

# ВЫВОД ИЗ ЭКСПЛУАТАЦИИ ПРИПОВЕРХНОСТНЫХ ХРАНИЛИЩ РАО

## DECOMMISSIONING NEAR-SURFACE RADWASTE STORAGE FACILITIES

П.П. НЕВЕЙКИН, *к.т.н.*,  
генеральный директор,  
Е.И. ВЕСЕЛОВ, *к.т.н.*  
(ГУП МосНПО «Радон»)



P.P. NEVEYKIN, *Candidate of Technical  
Science, Director General,*  
E.I. VESELOV, *Candidate of Technical Science  
(SUE SIA Radon Moscow)*

■ Срок эксплуатации большинства приповерхностных хранилищ, предназначенных для долговременной локализации твердых и жидких РАО, превышает 30-50 лет. Многие из них не обеспечивают полную изоляцию РАО; в ряде случаев зафиксирован выход радионуклидов в окружающую среду и ее загрязнение в результате частичной деградации защитных барьеров сооружений. Все это требует принятия решения о выводе таких хранилищ из эксплуатации.

Прежде, чем принять решение о дальнейшей судьбе хранилища, необходимо провести оценку его состояния. Она предполагает анализ архивных материалов по конструкции объекта, системы инженерных барьеров, гидрогеологических и геологических условий площадки, сведений о физическом и химическом состоянии РАО, их активности и радиоизотопном составе. В результате определяют потенциальную опасность объекта для окружающей среды и наиболее «слабые» места в его системе инженерной защиты.

На основе оценки формализуется модель деградации инженерных барьеров и механизм возможной миграции радионуклидов за пределы хранилища, разрабатываются предварительные инженерно-технические предложения по обеспечению экологической безопасности объекта.

Для их уточнения проводят натурные и лабораторные исследования, направленные на:

- установление возможных изменений гидрогеологических и геохимических условий площадки, а также нарушений естественных параметров вмещающих пород в процессе строительства и эксплуатации сооружения;
- оценку степени деградации инженерных барьеров;
- определение радиационного и физико-химического состояния массива РАО;
- оценку степени воздействия хранилища на окружающую среду на основе определения удельной активности поверхностных вод и грунтов в зоне размещения объекта;
- определение потенциально опасных зон в конструкции сооружения, инженерных барьерах и вмещающих породах приконтурной зоны объекта;

■ The operating lives of most near-surface storage facilities built for long-term containment of solid and liquid radwaste today exceeds 30-50 years. Many of them, however, have failed to provide complete isolation of radwaste; in a number of cases, radionuclides have escaped into the environment, causing contamination as a consequence of partial deterioration and breach of the containment barriers. These conditions call for making a decision on decommissioning of these facilities.

Before any decision regarding the future of a storage facility can be made, its status needs to be evaluated. It includes analysis of archive information regarding the design of the facility, its system of engineered barriers, hydrogeological and geological conditions on the site, data regarding the physical and chemical status of the contained radwaste, its levels of activity and radioisotopic composition. As a result, an assessment is made of how environmentally dangerous the facility truly is and what are the weakest areas in its system of engineered protection.

On the basis of that assessment, a model is made to predict degradation of the engineered barriers and possible mechanisms for migration of radionuclides outside of the facility, and preliminary engineering and technical measures are developed to help ensure that the facility is environmentally safe.

In order to define the measures more precisely, field and laboratory research is then performed to:

- determine potential changes in the hydrogeological and geochemical conditions on the site, as well as changes in parameters of the host rock that may have occurred as a consequence of construction and operation of the facility;
- evaluate the extent of degradation of the engineered barriers;
- determine the radiological and physical-chemical status of the contained radwaste;
- evaluate the impact that the facility has produced upon the environment by measurement of specific activity values of surface waters and soils around the facility;
- identify potentially dangerous zones within the facility, engineered barriers and host rock within the site's border zone;
- establishing the potential danger that the site represents to the environment and human health by mathematical modelling.

– установление потенциальной опасности объекта для окружающей среды и человека путем математического моделирования.

**ВАРИАНТЫ ВЫВОДА ИЗ ЭКСПЛУАТАЦИИ**

Учитывая многообразие и масштабность хранилищ РАО, в рамках стратегии вывода или продления срока их эксплуатации предлагается рассмотреть три варианта (рис. 1).

Первый вариант предполагает удаление из хранилища всех РАО. Такие работы могут включать изъятие отходов, загрузку их в контейнеры (с предварительным кондиционированием или без него), транспортировку и размещение контейнеров в новом хранилище. Конструкции старого хранилища демонтируются. Это позволяет полностью ликвидировать негативное воздействие радиационно опасного объекта на окружающую среду и население в месте исходного размещения, что особенно важно при близком расположении населенного пункта, и создать вокруг изъятых РАО новые инженерные барьеры, выполненные из современных материалов и отвечающие современным требованиям по безопасности, надежности и долговечности. Недостатки: достаточно длительные сроки реализации и высокие экономические затраты, повышенный риск возникновения аварийных ситуаций и необходимость выполнения масштабных операций по радиационной защите персонала и окружающей среды.

Второй вариант предусматривает разделение всего объема РАО на две части: наиболее опасные РАО (объекты) и остальной массив. Опасные РАО выделяются в ходе предварительной детальной оценки объекта и перемещаются в новое хранилище. Старое хранилище подлежит консервации вместе с оставшимися в нем РАО.

Осуществление этого сценария позволяет при достаточно невысоких экономических затратах значительно снизить суммарную активность РАО и воздействие на окружающую среду в месте их исходного размещения. Недостатком является повышение степени риска возникновения аварийных ситуаций и радиационного воздействия на персонал при изъятии, перемещении и кондиционировании РАО.

Третий вариант – консервация хранилищ без изъятия РАО – предполагает, что весь объем отходов остается в местах нынешнего расположения. Это позволяет:

- максимально снизить радиационное и токсичное воздействие на персонал, занятый обращением с РАО;
- минимизировать затраты на обеспечение экологической безопасности хранилищ;
- избежать возможного повторного загрязнения окружающей среды при изъятии и перемещении РАО;
- минимизировать риск возникновения радиационных аварий.

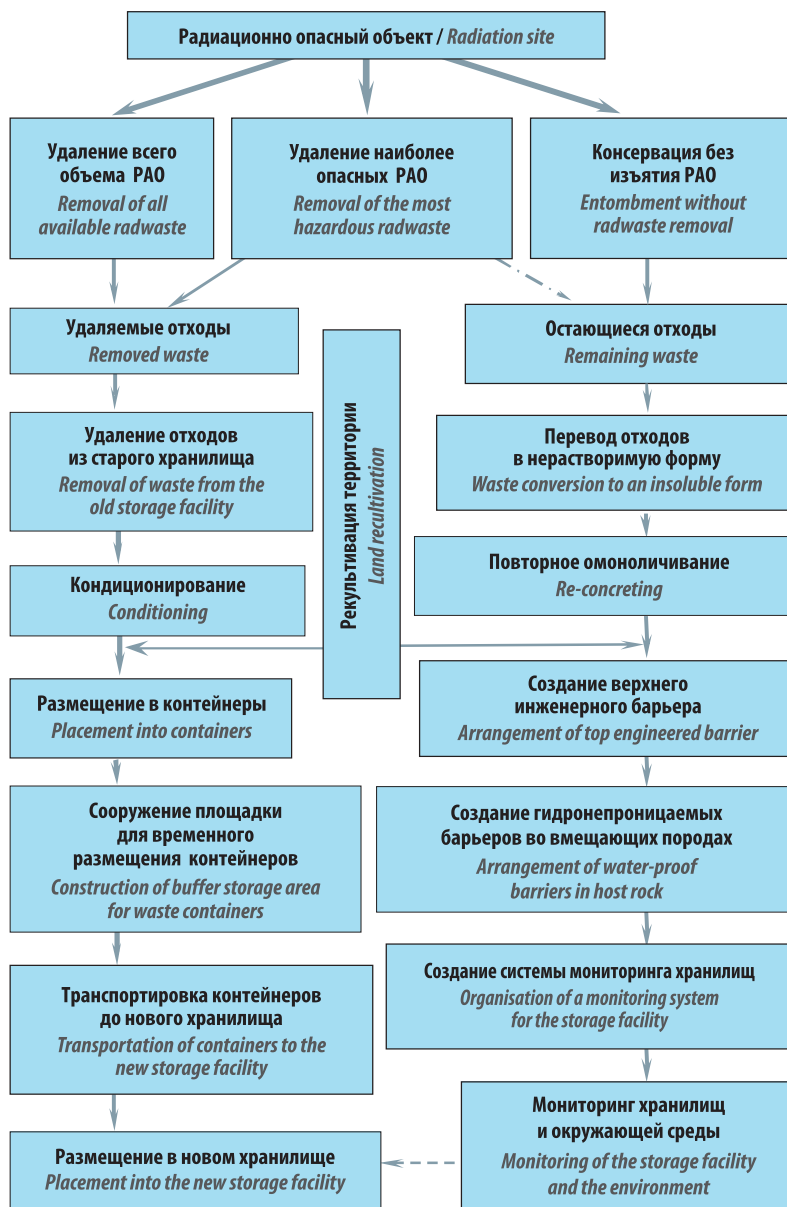


Рис. 1. Технические мероприятия по повышению экологической безопасности при-поверхностных хранилищ РАО / Fig. 1. Technical measures to improve environmental safety of a near-surface radwaste storage facility

**DECOMMISSIONING OPTIONS**

Considering the variety and scale of radwaste storage facilities, three key options have to be considered within the framework of strategy of radwaste storage facilities decommissioning or operating life extension (fig. 1).

The first option envisages removal of all radwaste from the storage facility. The activities may include retrieval of the waste, its loading into containers (with or without prior conditioning), transportation and placement of containers in a new storage facility. The structures of the old facility would be dismantled. This will help provide complete clean-up of any negative impact that the former radiation site had produced upon the environment and public in its original location, which is particularly important for site with residential communities in the vicinity, and create new engineered barriers around the retrieved radwaste, ones made of modern materials and compliant with the latest requirements to safety, reliability and longevity. The disadvantages

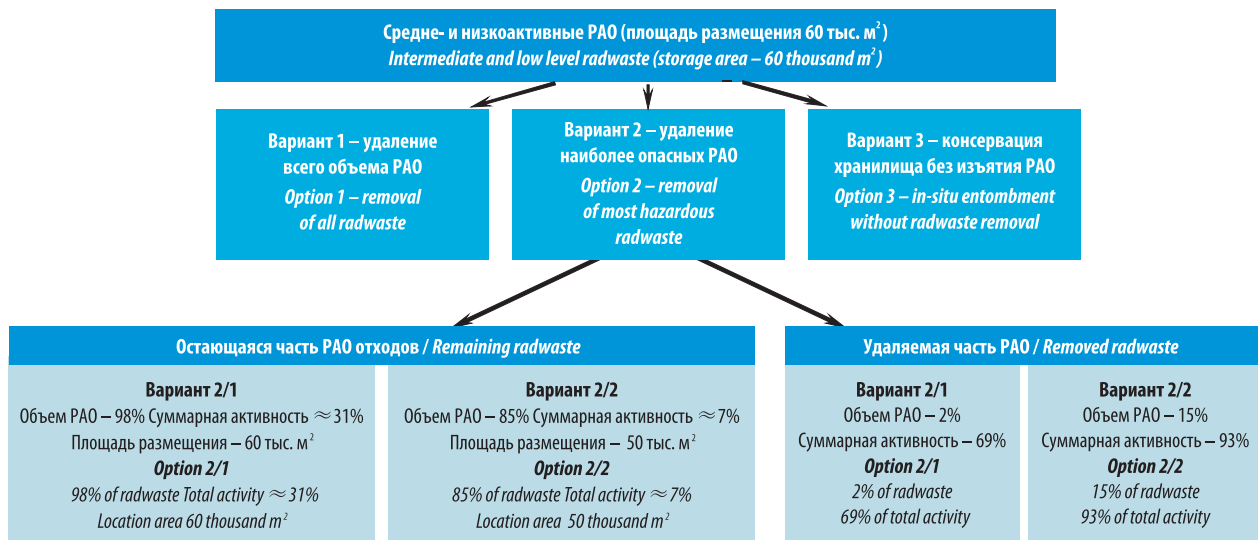


Рис. 2. Варианты повышения экологической безопасности объектов КЧХК / Fig. 2. Options for improvement of environmental conditions at Kirovo-Chepetsk Chemical Plant

Однако весь массив РАО остается на месте, что при близком расположении населенных пунктов, рек и водоемов вызывает определенное социальное напряжение.

Для каждого приповерхностного хранилища, исходя из реальных условий его размещения и состояния инженерных барьеров, на стадии разработки технических и организационных решений могут быть рассмотрены как все три подхода к обеспечению экологической безопасности, так и конкретно один из них.

### УДАЛЕНИЕ РАО

Изъятие РАО из объекта может осуществляться механическим способом погрузочно-разгрузочными машинами и механизмами, например, экскаваторами, погрузчиками. Для удаления особо опасных отходов возможно использование автоматизированной или роботизированной техники [5, 6].

Удаленные из хранилищ отходы подвергают кондиционированию, которое включает: их сортировку по видам, удельной активности, радионуклидному составу, снижение объема за счет дополнительной переработки или дезактивации, включение в матричный материал (цементный камень, стеклоподобную матрицу) и размещение в контейнерах (металлических бочках, железобетонных контейнерах типа НЗК и т.д.). Кондиционированные РАО готовы к последующему захоронению на региональных объектах. Следует заранее предусмотреть создание новых производственных площадей для выполнения указанных операций и временного размещения контейнеров.

Способ и стоимость транспортировки РАО зависят от типа и расстояния до нового хранилища. Наиболее сложной и затратной операцией при обращении с удаляемыми отходами является сооружение нового хранилища.

### КОНСЕРВАЦИЯ ХРАНИЛИЩ

Если радионуклиды локализованы в водорастворимой форме, для экологической безопасности хранилища их необходимо перевести в нерастворимые (или

of the option are as follow: rather long implementation time and high costs, increased risk of accident and need to put in place extensive measures for radiation protection of personnel and the environment.

The second option envisages separation of the entire radwaste inventory into two parts: the most hazardous radwaste (or objects) and the rest. The hazardous radwaste would be identified during preliminary site evaluation and moved to a new storage facility. The old storage facility would be entombed together with the balance of radwaste.

This option is associated with relatively small economic costs while providing for a significant reduction in total activity of the radwaste and its impact upon the environment at their original location. The disadvantage of the option is increased risk of accident and personnel exposure during waste retrieval, transfer and conditioning.

The third option is entombment of the storage facility without retrieval of radwaste – presuming that the entire waste inventory will remain where it currently is. This allows for:

- maximum reduction of radiation and toxic impact on personnel involved with radwaste management;
- minimisation of costs associated with provision of environmental safety of the storage facility;
- prevention of potential re-contamination of the environment as a consequence of radwaste retrieval and movement;
- minimisation of radiation accident risk.

However, the whole radwaste inventory will stay at its current location, which, given its proximity to residential areas, rivers and other water bodies would create certain social tension.

During selection of technical and organisational measures for environmental safety assurance on each specific near-surface radwaste storage facility, consideration may be given to all three options based on actual site conditions and status of engineered barriers, or to one individual option in particular.

### RADWASTE REMOVAL

Radwaste can be retrieved from the facility using mechanical means such as excavators or loaders. Particularly hazard-



**РЕЗУЛЬТАТЫ УКРУПНЕННЫХ ЭКОНОМИЧЕСКИХ РАСЧЕТОВ ДЛЯ ОБЪЕКТОВ КЧХК**  
**RESULTS OF PRELIMINARY COST ESTIMATION FOR CLEAN-UP AT**  
**KIROVO-CHEPETSK CHEMICAL PLANT**

Показатель <i>Indicator</i>	Вариант 1 <i>Option 1</i>	Вариант 2/1 <i>Option 2/1</i>	Вариант 2/2 <i>Option 2/2</i>	Вариант 3 <i>Option 3</i>
Общие затраты на реализацию, млрд руб. <i>Total implementation costs, billions of roubles</i>	64,7	5,6	14,2	4,3

трудно растворимые) химические соединения. Это осуществляется путем взаимодействия исходных соединений с химическими компонентами.

Затем весь массив отходов включают в новый матричный материал методом повторного омоноличивания [3, 4]. Данный способ предусматривает: бурение и оборудование технологических скважин в хранилище отходов; приготовление и нагнетание в толщу отходов тампонажного раствора; исследование эффективности создания матричного материала; при необходимости повторную подачу тампонажного раствора.

Повторное омоноличивание предотвращает проникновение атмосферных осадков в хранилище, контакт воды с материалом матрицы и радионуклидами и, следовательно, разрушение матрицы за счет гидратации и размыва, а также выщелачивание радионуклидов и гидравлический унос мелких частиц [4].

Для предотвращения разрушающего воздействия на инженерные барьеры внешних природных факторов (в первую очередь циклов «промерзание – оттаивание» и атмосферных осадков) над хранилищем возводят защитный экран [3, 4].

Если вмещающий массив на территории объекта представлен обводненными песчаными породами, то необходимо сооружение дополнительного защитного экрана – гидронепроницаемого барьера, защищающего сооружение от бокового подтопления грунтовыми водами. Барьер формируется бурением скважин и нагнетанием в объем песчаных пород тампонажного раствора, образующего гидронепроницаемую стену.

После консервации хранилища формируется система мониторинга, что предусматривает бурение и оборудование сети скважин для периодического отбора и радиометрических исследований проб воды. Мониторинг проводят вплоть до окончания вывода объекта из эксплуатации, когда размещенные в нем РАО перестанут представлять опасность для окружающей среды и человека.

**ВАРИАНТЫ ВЫВОДА ИЗ ЭКСПЛУАТАЦИИ ОБЪЕКТОВ КЧХК**

Разработанная стратегия вывода из эксплуатации была реализована при определении будущего объектов КирОВО-Чепецкого химического комбината (КЧХК), длительное время занимавшегося переработкой уранового сырья.

С запада и севера естественной границей площадки КЧХК служит река – основная водная артерия района, источник хозяйственно-питьевого водоснабжения населенного пункта, расположенного ниже по течению. В пределах поймы и первой надпойменной террасы распо-

ous waste may be removed using automated machinery or robotics [5, 6].

The waste removed from the storage facility would be subjected to conditioning, including: segregation by type, specific activity, radionuclide composition; volume reduction by additional processing or decontamination, incorporation into a matrix material (cement stone, glass-like matrix) and placement into containers (metallic drums, NZK reinforced concrete containers, etc.). Conditioned radwaste

would then be prepared for subsequent placement into regional repositories. New production areas should be provided for the performance of operations described above and for temporary buffer storage of the containers.

The method and cost of radwaste transportation will depend on the type and distance to the new storage facility. The most complex and costly operation during management of removed waste would be the construction of a new storage facility.

**STORAGE FACILITY ENTOMBMENT**

If the radionuclides are available in a water-soluble form, in order to ensure environmental safety of the storage facility they should be converted into non-soluble (or hardly soluble) chemical compounds. This is to be performed by interaction between the original compounds and chemical reagents.

Then, the full waste inventory would be incorporated into a new matrix material by re-concreting [3-4]. This method implies the following: drilling and arrangement of process boreholes in the stored waste; preparation and injection of a grouting mortar into the waste; studies of matrix material effectiveness; if necessary, re-injection of grouting mortar.

Re-concreting prevents ingress of atmospheric precipitation into the storage facility, contact of water with the matrix material and radionuclides and, consequently, deterioration of the matrix by hydration and washing, as well as leaching of radionuclides and hydraulic transport of fine particles [4].

In order to prevent destructive impact of natural external factors (primarily freeze-thaw cycles and atmospheric precipitation) upon the engineered barriers, a protective canopy is built above the storage facility [3, 4].

If host rock on the site is water-logged sandy, then an additional protective screen must be arranged – a water-proof barrier to protect the facility from lateral flooding by ground waters. The barrier is arranged by drilling boreholes and injection of grouting mortar into sandy rock, thus forming a water-proof wall.

After conservation of the storage facility, a monitoring system would be set up, including the drilling and arrangement of a network of wells for periodic collection and radiometric examination of water samples. Monitoring must remain in place until final decommissioning of the facility, when the radwaste that it accommodates will cease to be dangerous for the environment and human health.

**DECOMMISSIONING OPTIONS FOR KIROVO-CHEPETSK CHEMICAL PLANT FACILITIES**

This decommissioning strategy was used for determining the future of facilities located on the site of the former Kirovo-Chepetsk Chemical Plant, which had for an extended period of time been involved with uranium processing operations.

ложены хранилища РАО – приповерхностного типа, оборудованные бетонными инженерными барьерами или обвалованные глиной, а также шламохранилища.

Были рассмотрены все три варианта вывода или продления их эксплуатации (рис. 2), причем при частичном удалении РАО просчитывалось изъятие 2% и 15% объема отходов (варианты 2/1 и 2/2).

При рассмотрении вариантов все хранилища РАО были представлены как одно гипотетическое сооружение общей площадью 60 тыс. м<sup>2</sup> и глубиной 5 м. Все РАО – низкой и средней активности, не включенные в матричный материал. Защитные функции выполняются конструкциями хранилища и вмещающими породами.

С точки зрения экологической безопасности предпочтительным был признан вариант 2/2, позволяющий удалить 15% объема отходов с суммарной активностью 93%.

Оценку затрат на реализацию рассматриваемых вариантов выполнили с применением программы Win Смита NEO, приняв за основу цены ноября 2008 года. Для сопоставимости вариантов по временному фактору было принято, что срок реализации каждого сценария составит один год.

Экономические расчеты показывают, что наименьших затрат потребует реализация третьего варианта – консервация хранилища без изъятия РАО (см. таблицу). Осуществление сценариев, связанных с удалением части или всего объема РАО, ведет к возрастанию затрат, необходимых для повышения надежности объектов. При этом рост расходов прямо пропорционален объему изымаемых РАО.

Разработанные технические решения по обеспечению экологической безопасности хранилищ РАО КЧХК формируют основные направления обращения с изымаемыми и остающимися отходами.

Предложенную стратегию возможно реализовать и при выводе из эксплуатации других радиационно опасных объектов.

#### Литература / References:

1. Федеральная целевая программа «Обеспечение ядерной и радиационной безопасности на 2008 год и на период до 2015 года»: утверждена Постановлением Правительства РФ, июль 2007.
2. Шаталов В.В. Анализ количественного состава и качественного состояния накопленных РАО / В.В. Шаталов // Бюллетень по атомной энергии. – 2002. – №7.
3. Веселов Е.И. Обоснование оптимальной конструкции и толщины покрытия приповерхностного хранилища радиоактивных отходов / Е.И. Веселов, Л.Б. Прозоров // Атомная энергия. – 2008. – Т. 105, вып. 6. – С. 325–334.
4. Баринов А.С. Восстановление герметичности «исторических» хранилищ / А.С. Баринов, Е.И. Веселов, Л.Б. Прозоров, В.Ю. Флит // Безопасность окружающей среды. – 2006. – №3. – С. 38–40.
5. Волков В.Г. Ликвидация труднодоступного хранилища высокоактивных отходов РНЦ «Курчатовский институт» / В.Г. Волков, А.Г. Волкович, А.П. Иванов и др. // Атомная энергия. – 2008. – Т. 105, вып. 3. – С. 164–169.
6. Зверков Ю.А. Основные принципы организации, выбор стратегии и технологий реабилитации радиационно загрязненных объектов / Ю.А. Зверков, С.Г. Семенов, А.Д. Шиша // Атомная энергия. – 2009. – Т. 107, вып. 1. – С. 46–54.



Рис. 3. Консервация хранилища РАО / Fig. 3. Entombment of RW storage facility

On the west and north, the natural boundary of the Kirovo-Chepetsk Chemical Plant site is a river – the main waterway of the region, a source of drinking water for the local community, which is located downstream of the site. The floodplain of the river and the first terrace above it accommodate the radwaste storage facilities, which are near-surface type, fitted with concrete engineered barriers or embanked with clay, as well as sludge dumps.

All three options of decommissioning were considered, as well as the extension of operating life option (fig. 2), with assessments also made for partial removal of 2% and 15% of the waste inventory (options 2/1 and 2/2).

For consideration of the options, all stored radwaste was represented as a single hypothetical construction with 60 thousand m<sup>2</sup> total area and 5 m depth. All radwaste falls into the intermediate and low level categories and is not incorporated in a matrix material. Protective functions are performed by the structures of the facility and by host rock.

From the environmental safety viewpoint, option 2/2 was seen as the preferred one, allowing for removal of 15% of the waste, accounting for 93% of total activity.

Estimation of costs for implementation of the various considered options was performed using the Win Smeta NEO software package, setting November 2008 prices as basis. In order to provide a reasonable time framework for comparison between the options, it was assumed that the implementation of every option would take one year.

Estimation demonstrates that the one associated with least expenditures is option three, i.e. entombment of the storage facility without removal of any radwaste (see table). Implementation of any scenario associated with removal of some or all of the waste would lead to extra costs required to improve the reliability of the facility. The cost increase is in direct proportion to the amount of radwaste that is removed.

The technical solutions that have been developed to ensure environmental safety of the radwaste storage facilities on the site of the former Kirovo-Chepetsk Chemical Plant provide key directions for management of waste, both that to be retrieved and that to remain in the facility.

The proposed strategy may also be applied for decommissioning of other radiation sites.