

Краткое сообщение

УДК 502.3

 <https://doi.org/10.17072/2410-8553-2026-1-73-78>

 <https://elibrary.ru/tbhzhq>

Влияние использованного при строительстве дороги в дер. Сунцы Кировской области промышленного отхода на прилегающие почвы

Татьяна Анатольевна Мусихина✉, Юлия Николаевна Ушакова, Ярослава Павловна Погудина
Вятский государственный университет, Киров, Россия

✉ mta_mta@mail.ru

Аннотация. В работе исследовалось качество почвы обочины проселочной автодороги по приоритетным химическим показателям с целью оценки возможного негативного влияния от используемых при строительстве дороги производственных отходов (смесь отсева известняка и шлама реагентной очистки раствора хлористого кальция известковым молоком), которые согласно их паспортам, относятся к пятому и четвертому классам опасности соответственно. Отбор проб почв для исследования произведен с обочины дороги в 70 см от дорожного полотна. Фоновая проба отобрана с не подверженного техногенному воздействию фонового участка в Куменском районе Кировской области. Используемые при строительстве дороги отходы и отобранные пробы почв исследовались методом рентгенофлуоресцентной спектроскопии прибором EDX-720 на определение концентраций элементов в диапазоне от 0,0001% до 100%. Метод основан на зависимости интенсивности рентгеновской флуоресценции от концентрации элемента в образце. По результатам анализа образца отхода с полотна автодороги выявлено наличие химических элементов (Ca, Mg, Si, Fe, K, Mn, Sr). Анализ количественного содержания данных элементов в мг/кг почв в исследуемых пробах с дорожного полотна и почв обочины и фонового участка показал, что наибольшее содержание Ca наблюдается в пробе отхода, что соответствует составу, используемой при строительстве дороги смеси. В пробах почвы с обочины содержание обнаруженных элементов не превышает концентраций Ca, Mg, Si, Fe, K, Mn, Sr в фоновом образце. При определении возможной миграции загрязняющих веществ из полотна дороги в почвы обочины в водной вытяжке отобранных проб физико-химическими методами определялись специфические загрязняющие вещества, связанные с возможным техногенным загрязнением от используемых при строительстве отходов: SO_4^{2-} , F, CL. Показано, что концентрация CL в водной вытяжке из почвы с обочины автодороги в 11,9 раз превышает фоновые показатели, а также в 1,8 раз превышает норматив ПДК_{к.б.} для водных объектов. Поэтому можно говорить о миграции CL и негативном влиянии примененных в строительстве автодороги отходов на качество почв обочины.

Ключевые слова: отходы производства, качество почв, приоритетные химические элементы, загрязняющие вещества, крупнотоннажные отходы

Для цитирования: Мусихина Т.А., Ушакова Ю.Н., Погудина Я.П. Влияние использованного при строительстве дороги в дер. Сунцы Кировской области промышленного отхода на прилегающие почвы // *Антропогенная трансформация природной среды*. 2026. Т. 12. № 1. С. 73–78. <https://doi.org/10.17072/2410-8553-2026-1-73-78>. EDN TBHZNHQ.

Short Communications Article

The impact of industrial waste used in the construction of a road in the village of Suntsy, Kirov Region, on the surrounding soils

Tatiana A. Musikhina✉, Yulia N. Ushakova, Yaroslavna P. Pogudina

Vyatka State University, Kirov, Russia

✉ mta_mta@mail.ru

Abstract. The paper studied the quality of the soil on the side of a country road in terms of priority chemical elements in order to assess the possible negative impact of industrial waste used in the construction of the road (a mixture of limestone sift and sludge from the reagent purification of calcium chloride solution with lime milk), which, according to their certificates, are classified as fifth and fourth hazard classes, respectively. The soil samples were collected from the side of the road, 70 cm from the road surface. The background sample was taken from a non-man-made background area in the Kuma district of the Kirov region. The waste used in the construction of the road and the selected soil samples were analyzed using X-ray fluorescence spectrometry with the EDX-720 instrument to determine the concentrations of elements in the range from 0.0001% to 100%. The method is based on the dependence of the intensity of X-ray fluorescence on the concentration of an element in the sample. According to the results of the waste sample analysis, the priority

© Мусихина Т.А., Ушакова Ю.Н., Погудина Я.П., 2026



chemical elements (Ca, Mg, Si, Fe, K, Mn, Sr) were identified. The analysis of the quantitative content of these elements in mg/kg of soil in the studied samples from the roadway, the roadside soil, and the background area showed that the highest content of Ca was observed in the waste sample, which corresponds to the composition of the mixture used in road construction. In soil samples from the roadside, the content of the detected elements does not exceed the concentrations of Ca, Mg, Si, Fe, K, Mn, Sr in the background sample. When determining the possible chemical contamination of roadside soil, specific pollutants associated with possible technogenic contamination from construction waste were determined using physical and chemical analysis methods: SO_4^{2-} , F⁻, and Cl^- . It has been shown that the concentration of Cl^- in the aqueous extract from a soil sample taken from the roadside is 11,9 times higher than the background levels, and 1.8 times higher than the MPC for water bodies. This indicates the migration and negative impact of the waste used in the construction of the highway to the roadside soil.

Keywords: industrial waste, soil quality, priority chemical elements, pollutants, large-scale waste

For citation: Musikhina T.A., Ushakova Yu.N., Pogudina Ya.P. The impact of industrial waste used in the construction of a road in the village of Suntsy, Kirov Region, on the surrounding soils. *Anthropogenic Transformation of Nature*. 2026. Vol. 12. Iss. 1. P. 73-78. <https://doi.org/10.17072/2410-8553-2026-1-73-78>. EDN TBVZHQ. (in Russian)

Комплексную переработку материально-сырьевых ресурсов в целях уменьшения количества отходов можно отнести к основным принципам и приоритетным направлениям государственной политики в сфере обращения с отходами, которые закреплены в Федеральном законе «Об отходах производства и потребления»¹. Развитие этих принципов на практике получило в современных программных и нормативных документах, направленных на усиление работы по ликвидации накопленного вреда окружающей среде при хранении и захоронении промышленных отходов. Большое внимание уделяется также созданию экономики замкнутого цикла в России. Так, например, распоряжением Правительства РФ от 28.08.2024 № 2330-р закреплён перечень видов работ и услуг, выполнение которых осуществляется с обязательным использованием определенной доли вторичного сырья в их составе. Среди работ, указанных в документе, большое значение имеет автодорожное строительство с применением промышленных отходов^{2,3} (Ильин и др., 2016).

Вопросы полезного и безопасного для окружающей среды применения промышленных отходов требуют внимания, поскольку крупнотоннажные отходы складываются, как правило, открытым способом в отвалах, нарушая естественный ландшафт, образуя при этом загрязненный поверхностный смыв атмосферными осадками, инфильтруя химические вещества в грунтовые воды и загрязняя приземный слой атмосферы пылеватыми частицами. Так, например, в Кировской области отвал отходов бывшего химического комбината размещен на площади более 10 га и его площадь ежегодно увеличивается, поэтому утилизация этих отходов весьма актуальна (Филатов и др., 2018; Мусихина и др., 2021; Мусихина и др., 2021; Фукс и др., 2020).

По исследуемой тематике (утилизация отходов в строительстве и, в целом, влияние отходов на окружающую среду) опубликованы десятки научных работ,

что свидетельствует о востребованности новых знаний в этой сфере. Так, исследуются отходы от производств различных типов: добыча цветных металлов (Мурманцева, 2024), фосфогипса (Ильин и др., 2016; Бабенко, 2024; Скрипин и др., 2024), угледобычи (Загирова и др., 2020), калийных удобрений (Хрипович, Тиховская, 2024), кальцинированной соды (Курбанова, Вафалеев, 2024), а также твёрдых коммунальных отходов (Кучерова и др., 2024) и опасных ртутьсодержащих отходов (Фукс и др., 2020; Мусихина и др., 2021). Публикуются и обобщающие работы о механизмах и следствиях влияния различных антропогенных факторов при взаимодействии с почвами (Германова и др., 2023).

Цель нашего исследования заключается в оценке негативного влияния использованных при строительстве проселочной дороги без твердого покрытия промышленных отходов на химический состав почв обочины дороги, построенной в деревне Сунцы Кировской области в 2020 г. для экологического контроля и принятия решений о возможности дальнейшего применения производственных отходов подобным образом.

Задачи исследований: отбор проб отхода с дорожного полотна, почв с придорожной полосы и почв фонового участка; исследование концентраций химических элементов (Ca, Mg, Si, Fe, K, Mn, Sr), составляющих основу смеси, использованной при строительстве; определение и оценка нормативного содержания загрязняющих веществ (ионов хлора, сульфат-ионов, фторид-ионов) в водной вытяжке из проб почв.

Объект исследования – образцы: отхода с дорожного полотна; почвы с обочины дороги и почвы фонового участка.

Предмет исследования – химический состав отхода, отобранного с дорожного полотна, а также почв и водной вытяжки почв с обочины дороги и фонового участка, не подверженного техногенному загрязнению.

¹ Федеральный закон №89-ФЗ от 24.06.98 «Об отходах производства и потребления» [Электронный ресурс]. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_19109 (дата обращения: 09.07.2025).

² Распоряжение Правительства Российской Федерации от 28.08.2024 № 2330-р «Об утверждении перечней видов продукции (товаров), работ, услуг, производство, выполнение и оказание которых осуществляются с обязательным использованием определенной доли вторичного сырья в их составе» [Электронный ресурс]. URL: <https://www.consultant.ru/law/hotdocs/86272.html> (дата обращения: 09.07.2025).

³ Приказ Росприроднадзора от 22.05.2017 N 242 (ред. от 20.12.2024) «Об утверждении Федерального классификационного каталога отходов» [Электронный ресурс]. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_218071/ (дата обращения: 09.07.2025).

Обочина дороги, при этом, за весь период эксплуатации пестицидами и другими химическими веществами не обрабатывалась. Интенсивность движения автотранспорта по дороге крайне низкая.

Согласно паспортам отходов, использованные при строительстве дороги отходы, это смесь:

- отсева известняка, который образуется при фракционировании известняка, поступающего как сырье для получения хлористого кальция (согласно паспорту отхода код в соответствии с ФККО – 314 000 00 00 00 0

«Прочие твердые минеральные отходы»), состоящий из известняка на 100%, имеющий пятый класс опасности;

- шлама реагентной очистки раствора хлористого кальция известковым молоком (согласно паспорту отхода код в соответствии с ФККО – 515 000 00 00 00 0 «Отходы солей» и четвертый класс опасности для окружающей природной среды). Заявленный в паспорте отхода компонентный состав отхода в процентах представлен в табл. 1 / tabl. 1.

Таблица 1

Состав шлама реагентной очистки раствора хлористого кальция известковым молоком

Table 1

Composition of sludge from reagent purification of calcium chloride solution with lime milk

Компоненты / Components	Процентное содержание / Share (%)
H ₂ O	24,5-45,9
CaCl ₂	24,2-29
Mg(OH) ₂	9-27,1
Песок / Sand	8-12,3
CaCO ₃	5,5-7,5
CaF ₂	1,5-2,1
Fe(OH) ₂	1,1-2,3

Отбор проб почвы с придорожной полосы произведен на расстоянии 70 см от полотна дороги способом прикопки глубиной до 30 см. Фоновая проба отобрана в Куменском районе Кировской области.

Исследование проводилось относительно определения и сравнения составов отобранных проб по приоритетным химическим элементам. Также была проведена оценка возможного загрязнения прилегающих к дороге почв за счет миграции специфических веществ от использования отходов.

Наличие химических элементов в отобранных пробах проводилось на энергодисперсионном рентгеновском спектрометре EDX-720 («Shimadzu»). Метод анализа – рентгенофлуоресцентная спектрометрия (XRF, РФА, РФСА), используемый для определения концентраций элементов в диапазоне от 0,0001% до 100% в веществах различного происхождения. Метод основан на зависимости интенсивности рентгеновской флуоресценции от концентрации элемента в образце. При

облучении образца мощным потоком излучения рентгеновской трубки возникает характеристическое флуоресцентное излучение атомов, которое пропорционально их концентрации в образце. Математическая обработка спектра позволяет проводить количественный и качественный анализ. Этот метод широко используют для определения тяжёлых металлов в почвах, осадках, воде и других средах (van Sprang, 2000). Широкое применение метода для определения состава почв обуславливается способностью прибора выполнять точные измерения с высокой скоростью. Результаты показали, что в отходе, используемом при строительстве дорожного полотна, определены 7 химических элементов (Ca, Mg, Si, Fe, K, Mn, Sr), которые также определены и в пробах почвы за полотном автодороги на расстоянии 70 см от него и пробах почвы фонового участка. Количественное содержание данных элементов (мг/кг) в исследуемых пробах представлено в табл. 2 / tabl. 2.

Таблица 2

Количественное содержание химических элементов, мг/кг

Table 2

Quantitative content of chemical elements in mg/kg

Приоритетные для исследования элементы / Priority elements for research	Отход, используемый в дорожном полотне / Waste used in road surfaces	Проба почвы придорожного полотна на расстоянии 70 см от дороги / Soil sample from the roadside at a distance of 70 cm from the road	Проба почвы фонового участка / Soil sample of the background area
Ca	626,3	75,1	151,7
Mg	15,2	3,0	18,2
Si	48,6	623,5	1703,9
Fe	27,1	21,32	409,0
K	12,2	58,1	133,5
Mn	1,2	10,0	84,4
Sr	0,9	2,0	2,6

Согласно данным табл. 2 / tabl. 2 наибольшее содержание Са наблюдается в пробе отхода, что соответствует составу используемой при строительстве дороги смеси. В пробах почвы с обочины содержание обнаруженных элементов (Ca, Mg, Si, Fe, K, Mn, Sr) не превышает значений элементов фонового образца почвы и находится в почвенно-поглощающем комплексе в обменном состоянии и вымывается атмосферными осадками⁴ (Орлов и др., 1991).

Таким образом, можно видеть, что Са, как основной химический элемент используемого в строительстве дороги отхода, не мигрирует в почвы придорожной полосы, а его содержание в пробе почвы придорожного полотна ниже фонового значения. Остальные

элементы содержатся в почве придорожной полосы также в количествах, не превышающих фоновые значения.

В работе физико-химическими методами анализа определялось возможное загрязнение почв придорожной полосы за счет миграции приоритетных загрязняющих веществ (относительно состава смеси отходов, используемых при строительстве автодороги): ионов хлора (Cl^-); сульфат-ионов (SO_4^{2-}); фторид-ионов (F^-).

Результаты исследования водной вытяжки из проб почв по приоритетным химическим показателям, методы анализа и нормативы содержания данных загрязняющих веществ в воде водных объектов⁵ представлены в табл. 3 / tabl. 3.

Таблица 3

Содержание загрязняющих веществ в водной вытяжке из проб почв, мг/дм³

Table 3

Content of pollutants in the aqueous extract of soil samples, mg/dm³

Загрязняющие вещества / Pollutants	Метод анализа / The method of analysis	Проба придорожного полотна (обочина дороги) / Roadside soil (roadside)	Проба фонового участка / Background sample	ПДК _{к.б.} в воде водных объектов / MPC in the water of water bodies
F^-	Потенциометрический метод – прямая потенциометрия ПНД Ф 16.1.54-2008	1,47	1,33	1,5
SO_4^{2-}	Турбодиметрический метод ГОСТ 26426-85	205,81	332,06	500
Cl^-	Метод потенциометрического титрования, аргентометрический метод	632,14	53,18	350

Результаты исследования показали (табл. 3 / tabl. 3), что в водной вытяжке из почвы обочины исследуемой автодороги содержание:

– ионов F^- незначительно превышает фоновые показатели, однако, их содержание ниже значений ПДК_{к.б.} в водных объектах культурно-бытового назначения;

– ионов SO_4^{2-} не превышает ни фоновые показатели, ни значения ПДК_{к.б.} в водных объектах культурно-бытового назначения;

– ионов Cl^- в 11,9 раза превышает содержание в водной вытяжке фоновой пробы почв и в 1,8 раза превышает ПДК_{к.б.} в водных объектах культурно-бытового назначения. Значительные превышения фоновых показателей по Cl^- говорят о возможной миграции Cl^- в придорожные почвы на расстояние до 70 см от дорожного полотна, которое во многом состоит из $CaCl_2$.

Таким образом, установлено, что при эксплуатации проселочной дороги без твердого покрытия, за пятилетний срок после строительства с использованием отходов отсева известняка и отходов производства хлористого кальция:

- Са, как основной химический элемент используемого в строительстве дороги отхода, не мигрирует в почвы придорожной полосы, а его содержание в пробе почвы придорожного полотна ниже фонового значения. Остальные элементы (Mg, Si, Fe, K, Mn, Sr) в почве придорожной полосы также определены в количествах, не превышающих фоновые значения;

- наблюдается миграция Cl^- из полотна дороги в почву обочины на расстоянии 70 см, приводящая к значительным превышениям фоновых показателей.

Полученные данные говорят о том, что требуется проведение дальнейших более детальных исследований о возможности использования указанных отходов в автодорожном строительстве.

⁴ Са подвижен в почве не меньше N / Итоги конференции на базе ВНИИ Агрохимии имени Д.Н. Прянишникова, 2022. [Электронный ресурс]. URL: <https://zen.ru/a/Y4zaIrOLk0FESTMT?ysclid=mcvmh4uyq950803343> (дата обращения: 09.07.2025).

⁵ САНПИН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания» [Электронный ресурс]. URL: https://nagut6.gosuslugi.ru/netcat_files/174/2801/SP123685_21.pdf (дата обращения: 09.07.2025).

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflicts of interest

The authors declare no conflicts of interest.

Сведения об авторском вкладе

Т.А. Мусихина – подготовка первого варианта рукописи, формирование идеи, постановка задачи исследования, отбор проб.

Ю.Н. Ушакова – методическое сопровождение химических исследований, выполнение расчетов количественного содержания химических элементов.

Я.П. Погудина – выполнение анализов физико-химическими методами и систематизация данных.

Contribution of the authors

T.A. Musikhina – preparation of the first version of the manuscript, formulation of the idea, formulation of the research task, and sampling.

Yu.N. Ushakova – methodological support for chemical research, calculation of the quantitative content of chemical elements.

Ya.P. Pogudina – analysis using physical and chemical methods, data systematization.

Список источников

1. Бабенко А.А. Влияние фосфогипса и электролита травления стали на химические свойства почв рисовых чеков в условиях Ростовской области // *Мелиорация и гидротехника*. 2024. Т. 14. № 1. С. 71–78. <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2024-14-1-71-88>

2. Германова С.Е., Фёдорова Т.А., Петухова Н.В., Рыжова Т.А., Зинченко А.В. Проблемы влияния антропогенной деятельности на экологию почв // *Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: естественные и технические науки*. 2023. № 1-2. С. 5–10. <https://doi.org/10.37882/2223-2966.2023.01-2.04>

3. Загирова З.Б., Белов А.В., Гаджиханов А.С. Влияние загрязняющих веществ, попадающих в почву, на экологию г. Инты и г. Воркуты (Печорского угольного бассейна) // *Мониторинг. Наука и технология*. 2020. № 1(43). С. 26-32. <https://doi.org/10.25714/MNT.2020.43.004>

4. Ильин А.П., Кочетков С.П., Брыль С.В., Рухлин Г.В. Проблемы и перспективы использования вторичных продуктов переработки природных фосфатов для получения строительных материалов // *Экология и строительство*. 2016. № 4. С. 21-29.

5. Кучерова А.В., Колесников С.И., Храпай Е.С., Минникова Т.В., Кузина А.А. Оценка влияния токсического действия твёрдых коммунальных отходов на экологическое состояние почвы // *Гигиена и санитария*. 2024. Т. 103. № 1. С. 22-30. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2024-103-1-22-30>

6. Мурманцева Е.Ю. Разработка технологии утилизации оловосодержащих отходов при производстве техногенного грунта // *СТИН*. 2024. № 3. С. 18-20.

7. Мусихина Т.А., Филатов В.Ю., Ганичев С.А. Переработка отходов производства фтористого водорода и хлористого кальция как фактор улучшения санитарно-гигиенической обстановки и повышения экологической безопасности // *Экология родного края: Проблемы и пути их решения. Материалы XIII Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Книга 1. Вятский государственный университет; Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения РАН. Киров, 2018. С. 220–223.*

8. Мусихина Т.А., Юрлов А.А., Земцова Е.А., Филатов В.Ю. Комплексная оценка токсичности речных и сточных вод, формируемых на загрязнённой промышленными отходами территории // *Теоретическая и прикладная экология*. 2021. № 4. С. 133–139. <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2021-4-133-139>

9. Орлов Д.С., Малинина М.С., Мотузова Г.В., Садовникова Л.К. Химическое загрязнение почв и их охрана: словарь-справочник. М.: Агропромиздат, 1991. 303 с.

10. Скрипин Л.Н., Дюкова Н.Н., Петухова В.С., Митриковский А.Я., Ничипорук Л.С. Возможности использования промышленных отходов для химической мелиорации солонцов Сибири // *Экология и промышленность России*. 2024. Т. 28. № 2. С. 49–53. <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2024-2-49-53>

11. Филатов В.Ю., Мусихина Т.А., Шаманина Е.А. Перспективы разработки строительного материала на основе отходов производств фтористого водорода и хлористого кальция // *Общество. Наука. Инновации: сб. ст. XVIII Всерос. науч.-практ. конф., 2-28 апр. 2018 г. Т. 3. Киров: ВятГУ, 2018. С. 370-377.*

12. Фукс С.Л., Филатов В.Ю., Хитрин С.В., Девятерикова С.В. Изучение возможности снижения ртутных загрязнений почвенного слоя промзоны химического предприятия // *Теоретическая и прикладная экология*. 2020. № 4. С. 55-60. <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2020-4-055-060>

13. Хрипович А.А., Тиховская Е.А. Геоэкологические факторы загрязнения почвы и подземных вод хлоридами в зоне воздействия объектов складирования галитовых отходов // *Природопользование*. 2024. № 1. С. 78-87.

14. van Sprang H.A. Fundamental parameter methods in XRF spectroscopy // *Advances in X-ray Analysis*. 2000. Vol. 42. P. 1–10.

References

1. Babenko A.A. The effect of phosphogypsum and steel pickling electrolyte on chemical characteristics of paddy soils in the conditions of the Rostov region. *Land Reclamation and Hydraulic Engineering*. 2024. Vol. 14. Iss. 1. P. 71-78. <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2024-14-1-71-88> (in Russian)
2. Germanova S.E., Fedorova T.A., Petukhov N.V., Ryzhova T.A., Zinchenko A.V. Problems of the impact of anthropogenic activity on soil ecology. *Contemporary Science: Current Issues in Theory and Practice. Series: Natural and Engineering Sciences*. 2023. Iss. 1-2. P. 5-10. <https://doi.org/10.37882/2223-2966.2023.01-2.04> (in Russian)
3. Zagirova Z.B., Belov A.V., Gadzhikhanov A.S. Influence of the soil pollutants on the ecology of Inta and Vorkuta cities (Pechora coal basin). *Monitoring, Science and Technologies*. 2020. Iss. 1(43). P. 26-32. <https://doi.org/10.25714/MNT.2020.43.004> (in Russian)
4. Ilin A.P., Kochetkov S.P., Bryl S.V., Rukhlin G.V. Problems and prospects of usage of secondary products of processing of natural phosphates for construction materials. *Ekologiya & Stroitelstvo*. 2016. Iss. 4. P. 21-29. (in Russian)
5. Kucherova A.V., Kolesnikov S.I., Hrapay E.S., Minnikova T.V., Kuzina A.A. Assessment of the influence of the toxic effect of municipal solid waste on the ecological state of the soil. *Hygiene and Sanitation*. 2024. Vol. 103. Iss. 1. P. 22-30. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2024-103-1-22-30> (in Russian)
6. Murmantseva E.Yu. Development of technology for the disposal of tin-containing waste in the production of man-made soil. *STIN*. 2024. Iss. 3. P. 18-20. (in Russian)
7. Musikhina T.A., Filatov V.Yu., Ganichev S.A. Recycling of hydrogen fluoride and calcium chloride production waste as a factor in improving the sanitary and hygienic situation and enhancing environmental safety. In: Ecology of the native land: Problems and ways to solve them: Proceedings of the XIII All-Russian scientific and practical conference with international participation. Book 1. Kirov: Vyatka State University; Institute of Biology of the Komi Scientific Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 2018. P. 220-223. (in Russian)
8. Musikhina T.A., Iurlov A.A., Zemtsova E.A., Filatov V.Yu. Comprehensive assessment of the toxicity of river and waste waters, formed on the territory contaminated by industrial waste. *Theoretical and Applied Ecology*. 2021. Iss. 4. P. 133-139. <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2021-4-133-139> (in Russian)
9. Orlov D.S., Malinina M.S., Motuzova G.V., Sadovnikova L.K. Chemical pollution of soils and their protection: dictionary-reference book. Moscow: Agropromizdat, 1991. 303 p. (in Russian)
10. Skipin L.N., Dyukova N.N., Petukhova V.S., Mitrikovskiy A.Ya., Nichiporuk L.S. Possibilities of Using Industrial Waste for Chemical Reclamation of Siberian Solonzes. *Ecology and Industry of Russia*. 2024. Vol. 28. Iss. 2. P. 49-53. <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2024-2-49-53> (in Russian)
11. Filatov V.Yu., Musikhina T.A., Shamanina E.A. Prospects for the development of a building material based on waste from the production of hydrogen fluoride and calcium chloride. In: Society. Science. Innovations: Collection of articles. XVIII All-Russian scientific and practical conf., 2-28 April 2018, Kirov, Russia. Vol. 3. Kirov: Vyatka State University, 2018. P. 370-377. (in Russian)
12. Fuks S.L., Filatov V.Y., Khitrin S.V., Devyaterikova S.V. Study of the possibility of reducing mercury contamination of the soil layer at the industrial zone of the chemical enterprise. *Theoretical and Applied Ecology*. 2020. Iss. 4. P. 55-60. <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2020-4-055-060> (in Russian)
13. Khripovich A.A., Tishkovskaya E.A. Geoecological factors of soil and groundwater contamination with chlorides in the zone of impact of halite waste storage facilities. *Nature Management*. 2024. Iss. 1. P. 78-87. (in Russian)
14. van Sprang H.A. Fundamental parameter methods in XRF spectroscopy. *Advances in X-ray Analysis*. 2000. Vol. 42. P. 1-10.

Поступила в редакцию / Received: 09.07.2025

Поступила после рецензирования / Revised: 26.03.2026

Принята к публикации / Accepted: 20.05.2026