

Анализ аккумуляции и острых фитотоксических реакций базилика душистого *Ocimum basilicum* на контаминацию свинцом в начальные фазы развития растений

Мария Михайловна Годяева, Надежда Игоревна Уютова

Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, г. Москва, Россия

e-mail: airrune@yandex.ru

Аннотация. Отмечено, что загрязнение сельскохозяйственной воды и субстратов тяжелыми металлами является серьезной экологической проблемой, которая может снизить как урожайность растений, так и безопасность растительной продукции, используемой в пищевых целях или в качестве кормов. Свинец, являясь одним из самых распространенных экотоксикантов среди тяжелых металлов, часто попадает в воду, используемую для полива культур открытого и закрытого грунта. Модель эксперимента была основана на методе определения острой фитотоксичности по ГОСТ 33777-2016 с внесением необходимых коррекционных изменений, не конфликтующих с ГОСТ. Аналитические работы были основаны на методах атомно-эмиссионной спектроскопии и оптической микроскопии. Исходя из полученных данных, необходимо отметить барьерную функцию эксудата семени базилика, которая выражается в том, что эксудат поглощает большую часть соли экотоксиканта из раствора, а также депривацию роста корневых волосков и малую вариативность фитотоксичности $Pb(CH_3COO)_2$ для разных сортов. Фитотоксичность свинца выражается в данном исследовании по градиенту, в котором на максимальной концентрации $Pb(CH_3COO)_2$ получаем острую, однако нелетальную токсическую реакцию. Эксудат выполняет протекторную роль в первые дни прорастания семени, однако не исключает некроз корневых волосков и в последующем корня, не защищенного эксудатом.

Ключевые слова: эфиромасличные культуры; базилик; фитотоксичность; свинец; атомно-эмиссионная спектроскопия; оптическая микроскопия.

Для цитирования: Годяева М. М., Уютова Н. И. Анализ аккумуляции и острых фитотоксических реакций базилика душистого *Ocimum basilicum* на контаминацию свинцом в начальные фазы развития растений // Аграрный научный журнал. 2023. № 12. С. 18–22. <http://dx.doi.org/10.28983/asj.y2023i12pp18-22>.

AGRONOMY

Original article

Analysis of accumulation and acute phytotoxic reactions of *Ocimum basilicum* to lead contamination in the initial phases of plant development

Maria M. Godyaeva, Nadezhda I. Uyutova

Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russia

e-mail: airrune@yandex.ru

Abstract. It was noted that contamination of agricultural water and substrates with heavy metals is a serious environmental problem that can reduce both plant productivity and the safety of plant production used for food purposes or as forage. Lead, being one of the most common ecotoxicants among heavy metals, often ends up in water used for irrigating open and closed ground crop systems. The experimental model was based on the method for determining acute phytotoxicity according to GOST 33777-2016, with the introduction of the necessary corrective changes that do not conflict with GOST. Analytical work was based on the methods of atomic emission spectrometry and optical microscopy. Based on the data obtained, it is necessary to note the barrier function of basil seed exudate, which is expressed in the fact that the exudate absorbs most of the ecotoxicant compound from the solution, as well as deprivation of root hair growth and low variability of $Pb(CH_3COO)_2$ phytotoxicity for different varieties. The phytotoxicity of lead is expressed in this study along a gradient in which at the maximum concentration of $Pb(CH_3COO)_2$ we obtain an acute, but non-lethal toxic reaction. Exudate plays a protective role in the first days of seed germination, but does not exclude necrosis of root hairs and, subsequently, of the root not protected by exudate.

Keywords: essential oil crops; basil; phytotoxicology; lead; atomic emission spectrometry; optical microscopy.

For citation: Godyaeva M.M., Uyutova N.L. Analysis of accumulation and acute phytotoxic reactions of *Ocimum basilicum* to lead contamination in the initial phases of plant development // Agrarnyy nauchnyy zhurnal = The Agrarian Scientific Journal. 2023;(12):18–22. (In Russ.). <http://dx.doi.org/10.28983/asj.y2023i12pp18-22>.





Введение. Являясь одной из наиболее популярных для выращивания в закрытом грунте эфиромасличных культур, базилик душистый *Ocimum basilicum* широко распространён как при промышленном выращивании, так и при сити-фермерстве [1, 2]. Полезные свойства базилика связаны с наличием вторичных метаболитов, обладающих антиоксидантными свойствами, таких как полифенолы, флавоноиды (главным образом флавонолы и антоцианы), витамин С, каротиноиды, эфирные масла, алкалоиды и т.д. [3, 4].

Наиболее актуальным способом производства базилика является выращивание его на гидропонике – интенсивной системе беспочвенного производства в сельском хозяйстве, которая позволяет получать значительные урожаи, используя меньшее количество ресурсов по сравнению с культивацией на природных почвах и грунтах [5]. Новые высокотехнологичные и сложные теплицы и гидропонные установки достигли значительного повторного использования воды и питательных веществ, что позволило снизить экологическое давление на окружающую среду [6]. Однако в сфере сельского хозяйства подход к экономике замкнутого цикла предполагает, что отрасль растениеводства может достичь большей устойчивости просто за счет максимально продолжительного использования большего количества ресурсов и материалов [7]. К сожалению, зачастую это приводит к контаминации растворов и субстратов тяжёлыми металлами, токсическими элементами, а также загрязнителями органической природы [8, 9].

Загрязнение сельскохозяйственной воды и субстратов тяжёлыми металлами является серьёзной экологической проблемой, которая может снизить как урожайность растений, так и безопасность растительной продукции, используемой в пищевых целях или в качестве кормов [10, 11]. Так как большая часть тяжёлых металлов может поглощаться растениями и аккумулироваться в их тканях, в конечном итоге попадая в пищевую цепочку и тем самым создавая прямую угрозу здоровью человека [12]. Чтобы обеспечить безопасность сельскохозяйственной продукции, правительство обычно вводит мораторий на использование почв и воды, загрязнённых ТМ, до полной рекультивации [13].

Свинец, являясь одним из самых распространённых экотоксикантов среди тяжёлых металлов, часто попадает в воду, используемую для полива культур открытого и закрытого грунта. Причиной этого зачастую является техногенное загрязнение или использование свинца в сплавах, контактирующих с водой. Обычно эти концентрации не превышают ПДК, однако постоянное присутствие в гидропонных системах солей тяжёлых металлов и ведёт к их накоплению со временем, и последующей аккумуляции и транслокации в растениях.

Базилик, как широко распространённая сельскохозяйственная культура закрытого грунта, часто подвержен воздействию солей тяжёлых металлов [14, 15]. Как неприхотливую и аккумулирующую медь и свинец культуру семейства яснотковых его даже использовали в опытах по фиторемедиации [16].

Цель исследования – изучение накопления тяжёлых металлов на примере свинца в растениях базилика душистого сортов Василиск и Ред Рубин и фитотоксичность свинца в выбранных концентрациях на ранних стадиях развития растений.

Исходя из цели были поставлены следующие задачи: изучить свойства экссудата при прорастании у здоровых растений базилика душистого сортов Василиск и Ред Рубин; проанализировать градиент фитотоксичности свинца при контаминации раствора разными концентрациями токсиканта; провести оценку аккумуляции и развития фитотоксического эффекта на ранних фазах роста растений базилика душистого.

Методика исследований. Модель эксперимента была основана на методе определения острой фитотоксичности по ГОСТ 33777-2016 с внесением необходимых коррекционных изменений, не конфликтующих с ГОСТ.

Семена базилика сортов Василиск и Ред Рубин высевали по 20 шт. в чашки Петри с повторностью три чашки Петри на исследуемую группу. Для эксперимента использовали контрольную группу, проращивание в которой производили на дистиллированной воде, и группы загрязнением 100 и 500 мг/л. Контаминацию проводили раствором ацетата свинца.

Эксперимент проводили без доступа света при температуре 20 °С и влажности 40 %. Микотоксичных агентов и антибактериальных веществ во избежание дополнительной фитотоксичности добавлено не было. Культивирование проводили в течение 5 дней, после чего часть растений использовали для микроскопии, а другую часть – для элементного анализа. Для определения количественного содержания свинца в растениях базилика применяли метод атомно-эмиссионной спектроскопии. Исследование проводили на ИСП-ОЭС Thermo iCap6300duo, пробоподготовку образцов производили с помощью системы микроволнового разложения. Определение производили в высушенных до воздушно сухой массы, перетёртых образцах, без разделения на органы, в связи с малой массой. Определение концентрации свинца в эксудате проходило без высушивания.

Результаты исследований. Фитотоксичность свинца в используемых нами концентрациях не вызывает сомнений. Несмотря на высокую всхожесть обоих сортов в контроле и их быстрое развитие, всхожесть у сорта Василиск составила 95 %, для сорта Ред Рубин – 90 %, растения в опытных группах развивались значительно медленнее. Необходимо отметить, что с повышением концентрации по градиенту ингибирование роста и развития растений происходит прямо пропорционально (рис. 1).

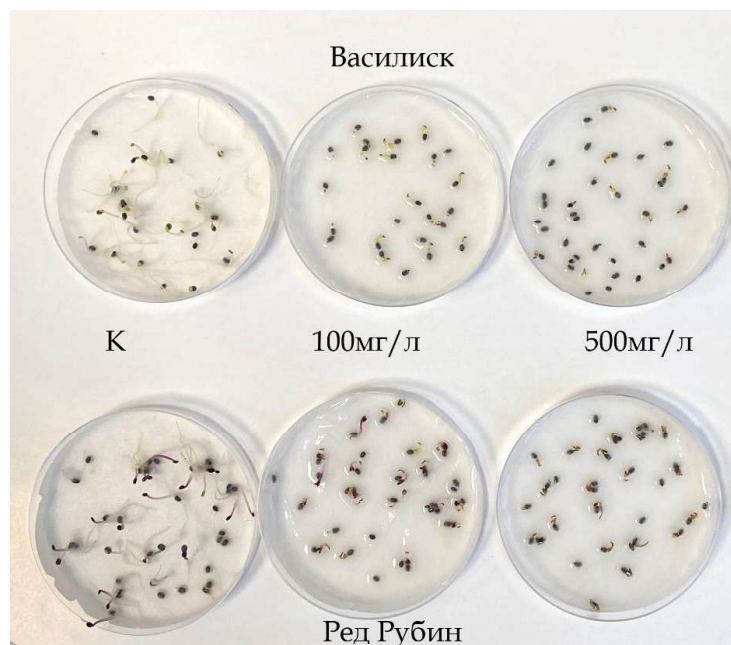


Рис. 1. Визуальная оценка фитотоксичности ацетата свинца на 5-й день эксперимента

Оценивая изменения всхожести семян базилика, можно отметить, что несмотря на присутствующий градиент всхожести с уменьшением её при увеличении концентрации свинца, для данной культуры полученная вариация (не более 10 %) не является статистически значимой. Также для объективной оценки всхожести, используемый нами временной период, необходимый для аналитических исследований, недостаточен.

Несмотря на это, образуемый растениями экссудат не отличался по объёму, цвету и другим визуально определяемым характеристикам.

Экссудат, образующийся при набухании семян базилика, носит протекторную функцию. Логично будет предположить, что также он является естественным барьером, предохраняющим растения от проникновения естественных контаминантов. Исходя из полученных данных (рис. 2), во-первых, необходимо отметить высокую вариативность поглощения свинца экссудатом растений базилика в зависимости от сорта. Также необходимо отметить высокую барьерную функцию и большой процент поглощения фитотоксиканта экссудатной оболочкой семени. Также необходимо отметить, что барьерная функция возрастает прямо пропорционально увеличению концентрации свинца в растворе.

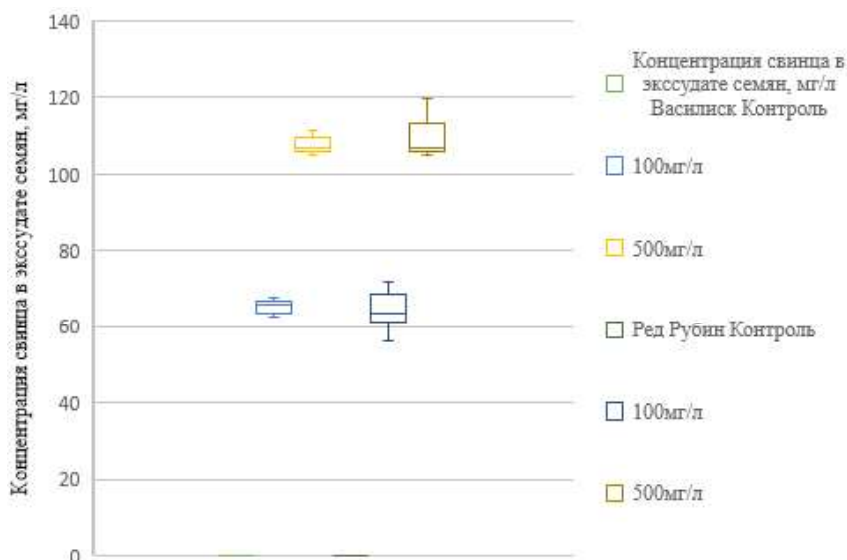


Рис. 2. Вариативность аккумуляции свинца в экссудате семян базилика на 5-й день проращивания

Одной из важнейших характеристик здоровья растения является поглощающая способность корня, которая на данной фазе развития растений базилика будет целиком и полностью зависеть от развития и функционирования корневых волосков. Используя систему оптической микроскопии, была проведена оценка состояния корня и его поверхности на пятый день эксперимента (рис. 3).



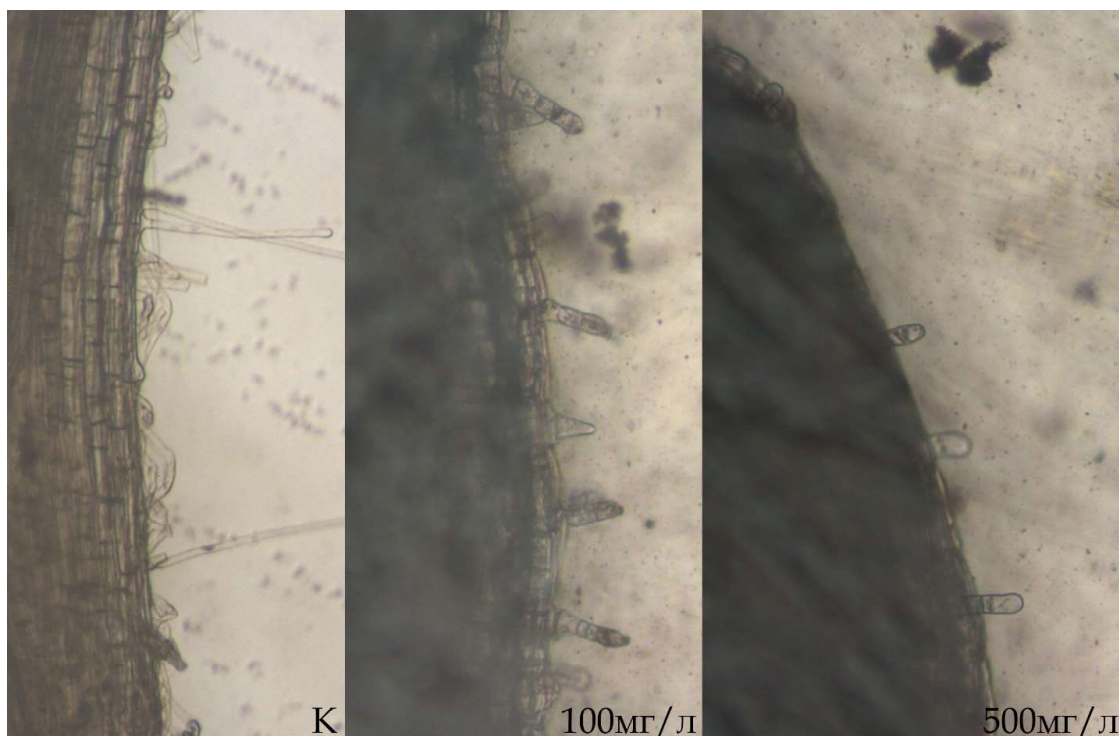


Рис. 3. Оценка развития корневых волосков растений базилика сорта Василиск на 5-й день проращивания методом оптической микроскопии

Корневые волоски выполняют важнейшую функцию в поглощении питательных веществ из раствора, являясь для культуры базилика душистого индикатором здорового состояния корней на ранних фазах развития. На снимке контрольного образца мы можем заметить большое количество корневых волосков длиной от 400 до 1700 мкм, без следов некроза. При добавлении 100 мг/л свинца количество корневых волосков значительно сокращается, они изменяют форму, становясь более массивными и короткими, до 500 мкм, на концах корневых волосков иногда присутствует тёмные участки некроза. При концентрации токсиканта 500 мг/л ингибирование роста корневых волосков значительно усиливается, их длина сокращается до 200 мкм, что уже значительно влияет на развитие проростков и будущую их морфологию. Причём вариация фитотоксического эффекта между сортами в данном случае будет минимальна (рис. 4).

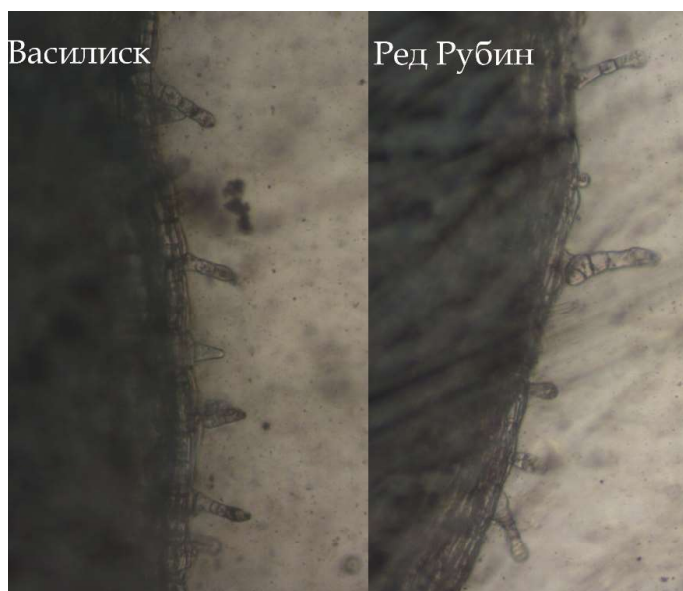


Рис. 4. Схожесть фитотоксических реакций растений базилика сортов Василиск и Ред Рубин при 100 мг/л $Pb(CH_3COO)_2$ на 5-й день проращивания, выявленная методом оптической микроскопии

Исходя из полученных результатов по микроскопии и элементному анализу, логично было бы рассмотреть проростки базилика без экссудата и внешней оболочки семени. Полученные данные показывают, что вариативность аккумуляции солей тяжёлых металлов в проростках растений базилика будет также зависеть от сорта, однако механизм накопления токсиканта будет идентичен (рис. 5).

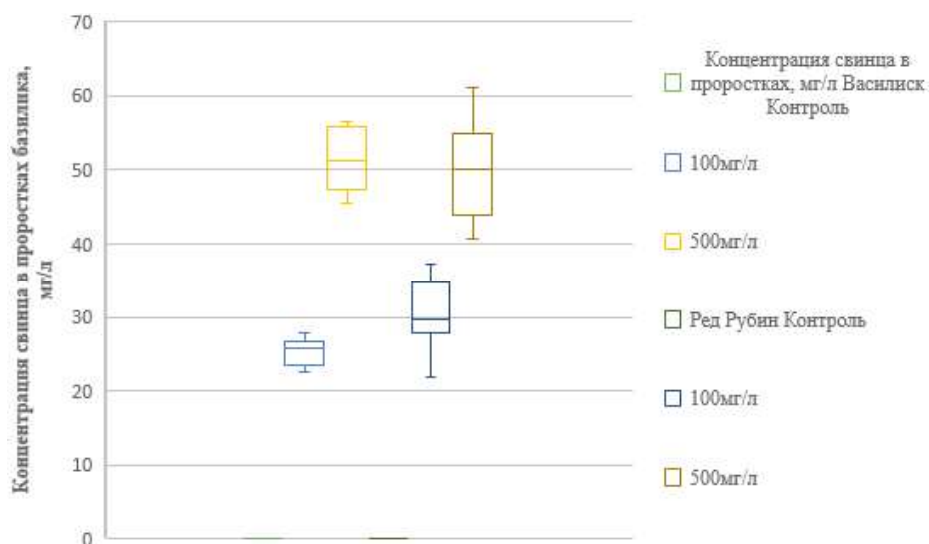


Рис. 5. Оценка накопления свинца в проростках базилика на 5-й день проращивания

Закключение. Как и предполагалось, экссудат семени базилика играет протекторную и барьерную роль, иммобилизируя $Pb(CH_3COO)_2$ и не допуская его поступление в органы растения. Несмотря на активную аккумуляцию свинца растениями базилика и выраженные фитотоксические реакции, сублетальный порог достигнут не был, что свидетельствует о высокой устойчивости базилика душистого к контаминации тяжёлыми металлами (на примере свинца). На ранних фазах роста наиболее ярким проявлением фитотоксического эффекта будет ингибирование развития корневых волосков и их постепенный некроз.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Begum F. U., Skinner G., S Smieszek. P., Budge S., Stead A. D., Devlin P. F. Improved chilling tolerance in glasshouse-grown potted sweet basil by end-of-production, short-duration supplementary far red light *Front Plant Sci.* 2023; 14. doi: 10.3389/fpls.2023.1239010.
2. Khater E. S. *et al.* Production of basil (*Ocimum basilicum* L.) under different soilless cultures. *Sci Rep.* 2021; 11; 1, Dec. doi: 10.1038/s41598-021-91986-7.
3. Fayeizadeh M. R., Ansari N. A., Sourestani M. M., Hasanuzzaman M. Balancing Yield and Antioxidant Capacity in Basil Microgreens: An Exploration of Nutrient Solution Concentrations in a Floating System. *Agriculture.* 2023; 13; 9: 1691. doi: 10.3390/agriculture13091691.
4. Khursheed T. *et al.* Biochemical, nutraceutical and phytochemical characterization of chia and basil seeds: A comparative study. *Int J Food Prop.* 2023; 26; 1: 1–13. doi: 10.1080/10942912.2022.2151617.
5. Maurer D., Sadeh A., Chalupowicz D., Barel S., Shimshoni J. A., Kenigsbuch D. Hydroponic versus soil-based cultivation of sweet basil: impact on plants' susceptibility to downy mildew and heat stress, storability and total antioxidant capacity. *J Sci Food Agric.* 2023, doi: 10.1002/jsfa.12860.
6. Elvanidi A., Reascos C. M. B., Gourzoulidou E., Kunze A., Max J. F. J., Katsoulas N. Implementation of the circular economy concept in greenhouse hydroponics for ultimate use of water and nutrients. *Horticulturae.* 2020; 6; 4: 1–16. doi: 10.3390/horticulturae6040083.
7. Duque-Acevedo M., Belmonte-Ureña L. J., Cortés-García F. J., Camacho-Ferre F. Agricultural waste: Review of the evolution, approaches and perspectives on alternative uses. *Global Ecology and Conservation.* 2020; 22. Elsevier B.V., Jun. 01. doi: 10.1016/j.gecco.2020.e00902.
8. Rani R. S., Kumar H. V. H., Mani A., Reddy B. S., Rao Ch. S. Cultivation of Basil under Hydroponics with Nutrient Film Technique in Controlled Environment. *Ecology, Environment and Conservation.* 2022; 28: 237–242. doi: 10.53550/eecc.2022.v28i07s.039.
9. Yang T., Kim H. J. Comparisons of nitrogen and phosphorus mass balance for tomato-, basil-, and lettuce-based aquaponic and hydroponic systems. *J Clean Prod.* 2020; 274, Nov. doi: 10.1016/j.jclepro.2020.122619.
10. Guillevic F. *et al.* The legacy of metallurgical atmospheric contamination in a mountainous catchment: A delayed response of Pb contamination. *Science of the Total Environment.* 2023; 895, Oct. doi: 10.1016/j.scitotenv.2023.165127.
11. Amalia A., Zumaidar Z., Amalia A. Contamination Levels of Pb Heavy Metals and Availability of Phytoremediation Plants in the Gampong Jawa Landfill Area, Banda Aceh City. *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA.* 2023; 9; 9: 6780–6786, Sep. doi: 10.29303/jppipa.v9i9.4474.
12. F. de Oliveira Mesquita, Pedrosa T. D., Batista R. O., E. M. de Andrade. Translocation factor of heavy metals by elephant grass grown with varying concentrations of landfill leachate. *Environmental Science and Pollution Research.* 2021; 28; 32: 43831–43841, Aug. doi: 10.1007/s11356-021-13765-1.
13. Caicedo-Rivas G., Salas-Moreno M., Marrugo-Negrete J. Health Risk Assessment for Human Exposure to Heavy Metals via Food Consumption in Inhabitants of Middle Basin of the Atrato River in the Colombian Pacific. *Int J Environ Res Public Health.* 2023; 20; 1, Jan. doi: 10.3390/ijerph20010435.
14. Wang B. *et al.* Comparative transcriptomic analysis provides key genetic resources in clove basil (*Ocimum gratissimum*) under cadmium stress. *Front Genet.* 2023; 14. doi: 10.3389/fgene.2023.1224140.
15. Zheljazkov V. D., Craker L. E., Xing B. Effects of Cd, Pb, and Cu on growth and essential oil contents in dill, peppermint, and basil. *Environ Exp Bot.* 2006; 58; 1–3: 9–16. Dec. doi: 10.1016/j.envexpbot.2005.06.008.
16. El-Shwarby Z., Farid I., M Abdel-Salam., Afifi M., Abbas H. Humic Acids Enhance Potentially Toxic Elements (PTEs) Phytoextraction from a Contaminated Soil by Basil Plants. *Egyptian Journal of Soil Science.* 2022; 0; 0: 179–194, Aug. doi: 0.21608/ejss.2022.151748.1521.

Статья поступила в редакцию 7.09.2023; одобрена после рецензирования 28.09.2023; принята к публикации 10.10.2023.
The article was submitted 7.09.2023; approved after reviewing 28.09.2023; accepted for publication 10.10.2023.

