.9 г/см³ (рис. 6).

Со временем из изотопов ²²⁶Ra в осадках накапливается ²⁰⁶Pb и его дочерний изотоп полоний ²¹⁰Po, а из изотопов ²²⁸Ra – ²²⁸Th и его дочерние продукты. Таким образом, в осадках накапливаются ПРН, которые изначально не содержатся в таких количествах в пластовых водах.

Выводимое из эксплуатации оборудование с радиоактивными отложениями складировать, рассчитывая в будущем вернуть в производственный процесс, так как НКТ и некоторое оборудование находятся в работоспособном состоянии и являются основными производственными фондами добывающих предприятий. Общее количество НКТ, по неполным данным, может составлять несколько сотен тысяч тонн. Выявлены случаи наличия радиоактивного шлама внутри резервуаров-сепараторов, дающего на внешней поверхности корпуса уровни гамма-излучения до 500 мкР/ч, что в 50 раз превышает уровень естественного радиационного гамма-фона на территории промысла. ФГУП «РосРАО» разрабатывает экологически приемлемые технологии очистки нефтегазодобыва-



Рис. 6. Насосно-компрессорные трубы нефтедобычи, загрязненные внутренними отложениями $Va(Sr, Ra)SO_4$ с сосажденными из пластовых вод природными радионуклидами.

ющего оборудования от «радиобаритных» отложений, предлагая услуги по обращению с ТРО и возврат НКТ для дальнейшей эксплуатации.

Опыт ФГУП «РосРАО» – ведущего специализированного предприятия российского масштаба является технологической основой для создания отраслевой производственно-логистической инфраструктуры переработки и кондиционирования радиоактивных отхо-

дов и ее интегрирования в единую государственную систему обращения с РАО. ФГУП «РосРАО» выполняет государственные задачи по обеспечению ядерной, радиационной, экологической безопасности при обращении со всеми видами РАО, формируя общественное доверие к атомной отрасли и лидерство технологий и компетенций Госкорпорации «Росатом» в области атомного бэкэнда на глобальном рынке.

Список литературы:

1. Лузин В.И., Соболев А.И., Горбунова О.А., Брыкин С.Н., Коваленко В.Н. Создание отраслевой инфраструктуры переработки, кондиционирования и хранения РАО // Радиохимия – 2015: Тез. докл. VIII Всерос. конф. по радиохимии, г. Железногорск Красноярского края, 28 сентября – 2 октября 2015 г. Железногорск: ФЯО ФГУП «ГХК», 2015. С. 299.
2. Семин С.Д., Горбунова О.А. Внедрение перспективных экологически безопасных и экономически эффективных подходов в области обращения с РАО // Команда-2015: Сб. тез. науч.-практ. конф., Санкт-Петербург, АО «Атомпроект», 8–11 июля 2015. СПб.: Изд-во СПб. политехн. ун-та им. Петра Великого, 2014. С. 88–89.
3. Семин С.Д., Горбунова О.А. Мобильные установки обращения с РАО // Радиохимия – 2015: Тез. докл. VIII Всерос. конф. по радиохимии, г. Железногорск Красноярского края, 28 сентября – 2 октября 2015 г. Железногорск: ФЯО ФГУП «ГХК», 2015. С. 321.
4. Коваленко В.Н., Черемушкин В.Н., Горбунова О.А., Хвориков И.А., Семин С.Д., Константинова И.Р., Каморный А.В. Перспективные технологические решения в области обращения с РАО // Радиохимия – 2015: Тез. докл. VIII Всерос. конф. по радиохимии, г. Железногорск Красноярского края, 28 сентября – 2 октября 2015 г. Железногорск: ФЯО ФГУП «ГХК», 2015. С. 283.

References:

1. Luzin V.I., Sobolev A.I., Gorbunova O.A., Brykin S.N., Kovalenko V.N. Sozdanie otraslevoj infrastruktury pererabotki, kondicionirovaniya i khraneniya RAO // «Radiohimiya-2015» («Radiochemistry-2015»): VIII All-Russian Conference on Radiochemistry: Abstracts. Zheleznogorsk, Krasnoyarsk territory, 28 September – 2 October 2015. Zheleznogorsk: FYaO FGUP «GHK» (FNO FSUE «Mining and Chemical Plant»), 2015. P. 299. (in Russ.).
2. Syomin S.D., Gorbunova O.A. Vnedrenie perspektivnyh ekologicheskii bezopasnyh i ekonomicheskii effektivnyh podhodov v oblasti obrashcheniya s RAO // Komanda-2015 (Team-2015): Scientific-Practical Conference, Saint-Petersburg, AO «Atomproekt», 8–11 July 2015. SPb.: Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University Publ., 2015. P. 88–89. (in Russ.).
3. Syomin S.D., Gorbunova O.A. Mobil'nye ustanovki obrashcheniya s RAO // «Radiohimiya-2015» («Radiochemistry-2015»): VIII All-Russian Conference on Radiochemistry: Abstracts. Zheleznogorsk, Krasnoyarsk territory, 28 September – 2 October 2015. Zheleznogorsk: FYaO FGUP «GHK» (FNO FSUE «Mining and Chemical Plant») 2015. P. 321. (in Russ.).
4. Kovalenko V.N., Cheremushkin V.N., Gorbunova O.A., Khvorikov I.A., Semin S.D., Konstantinova I.R., Kamornyj A.V. Perspektivnye tekhnologicheskie resheniya v oblasti obrashcheniya s RAO // «Radiohimiya-2015» («Radiochemistry-2015»): VIII All-Russian Conference on Radiochemistry: Abstracts. Zheleznogorsk, Krasnoyarsk territory, 28 September – 2 October 2015. Zheleznogorsk: FYaO FGUP «GHK» (FNO FSUE «Mining and Chemical Plant»), 2015. P. 283. (in Russ.).