

# СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОВЫШЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ХРАНИЛИЩ ПРИПОВЕРХНОСТНОГО ТИПА

А. А. Ильев, В. И. Титков, Е. С. Линецкий, Е. А. Ванина

ФГУП «РАДОН», Москва

Статья поступила в редакцию 18 декабря 2025 г.

Основной концепцией обращения с радиоактивными отходами (РАО), принятой в Госкорпорации «Росатом», является обеспечение экологической безопасности населения и окружающей среды [1], [2]. Анализ процессов, происходящих на территории пункта хранения радиоактивных отходов (ПХРО) НПК – СПФ ФГУП «РАДОН», показал, что в ходе эксплуатации хранилищ РАО приповерхностного типа под воздействием климатических, временных и техногенных факторов происходит постепенная деградация барьеров безопасности, приводящая к снижению их эффективности и росту дефицита безопасности. На основании этого были начаты работы по выводу из эксплуатации хранилищ данного типа, однако часть из них будет функционировать, что обуславливает необходимость проведения мероприятий по обеспечению их экологической безопасности. В статье представлены результаты обзора существующих методов и технологий снижения влияния естественных и техногенных факторов на хранилища приповерхностного типа, эксплуатируемых на территории НПК – СПФ ФГУП «РАДОН», и рекомендации по выбору перспективных направлений по обеспечению их экологической безопасности.

**Ключевые слова:** радиоактивные отходы, пункт хранения радиоактивных отходов, экологическая безопасность, барьеры безопасности, дефицит безопасности, приконтурная зона, мониторинг, противодиффузионная завеса, шпунтовое ограждение.

В НПК – СПФ ФГУП «РАДОН» накоплен значительный опыт по обеспечению экологической безопасности хранилищ приповерхностного типа. Эти знания получены в ходе многолетнего мониторинга процессов, происходящих непосредственно в хранилищах и их приконтурных зонах, а также оценки последствий проведенных в этих целях мероприятий. Они включали как работы по восстановлению функций отдельных защитных барьеров, так и комплексное воздействие на всю систему существующих барьеров безопасности, и были направлены на обеспечение максимальной защиты всех элементов хранилищ от воздействия техногенных, геолого-гидрогеологических и климатических

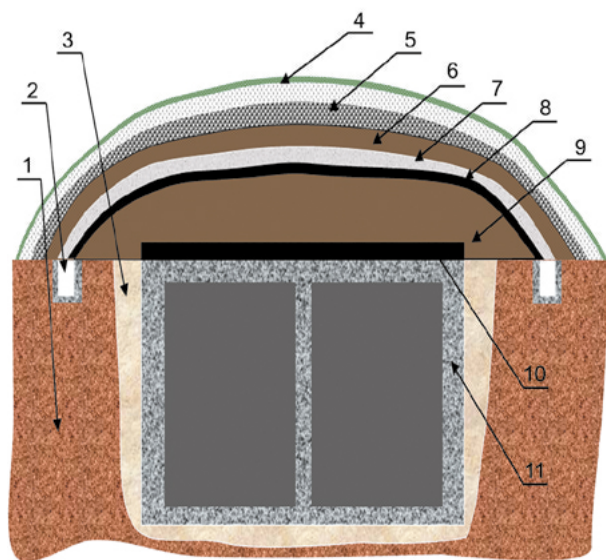
факторов с целью поддержания их экологической безопасности. Защита обеспечивается системой барьеров безопасности, включающей инженерные барьеры (ИББ) – строительные конструкции хранилища и защитные сооружения вокруг них, а также естественный барьер – вмещающий массив грунтов.

### Повышение эффективности барьеров безопасности

#### Повышение эффективности верхнего инженерного барьера хранилищ

В результате проведенных исследований было установлено, что верхний инженерный барьер (ВИБ), состоящий из железобетонных плит

перекрытия и уложенного на них асфальтового покрытия, со временем перестает обеспечивать надежную защиту хранилищ от проникновения в них воды различного происхождения и ее воздействия на размещенные в них матрицы РАО. Для решения данной проблемы в НПК — СПФ ФГУП «РАДОН» было разработано и применено специальное многофункциональное покрытие в виде многослойного курганного укрытия, состоящего из нескольких защитных слоев, исключающих влияние на хранилище внешних факторов (рис. 1). Оно перекрывает не только ВИБ, но и породы, образующие приконтурную зону, что уменьшает насыщение их водой и снижает влияние на барьеры безопасности сезонных температурных факторов (замораживание/оттаивание). Кроме того, многофункциональное покрытие затрудняет несанкционированное техногенное воздействие на хранилище, что в комплексе продлевает срок эффективной и безаварийной работы всей системы экологической безопасности ПХРО.



1 – грунты естественного сложения; 2 – дренажная система; 3 – нарушенные грунты приконтурной зоны (ближнее поле); 4 – почвенный слой (грунт, засеянный семенами газонной растительности и уложенный в георешетку для предотвращения сползания или смыва); 5 – дренарующий слой гравия, препятствующий проникновению грызунов и корней растений; 6 – слой материала «геотекстиль» для предотвращения размывания слоя глины; 7 – слой глины, препятствующий проникновению воды; 8 – геомембрана, отводящая воду; 9 – слой максимально уплотненной и выровненной глины (суглинка) для создания необходимого уклона (в центре возводимого покрытия), обеспечивающего сброс воды; 10 – слой асфальта; 11 – плиты перекрытия хранилища

Рис. 1. Принципиальная схема многофункционального покрытия

Многолетний мониторинг доказал высокую эффективность многофункционального покрытия,

а использование для него современных материалов повысит технологичность его создания.

Анализ современных материалов и технологий, применяемых для гидро- и термоизоляции строительных и других конструкций, позволил выявить наиболее перспективные для внедрения в условиях ПХРО — это бентонитовые маты, производимые российской фирмой ООО «БентИзол» [3], [4], представляющие собой геосинтетические гидроизоляционные материалы рулонного типа, изготавливаемые на основе природной бентонитовой глины.

Они широко используются для горизонтальной и вертикальной гидроизоляции подземных и заглубленных частей зданий и сооружений, а также в качестве противофильтрационных экранов — защитного слоя от попадания в почву и грунтовые воды загрязняющих веществ. Бентонитовые маты обладают высокими сорбционными и гидроизоляционными свойствами, прочностью, устойчивостью к повреждениям и гибкостью на протяжении всего периода эксплуатации. Они имеют иглопробивной каркас, состоящий из слоев тканого и нетканого геотекстиля и расположенных между ними бентонитовых гранул. В их состав входят:

- тканый геотекстиль, обладающий повышенной прочностью, малой деформированностью и низкой водопроницаемостью и выполняющий функцию армирования;
- нетканый геотекстиль, который служит для разделения и дренирования, а также быстрого и равномерного распределения влаги;
- бентогранулы, являющиеся экологически чистым природным сорбентом.

Кроме того, скрепление слоев бентомата иглопробивным способом обеспечивает высокую прочность конструкции и фиксацию равномерного распределения гранул на протяжении всего периода эксплуатации.

По данным производителя, бентонитовые маты обладают уникальными свойствами, такими как:

- самовосстановление;
- высокие гидроизоляционные свойства;
- высокая прочность, устойчивость к разрыву и повреждениям;
- экологичность;
- морозоустойчивость;
- устойчивость к промерзанию и оттаиванию;
- долговечность (материал не подвержен старению);
- простота укладки и подготовки основания.

Важным свойством бентонитовых матов является то, что при взаимодействии со строительными конструкциями хранилища они будут

кольматируют контактирующие с ними детали из бетона или цементно-песчаного раствора, увеличивая их стойкость к увлажнению. Материал бентонитовых матов также стоек к агрессивным средам (рН от 1,0 до 11,0) и не способствует развитию и росту плесневых грибов.

### *Повышение эффективности естественного барьера*

В ходе анализа результатов многолетних исследований, проведенных НПК — СПФ ФГУП «РАДОН», было установлено, что при снижении эффективности всей системы безопасности хранилища существенно возрастает роль естественного барьера, поскольку он является основным в долгосрочном периоде и его эффективность в значительной степени предопределяет безопасность эксплуатации ПХРО данного типа. Естественный барьер состоит из дальнего поля (грунтов природного сложения) и ближнего поля (приконтурная зона) — нарушенных грунтов обратной засыпки, расположенных между заглубленными стенками хранилища и стенками котлована, который сооружается перед строительством. Коэффициент фильтрации грунтов приконтурной зоны составляет в среднем  $10^{-2}$  м/сут, в то время как для ненарушенного суглинка (дальнего поля), которым представлены породы на территории ПХРО, он меньше на несколько порядков.

Проведенный анализ информации по существующим технологиям и методам, которые могут быть использованы для повышения эффективности ближнего поля естественного барьера по предотвращению контакта грунтовых вод с заглубленными строительными конструкциями хранилища (ИББ), показал, что в условиях ПХРО наиболее перспективно применение комплексной технологии. Она включает создание в приконтурной зоне противофильтрационной завесы, состоящей из инженерного барьера в виде «стена в грунте», и снижение проницаемости слагающих ее пород. Основную защитную функцию в этой завесе выполняет ИББ, а естественный барьер — грунты, расположенные между ним и стенами хранилища, прошедшие модификацию и обладающие пониженной проницаемостью, — компенсирует все возможные дефекты этого инженерного барьера.

### *Стена в грунте*

Создаваемая «стена в грунте» (противофильтрационная завеса) — это искусственная преграда, предназначенная для предотвращения как контакта строительных конструкций

хранилища с грунтовыми водами, так и распространения загрязняющих веществ в них и почве при нарушении целостности строительных конструкций хранилища. В общем виде «стена в грунте» — это своеобразный забор, выстроенный из идентичных элементов: шпунтов, свай или железобетонных конструкций, заглубленных в грунты и объединенных друг с другом. Такая конструкция способна надежно изолировать заглубленные строительные конструкции хранилища от воздействия внутренних и внешних факторов [5], [6].

Анализ используемых в настоящее время технологий создания «стены в грунте», предназначенной для удержания откосов при строительстве, а также для локализации отдельных породных участков, показал, что наибольшее распространение имеют шпунтовые и свайные технологии [5], [6].

### *Шпунтовая «стена в грунте»*

При создании «стены в грунте» используются шпунты, которые могут быть металлическими, полимерными, полимерно-композитными (армированными) и железобетонными.

**Металлические шпунты.** В настоящее время в строительстве и при проведении земляных работ различного назначения наиболее широко применяются шпунты из углеродистой стали в виде различных стандартных профилей, а также специально разработанные трубошпунты и шпунты Ларсена (ГОСТ 27772-2021).

Шпунты стандартных профилей в виде двутавров, швеллеров и труб используются при сооружении объектов различного назначения для поддержания стенок котлованов, заложенных в необводненных или малообводненных песчаных и глинистых породах. Созданная с их помощью «стена в грунте» (подпорная стенка) обладает большой устойчивостью ко всем видам нагрузок, но ее недостатком является невозможность обеспечения герметичности без проведения больших объемов земляных работ. Это объясняется тем, что водонепроницаемость такой конструкции может быть гарантирована только сваркой отдельных секций, а это практически не осуществимо без непосредственного доступа к ним после окончательного заглубления. В то же время «стена в грунте», созданная с использованием специально разработанных трубошпунтов и шпунтов Ларсена, при соблюдении технологии может отвечать самым высоким требованиям по герметичности. Рассматривая технические особенности применения этих шпунтов, следует отметить, что замковые соединения трубошпунтов локальные, а у

шпунтов Ларсена они расположены по всей его длине, что значительно повышает вероятность создания герметичного ограждения без проведения дополнительных изоляционных работ. Еще одним недостатком технологии применения трубошпунтов в условиях ПХРО является то, что сооружение стены с их использованием без проведения вспомогательных земляных работ предусматривает ударный способ монтажа, а возникающие при этом значительные динамические нагрузки на грунт могут отрицательно сказаться на целостности строительных конструкций хранилища и функционировании барьеров безопасности. Таким образом, рассмотрев геологические, технические и организационные аспекты применения методов создания «стены в грунте», можно сделать вывод, что для технологических и организационных особенностей, а также геологических условий и характеристик пород, слагающих приконтурные зоны эксплуатируемых на территории ПХРО хранилищ, наиболее перспективным является использование шпунтов Ларсена (рис. 2) [6].

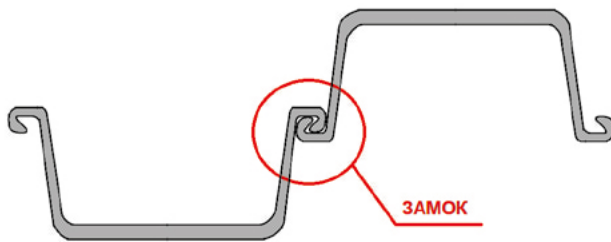


Рис. 2. Конструкция шпунта Ларсена и его замка

Шпунт Ларсена — это металлический корытообразный профиль, края которого (по всей длине) оснащены зацепами — замками, позволяющими надежно скреплять отдельные шпунты между собой, что обеспечивает возможность создания герметичной стены.

Достоинства шпунта Ларсена:

- высокая прочность;
- большая эффективность, в том числе и при техногенных воздействиях;
- возможность многократного применения;
- универсальность — подходит для использования в грунтах различного типа;
- стойкость к окислительным процессам.

Большим преимуществом шпунтов Ларсена является удобство их использования в условиях ПХРО при изоляции исторических хранилищ с отдельными локальными выходами загрязнений за внешний контур. В шпунтовом ограждении конструктивно предусмотрена возможность применения поворотных элементов, что позволяет создавать сложные в

плане конфигурации стены и оконтуривать не только само хранилище, но и выявленные загрязненные участки за его пределами, что, в свою очередь, позволит предотвратить дальнейшее распространение загрязнения вмещающих пород.

К недостаткам шпунта Ларсена относятся высокая стоимость, сложность монтажа и отсутствие пластичности.

**Монтаж шпунта Ларсена.** В зависимости от конкретных технических, технологических и геологических условий непосредственно в месте установки шпунт Ларсена может монтироваться как отдельными шпунтами, так и цельными секциями по 2—3 шпунта одновременно.

**Методы погружения шпунтов:**

- ударный, с использованием копровой установки;
- вибропогружной, при помощи вибропогружателя;
- статическое вдавливание.

Непосредственно в условиях ПХРО наиболее применим последний способ. Это объясняется тем, что приконтурные зоны хранилищ сложены, как правило, техногенными грунтами и применение ударного и вибропогружного способов, оказывающих значительное динамическое воздействие на грунт, может оказать негативное воздействие на строительные конструкции хранилища, функционирование ИББ и, соответственно, на экологическую ситуацию в месте проведения работ. В то же время, в отдельных случаях, в условиях однородных грунтов возможно применение и более производительной технологии — вибропогружной.

На рынке представлены разные модели шпунтов Ларсена, отличающиеся длиной, шириной, толщиной профиля и даже формой, что позволяет подобрать самый подходящий вариант для сооружения стены в каждом конкретном случае.

Наиболее широко данный вид шпунта применяется для изоляции объектов в обводненных песчаных породах и суглинках.

**Полимерные шпунты.** Полимерные шпунты и их модификация — полимерно-композитные (армированные) шпунты — выступают альтернативой металлическим конструкциям. Они дешевле, имеют меньший вес, что значительно упрощает логистику и сокращает сроки монтажно-демонтажных работ, а следовательно, затраты. Другими положительными факторами этих шпунтов являются:

- высокая коррозионная стойкость;
- стойкость к агрессивным химическим средам;
- низкие показатели фильтрации замкового соединения;
- отсутствие эксплуатационных затрат.

Полимерно-композитные шпунты и, особенно, шпунты Ларсена ПХВ, разработанные в последнее время, довольно широко используются в системе «Росатома» при сооружении различных объектов. Однако в условиях ПХРО область их применения ограничивается необходимостью проведения большого объема подготовительных вскрышных земляных работ.

**Железобетонные шпунты.** В настоящее время использование железобетонных шпунтов ограничено специальными работами, поэтому информация о них практически не представлена в современной технической литературе. Они образуют ограждение из армированных железобетонных блоков различных размеров и конфигураций. Края каждого из них имеют пазы, предназначенные для соединения в единую конструкцию. Недостатками такого шпунтового ограждения являются: большой вес, возможность нарушения целостности (появления трещин) при механических воздействиях и сложность логистики, а также большой объем подготовительных и заключительных работ.

**Свайная стена в грунте.** В настоящее время в строительстве распространение получили следующие типы свайных ограждений:

- буронабивная стена в грунте, состоящая из множества армированных и неармированных буронабивных свай, выполненных из монолитного бетона;
- монолитная бетонная стена в грунте, составленная из отдельных секций (захваток), плотно сопряженных между собой;
- глино-бентонитовые экраны.

Анализ результатов применения этих технологий показал, что в конкретных условиях ПХРО их использование связано с образованием в процессе проведения работ большого количества загрязненных материалов, подлежащих изоляции, а также сложностью и, соответственно, дороговизной создания стены надлежащего качества. Кроме того, при выводе из эксплуатации хранилища, вокруг которого она была установлена, большой проблемой будут являться демонтаж и удаление уже загрязненных свай, составляющих эту стену. Таким образом, принятие решения о применении какой-либо из этих технологий должно основываться на экономической целесообразности.

### Модификация грунтов приконтурной зоны

Как уже отмечалось, защитные свойства создаваемой противодиффузионной завесы могут быть повышены при специальной обработке грунтов ближнего поля, непосредственно

примыкающих к хранилищу, осуществляемой с помощью их модификации [7].

Проведенный анализ методов понижения проницаемости грунтов данным путем показал, что в настоящее время в основном применяются пять: цементация, глинизация, силикатизация, смолизация и модификация специальными полимерными составами. Наиболее перспективным для геолого-гидрогеологических и технологических условий, характерных для ПХРО, является последний из них [7].

На практике используются два основных метода осуществления модификации: с разрушением массива грунтов и без его разрушения. Для условий ПХРО наиболее перспективной технологией является последняя, поскольку при ее применении не образуются отходы в виде загрязненных радионуклидами пород. В ее основе — нагнетание под давлением через систему технологических скважин в модифицируемые грунты модифицирующего раствора, который, проникая в породы, взаимодействует с ними и уменьшает их водопроницаемость, что значительно снижает возможность миграции и выхода радионуклидов в окружающую среду. В условиях ПХРО данная технология позволяет обеспечить поддержание и повышение эффективности функционирования естественного барьера путем создания противодиффузионного экрана (барьера безопасности) на базе самих этих пород за счет снижения их проницаемости непосредственно у защищаемого объекта. Кроме того, этот метод практически не сказывается на породах вмещающего массива, имеет меньшую трудоемкость и может оперативно осуществляться собственными силами предприятия, что позволяет своевременно реагировать на возникновение нештатных ситуаций.

В общем виде оборудование для закачки технологического раствора включает емкость с подготовленным модифицирующим раствором и нагнетательный насос. Для контроля и регулирования давления поступающего раствора используются манометр и регулятор давления.

В НПК — СПФ ФГУП «РАДОН» были проведены сравнительные лабораторные исследования и опытно-промышленные работы по оценке эффективности различных модификаторов: на основе хлористого натрия, полимерных модификаторов LBS (США), Акрилана 103 и ГКЖ-11Н [7] (табл. 1).

Определение коэффициента фильтрации проводилось методом экспресс-налива по методике В. М. Шестакова [8] в два этапа: в исходном состоянии (до нагнетания раствора в скважины) и через 120 часов после этого. Параметры,

**Таблица 1. Сравнение эффективности модификаторов на базе растворов хлористого натрия, LBS, Акрилана 103 и ГКЖ-11Н, имеющих оптимальные концентрации**

Вид модификатора	Концентрация модификатора в растворе	Степень снижения $K_{\phi}$	Радиус зоны снижения $K_{\phi}$ , м	Стоимость 1 м <sup>3</sup> раствора, руб.
Хлористый натрий	5 кг/м <sup>3</sup>	99	0,3	50
LBS	150 л/м <sup>3</sup>	3 110	0,85	135 000
Акрилан 103	300 л/м <sup>3</sup>	5 400	0,5	43 800
ГКЖ-11Н	100 л/м <sup>3</sup>	6 205	0,5	8 500

представленные в табл. 1, показывают, что производительность технологического раствора на базе хлористого натрия крайне низкая и он не рекомендуется для использования, а растворы на основе модификаторов LBS, Акрилан 103 и ГКЖ-11Н оптимальной концентрации эффективны и могут быть широко применимы. Так, при использовании этих модификаторов коэффициент фильтрации грунтов приконтурной зоны хранилища был снижен со средних значений  $10^{-2}$  до  $10^{-5}$  м/сут, что сопоставимо с величиной этого параметра для суглинков естественного сложения, а это позволяет констатировать создание эффективного противofильтрационного экрана, практически исключая миграцию радионуклидов из загрязненного участка в окружающие породы. В то же время, рассматривая целесообразность и эффективность широкого применения этих модификаторов по критерию «цена — качество», можно прийти к заключению, что наиболее предпочтительным является использование производимого в России модификатора ГКЖ-11Н.

## Заключение

На основании изложенного можно сделать вывод, что экологическая безопасность исторических хранилищ РАО приповерхностного типа может поддерживаться в течение длительного времени путем оперативного восстановления функций существующих защитных барьеров, а также внедрением новых ИББ на базе современных разработок, обеспечивающих комплексную изоляцию хранилища от окружающей среды.

Это сочетание барьеров должно включать многофункциональное покрытие поверхности ПХРО, создание противofильтрационной завесы, включающей в приконтурной зоне шпунтовую «стену в грунте», ооконтуривающую все выявленные загрязненные участки за его

пределами, и модифицированные грунты пониженной проницаемости между хранилищем и шпунтовой стеной.

Положительный эффект модификации грунтов при шпунтовой стене достигается еще и тем, что она осуществляется в ограниченном пространстве, а это обеспечивает их лучшую пропитку и модификацию подстилающих грунтов. Модифицированные даже по контуру хранилища грунты снизят влияние грунтовых вод на строительные конструкции дна хранилища, что повысит эффективность всей системы его экологической безопасности.

Анализ литературных источников и результатов проведенных работ позволяет сделать выводы, приведенные ниже.

1. Экологическая безопасность исторических хранилищ РАО приповерхностного типа может быть достигнута комплексной защитой всех их элементов от воздействия техногенных, геолого-гидрогеологических и климатических факторов. Такая изоляция должна включать многофункциональное покрытие их поверхностей и создание противofильтрационной завесы, включающей шпунтовую стену в грунтах приконтурной зоны, с локализацией ею всех выявленных загрязненных участков, и модифицированные грунты между стенками хранилища и этой стеной.

2. Наиболее предпочтительным является создание «стены в грунте» шпунтами Ларсена, что позволит с наибольшей вероятностью обеспечить охват ею всех загрязненных участков в приконтурной зоне, максимальную водонепроницаемость и предотвратит дальнейшее распространение загрязнения грунтов, а также облегчит демонтаж этой стены при выводе хранилища из эксплуатации.

3. Анализ литературных источников показал, что грунты, прошедшие модификацию, обладают свойством ослабления проникающей радиации. Эта их особенность позволяет рекомендовать данную технологию для локализации загрязненных участков, удаление грунта из которых представляет определенные трудности.

4. Разработанная комплексная технология обеспечения экологической безопасности окружающей среды на примере приконтурных зон хранилищ РАО приповерхностного типа может представлять интерес и быть полезной для других предприятий Госкорпорации «Росатом», эксплуатирующих подобные объекты, а также занимающихся локализацией и дезактивацией загрязненных участков. По нашему мнению, эта методика и ее компоненты могут стать составной частью комплексной технологии повышения экологической безопасности обращения

не только с радиоактивными, но и с другими экологически опасными отходами, контактирующими с породными массивами.

### Литература

1. ГОСТ Р 52037-2003. Могильники приповерхностные для захоронения радиоактивных отходов. Общие требования. — М. : ИПК Издательство стандартов, 2003. 24 с.

2. НП-055-04. Захоронение радиоактивных отходов. Утверждены постановлением Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 19 октября 2004 г. № 8.

3. Обоснование выбора барьерных глинистых материалов, применяемых при реализации проектов на заключительной стадии жизненного цикла объектов использования атомной энергии : Отчет по Договору № 335/7315-Д от 20 июля 2022 г. (заключительный). Книга 1. / М. : МГУ имени М. В. Ломоносова, 2022. 214 с.

4. СТО 87299967.202-2020. По применению бентонитосодержащих материалов производства БентИзол. Стандарт организации. — Курган, 2020. 22 с.

5. Адамович А. Н. Закрепление грунтов и противодиффузионные завесы в гидротехническом строительстве. — М. : Энергия, 1980. 320 с.

6. СТО-ГК «Трансстрой»-0019-2007. Стандарт организации. Шпунт типа «Ларсен». Применение в транспортном строительстве. — М. : «Трансстрой», 2007. 24 с.

7. Ванина Е. А. Ильев А. А. Титков В. И., Хрипач И. В. Линецкий Е. С. Анализ опыта применения технологии модификации грунтов приконтурных зон хранилищ приповерхностного типа // Радиоактивные отходы. 2023. № 1 (22). С. 38–44. DOI: 10.25283/2587-9707-2023-1-38-44.

8. Опытнo-фильтрaционные работы. / Под ред. Р. М. Шестакова, Д. Н. Башкатова. — М. : «Недра», 1974. 204 с.

---

### Информация об авторах

*Ильев Андрей Александрович*, начальник участка, ФГУП «РАДОН» (119121, Москва, 7-й Ростовский пер., д. 2/14), e-mail: AAIljev@radon.ru.

*Титков Владимир Иванович*, кандидат технических наук, e-mail: titkovradon@mail.ru.

*Линецкий Евгений Сергеевич*, ведущий инженер, ФГУП «РАДОН» (119121, Москва, 7-й Ростовский пер., д. 2/14), e-mail: ESLinetsky@radon.ru.

*Ванина Елена Александровна*, доктор физико-математических наук, профессор, ученый секретарь, ФГУП «РАДОН» (119121, Москва, 7-й Ростовский пер., д. 2/14), e-mail: EAVanina@radon.ru.

### Библиографическое описание статьи

Ильев А. А., Титков В. И., Линецкий Е. С., Ванина Е. А. Современные технологии повышения экологической безопасности хранилищ приповерхностного типа // Радиоактивные отходы. 2026. № 1 (34). С. 46–53. DOI: 10.25283/2587-9707-2026-1-46-53.

---

## MODERN TECHNOLOGIES ENHANCING THE ENVIRONMENTAL SAFETY OF NEAR-SURFACE STORAGE FACILITIES

Ilyev A. A., Titkov V. I., Linetsky E. S., Vanina E. N.

FSUE "RADON", Moscow, Russia

Article received on December 18, 2025

*The main radioactive waste management concept adopted by ROSATOM is to ensure the environmental safety of the population and the environment. The processes taking place on the territory of radioactive waste storage facility*

(RWSF) RPC – SPB FSUE RADON (hereinafter – RWSF) were studied and it was shown that operation of near-surface RW storage facilities along with the influence of climatic, temporal and man-made factors results in gradual degradation of safety barriers decreasing their efficiency and increasing the safety deficit of storage facilities. Therefore, decommissioning of such storage facilities was started. However, some of them will be operated until their compete decommissioning, which necessitates certain efforts to ensure their environmental safety. The article overviews the existing methods and technologies reducing the impact of natural and anthropogenic factors on near-surface storage facilities operated in the territory of RWSF and provides certain recommendations regarding the selection of priority areas contributing to their environmental safety.

**Keywords:** radioactive waste, radioactive waste storage facility, environmental safety, safety barriers, safety deficiency, border zone, monitoring, cutoff wall, sheet pile fencing.

## References

1. GOST R 52037-2003. *Mogil'niki pripoverkhnostnyye dlya zakhroneniya radioaktivnykh otkhodov. Obshchiye trebovaniya* [Shallow ground (near surface) repository for radioactive waste disposal. General requirements]. Moscow, IPK Izdatel'stvo standartov Publ., 2003. 24 p.
2. NP-055-04. *Zakhroneniye radioaktivnykh otkhodov* [Radioactive Waste Disposal]. Approved by the Decree No. 8 of the Federal Environmental, Technological and Nuclear Supervision Service dated October 19, 2004.
3. *Otchet po Dogovoru No. 335/7315-D ot 20 iyulya 2022 g. "Obosnovaniye vybora bar'yernykh glinistykh materialov, primenyayemykh pri realizatsii projektov na zaklyuchitel'noy stadii zhiznennogo tsikla ob'yektov ispol'zovaniya atomnoy energii" (zaklyuchitel'nyy). Kniga 1* [Report on Contract No. 335/7315-D of July 20, 2022 Supporting the Selection of Clay Barrier Materials for the Implementation of Projects at the Final Stages of the Nuclear Facilities' Life Cycle (final). Book 1]. Moscow, Lomonosov Moscow State University Publ., 2022. 214 p.
4. STO 87299967.202-2020. *Po primeneniyu bentonitosoderzhashchikh materialov proizvodstva BentIzol. Standart organizatsii* [On the use of bentonite-containing materials produced by BentIzol. Organization standard]. Introduced on 2020-01-04. Kurgan, 2020. 22 p.
5. Adamovich A. N. *Zakrepleniye gruntov i protivofil'tratsionnyye zavesy v gidrotekhnicheskom stroitel'stve* [Soil stabilization and cutoff curtains in hydraulic engineering]. Moscow, Energia Publ., 1980. 320 p.
6. STO-GK Transstroy-0019-2007. *Standart organizatsii. Shpunt tipa «Larsen»*. *Primeneniye v transportnom stroitel'stve* [Organization standard. Larsen-type sheet piles. Application in transport construction]. Moscow, Transstroy Publ., 2007. 24 p.
7. Vanina E. A., Ilyev A. A., Titkov V. I., Khripach I. V., Linetsky E. S. *Analiz opyta primeneniya tekhnologii modifikatsii gruntov prikonturnykh zon khranilishch pripoverkhnostnogo tipa* [Soil modification method in the border zones of surface-type storage facilities and experience of its application]. *Radioaktivnyye otkhody – Radioactive Waste*, 2023, no. 1 (22), pp. 38–44. DOI: 10.25283/2587-9707-2023-1-38-44.
8. *Opytno-fil'tratsionnyye raboty* [Groundwater inflow testing]. Edited by R. M. Shestakov, D. N. Bashkatov. Moscow, Nedra Publ., 1974. 204 p.

---

## Information about the authors

Ilyev Andrey Alexandrovich, head of the site, FSUE “RADON” (2/14, 7th Rostov lane, Moscow, 119121, Russia), e-mail: AAIlyev@radon.ru.

Titkov Vladimir Ivanovich, Candidate of Technical Sciences, e-mail: titkovradon@mail.ru.

Linetsky Evgeny Sergeevich, Leading Engineer, FSUE “RADON” (2/14, 7th Rostov lane, Moscow, 119121, Russia), e-mail: ESLinetsky@radon.ru.

Vanina Elena Aleksandrovna, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Scientific Secretary, FSUE “RADON” (2/14, 7th Rostov lane, Moscow, 119121, Russia), e-mail: EAVanina@radon.ru.

## Bibliographic description

Ilyev A. A., Titkov V. I., Linetsky E. S., Vanina E. N. Modern Technologies Enhancing the Environmental Safety of Near-Surface Storage Facilities. *Radioactive Waste*, 2026, no. 1 (34), pp. 46–53. DOI: 10.25283/2587-9707-2026-1-46-53. (In Russian).