Обращение с отходами производства и потребления

DOI: 10.35634/UdSU.2026.71.46.014

УДК 620.1

И.В. Богачева, М.М. Байдарашвили

ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МОДИФИЦИРОВАННОГО ТЕХНОГЕННОГО ОТХОДА В ПРОИЗВОДСТВЕ БИОСТОЙКОГО БЕТОНА

Аннотация. Актуальность данного исследования определяется стремительным развитием современной научной мысли, которая сосредоточена на изучении взаимодействия человека и природы. Особое внимание уделяется разработке инновационных технологий, направленных на повышение надежности и безопасности природно-техногенной среды. Одной из ключевых задач в этой области является минимизация негативного воздействия природных факторов, включая плесневые грибы (микромицеты), на различные компоненты природно-техногенной системы, в том числе на бетонные строительные сооружения. Микромицеты представляют собой серьезную угрозу для бетонных конструкций, вызывая их деструкцию, образование трещин, увеличение объема строительного мусора, загрязнение почвы и ухудшение качества воздуха. Плесневые грибы также представляют опасность для здоровья человека, являясь причиной инфекционных заболеваний, аллергических реакций и отравлений. В связи с этим, поиск эффективных подходов к защите бетонных конструкций от биодеградации, вызванной микромицетами, является критически важной задачей. Одним из перспективных направлений в решении данной проблемы является использование техногенных отходов в качестве альтернативных материалов для защиты бетона. Данный подход позволяет не только повысить устойчивость конструкций к биоразрушению, но и способствует снижению экологического воздействия за счет утилизации вторичных ресурсов. Целью исследования является обоснование применения пиритного огарка, обогащённого фунгицидными компонентами, для производства бетона, устойчивого к биологическому воздействию. При решении поставленных в работе задач применялись микробиологические, физико-химические, инструментальные методы исследований. Определение физико-механических характеристик осуществлялось в соответствии с требованиями ГОСТ, при использовании поверенного оборудования. Результаты проведенных исследований показывают, что внедрение техногенного отхода пиритного огарка, обработанного фунгицидными веществами, является эффективным решением. Полученные данные позволяют сделать вывод о перспективности использования модифицированного пиритного огарка в состав бетонной смеси с целью предотвращения биоразрушения.

Ключевые слова: плесневые грибы, биоразрушение, техногенные отходы, пиритный огарок, модификация, фунгициды, биостойкость.

Для цитирования: Богачева И.В., Байдарашвили М.М. Геоэкологическое обоснование использования модифицированного техногенного отхода в производстве биостойкого бетона // Управление техносферой: электрон. журнал, 2026. Т.9. Вып.1. С. 214–225. DOI: 10.35634/UdSU.2026.71.46.014

В настоящее время одной из ключевых задач в области геоэкологии является сохранение для нынешних и будущих поколений людей продуктивной природно-техногенной среды. Данная задача может быть решена, в том числе, за счет внедрения инновационных технологий, направленных на снижение негативного воздействия природных факторов, в частности, плесневых грибов (микромицетов), на строительные объекты и, как следствие, природно-техногенную среду в целом [1].

Разрушение бетонных зданий и сооружений, вызванное микромицетами, приводит к загрязнению почв, изменению гидрологического режима территорий, химического состава воздуха [2]. В контексте воздействия на здоровье человека такие биодеструкторы, как плесневые грибы, способствуют возникновению инфекционных заболеваний и аллергических реакций. Токсичные метаболиты, высвобождаемые в процессе биодеградации, аккумулируются в пищевых цепях, вызывая отдаленные последствия для здоровья людей, включая хронические интоксикации и канцерогенные эффекты для человеческой популяции [3].

Техногенные отходы, такие как зола-уноса, шлаки, шламы и другие побочные продукты металлургической, химической и энергетической отраслей, представляют собой значительный экологический риск, загрязняя почву, водные ресурсы и атмосферу. Однако, при правильной утилизации и переработке они могут стать ценным сырьем для производства строительных материалов. В частности, их использование в качестве компонентов для биостойких бетонов позволяет не только снизить себестоимость производства, но и уменьшить негативное воздействие на окружающую среду за счет минимизации объемов промышленных отходов [4].

С геоэкологической точки зрения целесообразно использовать техногенные отходы, обладающие ингибирующим воздействием на рост и развитие микромицетов, которое может быть усилено путем введения в его состав дополнительных компонентов. Таким образом, для решения обозначенной геоэкологической задачи может быть реализован комплексный подход, который решает, с одной стороны, проблему защиты природно-техногенной среды от негативного воздействия микромицетов, с другой – дает возможность безопасной утилизации техногенных отходов.

С учетом обозначенного комплексного подхода было предложено использовать для создания биостойкого бетона техногенное сырье, обладающее природным фунгицидным потенциалом и пригодное для модификации химической добавкой. Внедрение техногенных отходов в качестве компонента бетонной матрицы является экологически обоснованным действием, поскольку способствует утилизации вторичных материалов, минимизируя тем самым негативное воздействие на окружающую среду. Кроме того, данное технологическое решение способствует рациональному использованию природных материалов, снижая зависимость от невозобновимых природных ресурсов.

В качестве техногенного отхода был предложен пиритный огарок (рис. 1), представляющий собой тонкий порошок темно-красного цвета с модулем крупности (Мк) 1,9 и водородным показателем 7,3 [5].



Рис. 1. Пиритный огарок

Пиритный огарок является отходом сернокислотного производства и представляет собой существенный источник загрязнения окружающей среды, что обуславливает необходимость его утилизации [6]. Значительные объемы пиритного огарка, аккумулированные в шламохранилищах на территории нашей страны, создают не только экологическую, но и экономическую проблему, связанную с нерациональным использованием земельных ресурсов (рис. 2).



Рис. 2. Залежи пиритного огарка (Ленинградская область, Всеволожский район)

Длительное воздействие пиритного огарка на экосистемы приводит к деградации почв, загрязнению водоемов и снижению биоразнообразия.

Экономическая привлекательность утилизации пиритного огарка вызвана его доступностью и относительно низкой стоимостью [7].

При решении поставленных в работе задач применялись химические, физико-химические, инструментальные методы. Определение физико-механических характеристик осуществлялось в соответствии с требованиями ГОСТ, при использовании поверенного оборудования.

Результаты рентгенофазового анализа (рис. 3) показали фунгицидный потенциал пиритного огарка, обусловленный наличием в его составе никеля,

обладающего известным ингибирующим воздействием на рост и развитие грибковых микроорганизмов.

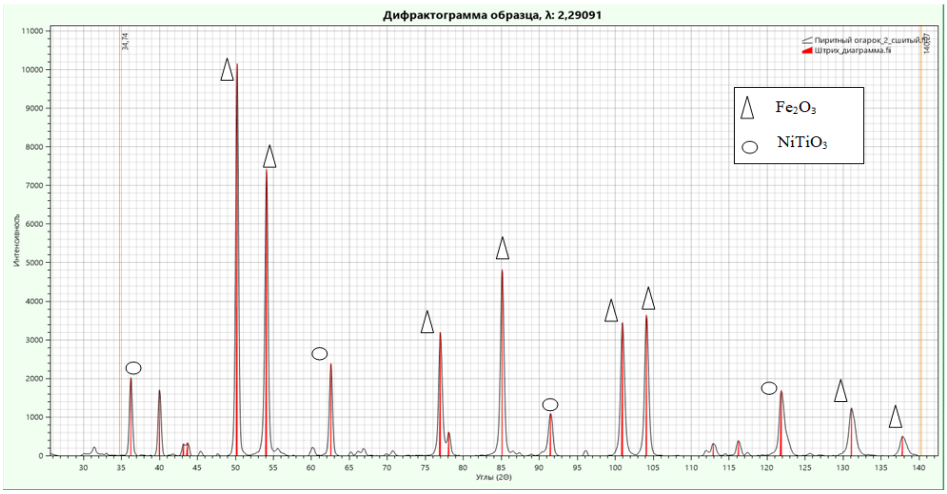
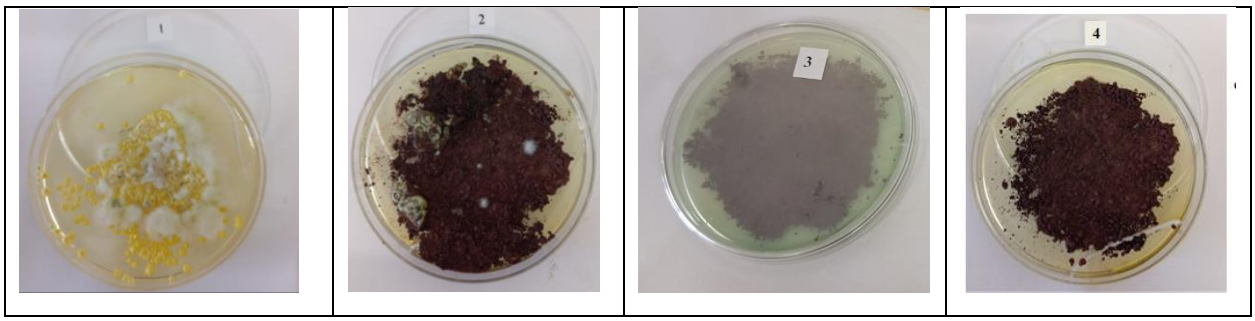


Рис. 3. Рентгенофазовый анализ пиритного огарка

Эти свойства могут быть усилены путем введения в его состав дополнительных компонентов, обладающих антимикотическим действием. В качестве фунгицидных добавок были использованы такие химические соединения, как медный купорос ($CuSO_4 \times 5H_2O$) и шестиводный хлорид никеля ($NiCl_2 \times 6H_2O$). Эти вещества, обладающие выраженными фунгицидными свойствами, широко применяются в сельском хозяйстве и агрохимии для предотвращения и лечения заболеваний растений, вызванных патогенными грибами. Медный купорос, известный своими антисептическими и фунгицидными характеристиками, активно ингибирует рост и развитие грибковых микроорганизмов, обеспечивая защиту растений [8]. Хлорид никеля, в свою очередь, также демонстрирует высокую эффективность в борьбе с грибковыми инфекциями благодаря своим биоцидным свойствам и способности ингибировать метаболические процессы патогенов [9].

На следующем этапе работы было проведено исследование по определению грибостойкости пиритного огарка, модифицированного выбранными фунгицидными соединениями. Для этого провели

культивирование плесневых грибов (рис. 4) на питательной среде агар Сабуро, состоящей из пептона и декстрозы, в присутствии дистиллированной воды, пиритном огарке без добавок; пиритном огарке с добавлением медного купороса (5,2% от массы огарка), пиритном огарке с добавлением хлорида никеля (1,83% от массы огарка).



а) б) в) г)

Рис. 4. Определение грибостойкости пиритного огарка

Примечание: а) дистиллированная вода; б) пиритный огарок без фунгицидной добавки; в) пиритный огарок с добавлением $CuSO_4 \times 5H_2O$; г) пиритный огарок с добавлением $NiCl_2 \times 6H_2O$.

Таблица 1

Шкала грибостойкости

Балл	Характеристика балла
0	Под микроскопом прорастание спор и конидий не обнаружено
1	Под микроскопом видны проросшие споры и незначительно развитый мицелий
2	Под микроскопом виден развитый мицелий, возможно спороношение
3	Невооруженным глазом мицелий и (или) спороношение едва видны, но отчетливо видны под микроскопом
4	Невооруженным глазом отчетливо видно развитие грибов, покрывающих менее 25% испытуемой поверхности
5	Невооруженным глазом отчетливо видно развитие грибов, покрывающих более 25% испытуемой поверхности

Процентное содержание фунгицидных компонентов рассчитано, исходя из требований ГОСТ к химическим добавкам. Согласно оценочной шкале

(ГОСТ 9.048-89) [10] (табл. 1) в чашке Петри №3 и № 4 появление плесневых грибов визуально не наблюдается, но под микроскопом виден незначительно мицелий, что соответствует грибостойкости в 1 балл.

Таким образом, пиритный огарок, хотя и обладает ограниченным антимикотическим потенциалом, может быть значительно модифицирован фунгицидными добавками, что позволяет его использовать в качестве компонента заполнителя в производстве биостойкого бетона. Этот подход открывает новые перспективы для повышения долговечности и эксплуатационных характеристик бетонных конструкций в условиях повышенной влажности и биологической агрессии.

Модифицирование пиритного огарка фунгицидными агентами позволяет существенно повысить его биоцидные свойства, что является ключевым фактором в обеспечении долговечности бетонных сооружений. Применение такого модифицированного заполнителя способствует формированию композита с высокой устойчивостью к биоразрушению, что особенно важно для объектов, подверженных воздействию грибковых и бактериальных колоний [11-12].

Интеграция пиритного огарка, обогащенного фунгицидными компонентами, в состав бетонной смеси не только улучшает ее биостойкость, но и способствует оптимизации физико-механических характеристик конечного материала. Это открывает широкие возможности для применения данного подхода в строительстве инфраструктурных объектов, мостов, туннелей и других конструкций, где требуется высокая степень защиты от биологических воздействий.

В заключение следует отметить, что интеграция техногенных отходов в производство биостойкого бетона представляет собой многообещающее направление, которое требует дальнейшего изучения и совершенствования. Результаты проведенных исследований свидетельствуют о высокой эффективности данного подхода и его значительном потенциале для широкого

практического применения в строительстве. Дальнейшие исследования будут направлены на определение основных физико-химических и физико-механических параметров модифицированного наполнителя для его использования в производстве биостойких бетонов с последующей комплексной геоэкологической оценкой.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шаповалов И.В. Биоповреждение строительных материалов плесневыми грибами: автореф. на соиск. ученой степ. канд. техн. наук. Белгород, БГТУ, 2003. 17 с.
2. Микробиологическое разрушение материалов: учебное пособие / В.Т. Ерофеев, В.Ф. Смирнов, Е.А. Морозов и др.; под ред. В.Т. Ерофеева и В.Ф. Смирнова. М.: Издательство Ассоциация строительных вузов, 2008. 128 с.
3. Строганов В.Ф., Сагадеев Е.В. Биоповреждение строительных материалов: учебное пособие / В.Ф. Строганов, Е.В. Сагадеев. Казань: Изд-во Казанск. гос. архитект.-строит. ун-та, 2018. 61 с.
4. Бабак Н.А., Масленникова Л.Л. Геоэкологический резерв промышленных минеральных отходов // Безопасность жизнедеятельности. 2018. № 10 (214). С. 57 – 64.
5. Макаров А.Б., Глухов М.С., Хасанова Г.Г., Паньшин М.А. Особенности строения глобулей пиритных огарков старого отвала Кировградского медеплавильного завода // Управление техносферой: электрон. журнал. 2021. Т.4. Вып.3. С. 231 – 239.
6. Макаров А.Б., Гуман О.М., Антонова И.А., Захаров А.В. Техногенно-минеральные месторождения пиритных огарков и их влияние на природную окружающую среду // Известия Уральского государственного горного университета. 2012. № 27-28. С. 38 – 45.
7. Khasanov A.S., Saidakhmedov A.A. Development of technology for processing sulfuric acid waste and converter dust, Universum: Technical sciences: electron. scientific journal, 2024, 9(126).
8. Григорьева М.В., Коробова Е.А., Данилова Н.А. Соединения меди в органическом земледелии // Сборник избранных статей по материалам научной конференции ГНИИ «Нацразвитие», Санкт-Петербург, 2021. С. 20 – 22.
9. Мамонова И.А., Бабушкина И.В. Антибактериальная активность наночастиц никеля // Актуальные вопросы дезинфектологии, 2012, № 1-2 (2). С. 225.

10. ГОСТ 9.048-89. Единая система защиты от коррозии и старения. Изделия технические. Методы лабораторных испытаний на стойкость к воздействию плесневых грибов. М.: Изд-во стандартов, 1989. 23 с.
11. Козлов И.С., Байдарашвили М.М., Сахарова А.С., Шредник Н.А. Геоэкозащитные технологии в транспортном строительстве. Экология и промышленность России. 2020. Т. 24. № 4. С. 20 – 24.
12. Сватовская Л.Б., Соловьева В.Я., Степанова И.В., Князев А.Е. Геоэкологические решения в строительной деятельности на базе естествознания замкнутого цикла. Естественные и технические науки. 2013. № 3 (65). С. 145 – 148.

Поступила в редакцию: 12.11.2025

Сведения об авторах

Богачева Инна Валерьевна
аспирант кафедры инженерной химии и естествознания ФГБОУ ВО «Петербургский государственный университет путей сообщения императора Александра I», г. Санкт-Петербург, Московский пр., 11А, Россия.
E-mail: bogacheva2021@yandex.ru

Байдарашвили Марина Михайловна
кандидат технических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Петербургский государственный университет путей сообщения императора Александра I», г. Санкт-Петербург, Московский пр., 11А, Россия.
E-mail: marika-spb@rambler.ru

I.V. Bogacheva, M.M. Baidarashvili

GEOECOLOGICAL JUSTIFICATION FOR THE USE OF MODIFIED TECHNOGENIC WASTE IN THE PRODUCTION OF BIORESISTANT CONCRETE

Annotation. The relevance of this study is determined by the rapid development of modern scientific thought, which is focused on studying the interaction between man and nature. Special attention is paid to the development of innovative technologies aimed at increasing the reliability and safety of the natural-technogenic environment. One of the key tasks in this area is to minimize the negative impact of natural factors, including mold fungi (micromycetes), on various components of the natural-technogenic system, including concrete building structures. Micromycetes pose a serious threat to concrete structures, causing their destruction, the formation of cracks, an increase in the volume of construction waste, soil pollution, and deterioration of air quality. Mold fungi also pose a danger to human health, causing infectious diseases, allergic reactions, and poisoning. In this regard, the search for effective approaches to protecting concrete structures from biodegradation caused by micromycetes is a critically important task. One of the promising directions in solving this problem is the use of technogenic waste as alternative materials for protecting concrete. This approach not only increases the resistance of structures to biodeterioration but also contributes to reducing the environmental impact through the utilization of secondary resources. The aim of the study is to substantiate the use of pyrite cinder, enriched with fungicidal components, for the production of concrete resistant to biological attack. In solving the tasks set in the work, microbiological, physicochemical, and instrumental research methods were used. The determination of physical and mechanical characteristics was carried out in accordance with the requirements of GOST standards, using certified equipment. The results of the conducted studies show that the introduction of the technogenic waste pyrite cinder, treated with fungicidal substances, is an effective solution. The obtained data allow us to conclude about the prospects of using modified pyrite cinder in the composition of the concrete mixture in order to prevent biodeterioration.

Keywords: mold fungi, biodeterioration, technogenic waste, pyrite cinder, modification, fungicides, bioresistance.

For citation: Bogacheva I.V., Baidrashvili M.M. [Geoecological justification for the use of modified technogenic waste in the production of bioresistant concrete] *Upravlenie tekhnosferoi*, 2026, vol. 9, issue 1, pp. 214–225. DOI: 10.35634/UdSU.2026.71.46.014. (In Russ.).

REFERENCES

1. Shapovalov I.V. Biopovrezhdenie stroitel'nykh materialov plesnevymi gribami [Bio-damage of building materials by mold fungi]. *Avtoreferat dissertatsii na soiskanie uchenoi stepeni k.t.n.* [*Abstract of the dissertation for the degree of Candidate of Technical Sciences*]. Belgorod, BSTU, 2003, 17p. (In Russ.).

2. Yerofeyev V.T., Smirnov V.F., Morozov E.A. [i dr.] *Mikrobiologicheskoe razrushenie materialov* [Microbiological destruction of materials]: textbook. In Yerofeyev V.T., Smirnov V.F. (eds.), Moscow: Publ., Assotsiatsiya stroitel'nykh vuzov, 2008, 128 p. (In Russ.).
3. Stroganov V.F., Sagadeev E.V. *Biopovrezhdenie stroitel'nykh materialov* [Bio-damage of building materials]: textbook. In Stroganov V.F., Sagadeev E.V. (eds.). Kazan: Publ., Kazansk. gos. arkhitekt.-stroit. un-ta, 2018, 61 p. (In Russ.).
4. Babak N.A., Maslennikova L.L. Geoekologicheskii rezerv promyshlennykh mineral'nykh otkhodov [Geoecological reserve of industrial mineral waste]. *Bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti* [*Life safety*]. 2018, no. 10 (214), pp. 57 – 64. (In Russ.).
5. Makarov A.B., Glukhov M.S., Khasanova G.G., Panshin M.A. Tekhnogenno-mineral'nye mestorozhdeniya piritnykh ogarkov i ikh vliyanie na prirodnuyu okruzhayushchuyu sredu [Structural features of globules of pyrite cinders of the old dump of the Kirovgrad copper smelter]. *Upravlenie tekhnosferoi: elektron. zhurnal* [*Technosphere management: electron. journal*], 2021, vol. 4, issue 3, pp. 231 – 239. (In Russ.).
6. Makarov A.B., Guman O.M., Antonova I.A., Zakharov A.V. Tekhnogenno-mineral'nye mestorozhdeniya piritnykh ogarkov i ikh vliyanie na prirodnuyu okruzhayushchuyu sredu [Technogenic-mineral deposits of pyrite cinders and their impact on the natural environment]. *Izvestiya Ural'skogo gosudarstvennogo gornogo universiteta* [*Proceedings of the Ural State Mining University*]. 2012, no. 27-28, pp. 38 – 45. (In Russ.).
7. Khasanov A.S., Saidakhmedov A.A. Development of technology for processing sulfuric acid waste and converter dust, *Universum: technical sciences: electronic resource. scientific journal*. 2024. 9(126).
8. Grigorieva M.V., Korobova E.A., Danilova N.A. Soedineniya medi v organicheskom zemledelii [Copper compounds in organic farming]. *Sbornik izbrannykh statei po materialam nauchnoi konferentsii GNII «Natsrazvitie»* [*Collection of selected articles based on the materials of the scientific conference of the State Research Institute "National Development"*], St. Petersburg, 2021, pp. 20 – 22. (In Russ.).
9. Mamonova I.A., Babushkina I.V. Antibakterial'naya aktivnost' nanochastits nikelya [Antibacterial activity of nickel nanoparticles]. *Aktual'nye voprosy dezinfektologii* [*Actual issues of disinfection*], 2012, no. 1-2 (2), p. 225. (In Russ.).

10. GOST 9.048-89. Edinaya sistema zashchity ot korrozii i stareniya. Izdeliya tekhnicheskie. Metody laboratornykh ispytanii na stoikost' k vozdeistviyu plesnevykh gribov [GOST 9.048-89. A unified system of protection against corrosion and aging. Technical products. Methods of laboratory tests for resistance to mold fungi]. Moscow: Publ., Standards, 1989, 23 p. (In Russ.).
11. Kozlov I.S., Baydarashvili M.M., Sakharova A.S., Shrednik N.A. Geoekozashchitnye tekhnologii v transportnom stroitel'stve [Geoecological protection technologies in transport construction]. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii* [*Ecology and industry of Russia*]. 2020, vol. 24, no. 4, pp. 20 – 24. (In Russ.).
12. Svatovskaya L.B., Solovyova V.Ya., Stepanova I.V., Knyazev A.E. Geoekologicheskie resheniya v stroitel'noi deyatel'nosti na baze estestvoznaniya zamknutogo tsikla [Geoecological solutions in construction activities based on the natural sciences of a closed cycle]. *Estestvennye i tekhnicheskie nauki* [*Natural and technical sciences*]. 2013, no. 3 (65), pp. 145 – 148. (In Russ.).

Received: 12.11.2025

About the Authors

Bogacheva Inna Valeryevna
Postgraduate Student of the Department of Engineering Chemistry and Natural Sciences, St. Petersburg State University of Railways of Emperor Alexander I, 11A Moskovsky Ave., Saint Petersburg, Russia.
E-mail: bogacheva2021@yandex.ru

Baidarashvili Marina Mikhailovna
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, St. Petersburg State University of Railways of Emperor Alexander I, 11A Moskovsky Ave., Saint Petersburg, Russia.
E-mail: marika-spb@rambler.ru