

# ОПЫТ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ТЕХНОЛОГИЙ ОБРАЩЕНИЯ С РАО НА ГУП МОСНПО «РАДОН»



## DEVELOPMENT OF RADWASTE MANAGEMENT TECHNOLOGIES AT RADON MOSCOW



Ф.А. ЛИФАНОВ, д.т.н.,  
О.К. КАРЛИНА, к.х.н. (ГУП МосНПО «Радон»)  
F.A. LIFANOV, Doctor of Technical Science,  
O.K. KARLINA, Candidate of Chemical Science (Radon Moscow)

Научно-исследовательское сопровождение практически всех направлений деятельности обеспечивает уникальность МосНПО «Радон» среди других предприятий аналогичного профиля. Начиная с 1980-х годов, к работе в МосНПО «Радон» активно привлекались молодые научные и инженерные кадры, развивались новые направления по совершенствованию старых и разработке новых технологий обращения с РАО – и с течением времени это дало свои результаты.

Сразу выделилось несколько направлений исследований, которые привели к значимым достижениям в области обращения с радиоактивными отходами.

### СОЗДАНИЕ СТАЦИОНАРНЫХ И ПЕРЕДВИЖНЫХ УСТАНОВОК ОЧИСТКИ И КОНЦЕНТРИРОВАНИЯ ЖИДКИХ РАО

Начиная с середины 1980-х годов, проводились разработка и внедрение технологий и оборудования для очистки жидких РАО различного происхождения. Были разработаны установки серии «Эко» – мобильные (а в последней версии – и модульные) установки для очистки жидких РАО с содержанием до 30 г/л [1-2].

Они представляют собой законченную систему обработки ЖРО, поскольку включают:

- модули водоочистки с одновременным концентрированием радионуклидов;
- модуль размыва, забора и сгущения шламов из емкостей-хранилищ (его применение обеспечивает полное освобождение емкости от жидких РАО);
- модуль цементирования вторичных радиоактивных отходов (отработавших сорбентов, фильтрующих материалов, фильтрационных и мембранных элементов, рассолов), образующихся при очистке жидких РАО.

Ongoing scientific research to support practically all of its operations makes Radon Moscow unique among similar companies. Since the 1980s, Radon Moscow has been actively employing young scientists and engineers, developing new and upgrading old radwaste management technologies – all of which eventually bore fruit.

Several areas of research have produced major achievements in the field of radioactive waste management.

### STATIONARY AND MOBILE LIQUID RADWASTE TREATMENT AND CONCENTRATION PLANTS

Since the mid-1980s, work has been on-going to develop and implement technologies and equipment for treatment of liquid radwaste of various origins. The Eco series of plants were developed (mobile, and most recently, modular) for treatment of liquid radwaste with up to 30 g/litre salt content [1-2].

The plants provide a complete liquid waste treatment system as they include:

- water treatment modules with simultaneous concentration of radionuclides;
- a module for washing, recovery and thickening of sludge from the storage tanks (capable of full removal of all liquid radwaste from the vessel);
- a module for cementation of secondary radioactive waste (spent sorbents, filtering materials, filtration and membrane elements, brines) generated from liquid radwaste treatment.

Therefore, treatment of liquid radwaste produces water that is sufficiently clean so as to meet radiation safety standards, and conditioned secondary radwaste packaged into standard metal drums (200 litres of volume) or standard non-returnable concrete NZK casks [3].

Another variant of a mobile modular plant is the Aqua-Express, used for radionuclides removal from solutions with chemical composition close to that of surface waters [4].

Таким образом, после обработки жидких РАО получают очищенную до норм радиационной безопасности воду и кондиционированные вторичные РАО в стандартных металлических бочках (объемом 200 л) или стандартных невозвратных бетонных контейнерах типа НЗК [3].

Другой вариант передвижной модульной установки – «Аква-Экспресс», предназначенная для очистки от радионуклидов растворов с химическим составом, близким к составу поверхностных вод [4].

Установка работает с применением сорбентов и ионообменных материалов. В необходимых случаях используются также ультрафильтрационный, микрофильтрационный и (с 2010 года) обратноосмотический аппараты. Оборудование представляет собой малогабаритные модули и может быть оперативно смонтировано на различных площадках вблизи источников (баков, резервуаров) загрязненной воды. Очистку производят по технологической цепочке «избирательная сорбция – ультрафильтрация», что позволяет сбрасывать нерадиоактивные соли вместе с очищенной водой.

С помощью установок «Эко» выполнены работы по дезактивации жидких РАО на Волгоградском, Нижегородском, Саратовском, Мурманском и Ростовском спецкомбинатах «Радон», а также на площадках заказчиков – в хранилище «Миринова гора» предприятия ПО «Севмаш» и Центре судостроения «Звездочка» (город Северодвинск Архангельской области) [5], на объектах ФГУП «СевРАО» в губе Андреева (Мурманская область) и т.д.

Сегодня в Научно-производственном комплексе МосНПО «Радон» действуют модульные установки «Эко-3М» и «Аква-Экспресс». Кроме того, установки «Аква-Экспресс» поставлены в Ростовское отделение ФГУП «РосРАО», а также в ряд зарубежных стран – Иран, Бангладеш, Сирию, Сербию, Узбекистан, Румынию, Азербайджан.

Важным направлением развития является разработка баромембранных технологий очистки жидких РАО. На пред-



Рис.1. Первая передвижная модульная установка серии «Эко»  
Fig. 1. First mobile modular Eco plant

The plant uses sorbents and ion-exchange materials. If necessary, ultra-filtration, micro-filtration and (since 2010) reverse osmosis apparatuses may also be used. The equipment is made as small-size modules and may be quickly installed at various locations near the sources (tanks, vessels) of contaminated water. Treatment is performed using the "selective sorption – ultra-filtration" process sequence, meaning that non-radioactive salts can be discharged together with purified water.

The Eco plants have been used for treatment of liquid radwaste at Volgograd, Nizhny Novgorod, Saratov, Murmansk and Rostov Radon sites, as well as at client sites at Mironova Gora of Sevmash and Zvezdochka shipyard (in Severodvinsk, Archangelsk region) [5], at SevRAO site at Andreyeva Bay (Murmansk region), etc.

Currently Radon Moscow operates modular Eco-3M and Aqua-Express plants. In addition, Aqua-Express plants have been supplied to RosRAO Rostov, as well as to a number of foreign countries: Iran, Bangladesh, Syria, Serbia, Uzbekistan, Romania, Azerbaijan.

Another important area is development of baromembrane technologies for liquid radwaste treatment. The company has also developed reverse-osmosis plants for liquid radwaste treatment with capacities ranging from 0.5 m<sup>3</sup>/hour to 10 m<sup>3</sup>/hour, which are currently being used in production and for laundry/decontamination purposes at Radon Moscow [6-7].



Рис. 2. Модульная установка «Эко» (1) с модулем забора донных осадков из емкостей-хранилищ жидких РАО (2) и модулем цементирования (3) / Fig. 2. Modular Eco plant (1) with a sludge intake module from liquid radwaste storage tanks (2) and cementation module (3)



приятии разработаны установки обратноосмотической очистки жидких РАО производительностью от 0,5 м<sup>3</sup>/ч до 10 м<sup>3</sup>/ч, которые в настоящее время используются в Научно-производственном комплексе и спецпрачечной комбината дезактивации спецодежды и оборудования МосНПО «Радон» [6-7].

В дальнейшем предполагается модернизация установок для предварительной дезактивации ЖРО – внедрение микро- или ультрафильтрационных установок очистки от взвешенных и коллоидных примесей [8].

Большой опыт и авторитет специалистов предприятия в области обращения с жидкими РАО позволяют им участвовать во многих отечественных и международных проектах, в том числе под эгидой МАГАТЭ. Причем работы по проектам включают не только дезактивацию жидких РАО непосредственно на объектах заказчика, поставку и запуск установок, обучение персонала, но и научно-технологическое сопровождение проектирования, изготовления и ввода в эксплуатацию мощностей по переработке жидких РАО [9]. В качестве примера можно привести установку «Дунай», предназначенную для очистки жидких радиоактивных отходов АЭС «Козлодуй» (Болгария).

### ТЕХНОЛОГИИ ДЕЗАКТИВАЦИИ КУБОВЫХ ОСТАТКОВ АЭС

Кубовые остатки представляют собой высокосолеватые растворы с объемной активностью 10<sup>6</sup>-10<sup>8</sup> Бк/л, загрязненные продуктами деления, радионуклидами коррозионного происхождения (<sup>137,134</sup>Cs, <sup>60</sup>Co, <sup>54</sup>Mn) и различными веществами, используемыми для дезактивации оборудования и поддержания водно-химического режима. Для дезактивации кубовых остатков в МосНПО «Радон» совместно с рядом организаций (ВНИИАЭС, ЗАО «РАОТЕХ», ЗАО «Альянс-Гамма») разработана технология ионоселективной очистки, которая была опробована в лабораторных условиях на различных российских АЭС – Калининской, Нововоронежской, Ленинградской, Кольской, Курской, а также на реакторной установке БН-350 (город Актау, Казахстан). На Кольской АЭС в 2008 году запущена в эксплуатацию промышленная установка (рис. 6) производительностью 0,5 м<sup>3</sup>/час [10].

Для Первой в мире АЭС разработана технология кондиционирования жидких радиоактивных концентратов с использованием селективной сорбции и цементирования. Пуск установки на основе этой технологии планируется на 2013 год [11].

В настоящее время проводятся исследовательские работы по разработке технологии очистки других отходов АЭС – плава солей и пульп фильтроматериалов (в основном, ионообменных смол).

### КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ ОТРАБОТАВШИХ РАДИОНУКЛИДНЫХ ИСТОЧНИКОВ

Для кондиционирования отработавших радионуклидных источников (РНИ) с середины 1980-х годов в МосНПО



Рис. 3. Установка «Эко» при проведении работ по очистке жидких РАО из емкости-хранилища  
Fig. 3. Eco plant during liquid radwaste treatment retrieval from a storage tank

It is expected that in future the plants will be upgraded for pre-decontamination of liquid radwaste: micro- or ultra-filtration treatment apparatuses for removal of suspended particles and colloidal admixtures will be implemented [8].

Extensive experience and professional esteem in the field of LRW management of the company supports involvement in numerous domestic and international projects, including those under the auspices of the IAEA. Such projects often include not only decontamination of liquid radwaste directly at customer sites, plants supply and start-up and personnel training, but also scientific and technological support, design and commissioning of liquid radwaste processing plants [9]. A good example of that is the Dunai plant designed and built to be used for treatment of liquid radioactive waste at Kozloduy in Bulgaria.

### TECHNOLOGIES FOR DECONTAMINATION OF NPP EVAPORATOR CONCENTRATE

Evaporator concentrate is high-salinity brine with volumetric activity levels of 10<sup>6</sup>-10<sup>8</sup> Bq/litre, contaminated with fission products, corrosion-related radionuclides (<sup>137,134</sup>Cs, <sup>60</sup>Co, <sup>54</sup>Mn) and various substances used for decontamination of equipment and ensuring of a required water chemistry. For evaporator concentrate decontamination Radon Moscow jointly with several other organisations (VNIIEAES, RAOOTEKH, Alliance-Gamma) had developed an ion-selective treatment technology, which has been tested in laboratory conditions at a number of Russian NPPs: Kalinin, Novovoronezh, Leningrad, Kola, Kursk, as well as at the BN-350 reactor installation (in Aktau, Kazakhstan). An industrial-scale unit was commissioned at Kola NPP in 2008 (fig. 6) with 0.5 m<sup>3</sup>/hour capacity [10].

For the first NPP in the world, a liquid radioactive concentrates conditioning technology has been developed that uses selective sorption and cementation. The plant based on that technology is scheduled for commissioning in 2013 [11].

Research is currently under way to develop treatment technologies for other types of waste produced by nuclear stations, such as salt cakes and filtration material pulps (chiefly ion-exchange resins).

### CONDITIONING OF SPENT RADIONUCLIDE SOURCES

In order to enable conditioning of spent radionuclide sources, since the mid-1980s Radon Moscow has been using tech-

«Радон» разрабатывались технологии включения их в металлические матрицы и соответствующие установки (серий «Москит» и «МИК»), которые успешно применяются на предприятии в штатном режиме [12].

Наличие в МосНПО «Радон» данных технологий и установок позволило специалистам предприятия оказывать услуги по кондиционированию отработавших РНИ на Свердловском, Волгоградском, Нижегородском, Башкирском, Новосибирском спецкомбинатах «Радон», Нововоронежской АЭС, а также на специализированном предприятии «Экорес» (Беларусь) [13].

Кроме того, установка «Москит-А» в рамках проекта МАГАТЭ была поставлена в Украинское объединение «Радон».

В настоящее время предприятие располагает большими возможностями (технологиями, оборудованием, опытными специалистами) для решения практически любых проблем обращения с отработавшими РНИ. В перспективе предусматривается разработка технологии кондиционирования отработавших РНИ, содержащих долгоживущие  $\alpha$ - и  $\gamma$ -излучатели, а также нейтронные источники, в стандартизированных упаковках, предназначенных для безопасного длительного контролируемого хранения [14-15].

Совершенствуется инструментальное и методическое обеспечение для обследования хранилищ отработавших РНИ. Проводится систематизация накопленного опыта с целью разработки методического обеспечения обращения с отработавшими РНИ различных типов.

### ОБРАЩЕНИЕ С ТРО: СОРТИРОВКА, ПРЕССОВАНИЕ, СЖИГАНИЕ

Необходимым элементом системы обращения с твердыми РАО являются переупаковка и разделение отходов на потоки, обрабатываемые методами прессования, сжигания, а также направляемые непосредственно на кондиционирование. РАО крупных размеров и изделия со сложной конфигурацией подвергаются фрагментации [16].

РАО, относящиеся к группе «прессуемые», перед кондиционированием прессуют в 100-литровых бочках. Предварительно отходы подпрессовываются на небольшом прессе с усилием 20 т внутри 100-литровой бочки без ее деформации. Освободившееся пространство заполняется новой порцией отходов, упакованных в мешки. Затем упаковки подвергаются компактированию на гидравлическом прессе с усилием 1500 т: отходы сжимаются вместе с бочками, в результате образуются небольшие по высоте цилиндры диаметром, равным диаметру 100-литровой бочки. Их помещают в 200-литровые бочки и затем отправляют на цементирование с последующим размещением в сертифицированных контейнерах КМЗ [17].

Процесс автоматизирован и контролируется персоналом с пульта управления в отдельном помещении. Все грузовые и складские механизмы управляются электронным программатором [18].

Твердые РАО низкого и среднего уровней активности смешанного типа, включая горючие (бумагу, древесину, текстиль, полимеры) и минеральные (строительный мусор, стекло, грунт, ил, металлический скрап, теплоизоляцию) материалы, подвергают плазменно-пиролитической переработке. МосНПО «Радон» имеет многолетний опыт изучения данного процесса и разработки соответствующего оборудования.



Рис. 4. Установка «Аква-Экспресс» в различной комплектации  
Fig. 4. Different versions of Aqua-Express plant

nologies of their incorporation into metallic matrices, with the corresponding plants (the Moskit and MIK series), which are still under routine successful operation on the Radon Moscow site [12].

Availability of these technologies and plants at Radon Moscow has also helped its specialists to provide spent source conditioning services to Radon sites at Sverdlovsk, Volgograd, Nizhny Novgorod, Bashkiriya, and Novosibirsk, as well as to Novovoronezh NPP and the Ecores specialised plant in Belarus [13].

In addition, the Moskit-A plant was supplied to Radon Ukraine under an IAEA-supported project.

Currently the company possesses vast capabilities (technologies, equipment, and experienced staff) to address practically any problems associated with spent sources management. Plans include development of technologies for conditioning of spent sources containing long-lived  $\alpha$ - and  $\gamma$ -emitters, as well as neutron sources, conditioning of which consists in their packaging into standardised containers suitable for safe long-term controlled storage [14-15].

Instrumentation and methodologies for survey of spent sources repositories is being developed. Available experience is being systematised with the objective of developing the methodologies that would be suitable for management of various types of spent sources.



Органическая часть отходов подвергается пиролизу в печи шахтного типа с производительностью 200-250 кг/ч в условиях недостатка кислорода, в то время как процесс плавления шлака проводится в окислительной атмосфере, что способствует полному уничтожению органических компонентов и получению однородного продукта.

Это одна из важнейших разработок за последнее время – установка «Плутон», обеспечивающая переработку отходов сложной морфологии с получением кондиционированного продукта в одну стадию и высокий коэффициент сокращения объемов РАО. Стеклоподобный конечный продукт (плавленый шлак) соответствует критериям приемлемости для кондиционированных РАО и пригоден для длительного хранения или захоронения. Установка создана и эксплуатируется на предприятии в промышленном масштабе, начиная с 2008 года [19].

Данная технология востребована как в нашей стране, так и за рубежом. Сегодня специалисты предприятия сотрудничают по вопросам создания установок и совершенствования технологии плазменной переработки РАО, а также бытовых отходов с Республикой Корея, Израилем, Нововоронежской АЭС и т.д.

РАО, перерабатываемые плазменно-пиролитическим методом в МосНПО «Радон», близки по своим основным характеристикам твердым отходам АЭС, поэтому данные разработки могут быть весьма перспективны для атомных станций.

### ЦЕМЕНТИРОВАНИЕ РАО

Одним из основных технологических процессов, реализуемых в МосНПО «Радон», является раздельное или совместное цементирование различных твердых и жидких РАО, которое предполагает включение отходов в прочную цементную матрицу без пустот [20].

В зависимости от вида отходов применяются соответствующие установки и методы цементирования (проливкой или пропиткой) [21-22].

Основной объем ЖРО перерабатывается в процессе совместного цементирования жидких и твердых РАО на миниблочной растворосмесительной установке в контейнерах различных марок. При этом для ТРО с размером фрагментов менее 100-150 мм используется метод пропитки в контейнерах КРАД (рис. 12), с размером фрагментов 5-100 мм – пропитка высокопроницаемыми цементными растворами в 100-200-литровых бочках.

Для цементирования проблемных жидких РАО разработано другое оборудование:

- установка для цементирования шламов, пульп, ионообменных смол, позволяющая включать в компаунд до 10-12,5% мас. отходов;
- блок для подготовки к цементированию жидких РАО, содержащих масла, органические жидкости или ПАВ (обработка позволяет повысить долю включения в цементную матрицу, например, масел до 12,5-15% мас.);
- модуль кондиционирования жидких РАО методом пропитки пористых бетонных матриц в контейнере (позволяет получить наполнение жидких РАО до 50-65% объема компаунда).



Рис. 5. Двухступенчатая установка обратного осмоса для очистки жидких РАО / Fig. 5. Two-stage reverse-osmosis plant for liquid radwaste treatment

### SOLID RADWASTE MANAGEMENT: SEGREGATION, COMPACTION, INCINERATION

An essential element of solid radwaste management system is its repackaging and segregation into streams processed by compaction or incineration, as well as that set directly to conditioning. Large-size pieces of radwaste and items with complex configuration are fragmented [16].

Radwaste subjected to compaction is loaded into 100-litre drums prior to conditioning. The waste is pre-compacted with the help of a small press with a 20 tonnes force inside a 100-litre drum without drum deformation. The space made available after this operation is then filled with more waste packaged into bags. The waste is then compacted using a 1,500 tonne force hydraulic press together with the drums, with the resulting product in the form of relatively short cylinders with the diameter equivalent to that of a 100-litre drum. These are then loaded into 200-litre drums and sent to cementation, with subsequent placement into certified KMZ casks [17].

The process is automated and observed by personnel from a control board positioned in a separate room. All handling and storage mechanisms are controlled by an electronic programming device [18].

Solid low and intermediate levels mixed content waste, including combustible (paper, wood, textile, polymers) and min-

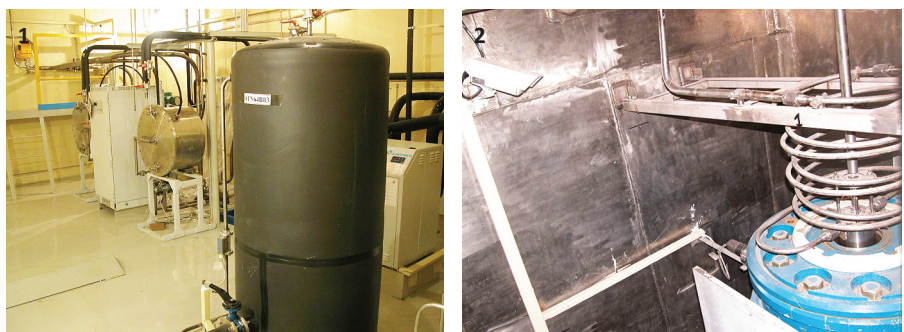


Рис. 6. Установка для очистки кубовых остатков АЭС на Кольской АЭС: 1 – узел озонирования, 2 – фильтр-контейнер с селективным сорбентом / Fig. 6. Evaporator concentrate treatment plant at Kola NPP: 1 – ozone treatment assembly, 2 – filter container with selective sorbent



Рис. 7. Установки «МИК-1», «Москит-Т» для кондиционирования отработавших РНИ  
 Fig. 7. MIK-1 and Moskit-T plants for used sources conditioning

Кроме того, на предприятии успешно эксплуатируется установка цементирования зольного остатка от сжигания РАО методом пропитки в бочках объемом 100 л и 200 л, где используются специальные тонкомолотые цементы с удельной поверхностью до 10000-12600 г/см<sup>2</sup>, что позволяет включить в компаунд по объему до 40-50% зольного остатка. На этой установке также могут перерабатываться прошедшие предварительную термическую обработку шламы и иловые отложения [23].

Технологии цементирования, разработанные в МосНПО «Радон», нашли успешное применение в российских и международных проектах. Так, за последние годы специалистами предприятия разработаны рецептуры для цементирования отходов (жидких РАО различного солевого содержания, илов, ионообменных смол и т.д.) Курской, Кольской, Волгодонской АЭС, ОАО «Сибирский химический комбинат», МАЭК (Казахстан), АЭС «Куданкулам» (Индия). В настоящее время ГУП МосНПО «Радон» участвует в пусконаладочных испытаниях узла цементирования установки «Дунай» на АЭС «Козлодуй» (Болгария) и работах по созданию АСУ ТП установки цементирования Чернобыльской АЭС (Украина). В ближайшем будущем планируется участие в пусконаладочных испытаниях узла цементирования установки на АЭС «Куданкулам».

eral (construction debris, glass, soil, silt, scrap metal, thermal insulation) materials are treated using the plasma-pyrolysis method. Radon Moscow has a long experience of studying this process and developing the associated equipment.

The organic component of the waste undergoes pyrolysis in a furnace with 200-250 kg/hour capacity in oxygen-deficiency conditions, whereas the slag melting process takes place in an oxidising atmosphere, assuring complete destruction of the organic components and generation of an uniform product.

This technology is one of the most important developments of the recent years: the Pluton plant, capable for processing of waste with complex morphology in one stage and generating a conditioned product with a high factor of waste volume reduction. The glass-like end product (molten slag) meets acceptance criteria for conditioned radwaste and is suitable for long-term storage or disposal. The plant was built on site and has been in industrial-scale operation since 2008 [19].

There is demand for this technology both domestically and abroad. At present time Radon Moscow specialists are collaborating to build similar facilities and improve plasma-based processing technologies for radwaste, as well as domestic waste, in the Republic of Korea, Israel, at Novovoronezh NPP, etc.

The radwaste that is currently being processed using the plasma-pyrolysis method at Radon Moscow is close with its key



**Государственное унитарное предприятие города Москвы – Объединенный эколого-технологический и научно-исследовательский центр по обезвреживанию РАО и охране окружающей среды (ГУП МосНПО «Радон») – создано постановлением Совета Министров СССР от 02.02.1960 г. № 120-43 под названием Центральная станция радиационной безопасности города Москвы, Московской области и Центрального региона России.**

За прошедшие годы МосНПО «Радон» превратился в уникальный научно-производственный комплекс. Основные направления деятельности предприятия следующие:

- радиационное обследование территорий и объектов, включая участки радиоактивного загрязнения и потенциально радиационно опасные территории и объекты;
- радиационно-аварийные работы по дезактивации загрязненных объектов и территорий;
- сбор и транспортирование радиоактивных отходов на переработку и временное хранение;
- переработка и кондиционирование радиоактивных отходов;
- длительное безопасное хранение кондиционированных РАО;
- контроль и учет радиоактивных отходов и радиоактивных веществ;
- радиационно-экологический мониторинг окружающей среды, территорий и объектов;
- научно-исследовательское сопровождение полного цикла работ, обеспечивающее современный уровень систем контроля и защиты окружающей среды, а также технологий дезактивации объектов, переработки, кондиционирования и хранения радиоактивных отходов.



В настоящее время идет создание технологических процессов, оборудования и цементных композиций для переработки отработанных ионообменных смол, органических РАО на основе трибутилфосфата и т.д. Предполагается, что эти разработки в будущем могут найти применение как в МосНПО «Радон», так и на АЭС и радиохимических производствах.

### ОСТЕКЛЫВАНИЕ РАО И РАЗРАБОТКА МАТРИЦ ДЛЯ ИММОБИЛИЗАЦИИ РАДИОНУКЛИДОВ

С середины 1970-х годов в МосНПО «Радон» разрабатывалась и внедрялась в практику технология остекловывания РАО. В настоящее время на предприятии реализовано остекловывание высокосолевых жидких РАО в индукционном плавителе типа «холодный тигель». Жидкие РАО концентрируют в роторном пленочном испарителе до содержания около 1000 г/л, смешивают со стеклообразующими добавками (датолитом, кварцевым песком и бентонитом) и в виде шлама с содержанием воды 20-25% мас. дозируют в «холодный тигель». Стекломассу сливают в 10-литровые контейнеры, отжигают и направляют на долговременное хранение. Отходящие газы проходят систему газоочистки и сбрасываются в атмосферу. Промышленная установка остекловывания (производительность по жидким РАО – до 100 л/ч, по конечному продукту – до 20 кг/ч) работает на предприятии уже около 15 лет. За это время на ней переработано около 10000 м<sup>3</sup> жидких РАО [24].

К технологии остекловывания в «холодном тигле», разработанной в МосНПО «Радон», проявляют интерес предприятия Министерства энергетики США, Комиссариата по атомной энергии Франции, компании Японии, Кореи, Великобритании. Международное сотрудничество в данной области связано, в основном, с определением параметров технологии, исследованием конечного продукта на соответствие критериям приемлемости, а также разработкой составов стекломатриц и минералоподобных материалов для отходов различного химического и радионуклидного состава [25].



Рис. 8. Рабочая камера для переупаковки, сортировки и фрагментации РАО / Fig. 8. Processing cell for radwaste repackaging, segregation and fragmentation



Рис. 9. В центре – воздушно-изолированное помещение, где расположен пресс и вращающийся стол для спрессованных упаковок; справа – фрагмент автоматизированного склада первичных упаковок / Fig. 9. Centre: air-tight room containing a press and turntable for compacted packages; right: fragment of automated primary packages warehouse

**The Moscow State Unitary Enterprise – united ecological, scientific and research centre for radioactive waste decontamination and environmental protection (Radon Moscow) – was incorporated as per Decree No. 120-43 dated 02 February 1960 by the Council of Ministers of the Soviet Union, then referred to as the Central Radiation Safety Station of the City of Moscow, Moscow Region and Central European Russia.**

Since, Radon Moscow has grown into a unique scientific and production complex. Its key business activities are following:

- radiation surveys of sites and lands, including radioactively contaminated areas and areas of potential radiation hazard;
- radiation emergency clean-up works, decontamination of sites and facilities;
- collection and transport of radioactive waste to processing and interim storage locations;
- processing and conditioning of radioactive waste;
- long-term safe storage of conditioned radwaste;
- accounting and control of radioactive waste and radioactive substances;
- radiation monitoring of facilities, sites and the environment;
- scientific research and support of the entire cycle of operations to provide state-of-the-art systems for environmental protection and monitoring, as well as technologies for decontamination, processing, conditioning and storage of radioactive waste.





Рис. 10. Установка плазменно-пиролитической переработки РАО «Плутон» / Fig. 10. Pluton plant for plasma-pyrolysis processing of radwaste

Специалисты «Радона» разработали составы боросиликатных, алюмосиликатных и железофосфатных стекол для иммобилизации жидких и твердых РАО. Кроме стекол, совместно с учеными ИГЕМ РАН, созданы керамические матрицы (типа Синрок, моно- и полифазные керамики) для локализации ВАО и их редкоземельно-актинидной и актинидной фракций, которые можно получать как по керамической технологии (холодное прессование, спекание и горячее прессование), так и индукционной плавкой в «холодном тигле». Значительный интерес представляет плавная керамика на основе муратаита, обладающая высокой химической и радиационной стойкостью [26].

### РАЗВИТИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ДЕЗАКТИВАЦИИ

В связи с выводом из эксплуатации объектов ядерно-энергетического комплекса проблема дезактивации оборудования, помещений и материалов становится чрезвычайно актуальной. В значительной степени это обусловливается и тем, что, в соответствии с положениями федерального закона «Об обращении с радиоактивными отходами», оплату хранения РАО на весь срок потенциальной опасности осуществляет их поставщик. Поэтому роль технологий, обеспечивающих сокращение объема РАО, подлежащих длительному хранению, трудно переоценить.

МосНПО «Радон» обладает опытом разработки технологий дезактивации, основанных на реагентном выщелачивании радионуклидов из грунтов [27-28] и минеральных строительных материалов [29].

В настоящее время предприятие также располагает технологией и опытно-промышленной установкой гидросепарационной очистки грунтов путем отделения мелкой, наиболее загрязненной фракции. Эксплуатация установки позволяет в восемь раз сократить объем РАО, направляемых на длительное хранение.

В перспективе развитие технологии дезактивации грунтовых и сыпучих материалов на предприятии связывают с сочетанием фракционирования и реагентной обработки, которое позволит в несколько раз повысить коэффициент очистки и, соответственно, коэффициент снижения объема РАО [30].

Совместные разработки МосНПО «Радон», ООО «Александра-Плюс» и НИКИЭТ направлены на повышение эффективности дезактивации повер-

properties to the solid waste generated by NPPs, so these developments may hold a lot of potential for nuclear stations.

### RADWASTE CEMENTATION

One of the key technological processes implemented at Radon Moscow is separate or combined cementation of various solid and liquid wastes, providing waste incorporation into a strong void-free cement matrix [20].

Depending on waste type, various cementation apparatuses and methods (pouring or impregnation) may be used [21-22].

The main part of liquid radwaste volume is processed by combined cementation of liquid and solid waste with the help of a mini-sized mortar mixer in containers of various types. Solid radwaste with fragment size of less than 100-150 mm is treated by impregnation in KRAD containers (fig. 12), and waste with fragment size of 5-100 mm by impregnation with highly-penetrating cement mortar in 100-200-litre drums.

For cementation of "problematic" liquid radwaste, another set of equipment has been developed:

- cementation plant for sludge, pulp, and ion-exchange resins, providing an inclusion of 10-12.5 wt. % of waste into the compound;

- plant for pre-cementation processing of liquid radwaste that contains oils, organic liquids or surface active agents (pre-processing helps increase the share of oils incorporation into the cement matrix to 12.5-15 wt. %);

- module for liquid radwaste conditioning by impregnating of porous concrete matrices inside a container (can provide up to 50-65% liquid radwaste filling of the compound volume).

In addition, the company successfully operates a cementation plant for ash residue generated during radwaste incineration using the impregnation method in 100 and 200 litre drums, which applies special fine ground cements with specific area of up to 10,000-12,600 g/cm<sup>2</sup>, allowing to incorporate into the compound volume from 40 to 50% of the ash residue. The plant can also be used for processing of pre-tempered sludge and silt deposits [23].

The cementation technologies developed by Radon Moscow have found successful applications both in Russian and international projects. For example, over the recent years the company has developed recipes for cementation of waste (liquid radwaste with various salt content, silts, ion-exchange resins, etc.) pro-



Рис. 11. Мини-блочная растворосмесительная установка / Fig. 11. Mini-sized mortar mixing unit



ностей, а также сыпучих материалов за счет ультразвуковой обработки. Ранее эффективность использования ультразвука была доказана при очистке металлических отходов, в частности, загрязненных чехлов ОТВС в губе Андреева [31].

Запатентованная недавно МосНПО «Радон» оригинальная технология дезактивации металлических поверхностей с использованием мобильной установки электрохимической дезактивации с выносным электродным устройством позволяет производить дезактивацию вертикальных, наклонных и горизонтальных металлических поверхностей объектов – как вывезенных с предприятий, так и непосредственно на месте нахождения загрязненного оборудования [32].

Установка прошла тестирование на загрязненных боксах при выводе из эксплуатации радиохимической лаборатории ИФХЭ РАН, а также при дезактивации вытяжных шкафов, загрязненных плутонием, в Южно-Африканской компании NECSA.

Простота и незначительные объемы образующихся вторичных отходов – факторы, обеспечивающие перспективность дальнейшего использования установки при выводе из эксплуатации радиационно опасных объектов, отборе проб для оценки уровней загрязнения металлических поверхностей, а также при использовании в штатном режиме для ликвидации загрязнений действующего оборудования [33].

#### Литература / References:

1. Соболев И.А., Тимофеев Е.М., Пантелеев В.И., Карлин Ю.В., Кропотов В.Н., Слостенников Ю.Т., Чуйков В.Ю., Демкин В.И., Рожков В.Т. Передвижная установка для обезвреживания маломинерализованных низкоактивных жидких отходов // *Атомная энергия*. – 1992. – Т. 73, №6. – С. 474-478.
2. Карлин Ю.В., Чуйков В.Ю., Адамович Д.В., Слостенников Ю.Т., Ильин В.А., Суменко А.В., Флит В.Ю., Дмитриев С.А., Соболев И.А. Переработка жидких радиоактивных отходов с помощью мобильных модульных установок // *Атомная энергия*. – 2001. – Т. 90, вып. 1. – С. 65-69.
3. Карлин Ю.В. Применение модульных установок для очистки ЖРО // *Безопасность окружающей среды*. – 2009. – №2. – С. 89-92.
4. Karlin Yu., Dmitriev S., Iljin V., Ojovan M., Burcl R. Elaboration of not large mobile modular installation "Aqua-Express" (300 L/H) for LRW cleaning // *WM'03, CD-ROM*.
5. Корб В.Р., Тимофеев Е.М., Адамович Д.В., Карлин Ю.В., Величкин В.И., Цубанников А.М., Гелис В.М. Переработка жидких радиоактивных отходов, образующихся в результате ремонта и утилизации атомных подводных лодок // *Экология и промышленность России*. – Август 2003. – С. 4-7.
6. Дмитриев С.А., Федоров Д.А., Савкин А.Е., Карлин Ю.В. Способ переработки жидких радиоактивных отходов. Патент РФ № 2342720. 27.12.2008 г.



Рис. 13. Установка цементирования зольного остатка  
Fig. 13. Ash residue cementation plant



Рис. 12. Установка цементирования ТРО методом пропитки в контейнерах КРАД / Fig. 12. Plant for solid radwaste cementation by impregnation in KRAD containers

duced by Kursk, Kola, and Volgodonsk NPPs, Siberian Chemical Combine, MAEK of Kazakhstan, and Kudankulam NPP of India. Currently, Radon Moscow is taking part in the testing and commissioning activities on the Dunai cementation plant on Kozloduy, Bulgaria, and to create a process control system on the cementation plant at Chernobyl NPP in Ukraine. In the near future, the company plans to participate in the testing and commissioning of a cementation plant on Kudankulam.

Currently work is under way to create the technological processes, equipment and cement compositions for processing of used ion-exchange resins, organic radwaste containing tributyl phosphate, etc. The expectation is that these would be applicable in the future both at Radon Moscow, as well as NPPs and radiochemical facilities.

#### RADWASTE VITRIFICATION AND DEVELOPMENT OF MATRICES RADIONUCLIDES IMMOBILISATION

Since the mid-1970s, Radon Moscow has been designing and implementing radwaste vitrification technologies. Currently the site features a facility for vitrification of high-salinity liquid radwaste using a "cold crucible" induction smelter. Liquid radwaste is pre-concentrated in a rotary film evaporator until its



Рис. 14. Слив расплава стекла, содержащего РАО  
Fig. 14. Pouring of radwaste-containing molten glass





Рис. 15. Установка гидросепарационной очистки грунта / Fig. 15. Soil hydraulic separation treatment plant

7. Савкин А.Е., Карлин Ю.В., Маряхин М.А. Разработка и испытания усовершенствованной технологии очистки ЖРО МосНПО «Радон» // *Радиохимия*. – 2011. – Т. 53, №5. – С. 474-476.

8. Карлин Ю.В., Кичик В.А., Стариков Е.Н. Применение непроточной ультрафильтрации при разделке ОЯТ реакторов АМБ // *Безопасность ядерных технологий и окружающей среды*. – 2011. – №2. – С. 106-112.

9. Богдюн В.К., Ледовский С.Ф., Сенявин А.Б., Карлин Ю.В., Варлаков А.П. Модульное оборудование для переработки ЖРО // *Тез. докл. 5-й Межд. научно-техн. конф. «Обращение с радиоактивными отходами» (Москва, ВНИИАЭС, 22-24 ноября 2005 г.)*. – С. 32.

10. Савкин А.Е. Разработка и испытания технологии переработки жидких радиоактивных отходов АЭС // *Радиохимия*. – 2011. – Т. 53, №5. – С. 470-473.

11. Савкин А.Е., Варлаков А.П. Переработка жидких радиоактивных концентратов ГНЦ РФ ФЭИ // *Радиохимия*. – 2011. – Т. 53, №5. – С. 477-480.

12. Ожован М.И., Карлина О.К., Николаев О.А. Обоснование длительного безопасного хранения отработавших источников ионизирующих излучений, включенных в металлические матрицы // *Тезисы докл. XIII Российской научной конференции «Радиационная защита и радиационная безопасность в ядерных технологиях» (Обнинск, 17-19 сент. 2002 г.)*. – С. 336-339.

13. Дмитриев С.А., Карлина О.К., Арустамов А.Э., Николаев О.А., Семенов В.Е., Мышкин Ю.В., Юрченко А.Ю., Карлин Ю.В. Технологии и установки для включения высокоактивных отходов в металлическую матрицу // *Тезисы докладов Пятой Российской конференции по радиохимии «Радиохимия – 2006» (Дубна, 23-27 октября 2006 г.)*. – Озерск: ФГУП «ПО «Маяк», 2006. – С. 224.

14. Дмитриев С.А., Карлина О.К., Николаев О.А., Ожован М.И., Семенов В.Е., Чемерис В.А. Способ кондиционирования отработавших источников ионизирующей излучений и устройство для его осуществления. Патент РФ № 2273069 на изобретение, М., Комитет Российской Федерации по патентам и товарным знакам, 2006, приоритет от 20.02.04.



Рис. 16. Мобильная установка проточной электрохимической дезактивации с вакуумируемым электродным устройством / Fig. 16. Mobile flow-through electrochemical decontamination plant with vacuuming electrode assembly

salt content reaches about 1,000 g/litre, then mixed with glass-forming additives (datolite, quartz sand and bentonite), and the resulting sludge with 20-25 wt. % water content is batched into the "cold crucible". The glass melt is poured into 10-litre containers, baked and sent for long-term storage. Off-gases are treated and then released into the atmosphere. The industrial-scale vitrification plant (processing capacity up to 100 l/hour of liquid radwaste, and up to 20 kg/hour of end product) has been already in operation at Radon Moscow for 15 years. Over this time, it has processed approximately 10,000 m<sup>3</sup> of liquid radwaste [24].

The "cold crucible" vitrification technology developed by Radon Moscow has attracted the interest of US DOE and Commissariat à l'énergie atomique, as well as companies from Japan, Korea and the United Kingdom. International cooperation in this field is chiefly associated with the determination of process parameters, end product studies to establish compliance with acceptance criteria, as well as development of glass matrix compositions and mineral-like materials for waste of various chemical and radionuclide contents [25].

Radon Moscow specialists have developed the compositions of borosilicate, aluminosilicate and iron phosphate glasses to be used for liquid and solid radwaste immobilisation. In addition to glasses, the company has jointly with IGEM RAN created ceramic matrices (synroc, mono- and polyphase ceramics) for containment of high-level waste and its rare-earth-actinide and actinide fractions, which can be obtained both by the ceramic technology (cold compaction, baking and hot compaction), and induction melting in the "cold crucible". Of considerable interest is murataite-based molten ceramic that has a high chemical and radiation resistance [26].

## DECONTAMINATION TECHNOLOGIES

As nuclear sites decommissioning work gathers pace, decontamination of equipment, premises and materials is becoming ever more important. This is largely contributable to the fact that in accordance with the provisions of Federal Law on Radioactive Waste Management, payment for radwaste storage during the entire period of their hazard is to be covered by the waste producer. Thus it is difficult to overestimate the role of technologies that provide volume reduction of radwaste to be placed for long-term storage.

Radon Moscow possess the experience in development of decontamination technologies based on reagent-aided leaching of radionuclides from soils [27-28] as well as mineral construction materials [29].



15. Дмитриев С.А., Карлин Ю.В., Карлина О.К., Диордий М.Н., Семенов В.Е., Юрченко А.Ю. Устройство для включения высокоактивных источников ионизирующего излучения в металлические матрицы. Патент 2377676 РФ, МКИ С1, G21F 9/30 на изобретение, М., Федеральная служба по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам.
16. Соколов И.А., Дмитриев С.А., Савкин А.Е., Варлаков А.П., Степанов С.С. Состояние и перспективы сортировки твердых р/а отходов // Тезисы докладов международной конференции «Радиоактивные отходы. Хранение, транспортирование, переработка. Влияние на человека и окружающую среду» (Санкт-Петербург, 14-18 октября 1996 г.). – СПб: ЦНИИМ «Прометей», 1996. – С. 20.
17. Шевченко С.М. Сортировка и фрагментирование твердых радиоактивных отходов // Седьмая международная научно-техническая конференция «Безопасность, экономика и эффективность атомной энергетики» (МНТК – 2010, Москва, 26-27 мая 2010 г.). – С. 274-275.
18. Шевченко С.М. Прессование радиоактивных отходов. Седьмая международная научно-техническая конференция «Безопасность, экономика и эффективность атомной энергетики» (МНТК-2010, Москва, 26-27 мая 2010 г.). – С. 271-273.
19. Полканов М.А. Плазменно-пиролитическая переработка твердых РАО // Безопасность ядерных технологий и окружающей среды. – 2012. – №1. – С. 89-94.
20. Баринов А.С., Варлаков А.П., Карлин С.В., Ковальский Е.А. Свойства цементной матрицы с высоким содержанием сухого остатка ЖРО // Вопросы материаловедения. – 1997. – № 5 (11). – С. 86–89.
21. Варлаков А.П., Горбунова О.А., Баринов А.С. Модифицирующие комплексные добавки в технологиях цементирования радиоактивных отходов // Медицина труда и промышленная экология. – 2006. – № 2. – С. 29-34.
22. Варлаков А.П. Разработка унифицированного технологического процесса цементирования жидких радиоактивных отходов // Атомная энергия. – 2010. – Т. 109, вып. 1. – С. 14–19.
23. Варлаков А.П., Горбунова О.А., Невров Ю.В., Лифанов Ф.А., Баринов А.С. Пат. 2199164 С2 Российская Федерация, МПК7 G 21 F 9/28. Устройство для цементирования пропиткой мелкодисперсных радиоактивных и токсичных отходов. № 2001110423/06; заявл. 18.04.01; опубл. 20.02.2003, Бюл. № 5. – 8 с.: ил.
24. Лебедев В.В., Стефановский С.В. Применение технологии ИПХТ для переработки радиоактивных отходов. Опыт МосНПО «Радон» // Вопросы радиационной безопасности. – 2011. – №2. – С. 16-34.
25. Кобелев А.П., Стефановский С.В., Лебедев В.В., Полканов М.А., Князев О.А., Пташкин А.Г., Никонов Б.С., Марра Дж. Остекловывание имитатора отходов завода в Саванна Ривере (США) с высоким содержанием железа и алюминия на стендовой и промышленной установках с холодным тиглем // Атомная энергия. – 2008. – Т. 104, вып. 5. – С. 291-295.
26. Лавров Н.П., Юдинцев С.В., Стефановский С.В., Омельяненко Б.И., Никонов Б.С. Муратаитовые матрицы актинидных отходов // Радиохимия. – 2011. – Т. 33, №3. – С. 196-207.
27. Склифасовская Ю.Г. Физико-химическое обоснование реагентной дезактивации грунтов, загрязненных  $\alpha$ -излучателями. Автореферат дис. канд. хим. наук. – М., 2012. – 27 с.
28. Николаевский В.Б., Склифасовская Ю.Г., Сабодина М.Н., Ключкова Н.В. Реагентная очистка грунтов от трансурановых элементов // Атомная энергия. – 2011. – Т. 107, вып. 7. – С. 29-33.
29. Юрченко А.Ю., Карлин Ю.В., Николаев А.Н. Дезактивация радиоактивного бетона // Атомная энергия. – 2009. – Т. 106, вып.3. – С. 176-180.
30. Николаевский В.Б., Полуэктов П.П., Арустамов А.Э. Перспективы развития технологии дезактивации грунтов // Безопасность ядерных технологий и окружающей среды. – 2011. – №4. – С. 102-107.
31. Савкин А.Е., Карлина О.К., Васильев А.П., Малинник В.М., Дубинин Г.В., Лебедев Н.М., Смирнов Б.А. Испытания ультразвуковой установки для дезактивации металлических РАО // Безопасность окружающей среды. – 2007. – № 3. – С. 38-41.
32. Баринов А.С., Карлина О.К., Юрченко А.Ю., Николаев А.Н. Установка для электрохимической дезактивации металлических поверхностей. Патент РФ №2448389, приоритет от 19.10. 2010 г.
33. Karlina O.K., Nikolaev A.N., Yurchenko A.Yu. The usage of mobile installation for electrochemical decontamination of surfaces. In: Proc. 10th Symp. "Conditioning of radioactive operational & decommissioning wastes", KONTEC'2011, (6-8 April, 2011, Dresden).

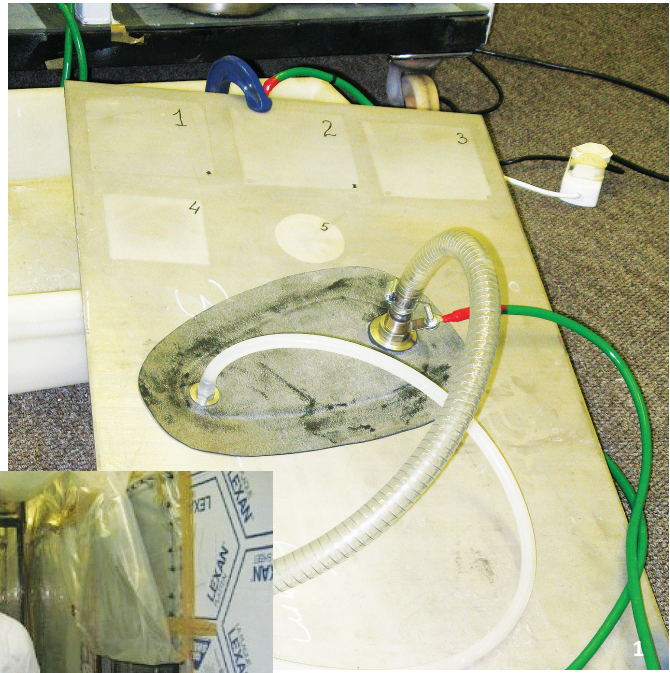


Рис. 17. Внешний вид электродного устройства (1), оператор с электродным устройством (2)  
Fig. 17. Electronic device overview (1), operator with electrode assembly (2)

Currently the company also has the technology and a pilot plant for hydraulic separation treatment of soils by sorting out the most contaminated fine fraction. Using the plant helps reduce the volume of radwaste to be sent for long-term storage in eight times.

In the future, decontamination technologies for soils and loose materials are connected with combination of fractionating and reagent treatment, which will let to increase the processing and volume reduction factors [30].

Continued joint development efforts between Radon Moscow, JSC Alexandra-Plus and NIKIET, are aimed at improvement of the effectiveness of decontamination of surfaces, as well as loose materials, through application of ultrasonic treatment. Previously, its effectiveness was proven during processing of metallic waste, in particular, contaminated spent fuel assembly baskets at Andreyev Bay [31].

Recently, Radon Moscow has obtained a patent for an ingenious technology for metal surfaces decontamination with the help of a mobile electrochemical decontamination plant with an external electrode assembly, which can be used for decontamination of vertical, sloping and horizontal metal surfaces of various objects – both removed from the site and in-situ at the locations of contaminated equipment [32].

The plant has been tested on really contaminated boxes during decommissioning of a radiochemical laboratory at the Institute of Physical Chemistry and Electrochemistry, as well as for decontamination of fume hoods contaminated with plutonium on a NECSA site in South Africa.

Simplicity and low generation of secondary waste are the factors that secure good prospects for the plant to be used during decommissioning of industry's facilities, for sample collection for contamination level assessment on metal surfaces, as well as for routine operations at decontamination of in-use equipment [33].