



Научная статья
УДК 504.064.36
doi: 10.55186/25876740_2024_67_2_225

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ САЛАТА ЛАТУК В КАЧЕСТВЕ ТЕСТ-ОБЪЕКТА ДЛЯ ОЦЕНКИ ЗАГРЯЗНЕНИЯ БЕРЕГОВОГО ГРУНТА РЕКИ ХОДЦА

Ж.С. Макаханиук, С.П. Замана

Государственный университет по землеустройству, Москва, Россия

Аннотация. В статье приведены результаты исследований по определению фитотоксичности почвы (берегового грунта) в осеннюю межень 2023 г. на участке, протекающей в Московской области, малой реки Ходца от истока (Электросталь) до устья (Павловский Посад). Целью работы являлось изучение информативности контактного метода определения фитотоксичности берегового грунта с использованием тест-объекта салата латук (*Lactuca sativa*) для геоэкологической оценки загрязнения тяжелыми металлами реки Ходца. Изучена динамика прорастания и последующего роста тест-объекта салата латук. При исследованиях применяли контактный метод почвенных пластинок с контролем длины корней (на 3-и сутки) и высоты побегов (на 14-е сутки). Для оценки информативности используемого нами метода фитотоксичности в отобранных образцах берегового грунта параллельно определяли содержание тяжелых металлов (железа, кадмия и свинца) с помощью атомно-абсорбционной спектрометрии на приборе «Спектр 5-4» в аккредитованной лаборатории «Центр сертификации и экологического мониторинга агрохимической службы «Московский». Выявлено, что наибольшей токсичностью обладает береговой грунт из промежуточной точки реки. Результаты оценки берегового грунта по фитотоксичности почвы с помощью тест-растения салата латук согласуются с данными по содержанию тяжелых металлов, определяемых в химической лаборатории. Полученные результаты о миграции тяжелых металлов в системе «береговой грунт — растительность» могут быть использованы при мониторинге территории, где протекает река Ходца.

Ключевые слова: фитотоксичность, методы определения, береговой грунт, салат латук, проростки, тяжелые металлы

Original article

USE OF LETTUCE SALAD AS A TEST OBJECT FOR ASSESSING POLLUTION OF THE COASTAL SOIL OF THE KHODTSA RIVER

J.S. Makakhaniuk, S.P. Zamana

State University of Land Use Planning Moscow, Russia

Abstract. The article presents the results of studies to determine the phytotoxicity of soil (bank soil) during the autumn low-water period of 2023 on the section of the small Khodtsa River flowing in the Moscow region from the source (Electrostal) to the mouth (Pavlovsky Posad). The purpose of the work was to study the information content of the contact method for determining the phytotoxicity of coastal soil using a test object of lettuce (*Lactuca sativa*) for the geoecological assessment of heavy metal pollution of the Khodtsa River. The dynamics of germination and subsequent growth of the lettuce test object were studied. During the studies, we used the contact method of soil plates with control of root length (on the 3rd day) and shoot height (on the 14th day). To assess the information content of the phytotoxicity method we used, in selected samples of coastal soil we simultaneously determined the content of heavy metals (iron, cadmium and lead) using atomic absorption spectrometry on a Spectrum 5-4 device in the accredited laboratory «Center for Certification and Environmental Monitoring of Agrochemical Service « Moscow». It was revealed that the bank soil from the intermediate point of the river has the greatest toxicity. The results of assessing the coastal soil for soil phytotoxicity using the lettuce test plant are consistent with the data on the content of heavy metals determined in a chemical laboratory. The results obtained on the migration of heavy metals in the «bank soil — vegetation» system can be used when monitoring the territory where the Khodtsa River flows.

Keywords: phytotoxicity, determination methods, coastal soil, lettuce, sprouts, heavy metals

Введение. По территории Московской области протекает 348 малых рек, от их состояния напрямую зависит и то, из чего будут формироваться средние и крупные водотоки. Депонирующие среды водотоков наглядно отражают закономерности антропогенного загрязнения. Техногенная нагрузка оказывает существенное влияние на «здоровье почвы», что, в свою очередь, ухудшает и здоровье человека. Воздействие на растения различных токсикантов, в том числе тяжелых металлов, приводят к снижению устойчивости биоценозов [2].

В наши дни существуют различные методики оценки загрязнения почв и других компонентов окружающей среды, но большинство из них дорогостоящие. Одним из наиболее доступных и простых методов является метод биотестирования, позволяющий выявить токсичность различных природных сред в лабораторных условиях по реакции живых организмов — биотестов. Тест-объектами могут являться растения, животные, микроорганизмы. По изменению

состояния тест-объекта осуществляется интегральная оценка влияния действующих в совокупности поллютантов (тяжелые металлы, нефтепродукты, пестициды и др.). В качестве биотестов при оценке токсичности почвы используются растения, причем при проведении экологических экспериментов исследуют самую чувствительную фазу их развития — фазу прорастания семян. Следует отметить, что для оценки экотоксикологического состояния почв фитотестирование является одним из наиболее востребованных методов.

Наиболее доступным для геоэкологической оценки является метод определения фитотоксичности почв с помощью почвенных пластинок [3, 10]. Данный метод предполагает непосредственный контакт тест-растения (используются семена) с почвенными пластинками [8].

В качестве тест-растения может использоваться салат латук (*Lactuca sativa*). Зеленая овощная культура обладает повышенной

чувствительностью к загрязнению почвы, отличается быстрым прорастанием и почти максимальной всхожестью, которая порой уменьшается или замедляется из-за присутствия загрязнителей. Одними из наиболее опасных загрязнителей являются тяжелые металлы (ТМ) [4]. Они усваиваются растениями не только из почвы, но и из атмосферы. Наблюдение за всхожестью и интенсивностью роста при прорастании семян (длина корешков и проростков) считаются тест-параметрами и являются показателями прорастания [1, 6]. Поэтому применение метода фитотоксичности для оценки загрязнения почвы (берегового грунта) может позволить предварительно оценить пригодность ее для произрастания растений.

Цель работы — изучение информативности контактного метода определения фитотоксичности берегового грунта с использованием тест-объекта салата латук для геоэкологической оценки загрязнения тяжелыми металлами реки Ходца.

Объекты и методы исследований. В качестве объекта наблюдения нами была выбрана малая река Ходца (10 км), исток которой располагается в зоне промышленной застройки городского округа Электросталь (Московская обл.). Единственным водопотребителем воды данной реки является ПАО «Машиностроительный завод», также находящийся на территории этого городского округа.

С учетом строения береговой линии и проведенных ранее исследований нами было

выбрано 3 места отбора проб берегового грунта (рис. 1): исток, промежуточная точка и устье. В данных местах отбирали пробы почвы в осеннюю межень 2023 г. для определения загрязнения их с помощью тест-растения салата латук с использованием метода почвенных пластинок, чтобы по реакции растений на ранних стадиях онтогенеза оценить фитотоксичность.

Химический анализ на содержание тяжелых металлов в данных образцах берегового грунта проводили атомно-абсорбционным методом

на приборе «Спектр 5-4» в аккредитованной лаборатории «Центр сертификации и экологического мониторинга агрохимической службы «Московский». Определяли содержание ранее обнаруженных при наших исследованиях реки Ходца поллютантов (железо, кадмий и свинец).

Перед проведением эксперимента образцы почвы очищали от растительных остатков и корней путем просеивания. Затем отобранный для анализа береговой грунт взвешивали на микро-весах высокой точности POCKET SCALE и помещали в чашки Петри диаметром 9 см.

Нами были проведены 2 опыта с использованием почвенных пластинок.

Опыт № 1. Согласно методическим подходам [7] в чашки Петри вносили по 100 г почвы, предварительно увлажняя ее до 60% полной полевой влагоемкости. Поверхность почвы выравнивали и раскладывали 20 семян салата латук. Через 3 суток выдержки оценивали рост корешков.

Опыт № 2. Согласно методу ISO 11269-2 [9] 100 г подготовленной почвы помещали в чашки Петри и засеивали 10 семенами салата латук. Опытные и контрольные образцы закладывали в трех повторностях. Оценка результатов проводили через 14 дней. В каждой повторности измеряли длину корней, высоту побегов, всхожесть, общую биомассу растений.

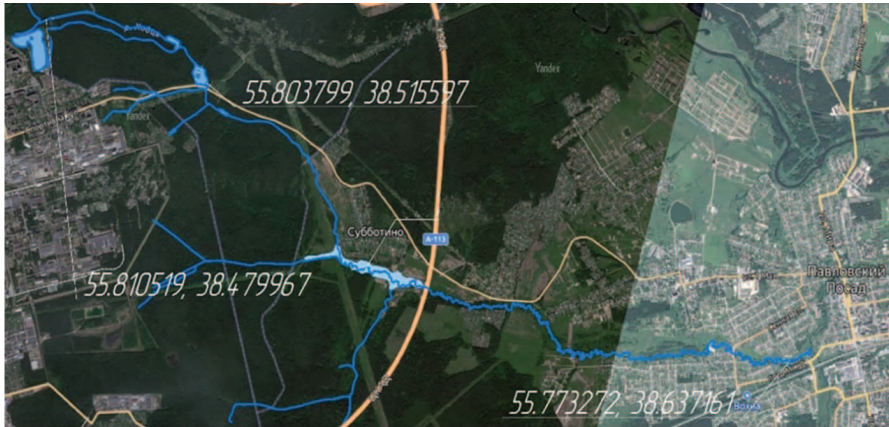
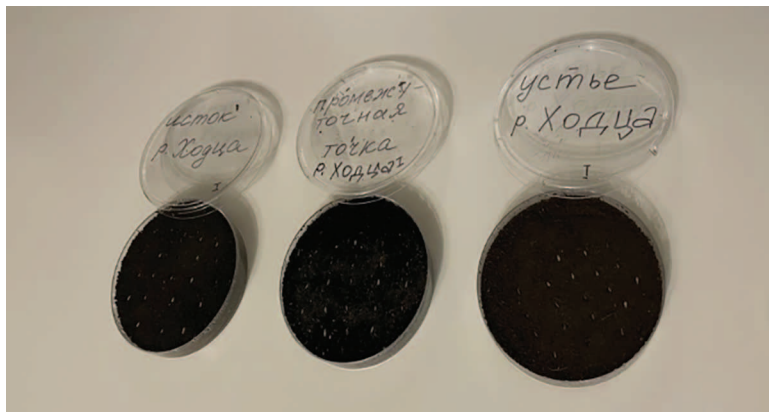
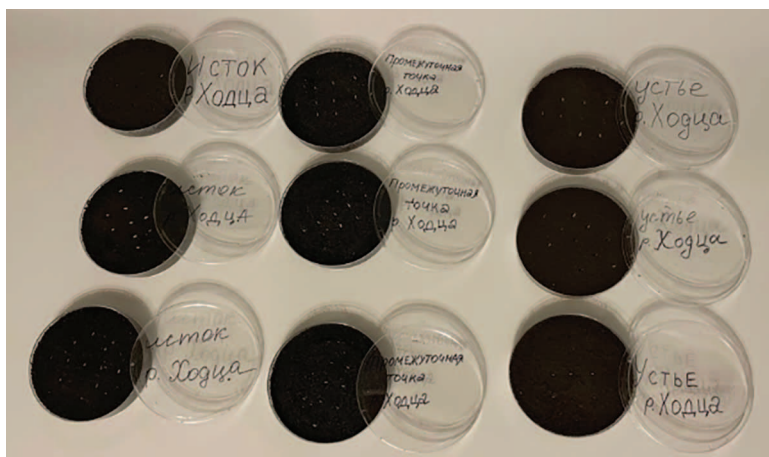


Рисунок 1. Карта мест отбора проб (начерчена в программе КОМПАС)
Figure 1. Map of sampling sites (drawn in the COMPASS program)



A



B



Рисунок 2. Проращивание семян салата в опыте № 1 (А) и в опыте № 2 (Б)
Figure 2. Germination of lettuce seeds in experiment no. 1 (A) and in experiment no. 2 (B)



В данных опытах количество влаги в сосудах поддерживали на протяжении всего периода таким образом, чтобы уровень жидкости был ниже поверхности семян. Чтобы исключить влияние освещенности и температуры, чашки Петри поворачивали разными сторонами и меняли местами [7,8]. Контролем в этих опытах являлось проращивание семян на увлажненной фильтровальной бумаге диаметром 9 см (рис. 2).

Чтобы не повредить тест-растения и выполнить точные замеры вымывали почву через отверстия в крышках чашек Петри.

Степень фитотоксичности (Ф) берегового грунта (почвы), выраженную в процентах, рассчитывали по изменению длины корешков и проростков салата по формуле [5]:

$$\Phi (\%) = \frac{[(\text{длина ростка в контроле} - \text{длина ростка в опыте}) * 100]}{\text{длина ростка в контроле}}$$

Шкала оценивания фитотоксичности:

Ф (%) — менее 20% — фитотоксичность не проявляется;

Ф (%) — 20-40% — слабая фитотоксичность;

Ф (%) — 40-60% — средняя фитотоксичность;

Ф (%) — более 60% — сильная фитотоксичность.

В каждом опыте у семян, которые не проросли, длину корня принимали равной нулю [8]. Результаты обрабатывали статистически с помощью программы Microsoft Excel.

Результаты и их обсуждение. Загрязнения тяжелыми металлами приводит к деградации береговых экосистем. Нами в двух опытах проведена сравнительная оценка чувствительности контактного метода определения фитотоксичности почвы (берегового грунта) малой реки Ходца в трех местах отбора (исток, промежуточная точка, устье).

Как следует из результатов первого опыта, промежуточная точка в значительно большей степени оказалась загрязнена в осеннюю межень 2023 г. (табл. 1).

По нашим наблюдениям результаты средней всхожести, рассчитанные для 20 семян, были следующие: в пробах «контроль» и «исток» — всхожесть составляла 85%; в промежуточной точке — 60%; в устье — 70%. В целом, по усилению негативного проявления береговой грунт малой реки Ходца можно поставить в следующий ряд: контроль < исток < устье < промежуточная точка (рис. 3).

Необходимо отметить, что чаще всего фитотоксичность корешков более выражена, чем у проростков, что свидетельствует о наличии у тест-растения физиолого-биохимических барьеров. Фитотоксическая активность почвы в промежуточной точке по корешкам и проросткам салата латук была средней (48% и 52%, соответственно), у истока — по корешкам слабой (27%), по проросткам не проявлялась (16%), в устье — по корешкам и проросткам была слабой (37,5% и 40%, соответственно).

Оценку результатов опыта № 2 проводили на 14-й день. Определяли длину корешков, высоту побегов, всхожесть и общую биомассу салата латук по проращению 10-ти семян. Средние показатели развития тест-растения представлены в табл. 2.

Таблица 1. Фитотоксичность (%) по интенсивности роста корешков и проростков салата латук на 3 сутки
Table 1. Phytotoxicity (%) based on the intensity of growth of roots and sprouts of lettuce on day 3

Длина, мм	Контроль	Исток		Промежуточная точка		Устье	
		Длина	Ф, %	Длина	Ф, %	Длина	Ф, %
корешки	19,2	14	27	10	48	12	37,5
проростки	8,3	7	16	4	52	5	40

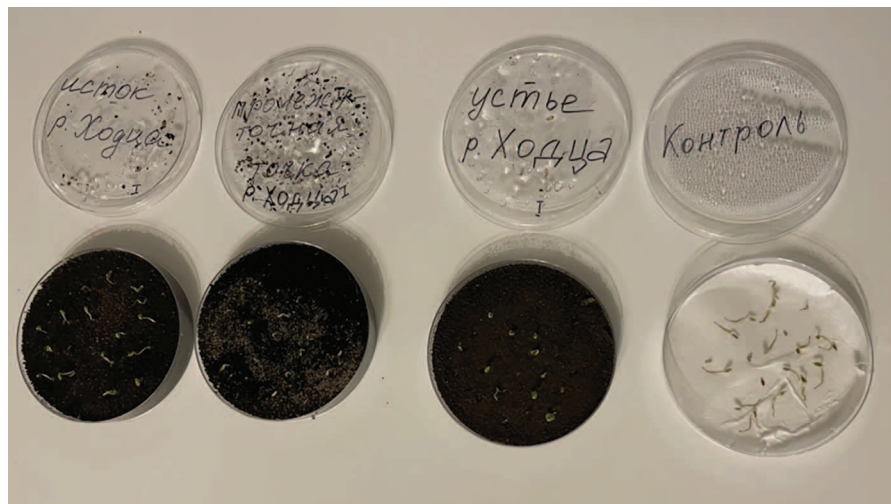


Рисунок 3. Рост корешков и проростков тест-растения салата латук на 3-ти сутки (опыт № 1)
Figure 3. Growth of roots and sprouts of a lettuce test plant on the 3rd day (experiment no. 1)

Таблица 2. Средние показатели развития тест-растения салата латук на 14 сутки
Table 2. Average development indicators of a lettuce test plant on day 14

Длина корешков, мм	Высота побега, мм	Всхожесть, шт.	Общая биомасса, г
Исток			
19	10	8	17
Промежуточная точка			
12	6	6	10
Устье			
16	8	6	12
Контроль			
31	16	9	21

Таблица 3. Фитотоксичность (%) по интенсивности развития корешков и проростков салата латук на 14 сутки
Table 3. Phytotoxicity (%) based on the intensity of development of roots and sprouts of lettuce on the 14th day

Длины, мм	Контроль (поле без загрязнений)	Исток		Промежуточная точка		Устье	
		Длина	Ф, %	Длина	Ф, %	Длина	Ф, %
корешки	31	19	39	12	61	16	48
проростки	16	10	37,5	6	62,5	8	50

Таблица 4. Содержание тяжелых металлов в береговом грунте реки Ходца, мг/кг
Table 4. Content of heavy metals in the coastal soil of the Khodtsa River, mg/kg

Определяемый показатель	Исток	Промежуточная точка	Устье
Fe	1196,8±359,0	4549,8±1364,9	2100,4±630,0
Cd	Менее 0,5	Менее 0,5	Менее 0,5
Pb	4,5±1,4	6,2±1,9	5,8±1,7





Как видно из представленных в таблице 2 средних данных, длина корешков (12 мм), высота побегов (6 мм), всхожесть (6 шт.) и общая биомасса (10 г) были наименьшими при проращивании семян тест-растения на почвенной пластинке из берегового грунта, взятого в промежуточной точке реки. На контроле длина корешков (31 мм), высота побегов (16 мм), всхожесть (9 шт.) и общая биомасса (21 г) салата латук были значительно большими.

Наибольшей фитотоксичностью по интенсивности развития корешков (61%) и проростков (62,5%) характеризуется береговой грунт из промежуточной точки (табл. 3).

Этот вывод согласуется также с полученными в химической лаборатории данными по содержанию тяжелых металлов (табл. 4). Как видно из таблицы 4, наибольшее содержание железа (4549,8 мг/кг) и свинца (6,2 мг/г) обнаружено в береговом грунте, отобранном в промежуточной точке реки Ходца.

В проведенном эксперименте выявлено токсическое влияние тяжелых металлов железа и свинца на прорастание салата латук по сравнению с контролем. По-видимому, в процессе прорастания тест-растения необратимые ингибиторы (тяжелые металлы), связываясь с ферментами, больше от них не отделялись и негативно отражались на росте и биомассе растений.

Результаты исследований берегового грунта малой реки Ходца показали, что в промежуточной точке и в устье содержание железа в почве было в 3,8 и 1,7 раза, соответственно, выше, чем в истоке; содержание свинца в почве, отобранной в промежуточной точке и в устье, также было выше в 1,4 и 1,3 раза, соответственно, чем в истоке. Среди определяемых токсичных элементов содержание кадмия сохранялось на уровне 2019 года (менее 0,5 мг/кг) [4].

Выводы. Для геоэкологической оценки загрязнения тяжелыми металлами берегового грунта реки Ходца контактный метод определения фитотоксичности почвы с использованием тест-объекта салата латук является информативным. На наш взгляд, именно фитотоксичность корешков является более информативной, по сравнению с фитотоксичностью проростков, поскольку корень напрямую соприкасается с почвой. Установлено, что с увеличением уровня загрязнения берегового грунта железом и свинцом уменьшалась всхожесть,

длина корешков и проростков, общая биомасса тест-растения.

Данный метод биотестирования с помощью почвенных пластинок рекомендуется использовать также при мониторинге других водных экосистем, как наиболее простой и доступный метод загрязнения поллютантами берегового грунта (почвы).

Список источников

1. Бородулина Т.С., Полонский В.И. Рост и водный режим проростков пшеницы и салата в условиях нефтезагрязнения почвы // Вестник КрасГАУ. Сер.: Растениеводство. 2011. № 3. С. 50-54.
2. Зубкова В.М., Арсланбекова Ф.Ф., Макаханюк Ж.С. Накопление тяжелых металлов (ТМ) ряской малой (Lemna minor) в условиях антропогенного загрязнения реки Ходца // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки. 2021. № 7. С. 23-28.
3. Кубрина Л.В., Супиниченко Е.А. Использование кресс-салата как тест-объекта для оценки загрязнения снежного покрова // Научное обозрение. Биологические науки. 2021. № 1. С. 11-15; URL: <http://science-biology.ru/ru/article/view?id=1218> (дата обращения: 01.11.2023).
4. Макаханюк Ж.С., Зубкова В.М., Розумная Л.А. Миграция тяжелых металлов в системе береговой грунт — донные отложения — растения реки Ходца в период летней межени 2019 // Вестник Астраханского государственного технического университета (АГТУ). Серия: Рыбное хозяйство. 2020. № 2. С. 67-74.
5. Максимова Н.Б., Морковкин Г.Г., Лаврентьева А.А. Оценка токсичности и загрязненности почв методом фитоиндикации // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2003. № 2. С. 106-112.
6. Михайлова И.Н., Алексеева В.А. Динамика роста биоиндикатора крест салата на почве со снеговалки г. Чебоксары // Научно исследовательские публикации. 2017. № 2. С. 21-27.
7. Свистова И.Д. Методические подходы к определению фитотоксической активности почвы и почвенных микроорганизмов // Лесотехнический журнал. 2019. Т.9. № 2 (34). С. 40-46. DOI: 10.34220/issn.2222-7962/2019.2/5.
8. Теппер Е.З., Шильникова В.К., Переверзева Г.И. Практикум по микробиологии. М.: Дрофа, 2004. 246 с.
9. Галицкая П.Ю., Селивановская С.Ю., Гумерова Р.Х. Тестирование отходов, почв, материалов с использованием живых систем: учебно-методическое пособие. Казань: Казанский университет, 2014. 57 с.
10. Wall D.H. Soil Ecology and Ecosystem Services / D.H. Wall // Oxford University Press, 2012. 406 p.

References

1. Borodulina T.S. & Polonskii V.I. (2011). *Rost i vodnyy rezhim prorostkov pshenitsy i salata v usloviyakh neftezagryazneniya pochvy* [Growth and water regime of wheat and lettuce seedlings under oil-contaminated soil conditions]. *Vestnik KraSGAU*, no. 3, pp. 50-54.
2. Zubkova V.M., Arslanbekova F.F. & Makakhanyuk ZH.S. (2021). *Nakoplenie tyazhelykh metallov (TM) ryaskoi maloi (Lemna minor) v usloviyakh antropogennogo zagryazneniya reki Khodtsa* [Accumulation of heavy metals (HM) by duckweed (Lemna minor) under conditions of anthropogenic pollution of the Khodtsa River]. *Sovremennaya nauka: aktual'nye problemy teorii i praktiki*, no. 7, pp. 23-28.
3. Kubrina L.V. & Supinichenko E.A. (2021). *Ispol'zovanie kress-salata kak test-ob'ekta dlya otsenki zagryazneniya snezhnogo pokrova* [Using watercress as a test object to assess snow cover pollution]. *Nauchnoe obozrenie. Biologicheskie nauki*, no. 1, pp. 11-15. Available at: <http://science-biology.ru/ru/article/view?id=1218> (accessed 1 November 2023).
4. Makakhanyuk ZH.S., Zubkova V.M. & Rozumnaya L.A. (2020). *Migratsiya tyazhelykh metallov v sisteme beregovoy grunt — donnye otlozheniya — rasteniya reki Khodtsa v period letnei mezheni 2019* [Migration of heavy metals in the system of coastal soil — bottom sediments — plants of the Khodtsa River during the summer low water period of 2019]. *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta (AGTU)*, no. 2, pp. 67-74.
5. Maksimova N.B., Morkovkin G.G. & Lavrent'eva A.A. (2003). *Otsenka toksichnosti i zagryaznenosti pochv metodom fitoindikatsii* [Assessment of soil toxicity and contamination using the phytoindication method]. *Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, no. 2, pp. 106-112.
6. Mikhailova I.N. & Alekseeva V.A. (2017). *Dinamika rosta bioindikatora krest salata na pochve so snegosvalki g. Cheboksary* [Growth dynamics of the bioindicator cross lettuce on soil from a snow dump in Cheboksary]. *Nauchno issledovatel'skie publikatsii*, no. 2, pp. 21-27.
7. Svistova I.D. (2019). *Metodicheskie podkhody k opredeleniyu fitotoksicheskoi aktivnosti pochvy i pochvennykh mikroorganizmov* [Methodological approaches to determining the phytotoxic activity of soil and soil microorganisms]. *Lesotekhnicheskii zhurnal*, vol. 9, no. 2 (34), pp. 40-46. DOI: 10.34220/issn.2222-7962/2019.2/5.
8. Tepper E.Z., Shil'nikova V.K. & Pereverzeva G.I. (2004). *Praktikum po mikrobiologii* [Workshop on microbiology], Moscow, Drofa, 246p.
9. Galitskaya P. YU., Selivanovskaya S. YU. & Gumerova R.KH. (2014). *Testirovanie otkhodov, pochv, materialov s ispol'zovaniem zhivykh sistem* [Testing waste, soils, materials using living systems]. *Kazan': Kazan. un-t*, 57 p.
10. Wall D.H. (2012). *Soil Ecology and Ecosystem Services*. *Oxford University Press*, 406 p.

Информация об авторах:

Макаханюк Жанна Сергеевна, соискатель, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-1660-3300>, Nanochka16@mail.ru

Замана Светлана Павловна, доктор биологических наук, доцент, профессор кафедры цифрового земледелия и ландшафтной архитектуры, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7027-364X>, svetlana.zamana@gmail.com

Information about the authors:

Zhanna S. Makakhaniuk, applicant, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-1660-3300>, Nanochka16@mail.ru

Svetlana P. Zamana, doctor of biological sciences, assistant professor, professor of the department of digital agriculture and landscape design, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7027-364X>, svetlana.zamana@gmail.com