

ГЕОЭКОЛОГИЯ/GEOECOLOGY

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.170.63> EDN: ZBBLWP

МЕЛИОРАТИВНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДОМЕННОГО ШЛАКА ДЛЯ РЕКУЛЬТИВАЦИИ ТЕХНОГЕННО НАРУШЕННЫХ ПОЧВ

Научная статья

Фуголь Е.С.^{1,*}, Малышев А.Н.², Ильиных В.В.³, Михеева Е.В.⁴, Стороженко Л.А.⁵¹ ORCID : 0009-0009-3068-681X;² ORCID : 0000-0002-3104-1687;³ ORCID : 0009-0003-9654-4888;⁴ ORCID : 0000-0003-3271-1512;⁵ ORCID : 0000-0003-4185-956X;^{1, 2, 3, 4, 5} Уральский государственный горный университет, Екатеринбург, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (lizarybka2802[at]gmail.com)

Предложена: 21.07.2026; Принята: 11.08.2026; Опубликовано: 17.08.2026

Аннотация

Рекультивация техногенно нарушенных земель является актуальной проблемой для горнопромышленных регионов России. В качестве объекта исследования изучен доменный шлак для восстановления кислых почв. Определены его свойства: pH составляет 10,5, в химическом составе преобладают оксиды кремния (31,24%) и кальция (30,85%), а сумма оксидов кальция и магния составляет 42,55%, что обуславливает щелочные свойства. Проведен эксперимент по выращиванию травосмеси на сильнокислой (pH=2,1) и нейтральной (pH=6,8) почвах с внесением 5 и 10% шлака. Установлено, что в сильнокислой почве без внесения шлака всхожесть семян составляет 0%, а при добавлении 10% шлака достигает 80%. Максимальная высота растений в кислой почве при внесении 10% шлака составляет 21,5 см, что на 39% выше фонового значения. В нейтральной почве оптимальная доза внесения составляет 5%, при которой всхожесть достигает 80%, а максимальная высота растений — 35,2 см. Оценка токсичности на примере *Eisenia fetida* показала 100% выживаемость при внесении 2,5% шлака. Доменный шлак не требует дополнительного внесения удобрений. Рекомендованные дозы внесения доменного шлака: 5% для нейтральных почв и 10% для сильнокислых почв.

Ключевые слова: доменный шлак, рекультивация, техногенно нарушенные почвы, мелиорант, всхожесть семян, кислые почвы, сорбент-мелиорант.

THE RECLAIMATIVE POTENTIAL OF BLAST FURNACE SLAG FOR THE RESTORATION OF TECHNOLOGICALLY DISTURBED SOILS

Research article

Fugol E.^{1,*}, Malyshev A.², Ilinykh V.V.³, Mikhееva E.V.⁴, Storozhenko L.A.⁵¹ ORCID : 0009-0009-3068-681X;² ORCID : 0000-0002-3104-1687;³ ORCID : 0009-0003-9654-4888;⁴ ORCID : 0000-0003-3271-1512;⁵ ORCID : 0000-0003-4185-956X;^{1, 2, 3, 4, 5} Ural State Mining University, Ekaterinburg, Russian Federation

* Corresponding author (lizarybka2802[at]gmail.com)

Suggested: 21.07.2026; Accepted: 11.08.2026; Published: 17.08.2026

Abstract

The reclamation of anthropogenically disturbed land is a pressing issue for Russia's mining regions. As a subject of research, blast furnace slag has been examined for use in the remediation of acid soils. Its properties were determined: the pH is 10.5; its chemical composition is dominated by silicon oxides (31.24%) and calcium oxides (30.85%), and the combined content of calcium and magnesium oxides is 42.55%, which accounts for its alkaline properties. An experiment was conducted to grow a grass mixture on strongly acidic (pH = 2.1) and neutral (pH = 6.8) soils with the addition of 5 and 10% slag. It was found that in highly acidic soil without the addition of slag, seed germination was 0%, whereas with the addition of 10% slag, it reached 80%. The maximum plant height in acidic soil with 10% slag application was 21.5 cm, which is 39% higher than the background value. In neutral soil, the optimal application rate is 5%, at which seed germination reaches 80% and the maximum plant height is 35.2 cm. A toxicity evaluation using *Eisenia fetida* as a test species showed 100% survival when 2.5% slag was applied. Blast furnace slag does not require the addition of further fertilisers. Recommended application rates for blast furnace slag are 5% for neutral soils and 10% for strongly acidic soils.

Keywords: blast furnace slag, land reclamation, anthropogenically disturbed soils, soil conditioner, seed germination, acidic soils, sorbent-soil conditioner.

Введение

Территории, занятые отходами горнопромышленного производства, представляют значительную экологическую проблему для России. Ежегодно образуется около 57 млн т металлургических шлаков, большая часть которых складывается в отвалах [1], [2], занимая 2,2 тыс. га и негативно влияя на среду и здоровье людей [3].

В Свердловской области накоплено 61,2 тыс. га техногенно нарушенных земель, что в 2,9 раза выше среднего по стране [4]. Основной проблемой таких земель является загрязнение почв тяжелыми металлами и изменение кислотно-основных свойств, что мешает восстановлению растительности.

Доменный шлак — отход выплавки чугуна, обладающий потенциалом сорбента-мелиоранта. Высокое содержание оксидов кальция, магния, кремния и алюминия обуславливает его щелочные свойства и способность к иммобилизации тяжелых металлов [6]. Зарубежный опыт подтверждает эффективность его применения для рекультивации в Германии, Японии, Китае и других странах [7], [8].

Традиционные методы рекультивации требуют значительных затрат. Доменный молотый шлак обладает меньшей стоимостью [5], поэтому его применение как вторичного ресурса уменьшает накопление отходов и решает проблему дорогих сорбентов.

В России шлак используется для дорожного строительства, а вопросы доз внесения и влияния на растения изучены слабо [9], поэтому цель работы — оценка мелиоративного потенциала шлака и определение оптимальных доз для восстановления растительности на кислых почвах.

Методы и принципы исследования

Исходные образцы шлака диаметром 1,8–6,1 см дробили для увеличения площади поверхности, при этом первичное дробление выполнили на щековой дробилке, вторичное — на валковой, после чего шлак просеивали. В исследованиях использовали фракцию менее 0,5 мм.

Определение состава проведено методом РСФА на спектрометре «Clever A-17». Для подготовки шлак был измельчен до ≤ 73 мкм, затем смешан с борной кислотой и спрессован в таблетку. Значение pH измеряли на анализаторе «Эксперт-001» по ГОСТ 26423-85 [10].

Оценка мелиоративных свойств проведена в вегетационном эксперименте с использованием травосмеси «Альпийские луга 7 трав» (пшеница, ячмень, овес, рожь, сорго, вика, просо). В качестве субстрата использовали почву с техногенно нарушенных земель Левихинского медноколчеданного месторождения. Сильно кислая почва имела pH=2,1, нейтральная — pH=6,8. Также была взята почва с оптимальными условиями влажности, структуры почвы, насыщенная азотом, фосфором и калием, с pH=6,6, которая использовалась в качестве фоновой. Доменный шлак вносили в дозах 5 и 10% от массы почвы. Эксперимент был поставлен в две серии: с удобрением (гумат калия) и без него, проводили 21 день при температуре 24–26°C с ежедневным поливом, оценивая всхожесть, высоту растений и тургор листьев по 5-балльной шкале.

Оценка токсичности проведена с использованием червей *Eisenia fetida* по ГОСТ 33036-2014 [11], для чего была выбрана почва Левихинского месторождения с pH=3,0 и фоновый почвогрунт из торфа, известняка и удобрения с pH=5,5. Червей по 10 особей заселяли в стеклянные емкости с увлажненной фоновой почвой и загрязненным грунтом с 0, 1 и 2,5% доменного шлака. Эксперимент проводили 7 суток при температуре $22 \pm 0,23^\circ\text{C}$ и относительной влажности $46 \pm 3,5\%$.

Результаты и обсуждение

3.1. Физико-химические свойства доменного шлака

Результаты анализа показали, что в шлаке преобладают диоксид кремния (31,24%) и оксид кальция (30,85%) (таблица 1), а сумма оксидов кальция и магния составляет 42,55%, что обуславливает щелочные свойства и потенциал для раскисления почв. Диоксид кремния является удобрением, так как обладает растворимостью и повышает стрессоустойчивость [12], а SiO_2 и Al_2O_3 создают потенциал для сорбционной емкости.

Таблица 1 - Химический состав доменного шлака

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.170.63.1>

Оксиды	Содержание, %	Микроэлементы	Содержание, %
SiO_2	31,24	S	0,52
CaO	30,85	Cr	0,33
Al_2O_3	14,26	Sr	0,05
MgO	11,7	Ni	0,012
TiO_2	14,26	Zr	0,004
Fe_2O_3	1,16	Zn	0,002
MnO	0,55	Rb, Y	0,001
K_2O	0,32	Cu, Pb	<0,001
P_2O_5	<0,01		
Сумма оксидов	99,39	Сумма микроэлементов	0,92
Сумма общая = 100,31 %			

В кислых почвах питательные элементы находятся в труднодоступной форме, но почвоулучшители с CaO и MgO способны раскислять почву и способствовать усвоению кальция и магния, укреплению корней и улучшению фотосинтеза [13].

3.2. Влияние доменного шлака на всхожесть и высоту растений

Результаты вегетационного эксперимента представлены в таблице 2 и на рисунках 1, 2.

Таблица 2 - Показатели роста растений в зависимости от кислотности почвы и дозы внесения шлака

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.170.63.2>

Почва	Доза шлака, %	Максимальная высота, см	Всхожесть, %	Тургор, баллы
Сильно кислая	0	0	0	-
	5	21,5	60	3
	10	21,5	80	3
Нейтральная	0	22,0	53	3
	5	35,2	80	4
	10	25,2	67	3
Фоновая	0	18,1	20	2

Примечание: без удобрения

В сильно кислой почве ($pH=2,1$) без внесения шлака всхожесть семян составляет 0%, что свидетельствует о полной непригодности такой почвы для произрастания растений. Внесение 5% доменного шлака повышает всхожесть до 60%, а 10% — до 80% (рисунок 1). Максимальная высота растений в кислой почве при внесении 10% шлака составляет 21,5 см, что на 39% выше фонового значения.

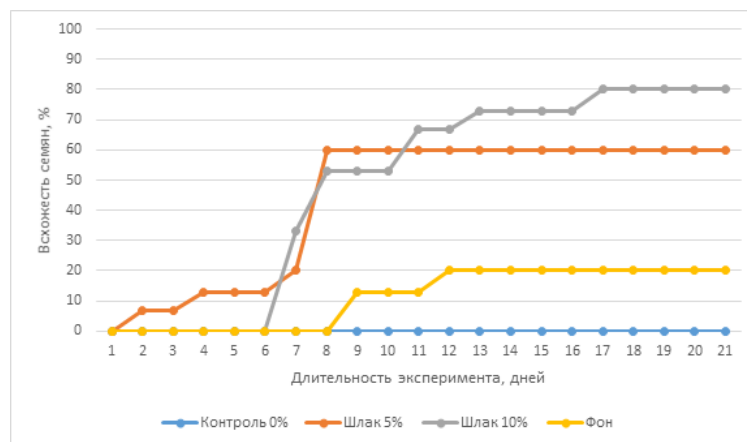


Рисунок 1 - Всхожесть семян в сильно кислой почве в зависимости от длительности эксперимента

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.170.63.3>

В нейтральной почве ($pH=6,8$) оптимальная доза внесения составляет 5%, при которой всхожесть достигает 80%, а максимальная высота растений — 35,2 см (рисунок 2). Внесение 10% шлака приводит к снижению показателей по сравнению с дозой 5%, что связано с избыточным подщелачиванием.

Более эффективным является применение 5% шлака в нейтральной почве, поскольку это повышает всхожесть на 27% по сравнению с контрольной почвой без шлака и на 60% по сравнению с фоном. При этом зона роста составляет 7 дней, за которые семена прорастают ежедневно до 80%.

В нейтральной почве без шлака и с 10% шлака тургор был равен 3, а с 5% шлака тургор составлял 4 из-за повышения влагоудерживающей способности листьев. В кислой почве без шлака всходов нет, но при добавлении шлака тургор оценен в 3 балла, тогда как в фоновой почве он оценивался в 2 балла.

Сравнение результатов эксперимента с внесением гумата калия и без него показало, что доменный шлак не требует дополнительного внесения удобрений. Максимальные параметры по высоте растений (21,5 см) и всхожести (80%) были достигнуты без использования удобрения, однако отмечено повышение значения тургора на 1 балл при использовании гумата калия.

Полученные данные подтверждают результаты зарубежных исследований, где также отмечено, что доменный шлак способствует увеличению биомассы растений без дополнительного внесения удобрений. А именно, фитомасса

растений, посаженных на почве с добавлением доменного шлака, в среднем в 2,8 раза больше, чем в его отсутствии на контрольной почве [14], [15].

3.3. Оценка токсичности доменного шлака

Результаты оценки токсичности на примере красных калифорнийских червей *Eisenia fetida* представлены на рисунке 3.

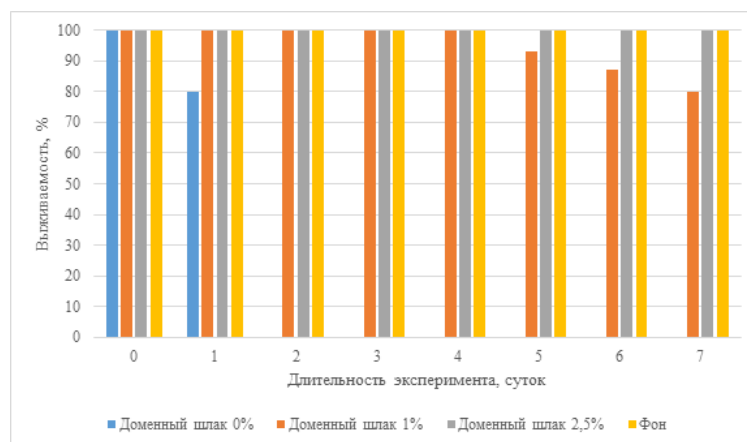


Рисунок 2 - Выживаемость калифорнийских червей в зависимости от длительности эксперимента и дозы внесения шлака

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.170.63.4>

В фоновой почве выживаемость червей составляет 100%, они активны, внешний вид такой же, как в период адаптации. В контрольной почве без шлака на первые сутки погибло 20% червей, на вторые — 100%. Черви находились на поверхности, т.к. почва загрязнена и не способна стать пригодным субстратом для *Eisenia fetida*.

С добавлением 1% шлака смертность червей начала расти на 4-е сутки и составила 20% к окончанию эксперимента.

С добавлением 2,5% доменного шлака выживаемость червей составила 100 и не отличалась от таковой в фоновом образце. Черви находились в клубке в почве, на третьи сутки были более активными, чем черви в емкости с добавлением 1% шлака. В конце эксперимента также оставались активными, кожный покров чище, чем у червей в фоновом образце.

Рекомендовано внесение 2,5% шлака, поскольку при такой дозе выживаемость червей равна фоновой. Шлак является безопасным для *Eisenia fetida*: выживаемость в контрольной почве без шлака составляет 0%, с 1% шлака — 80%, а с 2,5% — 100%. Зафиксирован рост выживаемости с увеличением дозы. Шлак в дозе 2,5% повышает выживаемость на 100% по сравнению с контрольной почвой и на 20% по сравнению с кислой почвой, улучшенной путем внесения 1% шлака.

Заключение

Исследования показали, что шлак обладает мелиоративным потенциалом и может быть использован для рекультивации техногенно нарушенных кислых почв.

Установлено, что шлак характеризуется щелочной реакцией ($pH=10,5$) и содержанием оксидов кальция и магния 42,55%, что обуславливает его способность к раскислению.

Вегетационный эксперимент показал, что в кислой почве ($pH=2,1$) без шлака всхожесть составляет 0%, 10% шлака повышает всхожесть до 80% и обеспечивает высоту растений 21,5 см, тогда как в нейтральной почве доза 5% обеспечивает всхожесть 80% и высоту 35,2 см. При этом шлак не требует внесения удобрения: максимальные параметры были достигнуты без гумата калия.

Оценка токсичности на червях *Eisenia fetida* показала, что доза внесения 2,5% шлака обеспечивает 100% выживаемость, что подтверждает безопасность данной концентрации для почвенной биоты.

Рекомендованы дозы 5% для нейтральных и 10% для сильно кислых почв. Шлак может быть эффективно использован без удобрений для рекультивации техногенно нарушенных земель в горнопромышленных регионах.



Финансирование

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-17-20033 (<https://rscf.ru/project/24-17-20033/>), при финансовой поддержке Правительства Свердловской области (№ 8-26-ОГ, от 20.05.2026 г.).

Конфликт интересов

Не указан.

Рецензия

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

Funding

The research was conducted under Russian Science Foundation Grant No. 24-17-20033 (<https://rscf.ru/project/24-17-20033/>) and was financially supported by the Government of the Sverdlovsk Region (Agreement No. 8-26-OG of 20 May 2026).

Conflict of Interest

None declared.

Review

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

Список литературы / References

1. Евтушенко Д.А. Переработка твердых отходов металлургического производства: / Д.А. Евтушенко. — Ижевск: Управление техносферой, 2023. — Т. 6. — 7 с. — DOI: 10.34828/UdSU.2023.33.10.011
2. Малахов В.М. Городские отходы в России: состояние, проблемы, пути решения: Экология / В.М. Малахов, А.Г. Гриценко, С.В. Дружинин. — Новосибирск: Государственная публичная научно-техническая библиотека, 2012. — 127 с.
3. ГОСТ Р 59057-2020. Охрана окружающей среды. Земли. Общие требования по рекультивации нарушенных земель. — Введ. 2021-04-01. — Москва: Стандартинформ, 2020. — 24 С.
4. О состоянии и использовании земель в Российской Федерации в 2024 году: государственный доклад. — Москва, 2025. — С. 170.
5. Алексеенко А.А. Улучшение характеристик бетонов путем ввода активной минеральной добавки — молотого доменного шлака / А.А. Алексеенко, Е.И. Москвин, В.А. Птичников. — Казань: Молодой ученый, 2015. — Т. 24. — 1211 с.
6. Дмитриев А.Н. Основы теории и технологии доменной плавки / А.Н. Дмитриев, Н.С. Шумаков, Л.И. Леонтьев и др. — Екатеринбург: Российская академия наук. Уральское отделение. Институт металлургии, 2005. — 542 с.
7. Dzieciol J. Blast Furnace Slag, Post-Industrial Waste or Valuable Building Materials with Remediation Potential?: in 16 vol / J. Dzieciol, M. Radziemska. — Basel: Minerals, 2022. — Vol. 12. — 15 p. — DOI: 10.3390/min12040478
8. Кочешкова I.M. Зарубіжний досвід утворення та використання доменних шлаків / I. M. Кочешкова // Економічний вісник Донбасу. — 2020. — № 2 (60). — DOI: 10.12958/1817-3772-2020-2(60)-181-186
9. Сидоренко А.С. Оценка воздействия металлургических шлаков ООО «ЮМЗ» на состояние окружающей среды г. Юрги / А.С. Сидоренко, Ш.С. Нозирзода // Издательство ТПУ. — Томск: ТПУ, 2016. — Вып. 3. — С. 311–315.
10. ГОСТ 26423-85. Почвы. Методы определения удельной электрической проводимости, pH и плотного остатка водной вытяжки. — Введ. 1986-01-01. — Москва: Стандартинформ, 2011. — 6 С.
11. ГОСТ 33036-2014. Методы испытаний химической продукции, представляющей опасность для окружающей среды. Определение острой токсичности для дождевых червей. — Введ. 2015-08-01. — Москва: Стандартинформ, 2019. — 8 С.
12. Бочарникова Е.А. Кремниевые удобрения и мелиоранты: история изучения, теория и практика применения / Е.А. Бочарникова, В.В. Матыченков, И.В. Матыченков // Агрохимия. — 2011. — № 7. — С. 84–96.
13. Гилёв В.Ю. Мелиоративное почвоведение: учебно-методическое пособие / В.Ю. Гилёв, С.М. Горохова. — Пермь: Прокрость, 2025. — 161 с.
14. Ng C.W.W. Effects of ground granulated blast-furnace slag (GGBS) on hydrological responses of Cd-contaminated soil planted with a herbal medicinal plant (*Pinellia ternata*): in 63 vol / C.W.W. Ng, N. Chowdhury, J. Wong. — Ottawa: Canadian Geotechnical Journal, 2019. — Vol. 57. — DOI: 10.1139/cgj-2018-0868
15. Литвинович А.В. Некоторые результаты изучения мелиоративных свойств тонкодисперсных фракций доломитовой муки и доменного шлака / А.В. Литвинович, З.П. Небольсина, А.В. Лаврищев и др. — Санкт-Петербург: Агрофизика, 2013. — Т. 2. — 8 с.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Yevtushenko D.A. Pererabotka tverdkh otkhodov metallurgicheskogo proizvodstva [Recycling of solid waste from metallurgical production]: / D.A. Yevtushenko. — Izhevsk: Upravlenie tekhnosferoi, 2023. — Vol. 6. — 7 p. — DOI: 10.34828/UdSU.2023.33.10.011 [in Russian]
2. Malakhov V.M. Gorodskie otkhodi v Rossii: sostoyanie, problemi, puti resheniya: Ekologiya [Urban waste in Russia: status, problems, solutions.]: Ecology / V.M. Malakhov, A.G. Gritsenko, S.V. Druzhinin. — Novosibirsk: State Public Scientific and Technical Library, 2012. — 127 p. [in Russian]
3. GOST R 59057-2020. Oxrana okruzhayushhej sredy'. Zemli. Obshhie trebovaniya po rekul'tivacii narushenny'x zemel' [GOST R 59057-2020. Environmental protection. Lands. General requirements for the reclamation of disturbed lands]. — Introduced 2021-04-01. — Moscow: Standartinform, 2020. — 24 P. [in Russian]
4. O sostoyanii i ispol'zovanii zemel' v Rossijskoj Federacii v 2024 godu [On the state and use of lands in the Russian Federation in 2024]: a state report. — Moscow, 2025. — P. 170. [in Russian]



5. Alekseenko A.A. Uluchshenie kharakteristik betonov putem vvoda aktivnoi mineralnoi dobavki — molotogo domennogo shlaka [Improving the characteristics of concrete by introducing an active mineral additive — ground blast furnace slag] / A.A. Alekseenko, Ye.I. Moskvina, V.A. Ptichnikov. — Kazan: Molodoi uchenii, 2015. — Vol. 24. — 1211 p. [in Russian]
6. Dmitriev A.N. Osnovi teorii i tekhnologii domЕННОЙ plavki [Fundamentals of blast furnace melting theory and technology] / A.N. Dmitriev, N.S. Shumakov, L.I. Leontev et al. — Yekaterinburg: Russian Academy of Sciences. Ural Branch. Institute of Metallurgy, 2005. — 542 p. [in Russian]
7. Dzieciol J. Blast Furnace Slag, Post-Industrial Waste or Valuable Building Materials with Remediation Potential?: in 16 vol / J. Dzieciol, M. Radziemska. — Basel: Minerals, 2022. — Vol. 12. — 15 p. — DOI: 10.3390/min12040478
8. Kocheshkova I.M. Зарубіжний досвід утворення та використання доменних шлаків [Foreign experience in the formation and use of blast furnace slags] / I.M. Kocheshkova // Економічний вісник Донбасу [Economic Bulletin of Donbass]. — 2020. — № 2 (60). — DOI: 10.12958/1817-3772-2020-2(60)-181-186 [in Ukrainian]
9. Sidorenko A.S. Otsenka vozdetsviya metallurgicheskikh shlakov OOO "YuMZ" na sostoyanie okruzhayushchei sredi g. Yurgi [Assessment of the impact of metallurgical slags of LLC "YMZ" on the state of the environment of the city of Jurga] / A.S. Sidorenko, Sh.S. Nozirezoda // TPU Publishing House. — Tomsk: TPU, 2016. — Issue 3. — P. 311–315. [in Russian]
10. GOST 26423-85. Pochvy'. Metody' opredeleniya udel'noj e'lektricheskoy provodimosti, pH i plotnogo ostatka vodnoj vy'tyazhki [GOST 26423-85. Soils. Methods for determining specific electrical conductivity, pH, and dense residue of aqueous extract]. — Introduced 1986-01-01. — Moscow: Standartinform, 2011. — 6 P. [in Russian]
11. GOST 33036-2014. Metody' ispy'tanij ximicheskoy produktsii, predstavlyayushhej opasnost' dlya okruzhayushhej sredy'. Opredelenie ostroj toksichnosti dlya dozhddevy'x chervej [GOST 33036-2014. Methods of testing chemical products that pose a danger to the environment. Determination of acute toxicity to earthworms]. — Introduced 2015-08-01. — Moscow: Standartinform, 2019. — 8 P. [in Russian]
12. Bocharnikova E.A. Kremnievy'e udobreniya i melioranty': istoriya izucheniya, teoriya i praktika primeneniya [Silicon fertilizers and ameliorants: history of study, theory and practice of application] / E.A. Bocharnikova, V.V. Maty'chenkov, I.V. Maty'chenkov // Agrochemistry. — 2011. — № 7. — P. 84–96. [in Russian]
13. Gilyov V.Yu. Meliorativnoe pochvovedenie: uchebno-metodicheskoe posobie [Meliorative soil science: an educational and methodical manual] / V.Yu. Gilyov, S.M. Goroxova. — Perm': Prokrost', 2025. — 161 p. [in Russian]
14. Ng C.W.W. Effects of ground granulated blast-furnace slag (GGBS) on hydrological responses of Cd-contaminated soil planted with a herbal medicinal plant (*Pinellia ternata*): in 63 vol / C.W.W. Ng, N. Chowdhury, J. Wong. — Ottawa: Canadian Geotechnical Journal, 2019. — Vol. 57. — DOI: 10.1139/cgj-2018-0868
15. Litvinovich A.V. Nekotory'e rezul'taty' izucheniya meliorativny'x svoystv tonkodispersny'x fraktsij dolomitovoy muki i domennogo shlaka [Some results of studying the reclamation properties of finely dispersed fractions of dolomite flour and blast furnace slag] / A.V. Litvinovich, Z.P. Nebol'sina, A.V. Lavrishhev et al. — Saint Petersburg: Agrofizika, 2013. — Vol. 2. — 8 p. [in Russian]