

УДК 632*95.024.4

doi: 10.21685/2307-9150-2025-2-4

Фитоиндикация антропогенно трансформированных почв в условиях Донбасса

Д. А. Достовалова¹, А. З. Глухов², Н. С. Подгородецкий³,
Ю. С. Ионуц⁴, О. С. Шумакова⁵

^{1,2}Донецкий ботанический сад, Донецк, Россия

^{3,4,5}Донбасская национальная академия строительства и архитектуры, Макеевка, Россия

¹dasha.dostovalova1997@mail.ru, ²glukhov.az@mail.ru, ³n.s.podgorodetskiy@donnasa.ru,

⁴ionuts.y.333@gmail.com, ⁵olya7657@mail.ru

Аннотация. *Актуальность и цели.* Проведено исследование токсичности почв с использованием растения-биоиндикатора (рапса озимого) в природных условиях на шахтном породном отвале, а также в лаборатории в аналогичной породе и разных типах почв с перспективой дальнейшей рекомендации его для биологической рекультивации породных отвалов Донбасса. *Материалы и методы.* В ходе исследований использовались обзорные, аналитические, натурные и экспериментальные методы. Посадка семян озимого рапса на породном отвале ш. 5/6 им. Димитрова (г. Донецк, ДНР) произведена на плато отвала, северном и южном склонах. Первые всходы появились на плато отвала. Появление всходов рапса на склонах не наблюдалось. Посадка семян озимого рапса в лабораторных условиях была произведена в пяти типах почв (примерно по 300 шт семян в каждый тип почв и породы): почву, отобранную в Донецком ботаническом саду (контроль), возле автомагистрали, в районе действующего горящего породного отвала, районе автозаправочной станции (далее – АЗС), в парке культуры и отдыха (далее – ПКиО) в районе Донецкого металлургического завода (далее – ДМЗ). В часть почвы вносились кремниевые удобрения, а также изготовленные удобрения из перегоревшей породы отвала ш. 6/14 (г. Макеевка). Во вторую часть почвы производился посев семян без внесения дополнительных удобрений. Также был произведен посев семян озимого рапса в породу отвала ш. 5/6 им. Димитрова (северный и южный склон) без внесения удобрений. *Результаты.* Наибольшее количество проростков показала почва возле породного отвала + АЗС с внесением удобрений – 67 % от общего числа посеянных семян. Наименьшее – почва в районе ДМЗ с внесением удобрений – 34 %. Наибольший рост показала почва ботанического сада с внесением удобрений – до 15 см, наименьший – почва возле породного отвала + АЗС – до 9 см. *Выводы.* Низкие рост и всхожесть семян в почвах в районе породного отвала, АЗС и ДМЗ обусловлены предположительно ввиду наличия следов нефтепродуктов, тяжелых металлов и выбросов продуктов горения в почву. Всхожесть семян и прирост в породе отвала на обоих склонах примерно одинаковы предположительно ввиду выравнивая микроклиматических условий в лаборатории, в отличие от этих условий на отвале, где южный склон является более освещенным и менее подверженным воздействию ветровых потоков.

Ключевые слова: фитоиндикация, антропогенно трансформированная почва, Донбасс

Финансирование: работа выполнена в рамках государственного задания ФГБНУ Донецкий ботанический сад по теме «Классификация почвенно-растительного покрова с помощью методов дистанционного зондирования Земли» (регистрационный № 124101500495-0).

© Достовалова Д. А., Глухов А. З., Подгородецкий Н. С., Ионуц Ю. С., Шумакова О. С., 2025. Контент доступен по лицензии Creative Commons Attribution 4.0 License / This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 License.

Для цитирования: Достовалова Д. А., Глухов А. З., Подгородецкий Н. С., Ионут Ю. С., Шумакова О. С. Фитоиндикация антропогенно трансформированных почв в условиях Донбасса // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки. 2025. № 2. С. 38–46. doi: 10.21685/2307-9150-2025-2-4

Phytoindication of anthropogenic transformed soils in the conditions of Donbass

**D.A. Dostovalova¹, A.Z. Glukhov², N.S. Podgorodetsky³,
Yu.S. Ionuts⁴, O.S. Shumakova⁵**

^{1,2}Donetsk Botanical Garden, Donetsk, Russia

^{3,4,5}Donbass National Academy of Construction and Architecture, Makeevka, Russia

¹dasha.dostovalova1997@mail.ru, ²glukhov.az@mail.ru, ³n.s.podgorodetskiy@donnasa.ru,
⁴ionuts.y.333@gmail.com, ⁵olya7657@mail.ru

Abstract. Background. The study of soil toxicity using a bioindicator plant (winter rapeseed) in natural conditions on a mine rock dump, as well as in a laboratory in a similar rock and different types of soils with the prospect of further recommending it for the biological reclamation of rock dumps in Donbass. **Materials and methods.** In the course of the research, review, analytical, field and experimental methods were used. Planting of winter rapeseed seeds on a rock dump named after sh. 5/6 Dimitrova (Donetsk, DPR) was produced on the dump plateau, the northern and southern slopes. The first shoots appeared on the plateau of the dump. The appearance of rapeseed seedlings on the slopes was not observed. Winter rapeseed seeds were planted in laboratory conditions in 5 types of soils (approximately 300 seeds per each type of soil and rock): soil selected in the Donetsk Botanical Garden (control), near the highway, in the area of an active burning rock dump (+ the area of a gas station (hereinafter referred to as the gas station), in the park culture and Recreation (hereinafter referred to as the PCiO) in the area of the Donetsk Metallurgical Plant, hereinafter referred to as the DMZ). Silicon fertilizers were applied to a part of the soil, as well as fertilizers made from the burnt-out rock of the dump sh. 6/14 (Makeyevka). In the second part of the soil, seeds were sown without additional fertilizers. Winter rapeseed seeds were also sown in the rock of the sh. 5/6 dump named after him. Dimitrova (northern and southern slopes) without applying fertilizers. **Results.** The largest number of seedlings was shown by the soil near a rock dump + a gas station with fertilizers – 67 % of the total number of sown seeds. The lowest is the soil in the DMZ area with fertilization – 34 %. The soil of the botanical garden with fertilizers showed the greatest growth – up to 15 cm, the smallest – the soil near the rock dump + gas station – up to 9 cm. **Conclusions.** The low growth and germination of seeds in the soils in the area of the rock dump, gas station and DMZ are presumably due to the presence of traces of petroleum products, heavy metals and emissions of gorenje products into the soil. Seed germination and growth in the rock of the dump on both slopes are approximately the same, presumably due to leveling microclimatic conditions in the laboratory, in contrast to these conditions on the dump, where the southern slope is more illuminated and less exposed to wind currents.

Keywords: phytoindication, anthropogenic transformed soil, Donbass

Financing: the research was financed by the Donetsk Botanical Garden on the topic “Classification of soil and vegetation cover using remote sensing methods” (No. 124101500495-0).

For citation: Dostovalova D.A., Glukhov A.Z., Podgorodetsky N.S., Ionuts Yu.S., Shumakova O.S. Phytoindication of anthropogenic transformed soils in the conditions of Donbass. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Povolzhskiy region. Estestvennye nauki = University proceedings. Volga region. Natural sciences.* 2025;(2):38–46. (In Russ.). doi: 10.21685/2307-9150-2025-2-4

Введение

Озимый рапс является неприхотливой технической масличной культурой, которая является активным поглотителем веществ и микроэлементов из почвы и способна прорасти на почвах, загрязненных тяжелыми металлами, а также засоленных почвах. Теоретически существует возможность применения озимого рапса для закрепления склонов шахтных породных отвалов и их биологической рекультивации, что особо актуально для такого горнодобывающего региона как Донбасс.

Фитотестирование широко применяется при обнаружении загрязнения почв. Наиболее часто для этого используют кресс-салат *Lepidium sativum* L., редис *Raphanus raphanistrum subsp. sativus* L., подсолнечник *Helianthus annuus* L., горчица *Sinapis alba* L., рапс *Brassica napus* L., турнепс *Brassica rapa subsp. rapifera* Metzger и т.д. Для количественной оценки действия факторов в условиях техногенного загрязнения используют различные физиологические, биохимические и цитогенетические параметры тест-систем растений: всхожесть и энергию прорастания семян, параметры длины корней и проростков семян, интенсивность роста побегов растения, интенсивность наращивания его фитомассы, количество формирующихся цветков, семян и плодов, размеры некоторых частей растения, например, околоцветников, листьев и т.д. Фитотестирование пригодно для обнаружения загрязнения, для оценки степени загрязненности почв, а также его применяют для оценки и контроля процессов обезвреживания поллютантов и ремедиации загрязненных почв. Перспективным направлением является использование растений как тест-культур для изучения воздействия различных загрязнителей почв [11].

Донбасс является антропогенно видоизмененным регионом, большая часть территорий которого представлена трансформированными типами почв – урбаноземами, техноземами, реплантоземами. Большие площади занимают также угольные отвалы горнодобывающих предприятий.

По данным Министерства угля и энергетики ДНР, на территории республики насчитывается около 800 породных отвалов, половина из которых расположены на административных территориях городов Донецк (144), Макеевка (118), Шахтерск (69) и Торез (67). Техногенная нагрузка в Донбассе в 5–10 раз выше средней. Общая площадь техногенных объектов на территории некоторых городов республики достигает более 10 % от их площади.

Для определения токсичности почв используются два варианта фитотестирования: 1) определения токсичности почв путем проращивания семян высших растений непосредственно в почве; 2) определение токсичности водных вытяжек из почв по их влиянию на различные показатели прорастания семян высших растений.

Следует отметить, что во многих научных работах исследователями было показано, что результаты фитотестирования первым и вторым способами существенно различаются. Вариант фитотестирования, предполагающий анализ роста растений непосредственно в почве, более чувствителен, чем определение токсичности водных вытяжек из этих почв [12].

Методы фитотестирования подразделяются на лабораторный, вегетационный (горшечный) и микроплощадочный варианты. Такое подразделение подразумевается в зависимости от используемого масштаба. Среди трех

указанных вариантов наиболее широко применяется лабораторный метод фитотестирования. Это связано с его более высокой чувствительностью, простотой применения, компактностью, относительной дешевизной, доступностью и сохранностью тест-объекта (растительных семян).

Целью работы является исследование токсичности почв с использованием в качестве растения-биоиндикатора (рапса озимого) в природных условиях на шахтном породном отвале, а также в лаборатории на аналогичной породе и разных типах почв с перспективой разработки дальнейшей рекомендации использования рапса для биологической рекультивации породных отвалов Донбасса.

Материалы и методы

В качестве тест-параметров использованы следующие показатели растительных организмов: всхожесть (количество проросших семян – в % от общего количества семян, используемых в эксперименте); энергию прорастания (количество семян, проросших в первые трое суток – в % от общего количества семян в эксперименте); дружность прорастания (среднее количество семян, проросших за одни сутки от начала эксперимента – в % от общего количества семян, в эксперименте); скорость прорастания (количество семян, прорастающих ежедневно – выражается как сумма средних значений проросших семян за определенные сутки экспонирования) [13].

Посадка семян озимого рапса в лабораторных условиях была произведена 24.10.2024 в пяти типах почв (примерно по 300 шт семян в каждый тип почв и породы): почву, отобранную в Донецком ботаническом саду (контроль); возле автомагистрали; в районе действующего горящего породного отвала; районе автозаправочной станции (далее – АЗС); в парке культуры и отдыха (далее – ПКиО) в районе Донецкого металлургического завода (далее – ДМЗ). В часть почвы вносились кремниевые удобрения, а также изготовленные удобрения из перегоревшей породы отвала ш. 6/14 (г. Макеевка). Во вторую часть почвы производился посев семян без внесения дополнительных удобрений. Также был произведен посев семян озимого рапса в породу отвала ш. 5/6 им. Димитрова (северный и южный склон) без внесения удобрений.

Результаты и их обсуждение

Посадка семян озимого рапса на породном отвале ш. 5/6 им. Димитрова (г. Донецк, ДНР) произведена 20.10.2024 на плато отвала, северном и южном склонах. Первые всходы появились на плато отвала 30.10.2024. Появление всходов рапса на склонах наблюдалось 25.04.2025.

Первые всходы рапса появились через три дня. Лучшую всхожесть семян и рост показали почва ботанического сада и ПКиО (35–41 % от общего количества семян, высота: 0,5–6 см). При этом рапс на почве, в которую были внесены удобрения, показал больший прирост (на 1 см) и большее количество проростков. Худшие прирост и всхожесть биоиндикатора были выявлены на почве возле породного отвала. На участках посевов без удобрений на первый день исследований не наблюдалось ни одного проростка. На почве с удобрениями отмечена 6 % всхожесть семян с высотой проростков от 0,1 до 0,5 см. В породе отвала на южном склоне количество проростков с высотой 0,1–3,5 см составило 43 %, на северном склоне – 23 % (в 2 раза меньше).

Последующие контрольные замеры показали регулярный стабильный рост всходов на 1,5–3 см в течение 11 дней. Ростки в почве возле породного отвала и АЗС появились 29.10 и показали прирост до 9 см.

Развитие всходов во всех образцах почвы и породе остановилось 07.11.2024 на 14 день после посадки (прирост составил от 10 до 15 см (рис. 1)).



а)



б)



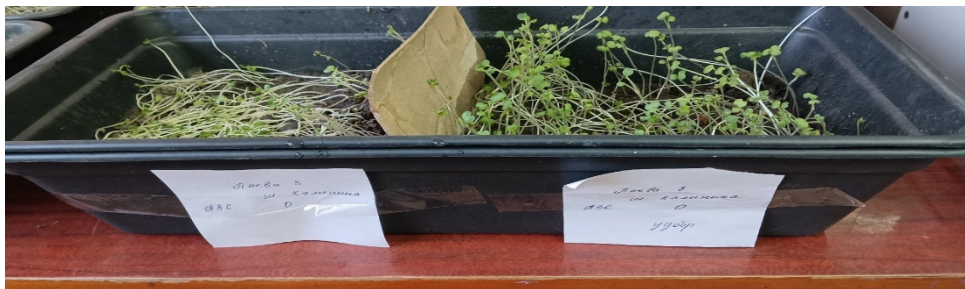
в)

Рис. 1. Почва:

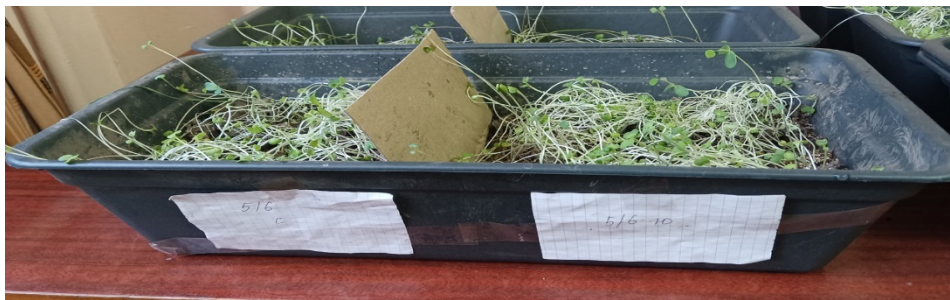
а – ПКиО; б – район ДМЗ; в – Донецкий ботанический сад (контроль) (начало)



з)



д)



е)

Рис. 1. Окончание:

з – автомагистраль; д – породный отвал + АЗС;
е – порода отвала 5/6 им. Димитрова

Закключение

Таким образом, наибольшее количество проростков было получено на почвах возле породного отвала + АЗС с внесением удобрений – 67 % от общего числа посеянных семян, наименьшее – почва из района ДМЗ с внесением удобрений – 34 %. Наибольший прирост всходов был получен на почве ботанического сада с внесением удобрений до 15 см, наименьший на почве возле породного отвала + АЗС – до 9 см. Низкие прирост и всхожесть семян в почвах в районе породного отвала, АЗС и ДМЗ были обусловлены предположительно наличием следов нефтепродуктов, тяжелых металлов и продуктов горения. В отличие от результатов эксперимента в природной среде этих условий на отвале, где на более освещенном и менее подверженном воздействию

ветровых потоков южном склоне были получены более высокие показатели. Всхожесть семян и прирост на породе отвала южного и северного склонов оказались примерно одинаковыми предположительно ввиду выравнивания микроклиматических условий в лаборатории.

Список литературы

1. Зыбалов В. С. Сергеев Н. С., Запечалов М. В. Рациональное использование рапса в сельскохозяйственном производстве // АПК России. 2019. Т. 26, № 2. С. 544–564.
2. Kaya A. R., Coşkun N. Effect of organic fertilizer forms and doses on the seed germination and seedling development of rapeseed (*Brassica napus* L.) // Applied ecology and environmental research. 2020. Vol. 18, № 5. P. 6813–6828. doi: 10.15666/aeer/1805_68136828
3. Чекмарев П. А., Смирнов А. А., Прахова Т. Я. Интродукция нетрадиционных масличных культур // Достижения науки и техники АПК. 2013. № 7. С. 3–5.
4. Лукомец В. М., Зеленцов С. В., Кривошлыков К. М. Перспективы и резервы расширения производства масличных культур в Российской Федерации // Масличные культуры. Научно-технический бюллетень Всероссийского научно-исследовательского института масличных культур. 2015. Вып. 4 (164). С. 81–102.
5. Asma Haj Sghaier, Ákos Tarnawa, Hussein Khaeim [et al.]. The Effects of Temperature and Water on the Seed Germination and Seedling Development of Rapeseed (*Brassica napus* L.) // Plants. 2022. Vol. 11, № 2819. P. 18. doi: 10.3390/plants11212819
6. Jifeng Zhu, Xirong Zhou, Jianxia Jiang [et al.]. The Seed Germination Characteristics Under Low Temperature and Spring Sowing Study of 8 Rapeseed Varieties // Molecular Plant Breeding. 2021. Vol. 12, № 16. P. 1–7. doi: 10.5376/mpb.2021.12.0016
7. Pica N. E., Carlson K., Steiner J. J., Waskom R. Produced water reuse for irrigation of non-food biofuel crops: effects on switchgrass and 2 rapeseed germination, physiology and biomass yield // Industrial Crops and Products. 2017. Vol. 100, № 4. P. 65–76. doi: 10.1016/j.indcrop.2017.02.011
8. Shuaiyang Zhang, Chengxu Lv, Cheng Cui [et al.]. Near-Infrared Spectral Analysis for Assessing Germination Rate of Rapeseed Seeds: An Applied Sciences Approach // Applied Sciences. 2023. Vol. 13, № 11001. P. 16. doi: 10.3390/app131911001
9. Souhail Channaoui, Imane Saghoui El Idrissi, Hamid Mazouz, Abdelghani Nabloussi. Reaction of some rapeseed (*Brassica napus* L.) genotypes to different drought stress levels during germination and seedling growth stages // Oilseeds and fats, Crops and Lipids. 2019. Vol. 26, № 5. doi: 10.1051/ocl/2019020
10. Tao Luo, Ziwei Sheng, Chunni Zhang [et al.]. Seed Characteristics Affect Low-Temperature Stress Tolerance Performance of Rapeseed (*Brassica napus* L.) during Seed Germination and Seedling Emergence Stages // Agronomy. 2022. № 12. 16 p. doi: 10.3390/agronomy12081969
11. Тишин А. С. Фитотестирование почв, загрязненных нефтепродуктами // Международный научно-исследовательский журнал. 2020. № 12 (102), ч. 2. Декабрь. С. 78–83.
12. Арзамазова А. В., Кинжаев Р. Р., Трофимов С. Я. Опыт применения яровой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) в целях фитотестирования нефтезагрязненных почв // Проблемы агрохимии и экологии. 2016. № 2. С. 47–51.
13. Дубровская Е. В., Позднякова Н. Н., Муратова А. Ю., Турковская О. В. Изменение фитотоксичности полициклических ароматических углеводородов в процессе их микробной деградации // Физиология растений. 2016. Т. 63, № 1. С. 180–188.

References

1. Zybalov V.S. Sergeev N.S., Zapevalov M.V. Rational use of rapeseed in agricultural production. *APK Rossii* = Russian agro-industrial complex. 2019;26(2):544–564. (In Russ.)

2. Kaya A.R., Coşkun N. Effect of organic fertilizer forms and doses on the seed germination and seedling development of rapeseed (*Brassica napus* L.). *Applied ecology and environmental research*. 2020;18(5):6813–6828. doi: 10.15666/aeer/1805_68136828
3. Chekmarev P.A., Smirnov A.A., Prakhova T.Ya. Introduction of non-traditional oil crops. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK* = Achievements of science and technology in the agro-industrial complex. 2013;(7):3–5. (In Russ.)
4. Lukomets V.M., Zelentsov S.V., Krivoshlykov K.M. Prospects and reserves for expanding oilseed production in the Russian Federation. *Maslichnye kul'tury. Nauchno-tekhnicheskiy byulleten' Vserossiyskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta maslichnykh kul'tur* = Oilseeds. Scientific and technical bulletin of the All-Russian Research Institute of Oilseeds. 2015;(4):81–102. (In Russ.)
5. Asma Haj Sghaier, Ákos Tarnawa, Hussein Khaeim et al. The Effects of Temperature and Water on the Seed Germination and Seedling Development of Rapeseed (*Brassica napus* L.). *Plants*. 2022;11(2819):18. doi: 10.3390/plants11212819
6. Jifeng Zhu, Xirong Zhou, Jianxia Jiang et al. The Seed Germination Characteristics Under Low Temperature and Spring Sowing Study of 8 Rapeseed Varieties. *Molecular Plant Breeding*. 2021;12(16):1–7. doi: 10.5376/mpb.2021.12.0016
7. Pica N.E., Carlson K., Steiner J.J., Waskom R. Produced water reuse for irrigation of non-food biofuel crops: effects on switchgrass and 2 rapeseed germination, physiology and biomass yield. *Industrial Crops and Products*. 2017;100(4):65–76. doi: 10.1016/j.indcrop.2017.02.011
8. Shuaiyang Zhang, Chengxu Lv, Cheng Cui et al. Near-Infrared Spectral Analysis for Assessing Germination Rate of Rapeseed Seeds: An Applied Sciences Approach. *Applied Sciences*. 2023;13(11001):16. doi: 10.3390/app131911001
9. Souhail Channaoui, Imane Saghour El Idrissi, Hamid Mazouz, Abdelghani Nabloussi. Reaction of some rapeseed (*Brassica napus* L.) genotypes to different drought stress levels during germination and seedling growth stages. *Oilseeds and fats, Crops and Lipids*. 2019;26(5). doi: 10.1051/ocl/2019020
10. Tao Luo, Ziwei Sheng, Chunni Zhang et al. Seed Characteristics Affect Low-Temperature Stress Tolerance Performance of Rapeseed (*Brassica napus* L.) during Seed Germination and Seedling Emergence Stages. *Agronomy*. 2022;(12):16. doi: 10.3390/agronomy12081969
11. Tishin A.S. Phytotesting of soils contaminated with petroleum products. *Mezhdunarodnyy nauchno-issledovatel'skiy zhurnal* = International research journal. 2020;(12):78–83. (In Russ.)
12. Arzamazova A.V., Kinzhaev R.R., Trofimov S.Ya. Experience of using spring wheat (*Triticum aestivum* L.) for phytotesting of oil-contaminated soils. *Problemy agrokhimii i ekologii* = Issues of agrochemistry and ecology. 2016;(2):47–51. (In Russ.)
13. Dubrovskaya E.V., Pozdnyakova N.N., Muratova A.Yu., Turkovskaya O.V. Changes in the phytotoxicity of polycyclic aromatic hydrocarbons during their microbial degradation. *Fiziologiya rasteniy* = Plant physiology. 2016;63(1):180–188. (In Russ.)

Информация об авторах / Information about the authors

Дарья Александровна Достовалова
аспирант, младший научный сотрудник
научно-исследовательской лаборатории
экологической информатики
и моделирования,
Донецкий ботанический сад
(Россия, г. Донецк, пр-кт Ильича, 110)
E-mail: dasha.dostovalova1997@mail.ru

Daria A. Dostovalova
Postgraduate student,
junior researcher of the research
laboratory of environmental
informatics and modeling,
Donetsk Botanical Garden
(110 Ilyicha avenue, Donetsk, Russia)

Александр Захарович Глухов

доктор биологических наук, профессор,
главный научный сотрудник
лаборатории культурных растений,
Донецкий ботанический сад
(Россия, г. Донецк, пр-кт Ильича, 110)
E-mail: glukhov.az@mail.ru

Aleksandr Z. Glukhov

Doctor of biological sciences, professor,
chief researcher of the laboratory
of cultivated plants,
Donetsk Botanical Garden
(110 Ilyicha avenue, Donetsk, Russia)

Николай Сергеевич Подгородецкий

кандидат технических наук, доцент,
доцент кафедры техносферной
безопасности,
Донбасская национальная академия
строительства и архитектуры
(Россия, г. Макеевка, ул. Державина, 2)
E-mail: n.s.podgorodetskiy@donnasa.ru

Nikolay S. Podgorodetsky

Candidate of technical sciences, associate
professor, associate professor
of the sub-department
of technosphere safety,
Donbass National Academy
of Construction and Architecture
(2 Derzhavina street, Makeevka, Russia)

Юлия Сергеевна Ионуц

аспирант, ассистент кафедры
техносферной безопасности,
Донбасская национальная академия
строительства и архитектуры
(Россия, г. Макеевка, ул. Державина, 2)
E-mail: ionuts.y.333@gmail.com

Yulia S. Ionuts

Postgraduate student,
assistant of the sub-department
of technosphere safety,
Donbass National Academy
of Construction and Architecture
(2 Derzhavina street, Makeevka, Russia)

Ольга Сергеевна Шумакова

студент,
Донбасская национальная академия
строительства и архитектуры
(Россия, г. Макеевка, ул. Державина, 2)
E-mail: olya7657@mail.ru

Olga S. Shumakova

Student, Donbass National Academy
of Construction and Architecture
(2 Derzhavina street, Makeevka, Russia)

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов /

The authors declare no conflicts of interests.

Поступила в редакцию / Received 03.06.2025

Поступила после рецензирования и доработки / Revised 20.08.2025

Принята к публикации / Accepted 12.09.2025