

Исследование и экологическая оценка сложного компоста

© 2020. Л. В. Бойцова¹, к. б. н., с. н. с.,

К. Г. Моисеев¹, к. с.-х. н., в. н. с., зав. лабораторией,

В. Н. Пищик^{1,2}, к. б. н., с. н. с., Е. Г. Зинчук¹, н. с.,

Ю. В. Хомяков¹, к. б. н., в. н. с., зав. лабораторией,

¹Агрофизический научно-исследовательский институт,

195220, Россия, г. Санкт-Петербург, Гражданский просп., д. 14,

²ФГБНУ Всероссийский институт сельскохозяйственной микробиологии,

196608, Россия, г. Санкт-Петербург, Пушкин-8, шоссе Подбельского, д. 3,

e-mail: larisa30.05@mail.ru

Представлены результаты комплексной оценки качества и безопасности сложного компоста на основе листового опада и почвогрунта. Листовой опад компостировался отдельно (сложный компост), а также с добавлением почвообразующей породы – супеси, торфа и песка (почвогрунт). В качестве контроля отобрана нативная почва (урбанозём). Контроль токсичности грунтов осуществляли химическими и биологическими (биоиндикации и биотестирования) методами. Установлено увеличение количества представителей отрядов *Julida* sp. и *Geophilomorpha* в сложном компосте, по сравнению с нативной почвой. Отмечено уменьшение числа особей *Armadillidium vulgare* в сложном компосте, по сравнению с нативной почвой, что является признаком неблагоприятного химического и физического состояния компоста. В качестве тест-объектов выбраны растения: огурцы (*Cucumis sativus*), томаты (*Solanum lycopersicum*), редис (*Raphanus sativus*), кресс-салат (*Lepidium sativum*). На листьях огурца наблюдался хлороз, что может быть вызвано значением pH почвогрунта, переизбытком в нём меди и цинка. Выявлены возбудители фитоспороза (оомицет – *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary) и ризоктиниоза (*Rhizoctonia solani* (J.G. Kühn)) томатов. Фитотест показал ингибирование прорастания семян редиса и кресс-салата в исследуемых субстратах.

Содержание гумуса во всех изученных объектах относится к высокому уровню, однако, обогащённость гумуса азотом низкая. Концентрация кадмия в исследованных субстратах превышает ОДК в 7–10 раз, меди и свинца в 2–4 раза. Ртуть в данных субстратах не обнаружена. Изученный сложный компост не рекомендуется использовать для выращивания овощных культур без проведения мероприятий по уменьшению общей токсичности. Компост и почвогрунт могут быть использованы в качестве субстрата для газона и выращивания декоративных культур.

Ключевые слова: токсичность, сложный компост, почвогрунт, биоиндикация, биотестирование.

Research and environmental assessment of complex yard compost

© 2020. L. V. Boitsova¹ ORCID: 0000-0001-7852-3918¹ К. G. Moiseev¹ ORCID: 0000-0002-3068-0372¹

V. N. Pishchik^{1,2} ORCID: 0000-0001-6422-4837^{1,2} E. G. Zinchuk¹ ORCID: 0000-0001-9208-3306¹

Yu. V. Khomyakov¹ ORCID: 0000-0002-9149-3247¹

¹Agrophysical Research Institute,

14, Grazhdansky Prospekt, St. Petersburg, Russia, 195220,

²All-Russia Research Institute for Agricultural Microbiology,

3, Podbelsky Shosse, Saint-Petersburg-Pushkin, Russia, 196608,

e-mail: larisa30.05@mail.ru

The problem of environmentally safe disposal of a large amount of leaf litter generated every year in urban parks and squares is relevant. In this regard, the toxicity of complex yard compost on the basis of leaf litter, as well as ground with addition of yard compost, is assessed. In this paper, three types of substrates were studied: complex yard compost, soil-ground and native soil. Yard compost by 50% consisted of leaf litter. The soil-ground consisted of 40% of composting products of yard compost, 25% of soil-forming rock (sandy loam), 20% of greenhouse recoil including peat, 15% of building sand. The native soil (urban soil) was studied as a control. Soil toxicity control was carried out by chemical and biological methods (a bioindication, and a bioassay). The species diversity and abundance of the mesofauna in the studied substrates was studied. An increase in the number of representatives of *Julida* sp. and *Geophilomorpha* in complex compost, compared with native soil was found. The abundance of *Eisenia fetida* in the compost was 40 pieces per m²; in native soil this species was not found. The number of *Eiseniella tetraedra* is not large and amounted to 7–12 pieces per m² in compost, but exceeded their number in native soil by 3–4 times. *Cucumis sativus*, *Solanum lycopersicum*,

Raphanus sativus, *Lepidium sativum* were selected as test objects. A phytotest was performed on seed germination of *Raphanus sativus* and *Lepidium sativum*. The species diversity of pathogenic fungi has been analyzed. The inhibition of seed germination in the studied substrates was noted. Chemical analysis showed that the concentration of Cd in the studied substrates exceeds the permissible concentration approximately by 7–10 times, Cu and Pb by 2–4 times. Hg was not found in these substrates. The studied complex compost is not recommended to grow vegetables without taking measures to reduce the overall toxicity. Compost and soil-ground on its basis can be used as a substrate for lawn and cultivation of ornamental crops.

Keywords: toxicity, complex compost, soil, bioindication, bioassay.

Проблема экологически безопасной утилизации большого количества листового опада является актуальной в парках и скверах городов. Листовой опад включает в себя небольшое количество твёрдых отходов бытового и строительного происхождения [1]. Для утилизации листового опада используют метод анаэробного компостирования. Компост по своим полезным свойствам несколько не уступает навозу, а иногда и превосходит его [2]. Однако сложный компост может содержать высокотоксичные органические соединения, например, оксид этилена, инсектицид хлордан [3, 4], являться фитотоксичным [5], всегда содержит тяжёлые металлы (ТМ) в высоких концентрациях [6, 7]. Необходимо контролировать содержание ТМ в сложном компосте, который в дальнейшем планируется использовать в сельском хозяйстве. Химический анализ позволяет количественно оценить валовое содержание ТМ по нормам ориентировочно допустимых концентраций (ОДК). По ГОСТ 17.4.1.02–8 к сильно опасным токсикантам относятся As, Cd, Hg, Se, Pb, Zn, к умеренно опасным – Co, Ni, Mo, Cu, Sb, Cr. Степень загрязнения почв ТМ (в данной работе кобальт и хром), для которых не разработаны ОДК, оценивают по эмпирической зависимости: $ОДК = (3-5) \times \text{фон}$. Однако, фитотоксичность ТМ определяется не только их концентрацией в субстрате, она является интегральным показателем результата влияния физических и физико-химических параметров среды [8, 9]. В частности, высокая плотность сложения компоста усиливает эффект отравления растений оксидом этилена на фоне высокого содержания ТМ [10].

Внесение компоста в почву при сельскохозяйственном использовании увеличивает численность особей некоторых видов мезофауны, появляются новые виды, а нативные виды мезофауны исчезают, меняются трофические цепочки. Видовой состав и количественные изменения мезофауны является индикатором экологического состояния сложных компостов и почв [11].

Цель исследования состояла в определении токсичности и фитотоксичности сложного компоста и почвогрунта на его основе.

Объекты и методы

На территории Агрофизического института (г. Санкт-Петербург) находится сквер, типичный для городской черты. Древесная растительность сквера представлена в основном клёном остролистным (*Acer platanoides*), имеются незначительные посадки тополя белого и чёрного (*Populus alba*, *Populus nigra*), дуба черешчатого (*Quercus robur*), декоративных кустарников, ели голубой (*Picea pungens*). Травянистая растительность состоит из злаковых (Gramineae) газонных трав. Листовой опад, собранный с площади сквера, использовали в качестве основы для получения сложного компоста. Состав сложного компоста (СК) на основе листового опада и почвогрунта (ПГ) на его основе представлен на рисунке. Листовой опад компостировался отдельно и совместно с почвообразующей породой (водноледниковая супесь) по технологии низкого уровня [12]. В результате компостирования получили ПГ, который включал в себя 40% продуктов компостирования СК, 25% почвообразующей породы, 20% грунт, используемый в теплице на основе торфа, 15% строительного песка. Отбор проб СК, ПГ и нативной почвы (НП) (в качестве фона) проведён методом конверта по ГОСТ 17.4.4.02-84, в пятикратной повторности. Концентрация соединений ТМ определялась методом атомно-абсорбционной спектроскопии по ГОСТ 22001-87.

Определение общего органического углерода (C_{total}) осуществлялось методом Тюрина, общего азота (N_{total}) методом Кьельдаля, нитратного азота при помощи ионоселективных электродов [13]. Проведены фенологические наблюдения за развитием индикаторных организмов. В работе использовали прямую биоиндикацию (учёт количества особей одного вида).

Определение токсичности СК и ПГ проводилось также методами фитотестирования.

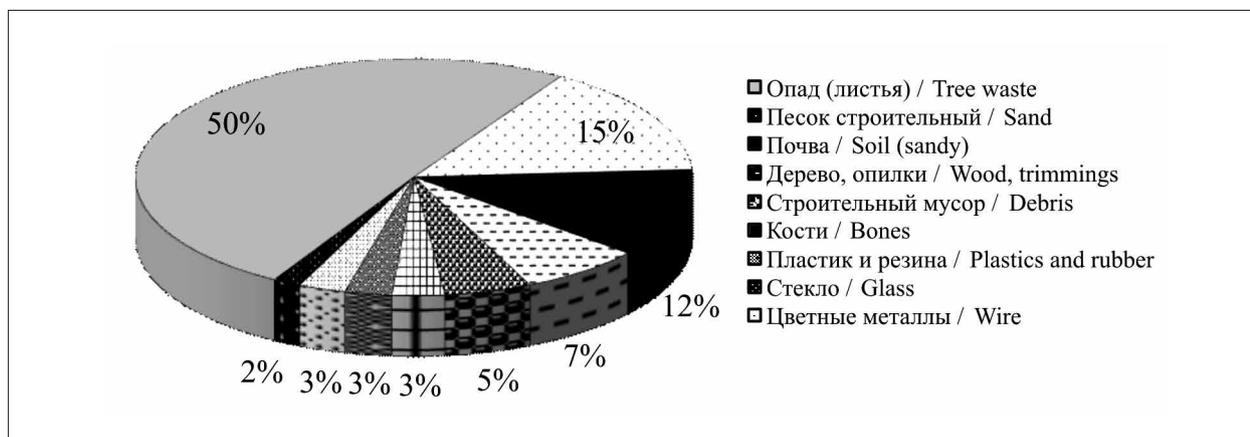


Рис. Состав сложного компоста
Fig. The composition of the composite compost

В качестве тест-объектов выбраны растения: огурцы (*Cucumis sativus*), томаты (*Solanum lycopersicum*), редис (*Raphanus sativus*), кресс-салат (*Lepidium sativum*). Огурцы являются общепринятыми индикаторными растениями [14], реагирующими на тот или иной загрязнитель хлорозом листьев. Томаты в качестве индикаторных растений выбраны из-за их реакции на присутствие фитопатогенных грибов, вызывающих такие заболевания, как корневые гнили, фитоспороз, фузариоз [15]. Микробиологическое сообщество оценивали высевом на диагностические среды методом ИМС (инициированного микробного сообщества) [16].

Количество осадков за период апрель – сентябрь 2016 г. составило 570 мм, среднемесячная температура летнего периода – 17,5 °С.

Результаты и обсуждение

В таблице 1 приведена численность отдельных представителей мезофауны на 1 м² площади в исследуемых объектах.

Сложный компост (СК) и его смеси являются кормовой базой и благоприятной средой обитания для представителей отрядов *Julida* sp. и *Geophilomorpha*, об этом говорит, в среднем, шестикратное превышение их численности, по сравнению с нативной почвой (табл. 1). Численность *Eisenia fetida*, выпущенных в компост в начале сезона, при нормальных условиях, через месяц, должна составлять 120–160 особей на 1 м² [17]. В исследуемом СК их количество в 3–4 раза меньше, численность *Eiseniella tetraedra* также не велика. Вероятными причинами этого являются: избыточное засоление

Таблица 1 / Table 1
Содержание в компосте и контроле почвенной фауны (экз./м²)
Content in compost and control of soil fauna (ex./m²)

Почвенная мезофауна (экз./м ²) Soil mesofauna (ex./m ²)		Сложный компост Complex compost	Контроль Control	
Arthropoda	<i>Lithobius forficatus</i>	5–6	1	
	<i>Julida</i> sp.	24–36	4–5	
	<i>Geophilomorpha</i>	4–5	1	
	<i>Armadillidium vulgare</i>	1	7–10	
Mollusca	<i>Helix aspersa</i>	25	7–10	
Annelida	подстилочные bedding worms	<i>Eiseniella tetraedra</i>	7–12	2–3
		<i>Eisenia fetida</i>	40	0
	почвенные soil worms	<i>Lumbricus terrestris</i> Lin	3	2
	энхитреиды <i>Enchytraeidae</i>	<i>Enchytraeus albidus</i>	34	0

Примечание: * контроль – участок 18 м² под деревьями.
Note: * a control – a plot of 18 m² under the trees.

компоста гололёдными реагентами, сильное загрязнение ТМ, активность представителей отряда *Geophilomorpha*, уничтожающих молодых червей.

Представители ракообразных – *Armadillidium vulgare* практически отсутствуют в СК и, напротив, в большом количестве живут на контрольном участке. Мокрицы, как все раки, чувствительны к незначительному загрязнению среды обитания. Поэтому превышение численности мокриц в НП в 7 раз, по сравнению с СК, является показателем неблагоприятного химического, а возможно, и физического состояния компоста.

Среди микромицетов доминировали – *Penicillium aurantiogriseum* (Dierckx) и *Aspergillus ustus* (Bainier, Thom), среди бактерий доминировали *Bacillus* sp., *Pseudomonas* sp. и *Sarcina* sp.

Качество компостов оценивают, используя значения рН, содержание органического вещества и нитратного азота, отношение С/Н. Оптимальными для компостируемых органических отходов являются: рН = 5,0–8,0 ед., содержание органического вещества не менее 40–60%, отношение С/Н – 20–40 [18]. Высокие значения рН городских почв, в данном случае НП (табл. 2), по сравнению с естественными, связывают с приносом водными и ветровыми потоками гололёдных реагентов – хлоридов кальция и натрия. Причиной высокой щёлочности почв может являться высвобождение кальция под действием кислотных осадков из известковых материалов, которые используют в городском хозяйстве [19]. Более низкие значения кислотности у СК и ПГ можно объяснить меньшим временем и объёмом воздействия на них реагентов антропогенного происхождения, способствующих увеличению значений рН.

Содержание гумуса во всех изученных субстратах относится к высокому уровню, од-

нако, обогащённость гумуса азотом относится к низкому уровню [20]. Высокое значение С/Н, вероятно, связано с накоплением неспецифических органических загрязнителей в составе органического вещества почвы, низкое N_{total} в компосте при высоком содержании C_{total} можно объяснить недостатком растительных остатков с узким отношением С/Н [21]. Известно, что при отношении С/Н больше 20, бактерии, разлагающие компост, усиленно потребляют азот, а высшие растения испытывают его недостаток, что визуальнo проявляется в хлорозе листьев [22]. Содержание нитратного азота в НП очень низкое (табл. 2), в СК высокое, здесь не требуется дополнительного внесения минерального азота, в ПГ превышает ПДК в 2 с лишним раза.

Концентрация цинка в СК превышает ОДК в 16 раз, в контроле в четыре раза (табл. 3). Концентрация кадмия в исследованных субстратах превышает ОДК в 7–10 раз, меди и свинца в 2–4 раза, причём концентрация меди выше в СК, а свинца в НП, что говорит о загрязнении почв города свинцом из других источников. Содержание никеля и мышьяка в исследованных субстратах превышает ОДК незначительно, загрязнение ртутью и хромом полностью отсутствует. В субстратах, содержащих органические вещества или гумус, урон, наносимый среде ТМ, меньше, чем в водной среде или воздухе. Например, свинец в почве практически полностью связывается, образуя органоминеральные комплексы [23].

Растения огурца подверглись хлорозу, происходило скручивание листьев и их гибель. В данном случае основными причинами возникновения неинфекционного хлороза листьев огурца может быть высокое значение рН почвогрунта, переизбыток в нём меди и цинка (табл. 2, 3). Томаты в начале июля подверглись поражению грибковыми заболеваниями,

Таблица 2 / Table 2

Химические параметры сложного компоста, почвогрунта и нативной почвы
Chemical parameters of complex compost, soil and native soil

Параметр Parameter	Компост Compost	Почвогрунт Soil	Нативная почва Native soil
N_{total} , %	0,66	0,46	0,21
$N-NO_3$, мг/кг / mg/kg	91,2	278,0	2,8
C_{total} , %	26,0	8,8	6,0
Гумус / Humus, %	44,8	15,3	10,3
С/Н	39,5	19,3	28,5
pH_{H_2O}	6,60	7,01	7,20
pH_{KCl}	6,80	6,60	7,00

Таблица 3 / Table 3

Концентрация тяжёлых металлов (кислоторастворимая форма) в сложном компосте, почвогрунте и контроле, мг/кг / The concentration of heavy metals (acid-soluble form) in complex compost, soil and control, mg/kg

Тяжёлый металл Heavy metal	Компост Complex compost	Почвогрунт Soil	Контроль Control
Cu	69,0	121,6	81,1
Pb	66,8	103,6	124,6
Zn	414,4	885,4	269,4
Cd	3,45	4,82	4,67
Ni	23,4	28,6	26,9
Cr	19,6	29,4	25,0
Co	8,48	11,8	10,5
Ag	0,56	3,13	3,77

в основном фитоспорозом: возбудитель – оомицет *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary, и ризоктиниозом: возбудитель – *Rhizoctonia solani* (J.G. Kühn) [24]. Несмотря на обработки фундазолом и бордосской смесью к окончанию месяца наблюдалась их массовая гибель. Фитотестом определено ингибирование прорастания семян редиса на 40% и кресс-салата на 30%, по сравнению с контролем. Токсичными считаются те почвогрунты, которые ингибируют прорастание семян или развитие проростков и корней на 30% и более в сравнении с контролем.

Выводы

По результатам биоиндикационных тестов и исследований загрязнение компоста ТМ является критичным. Методы биотестирования почв, почвогрунтов и компостов подтверждают результаты химического анализа.

Использование сложного компоста возможно в теплицах после его разбавления нетоксичным грунтом и при принятии дополнительных мер по его обеззараживанию. Почвогрунт также должен быть подвергнут обеззараживанию и только после этого его можно использовать в качестве почвенного слоя под газон.

Литература

- García-Palacios P., Handa I.T., McKie B.G., Frainer A., Hättenschwiler S. The importance of litter traits and decomposers for litter decomposition: a comparison of aquatic and terrestrial ecosystems within and across biomes // *Functional Ecology*. 2016. V. 30. No. 5. P. 819–829.
- Баширов В.Д., Левин Е.В., Сагитов Р.Ф., Алямов И.Д., Гулак М.З. Современные технологии сепарирования и переработки твёрдых бытовых отходов //

Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2014. № 3. С. 77–80.

- Barral M.T., Paradelo R. A review on the use of phytotoxicity as a compost quality indicator // *Global Science Books. Dynamic Soil, Dynamic Plant*. 2011. No. 5 (Special Issue 2). P. 36–44.
- Strom P.F. Pesticides in yard waste compost // *Compost Science & Utilization*. 2000. V. 8. No. 1. P. 54–60.
- Chatterjee N., Flury M., Hinman C., Cogger C.G. Chemical and physical characteristics of compost leachates. A Review. Washington: Washington State University, 2013. 54 p.
- Mladenov M. Chemical composition of different types of compost // *Journal of Chemical Technology and Metallurgy*. 2018. V. 53. No. 4. P. 712–716.
- Déportes A., Benoit-Guyod J-L., Zmirou D. Hazard to man and the environment posed by the use of urban waste compost: a review // *Science of The Total Environment*. 1995. V. 172. No. 2–3. P. 197–222.
- Oleszczuk P. Phytotoxicity of municipal sewage sludge composts related to physico-chemical properties, PAHs and heavy metals // *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 2008. V. 69. No. 3. P. 496–505.
- Dai L., Ren J., Ling T., Wei B., Wang G. Chemical speciation and phytoavailability of Cr, Ni, Zn and Cu in loess amended with attapulgite-stabilized sewage sludge // *Environmental Pollutants and Bioavailability*. 2019. V. 31. No. 1. P. 112–119.
- Водяницкий Ю.Н. Природные и техногенные соединения тяжёлых металлов в почвах // *Почвоведение*. 2014. № 4. С. 420–432.
- George P.B.L., Keith A.M., Creer S., Barrett G.L., Lebron I., Emmett B.A., Robinson D.A., Jones D.L. Evaluation of mesofauna communities as soil quality indicators in a national level monitoring programme // *Soil Biology & Biochemistry*. 2017. V. 115 P. 537–546.
- Малахов В.М., Гриценко А.Г., Дружинин С.В. Городские отходы в России: состояние, проблемы, пути решения // *Экология. Серия аналитических обзоров мировой литературы*. 2012. № 98. С. 1–126.

13. Растворова О.Г., Андреев Д.П., Гагарина Э.И., Касаткина Г.А., Федорова Н.Н. Химический анализ почв. СПб.: Изд-во СПбГУ, 1995. 264 с.

14. Aparicio J.D., Garcia-Velasco N., Urionabarrenetxea E., Soto Álvarez A., Polti M.A. Evaluation of the effectiveness of a bioremediation process in experimental soils polluted with chromium and lindane // *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 2019. V. 181. P. 255–263.

15. Compendium of tomato diseases and pests. Second edition / Eds. J.B. Jones, T.A. Zitter, T.M. Momol, S.A. Miller. The American Phytopathological Society, 2014. 140 p.

16. Гузев В.С., Бондаренко Н.Г., Бызов Б.А. Структура инициированного микробного сообщества как интегральный метод оценки микробиологического состояния почв // *Микробиология*. 1980. Т. 49. Вып. 1. С. 134–140.

17. Гришко Ю.В., Моисеев К.Г. Вермикомпост – адаптивное органическое удобрение и его влияние на продуктивность растений картофеля // *Агроэкологические функции органического вещества почв и использование органических удобрений и биоресурсов в ландшафтном земледелии*. М.: Изд-во Россельхозакадемии, 2004. С. 466–471.

18. Неклюдов А.Д., Федотов Г.Н., Иванкин А.Н. Интенсификация процесса компостирования при помощи аэробных микроорганизмов (Обзор) // *Прикладная биохимия и микробиология*. 2008. Т. 44. № 1. С. 9–23.

19. Diatta J.B., Grzebisz W., Wiatrowska K. Competitivity, selectivity, and heavy metals-induced alkaline cation displacement in soils // *Soil Sci. and Plant Nutr.* 2004. V. 50. No. 6. P. 899–908.

20. Орлов Д.С., Бирюкова О.Н., Розанова М.С. Дополнительные показатели гумусного состояния почв и их генетических горизонтов // *Почвоведение*. 2004. № 8. С. 918–926.

21. Уфимцева М.Д., Терехина Н.В., Абакумов Е.В. Физико-химическая характеристика урбанозёмов Центрального района Санкт-Петербурга // *Вестник СПбГУ. Сер. 7*. 2011. Вып. 4. С. 85–97.

22. Липчак И.Ф., Воронов Ю.В. Охрана окружающей среды. Учебное пособие. М.: Стройиздат, 1988. 191 с.

23. Wiczorek J., Baran A., Urbański K., Mazurek R., Klimowicz-Pawlas A. Assessment of the pollution and ecological risk of lead and cadmium in soils // *Environ Geochem Health*. 2018. V. 40 (6). P. 2325–2342.

24. Рудаков В.О., Рудаков О.Л. Природа почвенных фитотоксикозов и проблема защиты растений // *АГРО XXI*. 2009. № 1–3. С. 14–16.

2. Bashirov V.D., Levin E.V., Sagitov R.F., Alyamov I.D., Gulak M.Z. Modern technologies of separation and processing of solid household waste // *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2014. No. 3. P. 77–80 (in Russian).

3. Barral M.T., Paradelo R. A review on the use of phytotoxicity as a compost quality indicator // *Global Science Books. Dynamic Soil, Dynamic Plant*. 2011. No. 5 (Special Issue 2). P. 36–44.

4. Strom P.F. Pesticides in yard waste compost // *Compost Science & Utilization*. 2000. V. 8. No. 1. P. 54–60. doi: 10.1080/1065657X.2000.10701750

5. Chatterjee N., Flury M., Hinman C., Cogger C.G. Chemical and physical characteristics of compost leachates. A Review. Washington: Washington State University, 2013. 54 p.

6. Mladenov M. Chemical composition of different types of compost // *Journal of Chemical Technology and Metallurgy*. 2018. V. 53. No. 4. P. 712–716.

7. Déportes A., Benoit-Guyod J-L., Zmirou D. Hazard to man and the environment posed by the use of urban waste compost: a review // *Science of The Total Environment*. 1995. V. 172. No. 2–3. P. 197–222. doi:10.1016/0048-9697(95)04808-1

8. Oleszczuk P. Phytotoxicity of municipal sewage sludge composts related to physico-chemical properties, PAHs and heavy metals // *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 2008. V. 69. No. 3. P. 496–505. doi: 10.1016/j.ecoenv.2007.0

9. Dai L., Ren J., Ling T., Wei B., Wang G. Chemical speciation and phytoavailability of Cr, Ni, Zn and Cu in loess amended with attapulgite-stabilized sewage sludge // *Environmental Pollutants and Bioavailability*. 2019. V. 31. No. 1. P. 112–119. doi: 10.1080/26395940.2019.1588076

10. Vodyanitskiy Yu.N. Natural and technogenic compounds of heavy metals in soils // *Pochvovedenie*. 2014. No. 4. P. 420–432 (in Russian).

11. George P.B.L., Keith A.M., Creer S., Barrett G.L., Lebron I., Emmett B.A., Robinson D.A., Jones D.L. Evaluation of mesofauna communities as soil quality indicators in a national level monitoring programme // *Soil Biology & Biochemistry*. 2017. V. 115 P. 537–546. doi:10.1016/j.soilbio.2017.09.022

12. Malakhov V.M., Gritsenko A.G., Druzhinin S.V. Municipal waste in Russia: state, problems, solutions // *Ekologiya. Seriya analiticheskikh obzorov mirovoy literatury*. 2012. No. 98. P. 1–126 (in Russian).

13. Rastvorova O.G., Andreev D.P., Gagarina E.I., Kasatkina G.A., Fedorova N.N. Chemical analysis of soil. Sankt-Peterburg: Izdatelstvo Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo universiteta, 1995. 264 p. (in Russian).

14. Aparicio J.D., Garcia-Velasco N., Urionabarrenetxea E., Soto Álvarez A., Polti M.A. Evaluation of the effectiveness of a bioremediation process in experimental soils polluted with chromium and lindane // *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 2019. V. 181. P. 255–263. doi: 10.1016/j.ecoenv.2019.06.019

References

1. García-Palacios P., Handa I.T., McKie B.G., Frainer A., Hättenschwiler S. The importance of litter traits and decomposers for litter decomposition: a comparison of aquatic and terrestrial ecosystems within and across biomes // *Functional Ecology*. 2016. V. 30. No. 5. P. 819–829. doi: 10.1111/1365-2435.12589

15. Compendium of tomato diseases and pests. Second edition / Eds. J.B. Jones, T.A. Zitter, T.M. Momol, S.A. Miller. The American Phytopathological Society, 2014. 140 p. doi: 10.1094/9780890544341
16. Guzev V.S., Bondarenko N.G., Byzov B.A. The structure of the initiated microbial community as an integral method for assessing the microbiological state of the soil // *Mikrobiologiya*. 1980. V. 49. No. 1. P. 134–140 (in Russian).
17. Grishko Yu.V., Moiseev K.G. Vermicompost – adaptive organic fertilizer and its impact on the productivity of potato plants // *Agroecological functions of soil organic matter and the use of organic fertilizers and bioresources in landscape farming*. Moskva: Izdatelstvo Rosselkhozakademii, 2004. P. 466–471 (in Russian).
18. Neklyudov A.D., Fedotov G.N., Ivankin A.N. Intensification of the composting process using aerobic microorganisms (Review) // *Prikladnaya biokhimiya i mikrobiologiya*. 2008. V. 44. No. 1. P. 9–23 (in Russian).
19. Diatta J.B., Grzebisz W., Wiatrowska K. Competitiveness, selectivity, and heavy metals-induced alkaline cation displacement in soils // *Soil Sci. and Plant Nutr.* 2004. V. 50. No. 6. P. 899–908.
20. Orlov D.S., Biryukova O.N., Rozanova M.S. Additional indicators of soil humus status and their genetic horizons // *Pochvovedenie*. 2004. No. 8. P. 918–926 (in Russian).
21. Ufimtseva M.D., Terekhina N.V., Abakumov E.V. Physico-chemical characteristics of urban areas of the Central District of St. Petersburg // *Vestnik SPGU*. 2011. Ser. 7. V. 4. P. 85–97 (in Russian).
22. Lipchak I.F., Voronov Yu.V. Environmental protection. Tutorial. Moskva: Stroyizdat, 1988. 191 p. (in Russian).
23. Wiczorek J., Baran A., Urbański K., Mazurek R., Klimowicz-Pawlas A. Assessment of the pollution and ecological risk of lead and cadmium in soils // *Environ Geochem Health*. 2018. V. 40 (6). P. 2325–2342. doi: 10.1007/s10653-018-0100-5
24. Rudakov V.O., Rudakov O.L. The nature of soil phytotoxicosis and the problem of plant protection // *AGRO XXI*. 2009. No. 1–3. P. 14–16 (in Russian).