



DOI 10.22363/2313-2310-2022-30-2-143-152

УДК 635.63

Научная статья / Research article

Биоэкологические свойства почвогрунтов на основе отходов производства как фактор мониторинга и управления продукционным процессом растений

Л.П. Степанова  , Е.А. Коренькова ,

Е.И. Степанова , Е.В. Яковлева 

Орловский государственный аграрный университет имени Н.В. Парахина,
Орел, Россия

 steplena66@mail.ru

Аннотация. Представлены результаты исследований биоэкологической эффективности действия удобрительных свойств отходов металлургического производства в питательных грунтах. В результате оценки токсических эффектов действия водных вытяжек из питательных грунтов на жизнедеятельность дафний (*Daphnia magna*) установлены изменения в реакции данного тест-объекта в зависимости от состава компонентов в питательном субстрате. Определена степень влияния удобрительного действия различных типов питательных грунтов на основе почвы, шлака и цеолита на всхожесть, рост и развитие проростков мелкосемянной овощной культуры салата. На всхожесть семян, рост и развитие растений оказывают влияние водно-физические свойства грунтов и количество доступных макро- и микроэлементов. Показана эффективность использования визуальной и компьютерной оценки цветовой гаммы листьев салата для выявления уровня загрязнения грунтов по интенсивности потребления растениями питательных элементов.

Ключевые слова: металлургические отходы, шлак, питательные грунты, токсичность, всхожесть, удобрительное действие, цветовая гамма

История статьи: поступила в редакцию 30.08.2021; принята к публикации 29.11.2021.

Для цитирования: Степанова Л.П., Коренькова Е.А., Степанова Е.И., Яковлева Е.В. Биоэкологические свойства почвогрунтов на основе отходов производства как фактор мониторинга и управления продукционным процессом растений // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2021. Т. 30. № 2. С. 143—152. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2021-30-2-143-152>

© Степанова Л.П., Коренькова Е.А., Степанова Е.И., Яковлева Е.В., 2022



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/1>

Bioecological properties of nutrient soils based on production waste as a factor in monitoring and controlling the production process of plants

Lydia P. Stepanova  , Ekaterina A. Korenkova ,

Elena I. Stepanova , Elena V. Yakovleva 

Orel State Agrarian University named after N.V. Parakhin,
Orel, Russia

 steplena66@mail.ru

Abstract. The article presents the results of research on the bioecological assessment of the effectiveness of the fertilizing properties of metallurgical waste in nutrient soils. As a result of studies to assess the toxic effects of water extracts from nutrient soils on the vital activity of daphnia (*Daphnia magna*), changes in the reaction of this test object were established depending on the composition of the components in the nutrient substrate. The degree of influence of the fertilizing effect of various types of nutrient soils based on soil, slag and zeolite on the germination, growth and development of seedlings of small-seeded vegetable culture of lettuce has been determined. Seed germination, plant growth and development are influenced by the water-physical properties of soils and the amount of available macro- and microelements. The effectiveness of the use of visual and computer assessment of the color gamut of lettuce leaves for assessing the level of soil contamination by the intensity of nutrient consumption by plants is shown.

Keywords: metallurgical waste, slag, nutrient soils, toxicity, germination, fertilizing effect, color characteristics

Article history: received 30.08.2021; accepted 29.11.2021.

For citation: Stepanova LP, Korenkova EA, Stepanova EI, Yakovleva EV. Bioecological properties of nutrient soils based on production waste as a factor in monitoring and controlling the production process of plants. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2021;30(2):143–152. (In Russ.) <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2021-30-2-143-152>

Введение

Среди техногенных изменений среды обитания организмов наибольшую опасность вызывает ее загрязнение промышленными и бытовыми отходами. Загрязнитель как вещество/смесь веществ техногенного или природного характера нарушает циклы миграции химических элементов и трансформации энергии и оказывает неблагоприятное воздействие на функционирование экосистем в целом. В биосфере формируются глобальные, региональные и локальные потоки и круговороты ксенобиотиков, т. е. «чужеродных» для нее химических соединений [1, 2].

Следствием техногенеза как мощного антропогенного планетарного явления, отражающего состояние технологий общества, является изъятие (концентрирование) одних (Au, Ag, Pt, Fe), рассеяние других химических элементов (Cd, Hg, As, F, Pb, Al, Cr) в биосфере или сочетание обоих процессов одновременно [3, 4]. Локализация и интенсивность поступления техногенных потоков химических элементов обуславливает формирование техногенных аномалий и биогеохимических провинций с различной степенью экологической напряженности [5]. Преобразование среды приводит к обеднению флористического и фаунистического состава

биогеоценозов, сопровождающемуся биогеохимической дифференциацией живого вещества различных таксонов биосферы. При этом возрастает значение взаимодействий различных химических элементов и веществ природного и техногенного характера в биогеохимических циклах.

Для того, чтобы масштабы загрязнения окружающей среды (почвы, грунты, воды) не приняли необратимого и катастрофического характера, необходимы, с одной стороны, изменения стратегии природопользования, устранение путей и источников дальнейшего загрязнения среды, с другой стороны — разработка и практическое внедрение способов, а также технологий подавления токсичности и очистки различных элементов геологической среды от этих загрязнений, что и явилось целью нашего исследования.

Цель исследования состояла в биоэкологической оценке эффективности действия удобрительных свойств отходов металлургического производства в питательных грунтах.

Задачи исследования:

- 1) разработать субстраты с введением в их составы шлаковых отходов, природных цеолитов для проявления ими защитных геохимических барьерных свойств и выращивания на них рассады овощных культур;
- 2) провести оценку токсических эффектов действия водных вытяжек из питательных грунтов по жизнедеятельности дафний (*Daphnia magna*);
- 3) определить влияние исследуемых составов питательных субстратов на рост и развитие растений, их биопродуктивность;
- 4) использовать цветовую оценку растений салата листового для индикации их состояния и характеристики степени токсического действия шлаков.

Материалы и методы

Отсевы солевого алюминиевого шлака Мценского металлургического завода АООТ «Цветные металлы и сплавы» характеризуются следующими физико-химическими свойствами: агрегатное состояние — сыпучий материал, фракции 3 мм, цвет — светло-серый, запах — специфический, водородный показатель водной вытяжки рН8, основные фазы — хлорид калия (KCl), хлорид натрия (NaCl), оксид алюминия (Al_2O_3), оксид кремния (SiO_2).

Химический состав солевого отвального шлака, %: Al_2O_3 — 50,02; Cu — 0,54; Si — 3,22; Mg — 1,64; Mn — 0,21; Ti — 0,033; Sb — 0,036; Co — н/о; As — 0,0002; Ca — 0,2; Zn — 0,49; Fe — 0,69; Ni — 0,08; Pb — 0,08; Sn — 0,018; Na — 2,39; K — 7,37; Cl — 8,6; SO_4 — 0,28; $Fe_{\text{мех}}$ — 1,0; П.п.п. — 23,1028.

Отсевы солевого алюминиевого шлака относятся к IV классу малоопасных веществ по ГОСТ 12.1.007—76 «Вредные вещества в промышленности. Классификация и общие требования».

Цеолиты представлены цеолитсодержащими трепелами хотынецкого месторождения со следующими показателями: рН — 8,3, содержание CaO — 8,17 %, MgO — 2,20 %, K_2O — 1,82 %, Cu — $2,7 \times 10^{-3}$ %, Zn — $7,4 \times 10^{-3}$ %, Mn — 46×10^{-3} %, Co — $0,12 \times 10^{-3}$ %, Mo — $0,72 \times 10^{-3}$ %. В кристаллической структуре цеолита содержится: клиноптилолита — 35 %, кристобалита — 27 %, монтмориллонита — 5 %, слюды — 8 %, кальцита — 3 %, емкость катионного обмена достигает 600 м-экв/100 г.

Почва темно-серая лесная среднесуглинистая, гумусовый горизонт (содержание физической глины 40—42 %; гумус — 5,4—5,5 %; рН_{сол} — 5,2—5,5; рН_{вод} — 5,8 6,0; сумма поглощенных оснований 35 мг-экв/100 г; P₂O₅—12,5—15,0 мг/100г, K₂O — 12,0—12,6 мг/100г).

Салат листовой (*Lactuca sativa var. secalina*) — однолетнее растение. Высокие урожаи салата получают на плодородных, богатых азотом и достаточно влажных почвах. Прорастание семян начинается при 2—4 °С, лучше всего происходит при 20—25 °С. Оптимальная температура для роста 15—20 °С, при +5 °С продолжает расти. Переносит заморозки до –8 °С. Корни салата стержневые с многочисленными разветвлениями, располагаются в пахотном слое.

Сорт листового салата Московский парниковый наиболее распространенный. Его выращивают как в защищенном, так и в открытом грунте. Вегетативная масса лучше нарастает при 9—,12-часовом дне.

Для опытов использовали полиэтиленовые горшочки емкостью 300 мл. Масса субстрата в горшочке составляла 450—550 г, влажность 70—75 % от сухой массы. Повторность четырехкратная. Семена салата высевали в количестве 30 шт. в каждый горшочек. Через 30 суток проводили определение биометрических показателей: площади листовой поверхности, длины корней, количества корней, накопления биомассы. В ходе эксперимента проводили фенологические наблюдения.

Определение степени токсичности питательных грунтов проводили методом биотестирования по оценке выживаемости тест-организмов в стандартных условиях — дафний (*Daphnia magna*). Класс опасности устанавливается по водной вытяжке, разведенной до такой степени, когда не проявляется вредное воздействие на биологические объекты (РД 118-02-90).

Методика оценки недостатка отдельных элементов по цветным фотографиям цветовой гаммы листьев проводилась с использованием программы Adobe Photoshop согласно [6]. Контроль за состоянием агроценозов и эффективностью агротехнологии обеспечивает визуальная количественная оценка цветковых характеристик растений с использованием оцифрования цветовой шкалы, так как при росте и старении растений, изменениях в окружающей среде изменяется цветовая характеристика растений в результате взаимосвязанных физиологических процессов.

Результаты

Стабильность и продуктивность техногенных экосистем в существенной степени зависят от интенсивности биологических процессов, протекающих в почвах. Одним из биотических подходов в системе контроля природной среды является экспериментальное определение класса опасности отходов, основанное на лабораторном исследовании экологической токсичности анализируемых образцов с использованием биологических объектов. Вид дафний — *Daphnia magna* Straus признан самым универсальным тест-объектом по чувствительности и адекватности реагирования на различные загрязняющие вещества, они используются в качестве модельных организмов во многих экологических, токсикологических и генетических исследованиях. Критерий токсичности (индекс токсичности) — достоверное количественное значение тест-параметра, на основании которого делается вывод о токсичности изучаемого объекта.

В результате исследований по оценке токсических эффектов действия водных вытяжек из питательных грунтов на жизнедеятельность дафний (*Daphnia magna*) установлены изменения в реакции данного тест-объекта в зависимости от состава компонентов в питательном субстрате (табл. 1).

Таблица 1

Определение степени токсичности питательных грунтов

Варианты опыта	Кратность разведения водных вытяжек					Степень токсичности
	100 %	50 %	12,5 %	3,12 %	0,78 %	
	без разб.	2	8	32	128,3	
Почва (контроль)	–	+	+	+	+	Нетоксично
Почва + шлак 1:1	–	–	+	+	+	Малотоксично
Почва + шлак 1:0,5	+	+	+	+	+	Нетоксично
Почва + шлак 1:2	–	–	–	+	+	Среднетоксично
Почва + цеолит + шлак 1:1:1	–	–	+	+	+	Малотоксично
Почва + цеолит +шлак 1:2:1	–	–	+	+	+	Малотоксично

Условные обозначения: + дафнии живы; – дафнии погибли.

Table 1

Determination of the toxicity of nutritive soils

Variation	Dilution ratio of water extracts					Toxicity
	100%	50%	12,5%	3,12%	0,78%	
	without dilution	2	8	32	128,3	
Soil (reference)	–	+	+	+	+	Non-toxic
Soil + slag 1:2	–	–	+	+	+	Low toxic
Soil + slag 1:1	+	+	+	+	+	Non-toxic
Soil + slag 1:0.5	–	–	–	+	+	Medium-toxic
Soil + zeolite + slag 1:1:1	–	–	+	+	+	Low toxic
Soil + zeolite + slag 1:2:1	–	–	+	+	+	Low toxic

Note: + daphnia are alive; – daphnia perished.

Как показывают данные табл. 1, степень токсичности водных вытяжек из анализируемых питательных грунтов определялась прежде всего долей шлаковых отходов в составе питательного грунта. Так, присутствие в грунтах шлаковых отходов в разных пропорциях от 1 : 0,5 до 1 : 2 изменило степень токсичности с нетоксичной до среднетоксичной соответственно. Добавление цеолита в состав питательного грунта обусловило малую токсичность грунтов вне зависимости от доли шлаковых отходов в составе. Следует отметить, что жизнедеятельность организмов установлена во всех испытываемых грунтах при 32-кратном разбавлении водных вытяжек.

Таким образом, добавление шлаковых отходов и цеолита в почву обуславливают 100 %-ную жизнеспособность организмов дафний при 8-кратном разведении водных вытяжек и малый уровень токсичности; увеличение массовой доли шлака

в составе питательных грунтов из почвы и шлаковых отходов обуславливает повышение уровня токсичности до среднетоксичного.

Основная роль микроэлементов заключается в регулировании активности разнообразных биологических катализаторов (ферментов). В связи с тем, что чувствительность проростков растений к концентрациям солей микроэлементов различна и эти различия могут быть значительными для разных культур, мы исследовали степень влияния удобрительного действия различных типов питательных грунтов на основе почвы, шлака и цеолита на всхожесть, рост и развитие проростков мелкосемянной овощной культуры салата. Выбор культуры обусловлен тем, что салат относится к культурам повышенного выноса микроэлементов с невысокой усваивающей способностью. Мелкие семена впитывают очень небольшие количества раствора микроудобрений и нуждаются в увеличении дозы микроудобрения или увеличении кратности внесения.

Поскольку испытываемые питательные грунты содержат не только макроэлементы питательных веществ, но и широкий набор биофильных микроэлементов, они представляют собой благоприятную питательную среду для роста и развития растений [7, 8].

Изучение роста и развития растений салата на питательных грунтах из почвы и шлака показало, что влияние шлаковых отходов изменяется в зависимости от массовой доли в составе грунта (табл. 2). В грунтах с наибольшим содержанием шлака отмечаются низкие показатели всхожести семян 43,3–46,7 % при небольших значениях показателей роста растений. Так, интенсивность развития вегетативной массы по показателю площади листовой поверхности ниже контрольного значения в 3,2–6,6 раза. Общая длина корней составила 24,3 см, что ниже контрольного значения в 3,1 раза. Коэффициент токсичности на данном типе грунтов составил 20,4 %, что по значению показателя близко к токсичному, когда уменьшение длины корней относительно контроля составляет ≤ 20 %.

Таблица 2

Влияние питательных грунтов из почвы, шлаковых отходов и цеолита на рост и развитие проростков салата

Вариант	Всхожесть, %	Показатели роста		Коэффициент токсичности, %	Накопление биомассы, г	
		S листовой поверхности, см ²	Общая длина корней, см		Сырая	Сухая
Почва (контроль)	93,3	113,4	119,3	–	6,55	0,63
Почва + шлак 1:2	46,7	17,2	24,3	20,4	1,8	0,15
Почва + шлак 1:1	53,3	27,5	85,7	71,8	2,2	0,29
Почва + шлак 1:0,5	80,0	85,2	91,8	76,9	5,29	0,48
Почва + цеолит + шлак 1:1:1	93,3	35,1	44,3	37,1	2,62	0,21
Почва + цеолит + шлак 1:2:1	93,3	74,5	50,1	42,0	3,8	0,5

**The influence of nutritive soils made of natural soil, slag waste and zeolite
on the growth and development of the lettuce seedlings**

Variation	Germination capacity, %	Growth indicators		Toxicity coefficient, %	Biomass accumulation, g	
		S leaf surface, cm ²	Total root length, cm		Moist	Dry
Soil (reference)	93,3	113,4	119,3	–	6,55	0,63
Soil + slag 1:2	46,7	17,2	24,3	20,4	1,8	0,15
Soil + slag 1:1	53,3	27,5	85,7	71,8	2,2	0,29
Soil + slag 1:0,5	80,0	85,2	91,8	76,9	5,29	0,48
Soil + zeolite + slag 1:1:1	93,3	35,1	44,3	37,1	2,62	0,21
Soil + zeolite + slag 1:2:1	93,3	74,5	50,1	42,0	3,8	0,5

При уменьшении массовой доли шлаковых отходов в составе питательных грунтов токсический эффект действия шлака снижается. Так, в грунтах из почвы и шлака в массовом отношении 1 : 0,5 всхожесть семян салата увеличилась в 1,5 раза в сравнении с грунтами при соотношении компонентов 1 : 1 и в 1,7 раза при соотношении 1 : 2 и составила 80,0 %. При этом в грунте с уменьшенной долей шлака отмечается интенсивное развитие корневой системы растений, общая длина корней достигала 91,8 см, что составляет 93 % по отношению к контрольному варианту. Площадь листовой поверхности также находится в пределах контрольного значения и составляет 85,2—128,4 см². Накопление биомассы растений на данном типе грунта составило 5,29 г, что выше данного показателя на грунтах с увеличенными дозами шлаковых отходов примерно в 2 раза.

Таким образом, при повышенном содержании шлаковых отходов в составе питательных грунтов наблюдается угнетение роста и развития растений салата. В грунтах из почвы и шлака 1 : 2 общая длина корней ниже контроля в 4,9 раза при уменьшении площади листовой поверхности в 6,6 раза. При уменьшении массовой доли шлаковых отходов в составе питательных грунтов токсический эффект действия шлака снижается. При этом показатели интенсивности роста растений салата находятся в пределах контрольного значения. Накопление биомассы растений на данном типе грунта составило 5,29 г, что выше данного показателя на грунтах с увеличенными дозами шлаковых отходов в 3 раза.

Добавление цеолита в состав питательных грунтов из почвы и шлака обуславливает повышение содержания питательных веществ, что способствует активизации ростовых процессов на ранних стадиях развития растений. Наблюдается увеличение всхожести семян салата до 90—93,3 %. Однако в дальнейшем повышенные концентрации почвенного раствора оказывают угнетающее действие на развитие корневых систем растений. Общая длина корней уменьшается в 2,5 раза при соотношении компонентов 1:1:1 и в 1,8 раза при удвоенной доле цеолита в составе грунта по сравнению с контрольным значением. При добавлении удвоенной дозы цеолита рост вегетативной массы растений салата выше в 2,1 раза по сравнению с вариантом почва + цеолит + шлак 1:1:1.

Можно сделать вывод о том, что на всхожесть семян, рост и развитие проростков оказывают влияние водно-физические свойства грунтов и количество доступных

макро- и микроэлементов. Использование сорбционных свойств цеолита в составе питательных грунтов обуславливает более тесный контакт семени с питательной средой и благоприятную концентрацию макро- и микроэлементов для повышения всхожести и интенсивности роста проростков.

Цветовая оценка растений используется для индикации их состояния как при наземных исследованиях, так и при дистанционном зондировании. В наших исследованиях был проведен анализ цветовой характеристики листьев салата в условиях разного уровня загрязнения питательных грунтов шлаковыми отходами в вариантах опыта с благоприятными условиями для роста растений салата (табл. 3).

Таблица 3

Характеристика цветовой гаммы листьев салата с разным уровнем загрязнения почвы

Вариант	Интенсивность цвета					
	G	M	K	L	a	b
Почва (контроль)	60,2 ± 0,5	37,2 ± 1,1	45,3 ± 1,9	35,4 ± 1,2	8,7 ± 0,6	6,9 ± 0,9
Почва + шлак 1:2	16,1 ± 1,2	20,7 ± 1,1	5,2 ± 0,5	76,1 ± 0,5	1,7 ± 1,1	58,1 ± 1,1
Почва + шлак 1:1	34,2 ± 6,	5,5 ± 0,9	1,0 ± 0,0	81,0 ± 1,5	20,2 ± 1,3	60,2 ± 1,3
Почва + шлак 1:0,5	54,3 ± 0,3	26,7 ± 3,8	27,0 ± 1,8	49,3 ± 2,2	14,7 ± 3,0	17,0 ± 2,7
Почва + цеолит + шлак 1:1:1	50,0 ± 0,6	19,7 ± 0,2	19,2 ± 1,7	57,0 ± 0,9	20,0 ± 0,9	32,7 ± 1,9
Почва + цеолит + шлак 1:2:1	45,0 ± 2,7	20,0 ± 3,7	17,3 ± 5,9	60,0 ± 5,2	16,3 ± 1,5	31,0 ± 2,9

Table 3

Characteristics of the color range of the lettuce leaves with different levels of soil contamination

Variation	Color intensity					
	G	M	K	L	a	b
Soil (reference)	60,2 ± 0,5	37,2 ± 1,1	45,3 ± 1,9	35,4 ± 1,2	8,7 ± 0,6	6,9 ± 0,9
Soil + slag 1:2	16,1 ± 1,2	20,7 ± 1,1	5,2 ± 0,5	76,1 ± 0,5	1,7 ± 1,1	58,1 ± 1,1
Soil + slag 1:1	34,2 ± 6,0	5,5 ± 0,9	1,0 ± 0,0	81,0 ± 1,5	20,2 ± 1,3	60,2 ± 1,3
Soil + slag 1:0,5	54,3 ± 0,3	26,7 ± 3,8	27,0 ± 1,8	49,3 ± 2,2	14,7 ± 3,0	17,0 ± 2,7
Soil + zeolite + slag 1:1:1	50,0 ± 0,6	19,7 ± 0,2	19,2 ± 1,7	57,0 ± 0,9	20,0 ± 0,9	32,7 ± 1,9
Soil + zeolite + slag 1:2:1	45,0 ± 2,7	20,0 ± 3,7	17,3 ± 5,9	60,0 ± 5,2	16,3 ± 1,5	31,0 ± 2,9

Исследованиями В. Церлинга установлено, что недостаток отдельных элементов выявляется по изменениям цвета, характерным как для отдельных видов растений, так и для отдельных частей листа, определенных ярусов листьев [6].

Для визуальной и компьютерной оценки цветовой гаммы листьев с целью оценки уровня загрязнения нами проведено фотографирование листьев, а также их сканирование. Полученные цветовые изображения пригодны для углубленного исследования и компьютерного анализа цветовой гаммы [9]. В таблице 3 приведены характеристики колористической гаммы листьев салата с разным уровнем загрязнения, обусловленным введением в питательные грунты шлаковых отходов (фракция менее 0,5 мм) в разных соотношениях с почвой и цеолитами, рассчитанным по цветовым фотографиям с использованием программы Adobe Photoshop.

Как видно из представленных данных, цвет листьев салата при нарушенном питании растений достоверно отличается от контрольного варианта. Интенсивность цвета G и M с учетом цветковых пятен в контроле выше, чем в других вариантах. Это же относится и к интенсивности K . При этом показатель L во всех вариантах выше, чем в контрольном варианте. Соотношение цветов, характеризующееся показателями a и b , меняется неоднозначно. В контрольном варианте величина b ниже, чем в других вариантах с разными уровнями загрязнения, создаваемых шлаковыми отходами. Постольку в системе СЖЕ-Lab отражается вклад в цветность четырех цветов: степень красноты ($+a$) и зелени объекта ($-a$); степень желтизны ($+b$) и степени синевы ($-b$); ($a-b$) и они определяют светлоту (L). При недостатке элементов питания для салата явное уменьшение зелени отмечается при недостатке меди, азота. В отдельных частях листа происходит увеличение степени зелени, в других уменьшается.

Таким образом, выполненные исследования по оценке изменения цвета листьев салата с компьютерной идентификацией цветовой гаммы листьев доказывают эффективность использования данного метода для оценки состояния растений на антропогенно измененных землях и оценки степени загрязнения почв.

Заключение

Питательные грунты на основе гумусового горизонта почвы, шлаковых отходов, цеолитов оказывают стимулирующее и удобрительное действие на всхожесть семян, рост, развитие, продуктивность растений салата листового.

Показана эффективность использования визуальной и компьютерной оценки цветовой гаммы листьев салата для оценки уровня загрязнения грунтов по интенсивности потребления растениями питательных элементов.

Список литературы

- [1] Водяницкий Ю.Н., Плеханова И.О., Прокопович Е.В., Савичев А.Т. Загрязнение почв выбросами предприятий цветной металлургии // Почвоведение. 2011. № 2. С. 240—249.
- [2] Mukherjee A.B. Behavior of heavy metals and their remediation in metalloferous soils // *Metals Environment / ed. by M.N.V. Prasad*. New York: Marcel Dekker, Inc., 2001. Pp. 433—471.
- [3] Ермаков В.В. Биогеохимическая эволюция таксонов биосферы в условиях техногенеза // Техногенез и биогеохимическая эволюция таксонов биосферы. М.: Наука, 2003. 351 с.
- [4] Huttl R.F. Effects of air pollution on forest soils // *Water, Air, Soil Pollution*. 1992. Vol. 61. No 3—4. Pp. 205—210.
- [5] Савич В.И., Сычев В.Г., Балабко П.Н. Баланс биофильных элементов в системе почва — растение // Вестник БГАУ. 2016. № 1. С. 14—19.
- [6] Церлинг В.О. Диагностика питания сельскохозяйственных культур. М.: Агропромиздат, 1990. 240 с.
- [7] Матыченков В.В., Бочарникова Е.А. Использование отходов металлургической промышленности для улучшения фосфорного питания и повышения засухоустойчивости растений // *Агрехимия*. 2003. № 5. С. 42—47.
- [8] Свергузова С.В., Василенко Т.А., Гаврилова О.В., Гараць С.Н. Шлак в микроудобрения // *Экология и промышленность России*. 2000. С. 17—19.
- [9] Rao I.M. Leaf phosphate status, photosynthesis, and carbon partitioning in sugar beet // *Plant Physiol*. 1993. No 90. Pp. 814—819.

References

- [1] Vodyanitsky YuN, Plekhanova IO, Prokopovich EV, Savichev AT. Soil pollution by emissions from non-ferrous metallurgy enterprises. *Pochvovedenie*. 2011;(2):240–249. (In Russ.)
- [2] Mukherjee AB. Behavior of heavy metals and their remediation in metalloferous soils. In: Prasad MNV. (ed.) *Metals Environment*. New York: Marcel Dekker, Inc.; 2001. p. 433–471.
- [3] Ermakov VV. Biogeochemical evolution of biosphere taxa in the conditions of technogenesis. *Technogenesis and Biogeochemical Evolution of Taxa of the Biosphere*. Moscow: Nauka Publ.; 2003. (In Russ.)
- [4] Huttel RF. Effects of air pollution on forest soils. *Water, Air, Soil Pollution*. 1992;61(3–4): 205–210.
- [5] Savich VI, Sychev VG, Balabko PN. Balance of biophilic elements in the soil — plant system. *Bulletin of BSAU*. 2016;(1):14–19. (In Russ.)
- [6] Zerling VO. *Diagnostics of nutrition of agricultural crops*. Moscow: Agropromizdat Publ.; 1990. (In Russ.)
- [7] Matychenkov VV, Bocharnikova EA. The use of metallurgical waste to improve phosphorus nutrition and increase drought resistance of plants. *Agrochimia*. 2003;(5):42–47. (In Russ.)
- [8] Sverguzova SV, Vasilenko TA, Gavrilova OV, Garats SN. Slag in microfertilizers. *Ecology and Industry of Russia*. 2000:17–19.
- [9] Rao IM. Leaf phosphate status, photosynthesis, and carbon partitioning in sugar beet. *Plant Physiol*. 1993;90:814–819.

Сведения об авторах:

Степанова Лидия Павловна, доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры земледелия, агрохимии и агропочвоведения, Орловский государственный аграрный университет имени Н.В. Парахина, Российская Федерация, 302019, Орел, ул. Генерала Родина, д. 69. ORCID: 0000-0001-5568-1411. E-mail: steplena66@mail.ru

Коренькова Екатерина Анатольевна, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры ландшафтной архитектуры, Орловский государственный аграрный университет имени Н.В. Парахина. ORCID: 0000-0002-9984-3803. E-mail: korkatya@mail.ru

Степанова Елена Ивановна, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры агроэкологии и охраны окружающей среды, Орловский государственный аграрный университет имени Н.В. Парахина. ORCID: 0000-0003-1338-670X. E-mail: steplena66@mail.ru

Яковлева Елена Валерьевна, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры БЖД на производстве Орловский государственный аграрный университет имени Н.В. Парахина. ORCID: 0000-0003-3038-6808. E-mail: elenavalerevna79@yandex.ru

Bio notes:

Lidiya P. Stepanova, Doctor of Agricultural Sciences, Professor of the Department of Agriculture, Agrochemistry and Agrosoil Science, Oryol State Agrarian University named after N.V. Parakhin, 69 Generala Rodina St, Oryol, 302019, Russian Federation. ORCID: 0000-0001-5568-1411. E-mail: steplena66@mail.ru

Ekaterina A. Korenkova, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor of the Department of Landscape Architecture, Oryol State Agrarian University named after N.V. Parakhin. ORCID: 0000-0002-9984-3803. E-mail: korkatya@mail.ru

Elena I. Stepanova, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor of the Department of Agroecology and Environmental Protection, Oryol State Agrarian University named after N.V. Parakhin. ORCID: 0000-0003-1338-670X. E-mail: steplena66@mail.ru

Elena V. Yakovleva, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor of the Department of Belarusian Railways in Production, Oryol State Agrarian University named after N.V. Parakhin. ORCID: 0000-0003-3038-6808. E-mail: elenavalerevna79@yandex.ru