DOI: 10.25283/2587-9707-2026-2-94-101 УДК 621.039.75

СООРУЖЕНИЕ ИНЖЕНЕРНЫХ БАРЬЕРОВ БЕЗОПАСНОСТИ ПУТЕМ МОДИФИКАЦИИ ГРУНТОВ ПРИКОНТУРНЫХ ЗОН ХРАНИЛИЩ ПРИПОВЕРХНОСТНОГО ТИПА

А. А. Ильев, И. В. Хрипач, Е. А. Ванина

ФГУП «РАДОН», Москва

Статья поступила в редакцию 23 декабря 2025 г.

В статье рассмотрен опыт ФГУП «РАДОН» по сооружению инженерных барьеров безопасности (ИББ) путем нагнетания под давлением модифицирующего раствора в грунты приконтурных зон хранилищ через систему технологических скважин с целью обеспечения их экологической безопасности. Этот раствор, проникая в породы, взаимодействует с ними и обеспечивает снижение их водопроницаемости, что позволяет создать практически водонепроницаемые инженерные барьеры любой конфигурации, позволяющие, при расположении скважин по контуру участков загрязнения, локализовать радионуклиды в их границах. В статье представлены результаты опытно-промышленных работ по сооружению двух ИББ с использованием технологических растворов модификаторов LBS и Акрилан 103, а также приведена методика лабораторных испытаний по оценке эффективности действия модификаторов, производимых на физической модели процесса модификации грунтов.

Ключевые слова: *радиоактивные отходы, модификация грунтов, хранилища радиоактивных отходов приповерхностного типа, технологические скважины, модифицирующий раствор, коэффициент фильтрации.*

Одним из основополагающих принципов обеспечения безопасности при обращении с радиоактивными отходами (РАО), включая их хранение и захоронение, в том числе в долгосрочной перспективе, является принцип многобарьерной защиты, основными элементами которой являются ИББ, предназначенные для ограничения распространения ионизирующего излучения и радионуклидов в окружающую среду. Согласно НП-020-15 [1] хранение ТРО должно производиться на предназначенных для этой цели стационарных объектах (в хранилищах), оснащенных системой барьеров, предотвращающих поступление радионуклидов в окружающую среду в количествах выше пределов, установленных в соответствии с нормативными требованиями. Система барьеров безопасности включает комплекс инженерных барьеров и природный геологический барьер.

Анализ такой системы, приведенный в работе [2], показывает, что в качестве ИББ применяются:

- упаковка РАО и ее элементы (форма отходов, контейнер);
- строительные конструкции хранилища и их отдельные части;
- буферные материалы, используемые для заполнения пустот, образующихся при размещении упаковок РАО в хранилище;
- подстилающий экран, предназначенный для гидроизоляции хранилища от подземных вод и предотвращения распространения

радионуклидов в подстилающих его грунтах, что достигается за счет наличия в данном барьере гидроизоляционно-сорбционных слоев;

- покрывающий экран, предназначенный для гидроизоляции хранилища от поверхностных вод и проникновения радионуклидов в окружающую среду, защиты хранилища от проникновения животных, корней растений, а также от непреднамеренного вторжения человека.

В качестве естественных барьеров используются несущие (используемые в качестве основания сооружений) и вмещающие (в которых они размещаются) горные породы. Естественные барьеры безопасности должны ограничивать контакт подземных вод с ИББ и распространение радионуклидов в ближней зоне хранилища, в том числе при нарушении целостности инженерных барьеров.

Система барьеров безопасности хранилищ полузаглубленного и заглубленного типов представлена на рис. 1.

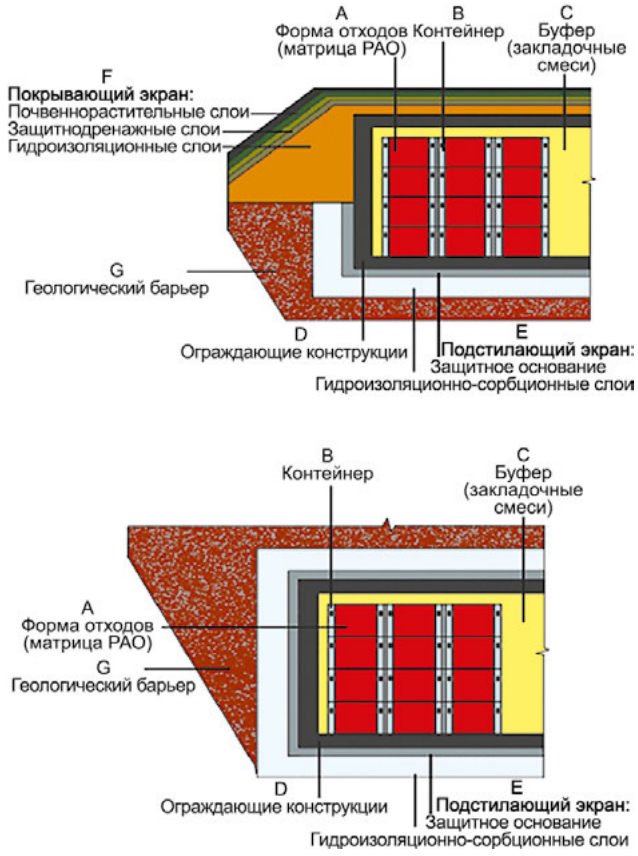

Рис. 1. Система барьеров безопасности хранилищ полузаглубленного и заглубленного типов [2]

Одним из ИББ, входящих в систему барьеров безопасности хранилищ, является подстилающий экран, предназначенный для предотвращения распространения радионуклидов в горные породы. Их создание на стадии строительства не представляет трудности. Однако на этапе их эксплуатации реализация подобных барьеров весьма проблематична. При отсутствии в системе ИББ подстилающего экрана увеличивается вероятность распространения радионуклидов в грунтах приконтурных зон хранилищ, которые расположены между стенами хранилища и котлована, сооружаемого при строительстве. Коэффициент фильтрации данных грунтов достаточно велик и может составлять 10^{-2} м/сут, в то время как для ненарушенного суглинка, которым представлен вмещающий геологический массив, он составляет тысячные доли от приведенной величины.

Состояние грунтов и грунтовых вод приконтурных зон хранилищ контролируется системой скважин системы мониторинга.

Мониторинг позволяет оценивать радиационную обстановку в грунтах и грунтовых водах приконтурных зон хранилищ. При ее изменении требуется вмешательство с целью предотвращения распространения загрязнений. Данная задача может быть решена путем сооружения дополнительных ИББ. При этом, с учетом оперативного характера вмешательства, технология их сооружения должна быть относительно простой, мобильной и производиться имеющимися техническими средствами. Анализ современных способов создания подобных инженерных барьеров [3]—[6], [8]—[10], [13]—[19] показал, что данным требованиям наиболее полно соответствует метод модификации грунтов приконтурных зон хранилищ, разработанный на НПК — СПФ ФГУП «РАДОН» [7], [12].

В его основе — нагнетание модифицирующего раствора под давлением через систему технологических скважин в грунты приконтурной зоны, который взаимодействует с ними и обеспечивает снижение их водопроницаемости, что препятствует выходу радионуклидов в окружающую среду и обеспечивает их локализацию в границах существующих ореолов загрязнения. Данная методика не требует разрушения массива грунтов, применения тяжелой техники и может производиться имеющимися техническими средствами.

Конструкция технологических скважин и схема расположения оборудования в процессе производства работ показаны на рис. 2.

Технологическая скважина (1) оборудуется обсадной трубой (2), которая имеет фильтр и фланец. Для ее соединения с нагнетательным шлангом используется патрубок с фланцем (3). В целях герметизации скважины на ее устье сооружается изолирующий замок (4). Бурение скважины производится до заглубления забоя в грунты вмещающего массива на 1 м.

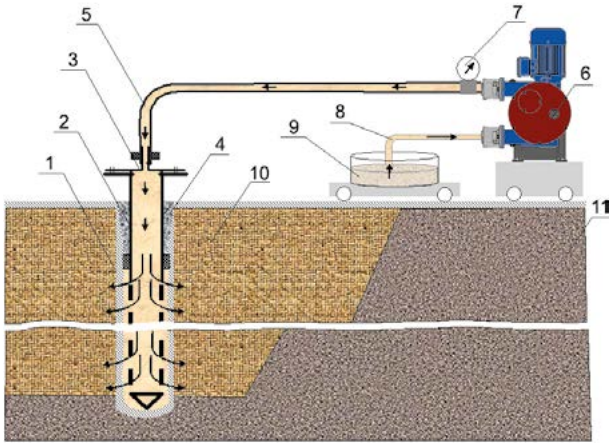

Рис. 2. Конструкция скважины и схема расположения технологического оборудования [7]:
1 — технологическая скважина; 2 —труба с щелевым фильтром и фланцем; 3 — патрубок с фланцем; 4 — изолирующий замок; 5 — нагнетательный шланг; 6 — насос; 7 — манометр; 8 — всасывающий шланг; 9 — емкость с модифицирующим раствором; 10 — грунты приконтурной зоны; 11 — грунты вмещающего массива

Технологическое оборудование включает емкость с модифицирующим раствором (9), закачка которого в скважину производится с помощью насоса (6) через нагнетательный шланг (5). Их соединение осуществляется с помощью патрубка (3). Для контроля давления нагнетаемого раствора используется манометр (7). За счет избыточного давления, создаваемого насосом, технологический раствор проникает в поры грунта. Снижение его водопроницаемости происходит за счет физико-химических процессов между раствором и грунтом. Вокруг скважины создается объем грунта, имеющий пониженные фильтрационные свойства, высотой, равной ее глубине, и определенным радиусом, величина которого зависит от вида модификатора, его концентрации в технологическом растворе и определяется в ходе лабораторных работ, производимых на физической модели процесса. Линейное расположение скважин на расстоянии, составляющем не более двух радиусов зоны снижения коэффициента фильтрации, дает возможность создать в грунте приконтурной зоны хранилища практически водонепроницаемый инженерный барьер любой конфигурации, позволяющий, при расположении скважин по контуру участка загрязнения, локализовать радионуклиды в границах существующих ореолов загрязнения (рис. 3).

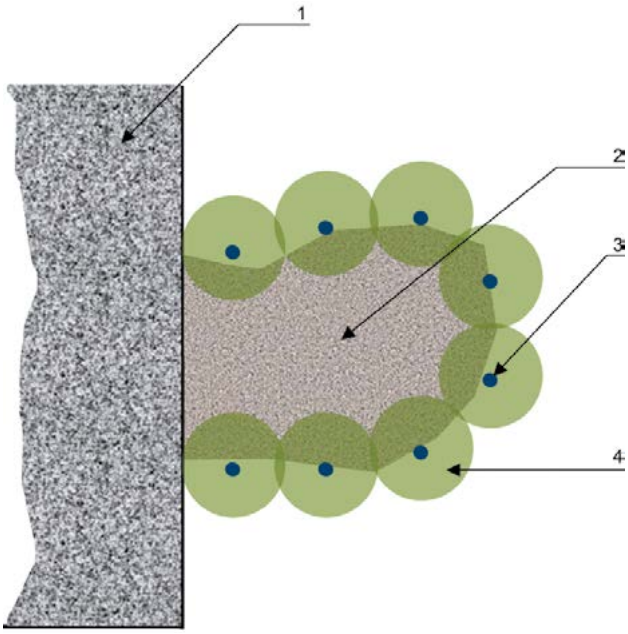

Рис. 3. Схема расположения технологических скважин [12]:
1 — хранилище; 2 — участок загрязнения; 3 — технологическая скважина; 4 — зона снижения коэффициента фильтрации

На НПК — СПФ ФГУП «РАДОН» производились опытно-промышленные работы по сооружению двух ИББ путем модификации грунтов приконтурной зоны хранилища ХТО-18. При этом использовались технологические растворы полимерных дисперсий LBS и Акрилан 103. На основании результатов лабораторных исследований расстояние между скважинами было установлено в 1 м. Определение коэффициента фильтрации грунтов сооружаемых ИББ осуществлялось методом экспресс-наливов в технологические скважины по методике Р. М. Шестакова [11] и проводилось в два этапа: в исходном состоянии (до нагнетания модифицирующего раствора) и после этого. Результаты опытно-промышленных работ показаны в табл. 1.

Результаты опытно-промышленных работ, выполненных с использованием технологических растворов модификаторов LBS и Акрилан 103, показывают, что снижение коэффициентов

Таблица 1. Результаты опытно-промышленных работ

Место проведения работ	Количество технологических скважин в барьере	Вид модификатора	Концентрация модификатора в растворе, л/м^3	Коэффициент фильтрации, м/сут		Степень снижения коэффициента фильтрации
				До модификации	После модификации	
ХТО-18	5	LBS	150	$1{,}53{\cdot}10^{-2}$	$5{,}80{\cdot}10^{-5}$	264
	7	Акрилан	650	$2{,}78{\cdot}10^{-2}$	$1{,}23{\cdot}10^{-4}$	226

фильтрации грунтов ИББ составило 264 и 226 раз соответственно. При этом данные параметры грунтов приконтурной зоны после модификации и грунтов вмещающего геологического массива сходны. Расположение данных ИББ по контуру существующих зон загрязнения позволило локализовать радионуклиды в границах существующих ореолов загрязнения. Изложенное выше показывает, что разработанная на НПК — СПФ ФГУП «РАДОН» технология может успешно применяться для сооружения ИББ путем модификации грунтов приконтурных зон хранилищ.

Эффективность модификаторов зависит от их вида и концентрации в технологическом растворе, поэтому для оценки результативности процесса необходимо для каждого из них определить показатели действия в интервале концентраций исследуемого раствора от минимальной до максимально возможной. Решение подобной задачи путем выполнения опытно-промышленных работ дорого и требует значительных затрат времени. В связи с этим для предварительной оценки эффективности процесса модификации грунтов наиболее целесообразно проведение комплекса лабораторных исследований, обеспечивающего максимальную оперативность и минимальную стоимость.

Такие работы производились на специальной установке позволяющей моделировать процесс закачки модифицирующих растворов в технологические скважины (рис. 4) [7].

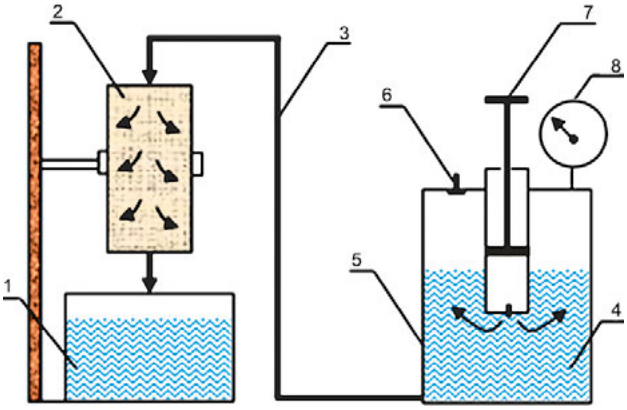

Рис. 4. Схема лабораторной установки:
1 — мерная емкость; 2 — фильтрационная колонка, состоящая из связанных между собой отдельных секций (патрубков); 3 — нагнетательная линия; 4 — гидропневматический насос; 5 — включающий корпус; 6 — клапан сброса давления; 7 — ручной воздушный насос; 8 — манометр

Заполненная грунтом фильтрационная колонка является элементом, моделирующим массив грунтов приконтурной зоны хранилища. Прокачка жидкости через нее производится с помощью гидропневматического насоса. Напор прокачиваемой жидкости определяется с помощью манометра, а расход — посредством мерной емкости. По их значениям производился расчет коэффициента фильтрации элемента массива грунтов.

При проведении эксперимента фильтрационная колонка заполняется грунтом, характерным для ПХРО, и происходит его водонасыщение путем прокачки воды, в ходе которой определяется начальный (исходный) коэффициент фильтрации данного образца.

После этого осуществляется прокачка модифицирующего раствора через образец грунта. Таким образом исследуется динамика снижения водопроницаемости грунта.

По окончании процесса фильтрационная колонка разбирается на секции и через них производится прокачка воды, по результатам которой в каждой определяются коэффициенты фильтрации грунта. Такой порядок проведения работ позволяет установить размер (радиус) зоны снижения коэффициента фильтрации грунта, определить степень снижения водопроницаемости грунта и исследовать характер ее изменения в данном интервале.

Определение оптимальной концентрации модификатора в технологическом растворе производится путем проведения серии описанных выше экспериментов в диапазоне концентраций исследуемого раствора от минимальной до максимальной. Определение оптимальной концентрации производится по критериям максимума предельного радиуса зоны и степени снижения коэффициента фильтрации грунта. В качестве примера в статье приведены результаты исследования эффективности действия модификатора LBS (табл. 2).

Анализ данных табл. 2 показывает, что с увеличением концентрации модификатора наблюдается рост эффективности действия раствора. Она достигает максимума при концентрации 150 $см^3/л$. Дальнейший рост концентрации приводит к снижению эффективности действия раствора. Таким образом, величина содержания модификатора 150 $см^3/л$ является оптимальной, так как при относительно невысокой стоимости 1 $м^3$ раствора обеспечивает наиболее высокие значения радиуса зоны снижения коэффициента фильтрации и степени снижения коэффициента фильтрации грунта.

Изложенное выше показывает, что разработанное на НПК — СПФ ФГУП «РАДОН» лабораторное оборудование позволяет полностью моделировать технологический процесс

Таблица 2. Зависимость эффективности действия модификатора грунта LBS от его концентрации в растворе

Стоимость 1 л модификатора, руб.	Концентрация модификатора в растворе, см^3/л	Радиус зоны снижения коэффициента фильтрации, м	Степень снижения коэффициента фильтрации	Стоимость 1 м^3 технологического раствора, руб.	Объем технологического раствора, необходимый для модификации 1 м^3 грунта, м^3
900	25	0,5	483	22500	0,4
	100	0,6	1115	90000	
	150	0,85	3110	135000	
	250	0,45	881	225000	
	1000	0,3	128	900000	

модификации грунтов в лабораторных условиях. Оно может успешно применяться для предварительной оценки эффективности действия различных модификаторов при сооружении ИББ путем модификации грунтов приконтурных зон хранилищ РАО.

Выводы

1. Анализ системы барьеров безопасности показывает, что одним из входящих в нее ИББ является подстилающий экран, предназначенный для предотвращения распространения радионуклидов в грунты приконтурных зон хранилищ, вероятность которого увеличивается при его отсутствии. По этой причине важную роль для обеспечения экологической безопасности играет мониторинг приконтурных зон. При изменении радиационной обстановки требуется оперативное вмешательство с целью предотвращения распространения загрязнений. Данная задача может быть решена с помощью сооружения дополнительных ИББ на пути распространения загрязнений.

2. Для создания дополнительных ИББ наиболее целесообразным является применение технологии модификации грунтов приконтурных зон хранилищ, разработанной НПК — СПФ ФГУП «РАДОН», которая не требует разрушения массива грунтов, применения тяжелой техники и может производиться имеющимися техническими средствами.

3. Результаты опытно-промышленных работ, выполненных на хранилище ХТО-18, с использованием технологических растворов модификаторов LBS и Акрилан 103, показывают, что степень снижения коэффициентов фильтрации грунтов сооруженных ИББ составила 264 и 226 соответственно. При этом для созданных барьеров он уменьшен до значений $5{,}80 \cdot 10^{-5}$ и $1{,}23 \cdot 10^{-4}$ м/сут, что соответствует коэффициенту фильтрации грунтов вмещающего массива. Расположение данных инженерных барьеров безопасности по контуру зон загрязнения позволило локализовать радионуклиды в границах существующих ореолов загрязнения.

4. Для выбора условий сооружения дополнительного ИББ путем модификации грунтов приконтурных зон хранилищ приповерхностного типа необходимо предварительное проведение лабораторных исследований с целью оценки возможности использования и эффективности действия различных модификаторов. Разработанное в НПК — СПФ ФГУП «РАДОН» оборудование позволяет полностью моделировать данный технологический процесс в лабораторных условиях и может применяться для предварительной оценки эффективности действия различных модификаторов ИББ.

5. Технология сооружения инженерных барьеров безопасности, осуществляемая путем модификации грунтов, может успешно использоваться для локализации отдельных участков, загрязненных радионуклидами, а также и другими экологически опасными веществами.

Литература

1. НП-020-15. Сбор, переработка, хранение и кондиционирование твердых радиоактивных отходов. Требования безопасности. Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии. Утв. Приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 25 июня 2015 г. № 243.

2. *Павлов Д. И., Ильина О. А.* О системном подходе к выбору барьеров безопасности для захоронения РАО классов 3 и 4 // Радиоактивные отходы. 2020. № 3 (12). С 54—65. DOI: 10.25283/258-9707-2020-3-54-65.

3. *Адамович А. Н.* Закрепление грунтов и противофильтрационные завесы в гидротехническом строительстве. — М. : Энергия, 1980. 320 с.

4. *Бабаскин Ю. Г.* Укрепление грунтов инъектированием при ремонте автомобильных дорог. — Минск, Технопринт, 2002. 176 с.

5 .*Безрук В. М.* Основные принципы укрепления грунтов. — М. : Транспорт, 1987. 31 с.
6 .*Блескина Н. А., Федоров Б. С.* Глубинное закрепление грунтов синтетическими смолами. — М. : Стройиздат, 1980. 148 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 .25283/258 -9707-2023-1-38-44.
8 .*Волоцкой Д. В.* Основы глубинного закрепления грунтов земляного полотна автомобильных дорог. — М. : Транспорт, 1978. 120 с.
9 .*Гончарова Л. В.* Основы искусственного укрепления грунтов. / Под ред. проф. В. М. Безрука. — М. : Изд-во Моск. ун-та, 1973. 376 с.
10 .*Долматов Б. И., Ласточкин В. С.* Искусственное засоление грунтов в строительстве. — Ленинград ; Москва : Стройиздат, 1966. 132 с.
11 .Опытно-фильтрационные работы / Под редакцией Р. М. Шестакова, Д. Н. Башкатова. — М. : Недра, 1974. 204 с.
12 .*Ильев А. А.* Модификация грунтов приконтурной зоны хранилищ приповерхностного типа // Труды Первой научно-практической конференции «Охрана окружающей среды и обращение с радиоактивными отходами научно-промышленных центров», ФГУП «РАДОН», г. Сергиев Посад, 24—26 апреля 2019 г. / Под общ. ред. проф. Е .А .Ваниной — Сергиев Посад : Изд-во «Все для вас Подмосковье», 2019. С. 64—70.
13 .Пособие по химическому закреплению грунтов инъекцией в промышленном и гражданском строительстве (к СНиП 3 .02 .01-83 / НИИОСП им .Н. М. Герсеванова. — М. : Стройиздат, 1986. 128 с.
14 .*Соколович В. Е.* Новые способы закрепления лесовых грунтов. — Днепропетровск, 1975. 128 с.
15 .*Соколович В. Е.* Химическое закрепление грунтов. — М. : Стройиздат, 1980. 119 с.
16 .*Соколовский А. Н.* Борьба с фильтрацией осолонцеванием грунтов при постройке водоемов, каналов и плотин. — М. : Сельхозгиз, 1952. 72 с.
17 .*Фурсов Л. В.* Инъектирование и инъекционные растворы. — СПб. : Изд-во Политехнического университета, 2010. 1141 с.
18 .*Фурсов Л. В.* Инъекционные противофильтрационные завесы. — СПб. : Изд-во Политехнического университета, 2011. 356 с.
19 .Химическое укрепление грунтов в аэродромном и дорожном строительстве / Под ред. Н .Ф .Мищенко. — М. : Транспорт, 1967. 212 с.

Информация об авторах

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

Хрипач Игорь Васильевич, кандидат технических наук, e-mail: igor .hripatch@yand x .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., Хрипач И. В., Ванина Е. А. Сооружение инженерных барьеров безопасности путем модификации грунтов приконтурных зон хранилищ приповерхностного типа // Радиоактивные отходы. 2026. № 2 (35). С. 94—101. DOI: 10 .25283/258 -9707-2026-2-94-101.

CONSTRUCTION OF ENGINEERED SAFETY BARRIERS VIA SOIL MODIFICATION IN THE BORDER ZONES OF NEAR-SURFACE STORAGE FACILITIES

Ilyev A. A., Khripach I. V., Vanina E. A.

FSUE "RADON", Moscow, Russia

Article received on December 23, 2025

This article overviews FSUE RADON's experience in engineered safety barrier construction via soil modifi ation in the border zones of storage facilities to ensure their environmental safety. The modifi ation technology is based on the injection of a modifying solution under pressure through a borehole system into the soils of the border zone. This solution penetrating into the rocks interacts with them reducing their water permeability and providing practically watertight engineered barriers of any configuration Moreover, when arranged along the contour of contamination areas, the boreholes provide radionuclide containment within the boundaries of existing contamination plumes. The article discusses pilot projects on the construction of two engineered safety barriers using LBS and Akrilan 103 modifier solutions and a laboratory methodology developed to assess the effectiveness of the modifiers based on a physical model of the soil modifi ation process.

Keywords: *radioactive waste, soil modifi ation, near-surface radioactive waste storage facilities, service boreholes, modifying solution, hydraulic permeability.*

References

1 . NP-020-15. *Sbor, pererabotka, khraneniye i konditsionirovaniye tverdykh radioaktivnykh otkhodov. Trebovaniya bezopasnosti. Federal'nyye normy i pravila v oblasti ispol'zovaniya atomnoy energii* [Collection, Processing, Storage and Conditioning of Solid Radioactive Waste. Safety Requirements. Federal Norms and Rules in the Field of Atomic Energy Use]. Approved by Order of the Federal Service for Environmental, Technological and Nuclear Supervision of June 25, 2015, No. 243.

2 . Pavlov D. I., Ilina O. A. O sistemnom podkhode k vyboru bar'yerov bezopasnosti dlya zakhoroneniya RAO klassov 3 i 4 [On a System Approach to the Selection of Safety Barriers for the Disposal of Radioactive Waste Class 3 and 4]. *Radioaktivnyye otkhody — Radioactive Waste,* 2020, no. 3 (12), pp. 54—65. DOI: 10 .25283/258 -9707-2020-3-54-65.

3 . Adamovich A. N. *Zakrepleniye gruntov i protivofil'tratsionn ye zavesy v gidrotekhnicheskom stroitel'stve* [Soil Stabilization and Cutoff Walls in Hydraulic Engineering]. Moscow, Energia Publ., 1980. 320 p.

4 . Babaskin Yu. G. *Ukrepleniye gruntov in"yektirovaniyem pri remonte avtomobil'nykh dorog* [Soil Stabilization by Injection during Road Repair]. Minsk, TekhnoPrint Publ., 2002. 176 p.

5 . Bezruk V. M. *Osnovnyye printsipy ukrepleniya gruntov* [Basic principles of soil stabilization]. Moscow, Transport, 1987. 31 p.

6 . Bleskina N. A., Fedorov B. S. *Glubinnoye zakrepleniye gruntov sinteticheskimi smolami* [Deep Soil Stabilization with Synthetic Resins]. Moscow, Stroyizdat Publ., 1980. 148 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 .25283/258 -9707-2023-1-38-44.

8 . Volotskoy D. V. *Osnovy glubinnogo zakrepleniya gruntov zemlyanogo polotna avtomobil'nykh dorog* [Fundamentals of Deep Soil Stabilization of Roadbeds]. Moscow, Transport Publ., 1978. 120 p.

9 . Goncharova L.V. *Osnovy iskusstvennogo ukrepleniya gruntov* [Fundamentals of Artificial Soil Stabilization]. Moscow, Izd-vo Mosk. Un-ta Publ., 1973. 376 p.

10 . Dolmatov B. I., Lastochkin V. S. *Iskusstvennoye zasoleniye gruntov v stroitel'stve* [Artificial salinization of soils in construction]. Leningrad, Moscow, Stroyizdat Publ., 1966. 132 p.

11 . *Opytno-fil'tratsionn ye raboty* [Groundwater fl w testing]. Edited by R. M. Shestakov, D. N. Bashkatov. Moscow, Nedra Publ., 1974. 204 p.

12 . Ilyev A. A. *Modifikatsiya gruntov prikonturnoy zony khranilishch pripoverkhnostnogo tipa* [Soil modification in the border zone of near-surface storage facilities]. Proceedings of the First Scientific and Practical Conference "Okhrana okruzhayushchey sredy i obrashcheniye s radioaktivnymi otkhodami nauchno-promyshlennykh tsentrov" [Environmental Protection and Radioactive Waste Management of FSUE RADON's Scientific and

Industrial Centers]. Sergiev Posad, April 24—26, 2019. Under general editorship of Professor E. A. Vanina. Sergiev Posad, Publishing house "Vse dlya vas Podmoskovie" Publ., 2019. Pp. 64—70.
13 . *Posobiye po khimicheskomu zakrepleniyu gruntov in"yektsiyey v promyshlennom i grazhdanskom stroitel'stve* [Manual on chemical soil stabilization by injection in industrial and civil construction] (supplement to SNiP 3.02.01-83). NIIOSP im .N .M .Gersevanov. Moscow, Stroyizdat Publ., 1986. 128 p.
14 . Sokolovich V. E. *Novyye sposoby zakrepleniya lesovykh gruntov* [New methods for forest soil stabilization]. Dnepropetrovsk, 1975. 128 p.
15 . Sokolovich V. E. *Khimicheskoye zakrepleniye gruntov* [Chemical stabilization of soils]. Moscow, Stoyizdat Publ., 1980. 119 p.
16 . Sokolovsky A. N. *Bor'ba s fil'tratsi ey osolontsevaniyem gruntov pri postroyke vodoyemov, kanalov i plotin* [Combating Soil Seepage and Alkalinization in the Construction of Reservoirs, Canals and Dams]. Moscow, Selkhozgiz Publ., 1952. 72 p.
17 . Fursov L.V. *In"yektirovaniye i in"yektsionnyye rastvory* [Injection and Injection Solutions]. Saint-Petersburg, Iz-vo Politekhnicheskogo un-ta Publ., 2010. 1141 p.
18 . Fursov L. V. *In"yektsionnyye protivofil'tratsionn ye zavesy* [Injection Cutoff Walls]. Saint-Petersburg, Iz-vo Politekhnicheskogo un-ta Publ., 2011. 356 p.
19 . *Khimicheskoye ukrepleniye gruntov v aerodromnom i dorozhnom stroitel'stve* [Chemical Soil Strengthening in Airfield and Road Construction]. Ed. by N .F .Mishchenko. Moscow, Transport Publ., 1967. 212 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

Khripach Igor Vasilyevich, Candidate of Technical Sciences, e-mail: igor hripatch@yandex 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., Khripach I. V., Vanina E. A. Construction of Engineered Safety Barriers Via Soil Modification in the Border Zones of Near-Surface Storage Facilities. *Radioactive Waste,* 2026, no. 2 (35), pp. 94—101. DOI: 10 .25283/258 -9707-2026-2-94-101. (In Russian).