

АНАЛИЗ ОПЫТА ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ МОДИФИКАЦИИ ГРУНТОВ ПРИКОНТУРНЫХ ЗОН ХРАНИЛИЩ ПРИПОВЕРХНОСТНОГО ТИПА

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

ФГУП «РАДОН», Москва

Статья поступила в редакцию 29 декабря 2022 г.

В ФГУП «РАДОН» накоплен значительный опыт по внедрению технологического процесса модификации грунтов приконтурных зон хранилищ приповерхностного типа. В основе данного метода – нагнетание под давлением через систему технологических скважин в породы приконтурной зоны модифицирующего раствора. Этот состав, проникая в породы, взаимодействует с ними и обеспечивает снижение их коэффициента фильтрации, что исключает возможность выхода радионуклидов в окружающую среду при возникновении любых нештатных ситуаций и приводит к повышению экологической безопасности хранилища. В статье представлены: обзор существующих технологий, анализ результатов лабораторных и опытно-промышленных работ и рекомендации по выбору перспективного модификатора для грунтов приконтурных зон хранилищ, эксплуатируемых на территории ПХРО НПК СПФ ФГУП «РАДОН».

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

На территории ПХРО НПК Сергиево-Посадского филиала ФГУП «РАДОН» с 60-х годов XX века эксплуатируют «исторические» хранилища приповерхностного типа (ХТО), в которых размещены значительные объемы твердых радиоактивных отходов (РАО) среднего и низкого уровня активности. Конструктивно они выполнены в виде емкостей из монолитного или сборного железобетона, заглубленных в поверхностный глинистый грунт на 4–4,5 метра. Их экологическая безопасность обеспечивается комплексом инженерных барьеров безопасности (ИББ) и естественным барьером безопасности, образованным породами, как непосредственно примыкающими к хранилищу (приконтурной зоны), так и породами собственно вмещающего массива.

В ходе эксплуатации под воздействием временных, природных и техногенных факторов происходит постепенная деградация защитных свойств системы безопасности хранилищ, связанная с повышением проницаемости слагающих ее барьеров. Это изменяет характер и увеличивает интенсивность миграционных процессов как внутри хранилищ, так и за их пределами, что в режиме реального времени может отрицательно сказаться на экологической безопасности их эксплуатации.

Анализ результатов объектного мониторинга состояния недр (ОМСН), проводимого на территории ПХРО НПК СПФ ФГУП «РАДОН» (ПХРО), показал, что особо важную роль в системе обеспечения экологической безопасности при эксплуатации хранилищ играет естественный

барьер, поскольку он является последним перед окружающей средой и эффективен при любых нештатных ситуациях, связанных с ИББ.

Естественный барьер — это массив грунтов обратной засыпки, расположенный между стенами хранилища и котлована, который сооружается при строительстве ХТО. Эти грунты обладают высоким коэффициентом фильтрации — до 1 м/сут, в то время как для ненарушенного суглинистого грунта, которым представлены породы, характерные для ПХРО, он составляет тысячные доли от приведенной величины.

Естественный барьер относится к восстанавливаемым элементам системы экологической защиты ХТО, его своевременная ремедиация позволяет избежать роста дефицита надежности хранилищ за счет предотвращения миграции радионуклидов в окружающую среду, что, в свою очередь, обеспечит безопасность эксплуатации хранилищ этого типа.

Анализ современных методов ремедиации показал, что для условий ПХРО и конкретно для грунтов, слагающих естественный барьер системы экологической безопасности хранилищ, наиболее перспективной является технология модификации грунтов.

Изучение существующих технологий показало, что в отечественной и зарубежной практике применяются два основных метода модификации: с разрушением массива грунтов и без этого [1]—[8], [10]—[16].

Технология, включающая разрушение массива грунтов, осуществляется путем разрыхления массива и его перемешивания с раствором модификатора. Основным недостатком этого способа, в данном конкретном случае при обращении с грунтами, загрязненными радионуклидами, является образование в ходе разрыхления массива и разубоживания слагающих его грунтов большого количества низко- и очень низко-активных радиоактивных отходов, требующих изоляции.

Технология без разрушения массива грунтов осуществляется путем закачки раствора модификатора в массив через систему скважин. Этот состав, проникая в породы, взаимодействует с ними и обеспечивает снижение их проницаемости, что исключает возможность выхода радионуклидов в окружающую среду и повышает эффективность естественного барьера. Данная технология не приводит к нарушению целостности массива грунтов, что обеспечивает большую экологическую безопасность проведения работ, исключает образование вторичных РАО, требующих утилизации, а также имеет меньшую трудоемкость. Эти преимущества делают данную

технология наиболее предпочтительной для ремедиации естественных защитных барьеров.

Изучение мирового опыта применения этой технологии показывает, что в настоящее время в промышленности и горном деле применяются в основном четыре метода укрепления породных массивов: цементация, глинизация, силикатизация и смолизация.

Анализ целей, результатов и условий применения этих методов позволил установить причины, препятствующие их использованию в условиях ПХРО: недостаточно малый размер частиц твердой фазы растворов, их высокая вязкость и наличие физико-химического процесса (отверждение), оказывающего существенное влияние как на закачку растворов, так и на их взаимодействие и распределение в модифицируемых грунтах. Таким образом, технологические растворы, применение которых возможно в условиях ПХРО, должны:

- иметь достаточно малый размер частиц твердой фазы, обеспечивающий глубокое проникновение растворов в грунты;
- обладать низкой вязкостью;
- обеспечивать отсутствие физико-химических процессов, оказывающих значительное влияние на закачку растворов;
- эффективно снижать водопроницаемость грунтов в зоне проникновения растворов;
- не оказывать разрушающего влияния на другие барьеры безопасности;
- иметь достаточно низкую стоимость.

Рассмотрение существующих модификаторов, используемых в качестве наполнителя в технологических растворах, показало, что данным требованиям больше всего соответствуют представленные определенными видами полимерных дисперсий. Так, к моменту начала работ наиболее полно по эффективности и соответствию указанным выше требованиям отвечал модификатор LBS, разработанный американской корпорацией Enviroseal Corporation, производящийся по лицензии в России и имеющий стоимость около 12 долларов США за литр.

Это — кремниевая полимерная дисперсия, представляющая собой низковязкую жидкость. Данный модификатор применялся для улучшения физико-механических свойств глинистых грунтов (суглинков и глин) в дорожном строительстве.

Для обеспечения экологической безопасности территории ПХРО его руководством было принято решение о начале работ по созданию технологии модификации грунтов, слагающих естественный барьер приконтурных зон «исторических» хранилищ, где основным был принят

модификатор LBS. Эти изыскания включали комплекс лабораторных исследований и опытно-промышленные испытания.

Лабораторные работы производились для оценки возможности использования и эффективности процесса модификации грунтов в условиях ПХРО, определения оптимальной концентрации модификатора в растворе, а также параметров и характеристик получаемого грунта. Разработка велась на специальной лабораторной установке — физической модели процесса модификации, позволяющей моделировать как процесс закачки модифицирующих растворов в технологические скважины, так и процесс взаимодействия модификатора с грунтом (рис. 1). Лабораторная установка включает: мерную емкость (1); фильтрационную колонку (2); нагнетательную линию (3); гидropневматический насос (4), который состоит из корпуса (5), клапана сброса давления (6), воздушного насоса (7) и манометра (8).

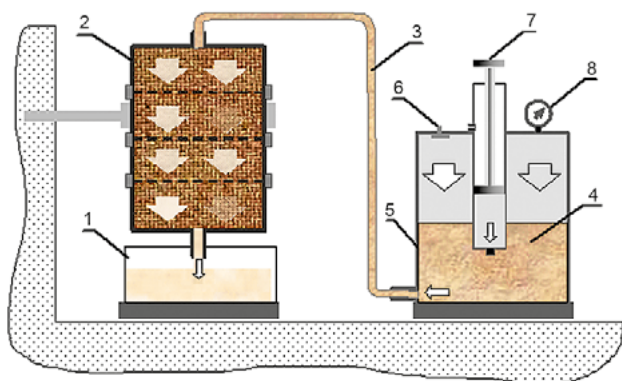


Рис. 1. Схема лабораторной установки

Фильтрационная колонка включает металлический корпус, который состоит из связанных между собой отдельных секций (патрубков).

При проведении эксперимента она заполнялась суглинком, характерным для ПХРО и водонасыщаемым путем прокачки, в ходе которой определялись расход и напор воды, и на основании полученных результатов рассчитывался начальный (исходный) коэффициент фильтрации данного образца. После водонасыщения суглинка вода из фильтрационной колонки удалялась, она заполнялась модифицирующим раствором, который прокачивался через образец. По результатам этого процесса рассчитывался общий коэффициент фильтрации модифицированного образца исследуемого суглинка. Затем фильтрационная колонка разбиралась на секции и производилась прокачка воды через каждую секцию, по результатам которой определялись

коэффициенты фильтрации грунта в каждой секции.

Данный порядок проведения работ позволял находить размер зоны снижения коэффициента фильтрации грунта и исследовать характер степени его изменения в зависимости от размера зоны, а также определять влияние концентрации модификатора в технологическом растворе на эти показатели.

Сравнительный анализ всех результатов позволил выявить его оптимальную концентрацию.

Эффективность действия раствора модификатора LBS определялась в интервале концентраций от 25 до 1000 см³/л. Результаты выполненных работ показали наличие зависимости эффективности действия раствора модификатора грунта LBS от концентрации в нем модификатора (табл. 1).

Таблица 1. Зависимость эффективности действия раствора модификатора грунта LBS от его концентрации модификатора в растворе (стоимость 1 л модификатора 900 руб.)

Концентрация модификатора в растворе, см ³ /л	Радиус зоны снижения коэф-та фильтрации, м	Степень снижения коэф-та фильтрации	Стоимость 1 м ³ раствора, руб.
25	0,5	483	22 500
100	0,6	1 115	90 000
150	0,85	3 110	135 000
250	0,45	881	225 000
1 000	0,3	128	900 000

Анализ данных табл. 1 показывает, что с увеличением концентрации модификатора в растворе наблюдается рост эффективности его действия, которая при концентрации 150 см³/л достигает максимума. При дальнейшем увеличении концентрации эффективность действия раствора снижается.

Таким образом, данная концентрация является оптимальной, так как при относительно невысокой стоимости 1 м³ раствора обеспечивает наибольшие значения показателей радиуса зоны и степени снижения коэффициента фильтрации грунта. По этой причине раствор модификатора грунта LBS концентрацией 150 л/м³ был рекомендован для проведения опытно-промышленных работ по модификации грунтов на ПХРО.

Опытно-промышленные работы производились в приконтурной зоне одного из «исторических» ХТО, расположенных на территории ПХРО. Целью их проведения было доказательство эффективности процесса модификации и

отработка методов ее применения в условиях ПХРО.

Технологические скважины располагались по контуру выбранного участка на расстоянии 1 м друг от друга. Их количество было определено размерами контура модифицируемого участка, а конструкция и схема расположения оборудования в процессе производства работ показаны на рис. 2. Герметизация зазоров в устье скважины осуществлялась цементным замком (4). Бурение производилось шнековым способом на глубину до ~ 6 м.

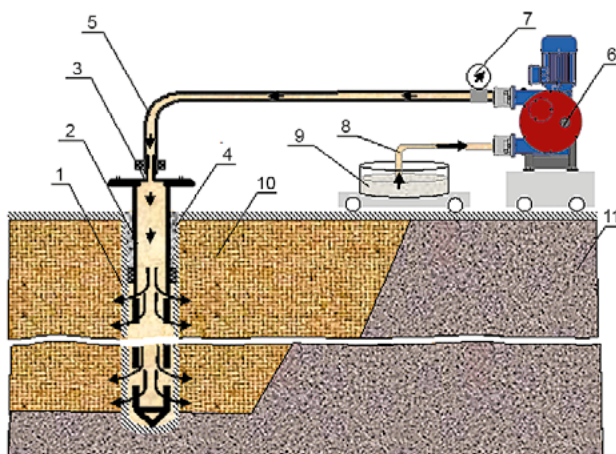


Рис. 2. Конструкция скважины и схема расположения технологического оборудования:

- 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 – модифицированный грунт; 11 – грунты вмещающего массива

Определение коэффициента фильтрации грунтов осуществлялось методом экспресс-налива в технологические скважины и проводилось в два этапа: в исходном состоянии (до нагнетания в них модифицирующего раствора) и через 120 часов после этого. Экспресс-наливы производились по методике Р. М. Шестакова [9].

Результаты опытно-промышленных работ и оценка эффективности модификатора LBS приведены в табл. 2.

Анализ результатов проведенных работ позволяет сделать следующие выводы:

- доказана возможность и определена эффективность процесса модификации грунтов приконтурных зон хранилищ РАО приповерхностного типа технологическим раствором модификатора LBS;
- предложенная схема расположения технологических скважин позволила повысить эффективность естественного барьера, что положительно сказалось на экологической безопасности эксплуатации ХТО.

Результаты, приведенные в табл. 2, показывают: лабораторные работы дают несколько более высокий показатель степени снижения коэффициента фильтрации грунта, чем опытно-промышленные. Это объясняется высокой сложностью гидрогеологических условий, существующими в естественном массиве грунтов, по сравнению с физической моделью, используемой при лабораторных исследованиях.

Итоги выполненных работ показывают, что технологический раствор модификатора LBS эффективен и обеспечивает получение оптимального результата, но при этом его стоимость достаточно высока по причине дороговизны собственно модификатора.

Анализ современного рынка показывает, что в настоящее время российской компанией ООО «СОФЭКС-Силикон» выпускается полимерная гидрофобизирующая кремнийорганическая жидкость «ГКЖ-11Н марка А», имеющая цену примерно в 12 раз ниже исследованного ранее модификатора LBS и, как подтвердили предварительные результаты лабораторных исследований, с аналогичными характеристиками. Таким образом, исходя из задачи оптимизации получения конечного результата по критерию соотношения «цена-качество», поставленная цель может быть достигнута при значительно меньших затратах с использованием в качестве модификатора «ГКЖ-11Н марка А».

Кроме того, замещение модификатора, имеющего импортные компоненты (LBS), на российский (ГКЖ-11Н) исключит риски логистики и недопоставок требуемых материалов при широком применении данной технологии.

Таблица 2. Результаты опытно-промышленных работ и оценка эффективности действия технологического раствора модификатора LBS с оптимальной концентрацией 150 л/м³

Коэффициент фильтрации, м/сут		Степень снижения K_f	Радиус зоны снижения K_f , м	Стоимость модификатора, руб./л	Стоимость 1 м ³ раствора, руб.	Степень снижения K_f	
До модификации	После модификации					Лабораторные работы	Опытно-промышленные работы
$1,53 \cdot 10^{-2}$	$5,8 \cdot 10^{-5}$	264	0,85	900	135000	3110	264

Выводы

В рамках данной работы проанализирован опыт применения технологии модификации грунтов приконтурных зон хранилищ приповерхностного типа. Также был выполнен обзор существующих методов снижения водопроницаемости грунтов, подобрана технология и выбран модификатор, наиболее полно отвечающие предъявляемым требованиям, проведены лабораторные и опытно-промышленные испытания, подтвердившие возможность и эффективность предложенных решений по повышению эффективности естественных барьеров хранилищ приповерхностного типа. Кроме того, рекомендован перспективный модификатор, использование которого значительно сократит затраты на модификацию грунтов. По результатам проведенных лабораторных и опытно-промышленных работ:

1) наглядно доказана перспективность применения технологии модификации грунтов, производимой без разрушения их природного массива, для повышения эффективности естественных барьеров безопасности сооружений, контактирующих с породными массивами и предназначенных для локализации радиоактивных и других экологически опасных веществ;

2) установлено, что при сравнении результаты лабораторных и опытно-промышленных работ имеют достаточно высокую степень сходимости и при использовании коэффициента пропорциональности могут быть рекомендованы для прогнозного расчета показателей степени снижения коэффициента фильтрации грунта при производстве опытно-промышленных работ;

3) определено, что наибольшей эффективностью действия обладает технологический раствор полимерного модификатора грунта LBS оптимальной концентрацией 150 л/м³, однако стоимость его 1 м³ достаточно высока вследствие дороговизны данного модификатора;

4) установлено, что в настоящее время в России производится полимерная гидрофобизирующая кремнийорганическая жидкость «ГКЖ-11Н марка А» по цене в 12 раз ниже стоимости модификатора LBS и соответствующая требованиям, предъявляемым к технологическим растворам, применяемым для модификации грунтов в условиях ПХРО;

5) гидрогеологические исследования эксплуатируемых на территории ПХРО хранилищ показывают, что фильтрационные свойства грунтов для каждого хранилища существенно отличаются, все объекты индивидуальны. По этой причине там, где планируется модификация грунтов,

следует производить комплекс специальных исследований;

6) показано, что разработанная технология может быть использована для локализации и отдельных породных участков, загрязненных не только радионуклидами, но и другими экологически опасными веществами.

Литература

1. *Адамович А. Н.* Закрепление грунтов и противofильтрационные завесы в гидротехническом строительстве. — М. : Энергия, 1980. 319 с.
2. *Бабаскин Ю. Г.* Укрепление грунтов инъектированием при ремонте автомобильных дорог. — Минск, УП «Технопринт», 2002. 177 с.
3. *Безрук В. М.* Основные принципы укрепления грунтов. — М. : Транспорт, 1987. 32 с.
4. *Блескина Н. А., Федоров Б. С.* Глубинное закрепление грунтов синтетическими смолами. — М. : Стройиздат, 1980. 147 с.
5. *Волоцкой Д. В.* Основы глубинного закрепления грунтов земляного полотна автомобильных дорог. — М. : Транспорт, 1978. 120 с.
6. *Гончарова Л. В.* Основы искусственного укрепления грунтов. — М. : Изд-во Моск. ун-та, 1973. 176 с.
7. *Долматов Б. И., Ласточкин В. С.* Искусственное засоление грунтов в строительстве. — Ленинград ; Москва : Стройиздат, 1966. 132 с.
8. *Жинкин Г. Н., Калганов В. Ф.* Закрепление слабых грунтов в условиях Ленинграда. — Ленинград : Стройиздат, 1967. 96 с.
9. *Опытно-фильтрационные работы / Под редакцией Р. М. Шестакова, Д. Н. Башкатова.* — М. : Недра, 1974. 204 с.
10. *Пособие по химическому укреплению грунтов инъекцией в промышленном и гражданском строительстве (к СНиП 3.02.01-83).* — М. : Стройиздат, 1986.
11. *Соколович В. Е.* Новые способы закрепления лессовых грунтов. — Днепропетровск, Промінь, 1975. 128 с.
12. *Соколович В. Е.* Химическое закрепление грунтов. — М. : Стройиздат, 1980. 119 с.
13. *Соколовский А. Н.* Борьба с фильтрацией осолонцеванием грунтов при постройке водоемов, каналов и плотин. — М. : Сельхозгиз, 1952. 72 с.
14. *Фурсов Л. В.* Инъектирование и инъекционные растворы. — Санкт-Петербург : Изд-во Политехнического ун-та, 2010. 1141 с.
15. *Фурсов Л. В.* Инъекционные противofильтрационные завесы. — Санкт-Петербург : Изд-во Политехнического ун-та, 2011. 356 с.
16. *Химическое укрепление грунтов в аэродромном и дорожном строительстве / Под ред. проф. Н. Ф. Мищенко.* — М. : Транспорт, 1967. 211 с.

Информация об авторах

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.

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

Титков Владимир Иварович, кандидат технических наук, ведущий инженер, ФГУП «РАДОН» (119121, Москва, 7-й Ростовский пер., д. 2/14), e-mail: titkovradon@mail.ru.

Хрипач Игорь Васильевич, кандидат технических наук, инженер-технолог, ФГУП «РАДОН» (119121, Москва, 7-й Ростовский пер., д. 2/14), e-mail: igor.hripatch@yandex.ru.

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

Библиографическое описание статьи

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.

SOIL MODIFICATION METHOD IN THE BORDER ZONES OF SURFACE-TYPE STORAGE FACILITIES AND EXPERIENCE OF ITS APPLICATION

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

FSUE "RADON", Moscow, Russia

Article received on December 29, 2022

Federal State Unitary Enterprise RADON has considerable experience in the implementation of the soil modification process at surface-type storage facilities. The modification process involves modifying solution injection performed under pressure through a system of process wells into the rocks of the border zone. Upon penetrating into the rocks, the solution interacts with them reducing their hydraulic permeability, which eliminates the risk of radionuclide release into the environment and increases the efficiency of the natural barrier. The report presents the results of an overview discussing available soil modification methods, evaluates laboratory and pilot-industrial research and recommendations on the selection of a promising modifier for the modification of border zones around storage facilities operated at FSUE RADON's industrial site.

Keywords: radioactive waste, soil modification, surface-type storage facilities, process wells, modifying solution, hydraulic permeability.

References

1. Adamovich A. N. *Zakrepleniye gruntov i protivofil'tratsionnyye zavesy v gidrotekhnicheskoy stroitel'stve* [Soil stabilization and cut-off buried walls in hydraulic engineering construction]. Moscow, Energiya Publ., 1980. 319 p.

2. Babaskin Yu. G. *Ukrepneniye gruntov in'yektirovaniyem pri remonte avtomobil'nykh dorog* [Soil

strengthening by injection method during road-mending]. Minsk, UP Tekhnoprint Publ., 2002. 177 p.

3. Bezruk V. M. *Osnovnyye printsipy ukrepleniya gruntov* [Basic principles of soil strengthening]. Moscow, Transport Publ., 1987. 32 p.

4. Bleskina N. A., Fedorov B. S. *Glubinnoye zakrepleniye gruntov sinteticheskimi smolami* [Deep soil stabilization with synthetic resins]. Moscow, Stroyizdat Publ., 1980. 147 p.

5. Volotskoy D. V. *Osnovy glubinnogo zakrepleniya gruntov zemlyanogo polotna avtomobil'nykh dorog* [Fundamentals of deep subgrade soil stabilization at highways]. Moscow, Transport Publ., 1978. 120 p.
6. Goncharova L. V. *Osnovy iskusstvennogo ukrepleniya gruntov* [Fundamentals of artificial soil strengthening]. Moscow, Moscow University Publishing House Publ., 1973. 176 p.
7. Dolmatov B. I., Lastochkin V. S. *Iskusstvennoye zasoleniye gruntov v stroitel'stve* [Artificial salinization of soils in construction]. Moscow, Stroyizdat Publ., 1966. 132 p.
8. Zhilin G. N., Kalganov V. F. *Zakrepleniye slabykh gruntov v usloviyakh Leningrada* [Consolidation of weak soils in Leningrad]. Leningrad, Stroyizdat Publ., 1967. 96 p.
9. *Opytno-fil'tratsionnyye raboty* [Experimental filtration studies]. Edt. by R. M. Shestakov and D. N. Bashkatov. Moscow, Nedra Publ., 1974. 204 p.
10. *Posobiye po khimicheskomu zakreplenyu gruntov in'yektsiyey v promyshlennom i grazhdanskom stroitel'stve (k SNiP 3.02.01-83)* [Manual on the chemical stabilization of soils by injection in industrial and civil engineering (appendix to SNiP 3.02.01-83)]. Moscow, Stroyizdat Publ., 1986.
11. Sokolovich V. Ye. *Novyye sposoby zakrepleniya lessovykh gruntov* [New ways of fixing loess soils]. Dnepropetrovsk, Promin' Publ., 1975. 128 p.
12. Sokolovich V. Ye. *Khimicheskoye zakrepleniye gruntov* [Chemical stabilization of soils]. Moscow, Stoyizdat Publ., 1980. 119 p.
13. Sokolovskiy A. N. *Bor'ba s fil'tratsiyey osolontsevaniyem gruntov pri postroyke vodoyemov, kanalov i plotin* [Protection against seepage by means of soil alkalization during reservoir, canal, and dam construction]. Moscow, Sel'khozgiz Publ., 1952. 72 p.
14. Fursov L. V. *In'yektirovaniye i in'yektsionnyye rastvory* [Injection and injection solutions]. Saint-Petersburg, Polytechnic University Publishing House Publ., 2010. 1141 p.
15. Fursov L. V. *In'yektsionnyye protivofil'tratsionnyye zavesy* [Cut-off buried walls erected by injection method]. Saint-Petersburg, Polytechnic University Publishing House Publ., 2011. 356 p.
16. *Khimicheskoye ukrepleniye gruntov v aerodromnom i dorozhnom stroitel'stve* [Chemical strengthening of soils in airfield and road construction]. Edt. by N. F. Mishchenko. Moscow, Transport Publ., 1967. 211 p.

Information about the authors

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.

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

Titkov Vladimir Ivarovich, Candidate of Technical Sciences, Leading Engineer, FSUE "RADON" (2/14, 7th Rostov lane, Moscow, 119121, Russia), e-mail: titkovradon@mail.ru.

Khripach Igor Vasilyevich, Candidate of Technical Sciences, Process Engineer, FSUE "RADON" (2/14, 7th Rostov lane, Moscow, 119121, Russia), e-mail: igor.hripatch@yandex.ru.

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

Bibliographic description

Vanina E. A., Ilyev A. A., Titkov V. I., Khripach I. V., Linetsky E. S. Soil modification method in the border zones of surface-type storage facilities and experience of its application. *Radioactive Waste*, 2023, no. 1 (22), pp. 38–44. DOI: 10.25283/2587-9707-2023-1-38-44. (In Russian).