

АГРОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ТРАДИЦИОННЫХ И НОВЫХ ОРГАНИЧЕСКИХ УДОБРЕНИЙ**Г. Е. Мерзлая**, доктор сельскохозяйственных наук

*Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии
им. Д. Н. Прянишникова,
127434, Москва, ул. Прянишникова, 31 а
E-mail: lab.organic@mail.ru*

Исследования проводили с целью определения сравнительной агроэкологической эффективности действия и длительного последствия компостов из осадков сточных вод и подстилочного навоза в разных дозах при возделывании многолетних трав. Работу выполняли в длительном микрополевым опыте в Московской области. В опыте высевали ежу сборную под покров ярового ячменя. Схема опыта включала следующие варианты: без удобрений (контроль), компост 1 в дозе 10 т/га сухого вещества, компост 1 в дозе 35 т/га, компост 2 в дозе 10 т/га, компост 2 в дозе 35 т/га, навоз в дозе 10 т/га, навоз в дозе 35 т/га сухого вещества. Компосты приготовлены из осадка сточных вод Курьяновской станции аэрации: компост 1 – из осадка с фильтр-прессов, компост 2 – из осадка с иловых площадок. Содержание тяжелых металлов в компосте 2 было в 2 раза больше, чем в компосте 1, и в 10 раз выше, чем в подстилочном навозе. Все удобрения вносили перед посевом культур в 2000 г., затем в течение 22 лет испытывали их последствие. Наибольший в опыте эффект отмечен при использовании менее загрязненного компоста в повышенной дозе (35 т/га сухого вещества), от которой прибавка урожая, по отношению к контролю, составляла 41 %. От применения подстилочного навоза в зависимости от дозы внесения прибавки варьировали от 28 до 73 %. По накоплению тяжелых металлов в почве и в сухой массе многолетних трав четких зависимостей от видов и доз внесенных удобрений не отмечали. При этом содержание кадмия, никеля и свинца в растительных и почвенных пробах не выходило за пределы допустимых значений.

AGROECOLOGICAL EFFICIENCY OF TRADITIONAL AND NEW ORGANIC FERTILIZERS**G. E. Merzlaya**

*Pryanishnikov All-Russian Research Institute of Agrochemistry,
127434, Moskva, ul. Pryanishnikova, 31 a
E-mail: lab.organic@mail.ru*

Due to the acute shortage of organic fertilizers, the use of which in Russia in recent years does not exceed 15...18% of the demand, the use of unconventional sources of organic raw materials, in particular urban waste in the form of sewage sludge, is of great importance. Due to the poor knowledge of the effects of sewage sludge and products based on them in the soil-plant system, research in this direction is relevant. The purpose of the research is to establish the comparative agroecological effectiveness of the action and long-term aftereffect of compost from sewage sludge. Moscow and litter manure in different doses when cultivating perennial grasses. The research was carried out in a long-term micro-field experiment, laid down by the D.N. Pryanishnikov Institute of Agrochemistry in the Moscow region (Barybino village). In the experiment, a hedgehog team was sown under the cover of spring barley. The scheme of the experiment included the following options: 1 - control without fertilizers, 2 – compost 1 at a dose of 10 t/ha, 3 - compost 1 at a dose of 35 t/ha, 4 – compost 2 at a dose of 10 t/ha, 5 – compost 2 at a dose of 35 t/ha, 6 - manure at a dose of 10 t/ha, 7 – manure at a dose of 35 t/ha. Compost is prepared from sewage sludge from the Kuryanovskaya aeration station: compost 1 from sludge from filter presses, compost-2 from sludge from silt pads. Compost 2 was characterized by a higher content of heavy metals, the total amount of which in it was 2 times higher than in compost 1 and 10 times higher than in litter manure. All fertilizers were introduced before sowing crops in 2000, then their aftereffect was tested for 22 years. The doses of all organic fertilizers are given in dry weight. According to the results of long-term studies, when comparing two types of compost, to varying degrees contaminated with heavy metals, the greatest effect was achieved from less polluted compost, that is, produced from fresh sludge from filter presses at an increased dose of 35 t/ha of dry matter, from which the increase in control was 41%. From the use of litter manure, depending on the dose of application, the increments varied from 28 to 73%. According to the accumulation of heavy metals in the soil and in the dry mass of perennial grasses, there were no clear dependencies on the types and doses of fertilizers applied. At the same time, the content of cadmium, nickel and lead in plant and soil samples did not exceed the permissible values.

Ключевые слова: компосты на основе осадков сточных вод, подстилочный навоз, дерново-подзолистая почва, агрохимические и санитарно-гигиенические свойства, тяжелые металлы, урожайность, качество растительной продукции.

Key words: compost based on sewage sludge, litter manure, sod-podzolic soil, agrochemical and biological properties, heavy metals, yield, quality of plant products.

С развитием городского строительства обостряется проблема утилизации отходов в виде осадков сточных вод, постоянно образующихся на канализационных очистных сооружениях. Согласно расчетам, в России ежегодные их объемы превышают 3 млн т сухого вещества, из которых в сельском хозяйстве используют не более 5...7 % [1]. В то же время осадки сточных вод и продукты на их основе, в том числе изготовленные с применением методов ферментации, обладают высокой удобрительной ценностью и могут служить важным источником питательных веществ для растений. Широ-

кое использование осадков в агрикультуре сдерживает возможное наличие повышенных количеств тяжелых металлов или других загрязнителей [2, 3, 4], а также недостаточная изученность действия и последствия различных видов осадков в системе почва–растение [5, 6]. В то же время отечественный и зарубежный опыт свидетельствует, что наиболее целесообразный метод использования осадков – внесение на поля для выращивания различных культур [7, 8, 9]. Важно также отметить, что необходимость сельскохозяйственного применения городских отходов, прежде всего осадков

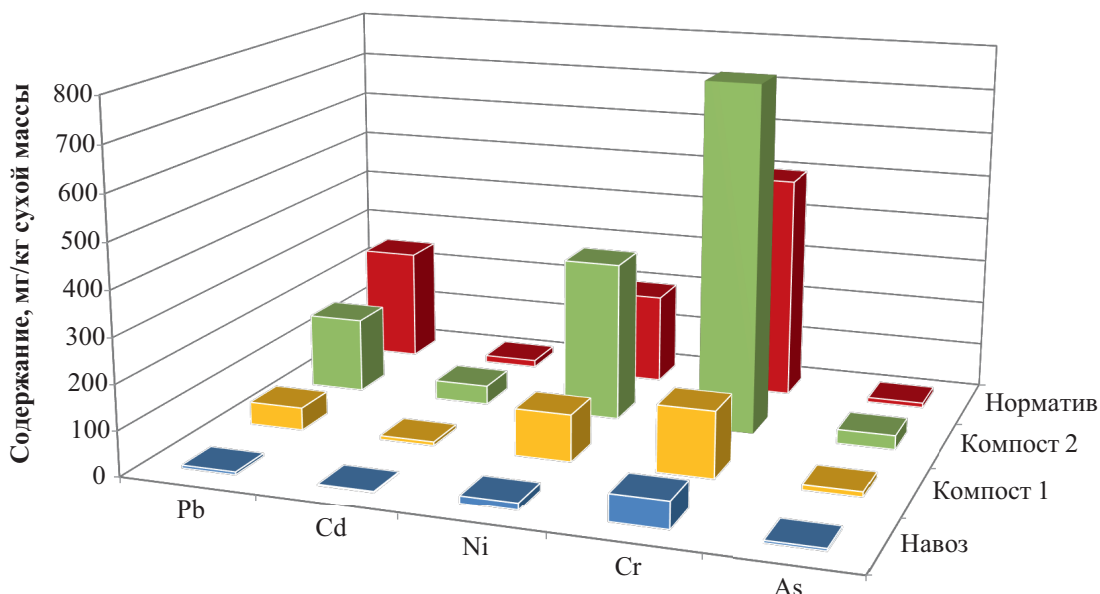


Рис. 1. Содержание тяжелых металлов и мышьяка в органических удобрениях.

сточных вод, отражена в «Международном кодексе поведения в области устойчивого использования удобрений и управления ими», одобренном ФАО в 2019 г. [10], согласно которому они отнесены к потенциальным источникам питательных веществ из повторно используемых и вторично переработанных материалов. В связи с этим указывается на целесообразность развития инноваций и выделения ресурсов на разработку технологий безопасного использования таких отходов в качестве удобрений.

Цель исследования – оценка агроэкологической эффективности осадков сточных вод и удобрений на их основе.

Методика. Работу проводили в 2000–2021 гг. в условиях Московской области (п. Барыбино) в длительном полевом опыте, в котором изучали влияние на агрофитоценозы злаковых трав двух компостов из осадков сточных вод г. Москвы различных сроков хранения. Компост 1 готовили из сброженного осадка, который поступал непосредственно с фильтр-прессов Курьяновской станции аэрации, компост 2 – из осадка после 10 лет размещения на иловых площадках. В компостную массу в обоих случаях добавляли древесные опилки в количестве 10 % сухого вещества. В схему опыта, наряду с указанными двумя видами компостов, для сравнения эффективности нетрадиционных удобрений были введены варианты с двумя дозами подстилочного навоза, поступающего с фермы крупного рогатого скота. Все органические удобрения в опыте вносили в дозах 10 и 35 т/га в расчете на сухое вещество. В подстилочном навозе содержалось (на сухую массу) 70 % органического вещества, 2,7 % общего азота, 2,4 % фосфора (P_2O_5), 2,1 % калия (K_2O) при pH_{KCl} 7,0 ед. Компосты из осадков различных сроков хранения отличались высокой удобрительной ценностью, содержали 48...52 % органического вещества, 2,0...2,1 % общего азота, имели нейтральную реакцию среды. В сравнении с навозом компосты характеризовались меньшим содержанием органического вещества, азота и калия, но значительно превосходили его по содержанию фосфора. В то же время компост из осадка с иловых площадок (компост 2) был загрязнен цинком и кадмием, содержание которых соответственно на 31 и 49 % превышало допустимые концентрации.

Общее количество тяжелых металлов в этом компосте было в 2 раза больше, чем в компосте 1, и в 10 раз выше, по сравнению с подстилочным навозом (рис. 1).

Почва дерново-подзолистая тяжелосуглинистая, в слое 0...20 см содержала 0,8 % органического углерода, 118 и 119 мг/кг соответственно подвижного P_2O_5 и K_2O (по Кирсанову) при pH_{KCl} 4,6 ед.

При закладке опыта в 2000 г. была высеяна ежа сборная (*Dactylis glomerata* L.) ВИК 61 под покров ярового ячменя (*Hordeum vulgare* L.) Зазерский 85. Все органические удобрения внесли в почву в 2000 г., в последующие годы изучали их последствие. Опыт микрополевой, заложен в сосудах без дна размером 0,25 м² (0,5 × 0,5 м). Повторность в опыте трехкратная. Расположение вариантов рендомизированное.

Исследования выполняли общепринятыми методами [11]. Математическую обработку опытных данных проводили методом дисперсионного анализа с использованием компьютерной программы STRAZ.

Результаты и обсуждение. По данным 22-летних исследований, применение компостов из осадков сточных вод обоих видов в высоких дозах (35 т/га сухого вещества) достоверно повышало урожайность многолетних трав, по сравнению с контролем без внесения удобрений (табл. 1). Навоз обеспечивал максимальный в опыте

Табл. 1. Влияние компостов на основе осадков сточных вод и подстилочного навоза на урожайность многолетних трав (среднее за 2000–2021 гг.)

Вариант	Урожайность, корм. ед./м ²	Прибавка, %
Контроль	121	-
Компост 1, 10 т/га	135	12
Компост 1, 35 т/га	171	41
Компост 2, 10 т/га	141	17
Компост 2, 35 т/га	161	33
Навоз, 10 т/га	155	28
Навоз, 35 т/га	209	73
HCP_{05}	23	

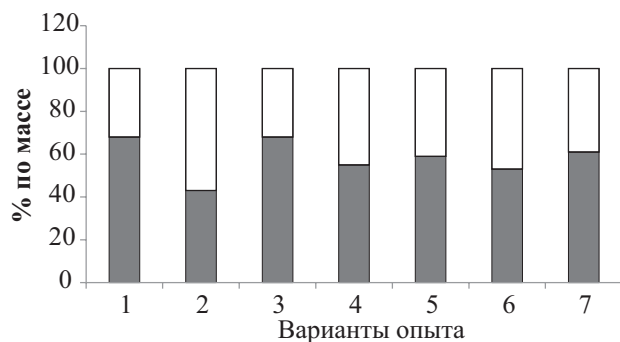


Рис. 2. Ботанический состав травостоев в зависимости от видов и доз органических удобрений (2021 г.): 1 – контроль; 2 – компост 1, 10 т/га; 3 – компост 1, 35 т/га; 4 – компост 2, 10 т/га; 5 – компост 2, 35 т/га; 6 – навоз, 10 т/га; 7 – навоз, 35 т/га: □ – разнотравье; ■ – злаки.

прирост урожая трав в варианте с высокой дозой – 35 т/га. То есть, применение повышенных доз как компостов из осадков, так и традиционного подстилочного навоза при возделывании многолетних трав характеризовалось достоверным и длительным последствием. При сравнении двух компостов более высокий эффект был отмечен от менее загрязненного тяжелыми металлами компоста, производимого из свежего осадка, в варианте с повышенной дозой, в котором прибавка к контролю составляла 41 %.

При изучении динамики ботанического состава травостоев установлено (рис. 2), что на 22-й год опыта в агрофитоценозах хорошо развивались злаковые растения. Это заметно и в контроле без внесения удобрений (содержание злаков 68 %), и в вариантах с высокими дозами компостов (59...68 %).

Злаковый компонент состоял в основном из дикорастущих видов – мятлика лугового (*Poa pratensis* L.), полевицы обыкновенной (*Agrostis tenuis* Sibth.), а также

Табл. 2. Динамика агрохимических свойств почвы в зависимости от вида и доз органических удобрений*

Вариант	2000 г., действие	Годы последствия			
		2001	2005	2010	2018
Гумус, %С					
Контроль	0,75	0,72	0,69	0,99	0,70
Компост 1, 10 т/га	0,75	0,69	0,64	0,92	0,80
Компост 1, 35 т/га	0,79	0,89	0,98	0,95	0,70
Компост 2, 10 т/га	0,71	0,69	0,69	0,86	0,80
Компост 2, 35 т/га	0,79	0,89	0,81	0,89	0,70
Навоз, 10 т/га	0,77	0,86	0,92	0,91	0,80
Навоз, 35 т/га	0,88	0,95	0,98	1,02	0,80
НСР ₀₅			0,08		
Подвижный фосфор (P₂O₅), мг/кг					
Контроль	110	110	111	105	107
Компост 1, 10 т/га	180	125	110	152	133
Компост 1, 35 т/га	320	300	310	370	207
Компост 2, 10 т/га	160	140	90	148	117
Компост 2, 35 т/га	220	240	260	277	239
Навоз, 10 т/га	130	110	90	95	114
Навоз, 35 т/га	270	220	180	168	152
НСР ₀₅			24		
Подвижный калий (K₂O), мг/кг					
Контроль	96	96	55	92	109
Компост 1, 10 т/га	101	99	39	98	113
Компост 1, 35 т/га	90	102	39	98	104
Компост 2, 10 т/га	95	96	35	99	109
Компост 2, 35 т/га	99	100	42	100	115
Навоз, 10 т/га	109	115	50	100	103
Навоз, 35 т/га	120	109	98	118	121
НСР ₀₅			12		
pH_{KCl}					
Контроль	3,8	3,9	3,9	4,2	3,9
Компост 1, 10 т/га	3,8	4,1	4,4	4,3	4,0
Компост 1, 35 т/га	4,2	4,5	4,8	4,5	4,0
Компост 2, 10 т/га	3,9	4,0	4,3	4,2	4,0
Компост 2, 35 т/га	4,1	4,5	4,5	4,4	4,0
Навоз, 10 т/га	4,5	4,6	4,7	4,5	4,0
Навоз, 35 т/га	4,5	4,6	4,7	4,5	4,1
НСР ₀₅			0,4		

*здесь и в табл. 3 НСР рассчитана для всего массива данных.

Табл. 3. Влияние органических удобрений на валовое содержание тяжелых металлов в почве, мг/кг

Вариант	Cd		Ni		Pb	
	2001 г.	2021 г.	2001 г.	2021 г.	2001 г.	2021 г.
Контроль	0,2	0,4	4,0	3,2	6,0	1,1
Компост 1, 10 т/га	0,2	0,5	4,0	6,5	6,0	1,1
Компост 1, 35 т/га	0,2	0,3	4,0	6,4	6,1	1,1
Компост 2, 10 т/га	0,2	0,5	4,0	7,0	6,2	1,4
Компост 2, 35 т/га	0,4	0,6	6,0	7,8	6,5	1,1
Навоз, 10 т/га	0,1	0,2	3,0	5,8	6,0	1,1
Навоз, 35 т/га	0,1	0,2	3,0	5,0	6,0	1,2
НСП ₀₅		0,1		1,1		0,3
ОДК (ГН 2.1.7.2511-09)		1,0		40		65

ежи сборной (*Dactylis glomerata* L.). Значительная доля травостоя в удобренных вариантах была представлена разнотравьем (от 32 до 57%), состоящим в основном из кульбабы осенней (*Leontodon autumnalis* L.) и вербейника монетчатого (*Lysimachia nummularia* L.).

Табл. 4. Влияние органических удобрений на показатели качества многолетних трав

Вариант	Содержание, %		
	сырой протеин	P	K
Контроль	10,3	0,39	3,3
Компост 1, 10 т/га	10,0	0,42	3,0
Компост 1, 35 т/га	9,7	0,43	3,0
Компост 2, 10 т/га	9,6	0,43	3,3
Компост 2, 35 т/га	10,4	0,46	3,4
Навоз, 10 т/га	9,3	0,38	3,1
Навоз, 35 т/га	9,5	0,42	2,9
НСП ₀₅	0,9	0,04	0,3

Под влиянием компостов из осадков сточных вод и подстилочного навоза изменялись агрохимические свойства почвы (табл. 2). Содержание гумуса в почве повышалось от внесения высоких доз всех испытываемых органических удобрений в год действия и в течение пяти лет последствия, по сравнению с контролем, на уровне тенденции. К концу наблюдений содержание ор-

ганического углерода в почве в вариантах с компостами находилось на уровне контроля. В целом компосты из осадков сточных вод в агроценозах многолетних злаковых трав при их длительном сенокосном использовании не оказывали значимого отрицательного влияния на гумусовое состояние дерново-подзолистой почвы.

При анализе фосфатного режима почвы отмечали, как правило, его улучшение под влиянием всех видов органических удобрений, внесенных как в высоких (35 т/га), так и в низких (10 т/га) дозах. В то же время калийный режим почвы в отдельные периоды, в частности к 5-му году последствия удобрений, требовал оптимизации.

Все применяемые в опыте органические удобрения в год действия улучшали реакцию среды, особенно в высоких дозах. К 18-му году последствия величина рН_{KCl} в вариантах с удобрениями мало отличалась от контроля.

В начале исследований, как и по окончании опыта, в почве не наблюдали накопления тяжелых металлов (табл. 3). Исключение составил вариант с компостом из более загрязненного осадка, обезвоженного на иловых площадках станции аэрации, в дозе 35 т/га, где содержание кадмия в почве было больше, чем в контроле, в 1,5...2,0 раза, никеля – в 1,5...2,4 раза. В то же время при использовании всех исследуемых органических удобрений в низких и высоких дозах валовое содержание тяжелых металлов в почве не превышало нормативов Российской Федерации.

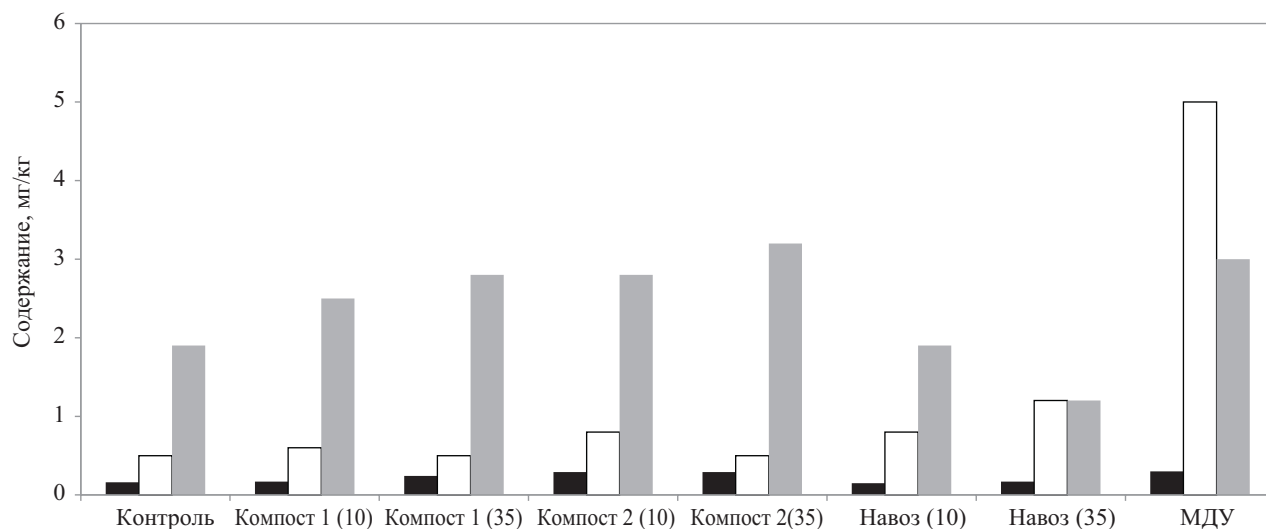


Рис. 3. Влияние органических удобрений на содержание тяжелых металлов в сухой массе многолетних трав, среднее за 2001–2018 гг. (НСП₀₅: Cd – 0,04; Pb – 0,7; Ni – 0,3 мг/кг): ■ – Cd; □ – Pb; ■ – Ni.

Важное значение при анализе воздействия нетрадиционных удобрений на агроценозы имеет качество растительной продукции [7, 9, 11]. В среднем за 2020–2021 гг. в многолетних травах в вариантах с компостами на основе осадков сточных вод, независимо от доз внесения, содержание сырого протеина, фосфора и калия в травах приближалось к контролю или находилось на уровне вариантов с применением подстилочного навоза (табл. 4).

В среднем за годы исследований по накоплению тяжелых металлов в многолетних травах (рис. 3) четких зависимостей от видов и доз удобрений не наблюдали. При этом содержание кадмия, никеля и свинца в сухой массе трав не выходило за пределы максимально допустимых уровней (МДУ 123-4/28-87).

Таким образом, при длительном (в течение 22 лет) использовании органических удобрений, производимых путем ферментации смесей осадков сточных вод с древесными отходами, отмечено их положительное влияние на реакцию среды, основные агрохимические, санитарно-гигиенические показатели почвы, урожайность многолетних трав и их продуктивное долголетие без ухудшения качества растительной продукции.

Наиболее высокий в опыте эффект достигнут при внесении компоста, производимого из поступающего непосредственно с фильтр-прессов Курьяновской станции аэрации г. Москвы свежего и менее загрязненного тяжелыми металлами осадка в дозе 35 т/га сухого вещества. Прибавка урожая сена многолетних трав от применения компоста, по отношению к контролю без удобрений, составляла 41 %. В вариантах с использованием традиционного подстилочного навоза крупного рогатого скота прибавки изменялись от 28 до 73 % в зависимости от дозы внесения.

Литература

1. *Стратегия использования осадков сточных вод и компостов на их основе в агрикультуре* / Под ред. З.Н. Милащенко. М.: Агроконсалт. 2002. 138 с.
2. Касатиков В. А., Шабардина Н. П., Раскатов В. А. Действие агрохимикатов на основе органогенных городских и животноводческих отходов на микроэлементный состав почвы и растений в агроценозе // *Плодородие*. 2020. № 5. С. 64–66. doi: 10.25680/S19948603.2020.116.18.
3. Мерзлая Г. Е., Афанасьев Р. А. Агрохимические аспекты использования осадков сточных вод для рекультивации земель различного назначения // *Агрохимия*. 2020. № 8. С. 70–77. doi: 010.31857/S0002188120080050.
4. Оптимизация обстановки при загрязнении почв и свалок токсикантами / В. И. Савич, В.А. Раскатов, И.Т. Тазин и др. // *Плодородие*. 2019. № 4. С.52–56. doi: 10.25680/S19948603.2019.109.17
5. Kovalev N. G., Rabinovich G. Yu., Fomicheva N. V. Resource-Conserving and Zero-Waste Principles of Technologies for Producing Liquid-Phase Biosubstances // *Russian Agricultural Sciences*. 2012. Vol. 38. No. 1. P. 4–7. doi: 10.3103/S1068367412010120.
6. Подолян Е. А., Барановский И. Т. Эффективность удобрений на основе осадка сточных вод в звене полевого севооборота // *Плодородие*. 2019. № 4. С. 57–59. doi: 10.25680/S19948603.2019.109.18.
7. Kutera J. Wykorzystanie Ścieków W Rolnictwie. Wyd. 2 ed. Warszawa: Państwowe Wydawnictwo Rolnicze i Leśne, 1988. 511 p.
8. Burghard W., Schneider Th. Bulk density, and content density and stock of carbon, nitrogen and heavy metals in vegetable patches and lawns of allotments gardens in the north-western Ruhr area, Germany // *J. Soils and Sediments*. 2018. V. 18 (2). P. 407–417. doi: 10.1007/s11368-016-1553-8.
9. Жигарева Ю. В., Мерзлая Г. Е. Агроэкологическая оценка эффективности осадков сточных вод в севообороте с ячменем // *Плодородие*. 2018. № 3. С. 42–44. doi: 10.25680/S19948603.2018.102.13.
10. *Плодородие почв России: состояние и возможности* / Под ред. В. Г. Сычева. М.: ВНИИА. 2019. 240 с.
11. *Методические и организационные основы проведения агроэкологического мониторинга в интенсивном земледелии (на базе Географической сети опытов)*. М.: ВИУА. 1991. 356 с.

Поступила в редакцию 21.04.2022

После доработки 24.08.2022

Принята к публикации 07.09.2022