

УДК 633:375:633.2

Научная статья



Открытый доступ

DOI: 10.32634/0869-8155-2023-375-10-79-83

Г.Ю. Рабинович ✉
Е.А. Подолян
Т.С. Зинковская

Федеральный исследовательский центр
«Почвенный институт им. В.В. Докучаева»,
Москва, Россия

✉ 2016vniimz-noo@list.ru

Поступила в редакцию:
27.04.2023

Одобрена после рецензирования:
14.09.2023

Принята к публикации:
27.09.2023

Research article



Open access

DOI: 10.32634/0869-8155-2023-375-10-79-83

Galina Yu. Rabinovich ✉
Elena A. Podolian
Tatiana S. Zinkovskaya

V.V. Dokuchaev Soil Science Institute,
Moscow, Russia

✉ 2016vniimz-noo@list.ru

Received by the editorial office:
27.04.2023

Accepted in revised:
14.09.2023

Accepted for publication:
27.09.2023

Содержание и состав органического вещества дерново-подзолистой почвы при внесении удобрительных смесей на основе осадка сточных вод

РЕЗЮМЕ

Актуальность. Органическое вещество почв Нечерноземной зоны требует дополнительных источников своего пополнения, к которым можно отнести осадок сточных вод (далее — ОСВ). В работе исследуется применение осадка сточных вод г. Твери, внесенного в свежем виде в состав смеси с дополнительными органическими субстратами (опилками, торфом, соломой) в звене полевого севооборота (вико-овсяная смесь, озимая рожь, яровой ячмень).

Методы. Опыт проведен в Тверской области на дерново-подзолистой супесчаной почве в четырехкратной повторности. ОСВ вносили в составе общей дозы удобрительной смеси 60 т/га с дополнительными органическими субстратами (опилками, торфом, соломой), взятыми в разном соотношении (1:1, 1:2, 1:3) в начале эксперимента. Площадь опытной делянки — 6 м². Культуры звена севооборота — вико-овсяная смесь, озимая рожь, яровой ячмень. В почвенных образцах определяли содержание органического вещества, его групповой и фракционный состав по общепринятым в агрохимии методикам.

Результаты. Внесение ОСВ совместно с дополнительными субстратами способствовало повышению количества органического вещества почвы (1,38–1,5%) и поддержанию его в последствии на уровне 1,33–1,49%, в контрольном варианте этот показатель составлял 1,26% (значимость различий $p < 0,05$). Исследуемые удобрения обеспечили повышение доли ГК-1 и снижение ФК-1а. В сравнении с готовым компостом удобрительные смеси, в составе которых компоненты были в равных долях, опережали по своему действию варианты сравнения. Также они способствовали наиболее высокому приросту продуктивности звена севооборота среди всех вариантов опыта (прибавка к контролю — 61,1–68,2%). Компост обеспечил увеличение продуктивности лишь на 37,9%.

Ключевые слова: нетрадиционные органические удобрения, осадок сточных вод, органическое вещество почвы

Для цитирования: Рабинович Г.Ю., Подолян Е.А., Зинковская Т.С. Содержание и состав органического вещества дерново-подзолистой почвы при внесении удобрительных смесей на основе осадка сточных вод. *Аграрная наука*. 2023; 375(10): 79–83. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-375-10-79-83>

© Рабинович Г.Ю., Подолян Е.А., Зинковская Т.С.

The content and composition of organic matter of sod-podzolic soil when applying fertilizer mixtures based on sewage sludge

ABSTRACT

Relevance. The organic matter of the soils of the Non-Chernozem zone requires additional sources of its replenishment, which can include sewage sludge (SS). The paper investigates the use of sewage sludge from Tver, introduced fresh into a mixture with additional organic substrates (sawdust, peat, straw) in the field crop rotation link.

Methods. The experiment was carried out in the Tver region on sod-podzolic sandy loam soil in fourfold repetition. OSV was introduced as part of a total dose of a fertilizer mixture of 60 t/ha with additional organic substrates (sawdust, peat, straw) taken in different proportions (1:1, 1:2, 1:3) at the beginning of the experiment. The area of the experimental plot is 6 m². Crops of the crop rotation link — mixture vetch and oat, winter rye, spring barley. The content of organic matter, its group and fractional composition were determined in soil samples according to the methods generally accepted in agrochemistry.

Results. The introduction of SS together with additional substrates contributed to an increase in the amount of soil organic matter (1,38–1,5%) and its maintenance in the aftereffect at the level of 1,33–1,49%, in the control variant this indicator was 1,26% (the significance of differences $p < 0,05$). The studied fertilizers provided an increase in the share of GA-1 and a decrease in FA-1a. In comparison with the finished compost, fertilizer mixtures, in which the components were in equal proportions, were ahead of the comparison options in their effect. They also contributed to the highest increase in productivity of the crop rotation link among all the variants of the experiment (an increase in control — 61,1–68,2%). Compost provided an increase in productivity by only 37,9%.

Key words: unconventional organic fertilizers, sewage sludge, soil organic matter

For citation: Rabinovich G.Yu., Podolian E.A., Zinkovskaya T.S. The content and composition of organic matter of sod-podzolic soil when applying fertilizer mixtures based on sewage sludge. *Agrarian science*. 2023; 375(10): 79–83 (In Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-375-10-79-83>

© Rabinovich G.Yu., Podolian E.A., Zinkovskaya T.S.

Введение/Introduction

Утилизация ОСВ уже на протяжении многих десятилетий является широко обсуждаемой проблемой. При этом считается признанным фактом, что химический состав ОСВ располагает к применению его в качестве органического удобрения [1–4]. ОСВ очистных сооружений жилищно-коммунального хозяйства может служить источником для почвы органического вещества, а также макро- и микроэлементов (азота, фосфора, калия, кальция, магния, меди, цинка и др.), необходимых для нормального протекания физиологических и биохимических процессов растений [5]. При этом продолжается поиск способов обезвреживания ОСВ (в частности, содержащих в нем ионов тяжелых металлов) [6].

ОСВ представляет собой полутвердый остаточный материал, образующийся в результате осаждения взвешенных твердых веществ в процессе очистки городских канализационных вод. В ходе очистки стоки попадают сначала в первичный отстойник, где улавливаются взвешенные твердые частицы и органические вещества в результате гравитационного осаждения. Далее, уже в аэротенках, происходит биологическая очистка воды с участием микроскопических организмов: простейших, инфузорий, коловраток, грибов, бактерий. Последние из указанных играют основную роль в окислении органических соединений сточной воды и перехода их в осадок. В целом микробоценоз активного ила может содержать около 37 видов микроорганизмов [7].

На данном этапе после очистки воды от углеродсодержащих органических соединений создаются условия для развития нитрифицирующих бактерий, которые способны накапливать фосфаты, обеспечивая тем самым их переход из воды в твердые частицы [8]. Поэтому были разработаны методы управления очисткой воды в аэротенках путем воздействия на метаболизм микроорганизмов активного ила [7, 9]. Осадок из первичного отстойника и активный ил попадают на иловые карты и в дальнейшем подлежат утилизации.

По причине сложного технологического процесса очистки канализационных вод обращение с огромным количеством осадков влечет за собой значительные эксплуатационные расходы на водоочистные сооружения. В связи с этим необходимы соответствующие стратегии их использования, устойчивые с экологической и экономической точек зрения.

Основными способами утилизации ОСВ являются сжигание и санитарное захоронение, значительно реже — внесение в почву с целью улучшения ее агрохимических показателей [2]. Однако применение очищенного ОСВ в качестве удобрения может покрыть большую часть потребностей в азоте и фосфоре многих сельскохозяйственных культур [3, 4]. Более того, внесение ила в почву, главным образом в сельском хозяйстве, по сравнению со сжиганием или санитарным захоронением обходится дешевле [1].

Хотя использование ОСВ в качестве источника питательных веществ и органических соединений может оказывать положительное влияние на почву. Оно также представляет собой риск из-за содержания загрязняющих веществ, таких как тяжелые металлы, органические соединения и патогенные микроорганизмы. Среди органических соединений наиболее часто обнаруживаются в осадках коммунальных сточных вод адсорбируемые органические галогены (АОГ), линейные алкилбензол-

сульфонаты (ЛАС), нонилфенолы и этоксилаты нонилфенола (НП), диэтилгексилфталат (ДЭГФ), полиароматические углеводороды (ПАУ), полихлорированные бифенилы (ПХБ), полихлорированные дибензо-*p*-диоксины и -фураны (ПХДД/Ф) [10]. Даже такие ценные питательные вещества, как соединения фосфора, могут вызывать загрязнение водных и наземных экосистем при внесении в сельскохозяйственные угодья в избытке в виде удобрений [11].

Неопределенность в отношении воздействия нежелательных веществ в составе ОСВ делает его использование в сельском хозяйстве сложной и рискованной практикой с точки зрения влияния на здоровье. Поэтому необходимо найти такие технологии применения ОСВ, которые бы не вредили окружающей среде и организму человека.

Тем не менее важным фактом в условиях дефицита традиционных органических удобрений является высокое содержание в составе ОСВ органического вещества, которое способно повышать гумус в почве, что в свою очередь благоприятно отражается и на других ее параметрах, а также на продуктивности полевых культур [12].

Цель работы — изучение влияния ОСВ, вносимого в почву в виде удобрительных смесей с дополнительными органическими субстратами (торфом, опилками, соломой), на содержание и состав органического вещества дерново-подзолистой супесчаной почвы, а также на урожайность полевых культур.

Материалы и методы исследования / Materials and methods

Полевой опыт проводился в 2015–2017 гг. на дерново-подзолистой супесчаной почве в Калининском районе Тверской области. Почва пахотного слоя имела слабобокислую реакцию (pH_{KCl} 5,7), содержание подвижного фосфора составляло 241 мг/кг, подвижного калия — 124 мг/кг почвы, органического вещества — 1,3%.

Смеси на основе ОСВ с очистных сооружений г. Твери и органических наполнителей (еловых опилок либо низинного торфа или ржаной соломы) вносили один раз — в начале эксперимента (в мае 2015 г.). Для сравнения в опыт был включен вариант с компостом (БиоКомпост «Тверской»¹), производимым на территории станции очистных сооружений из ОСВ и опилок.

Схема опыта включала следующие варианты:

- 1) контроль (без удобрений)
- 2) компост на основе ОСВ
- 3) ОСВ — опилки: 1:1
- 4) ОСВ — опилки: 1:2
- 5) ОСВ — опилки: 1:3
- 6) ОСВ — торф: 1:1
- 7) ОСВ — торф: 1:2
- 8) ОСВ — торф: 1:3
- 9) ОСВ — солома: 1:1
- 10) ОСВ — солома: 1:2
- 11) ОСВ — солома: 1:3.

Количество частей ОСВ и органических наполнителей подбиралось исходя из разного соотношения углерода к азоту. Химический состав компонентов изучаемых смесей и компоста различался между собой (табл. 1). Содержание токсичных элементов в ОСВ, а также его санитарно-бактериологические и санитарно-паразитологические показатели соответствовали нормам ГОСТ Р 54651-2011².

¹ Регистрационный № 421-20-1404-1 // Справочник пестицидов и агрохимикатов, разрешенных к применению на территории Российской Федерации. 2023. Версия 73 (20.09.2023).

² ГОСТ Р 54651-2011 Ресурсосбережение. Осадки сточных вод.

Таблица 1. Химический состав ОСВ, дополнительных органических субстратов и компоста, изучаемых в опыте, % на сухое вещество (по данным испытательной лаборатории ФГБУ «Государственный центр агрохимической службы «Тверской»»)

Table 1. Chemical composition of OSV, additional organic substrates and compost studied in the experiment, % on dry matter (according to the testing laboratory of the Federal State Budgetary Institution «Tverskoy» State Center for Agrochemical Service)

№ п/п	Показатель	ОСВ	Опилки	Торф	Солома	Компост
1	Влажность, %	67	36	61	12,3	52
2	Зольность, %	33	9,8	10,2	6,8	11,4
3	pH _{KCl}	7,5	5,1	5,1	—	6,1
4	N _{общ.} , %	3,43	0,1	3,1	0,43	2,1
5	P ₂ O ₅ общ., %	1,7	0,13	0,35	0,26	0,33
6	K ₂ O общ., %	0,29	0,03	0,15	0,8	0,15
7	C _{орг.} , %	33,5	45,1	44,9	46,6	44,3
8	C/N	9,8	430	14,5	108,4	21

Повторность — четырехкратная, размер делянки — 6 м². Опытные культуры по годам: 2015 г. — вико-овсяная смесь, 2016 г. — озимая рожь, 2017 г. — яровой ячмень. Почвенные образцы отбирали в конце вегетационных сезонов в 2015–2017 гг. для определения содержания органического вещества методом И.В. Тюрина³, группового и фракционного состава органического вещества по схеме И.В. Тюрина в модификации В.В. Пономаревой и Т.А. Плотниковой, уборку урожая осуществляли поделочно⁴. Определяли продуктивность⁵ культур звена полевого севооборота (вико-овсяная смесь, озимая рожь, яровой ячмень).

Содержание тяжелых металлов и мышьяка в растениеводческой продукции определяли методом атомно-адсорбционной спектроскопии с помощью прибора «Спектр-5-4». Пробы готовили и анализировали по общепринятым методикам⁶. Статистическую обработку производили с помощью MS Office Excel (США) и пакета программ («Ландшафт», Россия).

Содержание тяжелых металлов и мышьяка в полученной растениеводческой продукции соответствовало СанПиН 2.3.2.1078-01⁷.

Результаты и обсуждение / Results and discussion

Все изучаемые в опыте удобрительные смеси на основе ОСВ (ОСВ) оказывали достоверное повышение органического вещества в дерново-подзолистой супесчаной почве относительно контроля (табл. 2).

К концу вегетационного сезона года внесения изучаемых удобрений наиболее высокая доля органического вещества в почве была при использовании ОСВ и органических субстратов в соотношении 1:1 и достигала 1,46–1,5%, опережая эффективность компоста (1,44%) с математически доказанной разницей. При этом на контроле она составляла 1,27%. В последствии (2016–2017 гг.) происходило незначительное снижение содержания органического вещества почвы на всех вариантах опыта. Удобрительные смеси не потеряли своего положительного воздействия на данный показатель, который варьировал в пределах 1,34–1,49% и был выше контроля (1,25%).

Перед закладкой опыта дерново-подзолистая супесчаная почва по составу органического вещества

Таблица 2. Содержание органического вещества в дерново-подзолистой супесчаной почве, % на сухую массу

Table 2. Organic matter content of sod-podzolic sandy loam soil, % of the dry weight

№ п/п	Вариант опыта	В год прямого действия (2015 г.)	В последствии действия (2016–2017 гг.)
1	Контроль	1,27	1,25
2	Компост	1,44	1,43
3	ОСВ — опилки: 1:1	1,48	1,47
4	ОСВ — опилки: 1:2	1,42	1,41
5	ОСВ — опилки: 1:3	1,35	1,33
6	ОСВ — торф: 1:1	1,50	1,49
7	ОСВ — торф: 1:2	1,46	1,45
8	ОСВ — торф: 1:3	1,40	1,39
9	ОСВ — солома: 1:1	1,46	1,44
10	ОСВ — солома: 1:2	1,42	1,38
11	ОСВ — солома: 1:3	1,38	1,34
	HCP ₀₅	0,02	0,04

Таблица 3. Фракционный состав гуминовых кислот дерново-подзолистой супесчаной почвы в слое 0–20 см, % к общему С

Table 3. Fractional composition of humic acids of sod-podzolic sandy loam soil in a layer of 0–20 cm, % of total C

Вариант опыта	Фракции в год прямого действия (2015 г.)			Фракции в последствии действия (2016–2017 гг.)		
	1	2	3	1	2	3
1. Контроль	14,5	9,1	13,5	14,6	9,0	13,4
2. Компост	15,2	10,3	13,6	14,9	10,3	13,3
3. ОСВ — опилки: 1:1	17,5	11,0	13,8	17,8	10,5	12,7
4. ОСВ — опилки: 1:2	16,0	10,5	13,6	16,4	10,2	12,8
5. ОСВ — опилки: 1:3	15,8	10,3	13,0	16,0	9,9	12,3
6. ОСВ — торф: 1:1	17,3	10,8	13,7	17,8	10,4	12,8
7. ОСВ — торф: 1:2	16,2	10,3	13,4	16,3	10,2	12,7
8. ОСВ — торф: 1:3	15,8	9,8	13	15,8	9,6	12,1
9. ОСВ — солома: 1:1	16,4	10,5	13,3	16,5	10,2	13,1
10. ОСВ — солома: 1:2	16,2	10,4	13	16,3	10	12,7
11. ОСВ — солома: 1:3	15,7	10,2	13	15,9	9,8	12,3
HCP ₀₅	0,2	0,1	0,3	0,2	0,1	0,3

была отнесена к гуматно-фульватному типу. В течение эксперимента в контрольном варианте состав органического вещества сохранил свой исходный тип, соотношение его компонентов практически не изменялось.

Внесение ОСВ совместно с органическими субстратами повлияло на распределение фракций гумусовых кислот (табл. 3, 4).

Уже в год прямого действия доля наиболее ценной фракции одних гуминовых кислот (ГК-1) в почве вариантов с удобрительными смесями достоверно превышала контроль (14,5% к общему С), а также вариант сравнения — компост (15,2%) и составляла от 15,7 до 16,2%.

Применение изучаемых смесей отразилось и на двух, и на трех фракциях гуминовых кислот. Так, наиболее эффективная смесь ОСВ с торфом в равных соотношениях позволила увеличить содержание ГК-2 до 10,8% к общему С, в то время как на контроле и в варианте с компостом оно составляло 9,1% и 10,3% соответственно.

В последующие годы (2016–2017 гг.) внесенные удобрительные смеси продолжали поддерживать количество гуминовых кислот одной фракции достоверно выше по сравнению с контролем и компостом. Это гово-

³ ГОСТ 26213-91 Почвы. Методы определения органического вещества.

⁴ Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. М.: Агропромиздат. 1985; 351.

⁵ Князева Т.В., Ульянов В.С. Кормопроизводство: методические рекомендации. Краснодар: КубГАУ. 2016; 56.

⁶ Муравин Э.А., Обуховская Л.В., Ромодина Л.В. Практикум по агрохимии. Москва. 2005; 288.

⁷ Гигиенические требования безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов. СанПиН 2.3.2.1078-01, утвержденные Главным государственным санитарным врачом Российской Федерации 06.11.2001 г., с 1 июля 2002 г.

Таблица 4. Фракционный состав фульвокислот дерново-подзолистой супесчаной почвы в слое 0–20 см, % к общему C
Table 4. Fractional composition of fulvic acids of sod-podzolic sandy loam soil in a layer of 0–20 cm, % of total C

Вариант опыта	Фракции в год прямого действия (2015 г.)				Фракции в последствии (2016–2017 гг.)			
	1a	1	2	3	1a	1	2	3
1. Контроль	8,4	12,1	14,3	8,2	8,5	12,4	14,4	8,2
2. Компост	8,0	12,3	15,3	7,8	7,9	12	14,9	7,7
3. ОСВ — опилки: 1:1	7,6	11,7	15,1	8,3	7,6	11	14,6	7,9
4. ОСВ — опилки: 1:2	7,9	11,4	15	8,6	7,7	10,7	15,2	7,9
5. ОСВ — опилки: 1:3	8,2	11,4	15	8,8	8,1	10,9	15,1	8,1
6. ОСВ — торф: 1:1	7,3	11,1	14,8	7,8	7,8	11,1	14,8	8,4
7. ОСВ — торф: 1:2	7,4	11	14,5	7,8	7,7	11,3	14,3	8
8. ОСВ — торф: 1:3	7,4	11,1	14,3	8	7,5	11,1	14,1	7,2
9. ОСВ — солома: 1:1	7,3	11,6	14,6	7,5	7,8	12,4	14,9	8
10. ОСВ — солома: 1:2	8,4	11,5	14,9	8,2	8,6	11,5	14,5	8,3
11. ОСВ — солома: 1:3	8,7	11,4	15,1	8,5	8,8	11,6	14,8	8,7
НСР ₀₅	0,6	0,1	0,2	0,2	0,6	0,1	0,1	0,4

рит о пролонгированном действии осадка сточных вод, на что указывают исследования ряда авторов [15, 16].

Положительное влияние на фракционный состав фульвокислот (ФК) от внесения ОСВ совместно с дополнительными органическими субстратами проявилось в том, что снизилась доля агрессивной фракции 1a (табл. 4).

В год прямого действия особенно повлияли на почву в данном отношении смеси ОСВ и торфа в соотношении 1:1, 1:2, 1:3, а также «ОСВ — опилки» и «ОСВ — солома» (1:1). В последствии происходили некоторые изменения в содержании фракций фульвокислот, наблюдалось снижение их суммарного количества в ряде вариантов. При внесении смесей с участием торфа (1:1 и 1:2) продолжалась убыль ФК-1a (7,7–7,8%), в то время как на контроле и в варианте с компостом их содержание оставалось практически прежним (8,5% и 7,9% соответственно).

Удобрительные смеси на основе ОСВ оказали определенное воздействие на продуктивность культур звена полевого севооборота (вико-овсяная смесь, озимая рожь, яровой ячмень) (55,2–68,1 т/га корм. ед.), сформировав достоверный прирост (значимость различий $p < 0,05$) относительно контроля, который составил 14,5–27,4 т/га корм. ед. (рис. 1).

Содержание тяжелых металлов и мышьяка в полученной растениеводческой продукции соответствовало СанПиН 2.3.2.1078-01⁷.

Отмечено снижение продуктивности изучаемых культур по мере расширения соотношения любого органического субстрата (опилок, торфа, соломы) к ОСВ.

Рис. 1. Влияние удобрительных смесей и компоста на продуктивность звена полевого севооборота 2015–2017 гг., т/га корм. ед.

Fig. 1. The effect of fertilizer mixtures and compost on the productivity of the field crop rotation link in 2015–2017, t/ha feed units

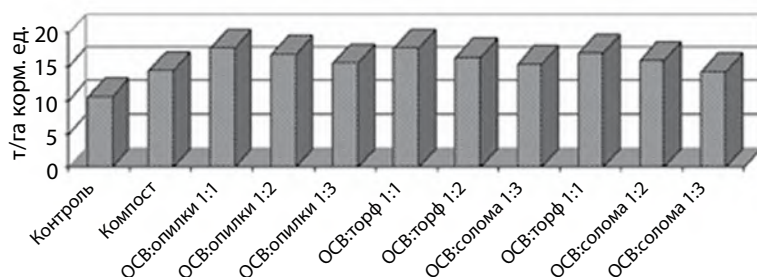


Таблица 5. Содержание тяжелых металлов и мышьяка в растениеводческой продукции (мг/кг) под влиянием удобрительных смесей

Table 5. The content of heavy metals and arsenic in grain (mg/kg) under the influence of fertilizer mixtures

Вариант опыта	Показатель, мг/кг											
	зерно озимой ржи						зерно ярового ячменя					
	As	Cu	Zn	Pb	Cd	Co	As	Cu	Zn	Pb	Cd	Co
1	0,01	0,4	8,3	0,03	0,01	0,06	0,01	0,3	8,9	0,04	0,01	0,05
2	0,04	2,3	24,8	0,12	0,01	0,13	0,04	2,6	24,1	0,16	0,01	0,23
3	0,07	4,2	28,7	0,17	0,03	0,56	0,09	4,8	28,1	0,23	0,04	0,61
4	0,06	3,8	23,1	0,12	0,03	0,42	0,07	4,3	23,4	0,18	0,03	0,40
5	0,06	2,7	19,5	0,09	0,02	0,37	0,07	3,8	19,5	0,10	0,03	0,33
6	0,08	4,6	27,9	0,17	0,03	0,6	0,08	4,7	29,6	0,20	0,03	0,64
7	0,07	4,1	21,6	0,13	0,02	0,44	0,07	4	26,3	0,16	0,03	0,42
8	0,06	2,3	17,2	0,09	0,02	0,31	0,06	2,9	17,6	0,12	0,02	0,36
9	0,06	3,9	28,5	0,21	0,04	0,58	0,07	3,7	30,2	0,28	0,04	0,61
10	0,06	3,7	22,3	0,16	0,03	0,46	0,07	3,9	26,7	0,21	0,03	0,53
11	0,06	2,5	18,4	0,08	0,03	0,34	0,06	3,2	20,3	0,14	0,03	0,38
НСР ₀₅	0,01	1,6	3,1	0,04	0,01	0,27	0,01	1,4	2,8	0,05	0,01	0,23
ПДК	0,2	10	50	0,5	0,1	0,8	0,2	10	50	0,5	0,1	0,8

Так, если в звене севооборота на фоне ОСВ с торфом в соотношении 1:1 было получено 17,6 т/га корм. ед., то при соотношении ОСВ с торфом 1:3 — 15,3 т/га корм. ед. Эта же тенденция была отмечена и при исследовании других видов органических наполнителей в удобрительных смесях. Смеси ОСВ и наполнителей в равных долях обеспечили достоверное превышение продуктивности по сравнению с компостом (прибавка к компосту составила 9,1–11,6 т/га корм. ед.).

Полученные данные согласуются с мировой и отечественной практикой применения ОСВ в растениеводстве и положительному влиянию на сельскохозяйственные культуры [16–18].

Выводы/Conclusion

Полученные результаты свидетельствуют о положительном влиянии ОСВ в составе удобрительных смесей с участием дополнительных органических субстратов (опилок, торфа, соломы) на содержание и состав органического вещества дерново-подзолистой супесчаной почвы, а также на продуктивность полевых культур.

Данные удобрительные смеси способствовали повышению количества органического вещества почвы (1,38–1,5%) и поддержанию его в течение трех лет (1,33–1,49%), превышая контроль (1,25–1,27%) и исходный показатель до начала эксперимента (1,3%) (значимость различий $p < 0,05$).

Исследуемые удобрения обеспечили увеличение доли агрономически ценной фракции гуминовых кислот (ГК-1) и снижение агрессивной фракции фульвокислот (ФК-1a). В сравнении с готовым компостом удобрительные смеси, в составе которых компоненты были в равных долях, оказывали более сильное влияние на изучаемый состав органического вещества.

Смеси ОСВ и наполнителей в соотношении 1:1 способствовали наиболее высокому приросту продуктивности звена севооборота относительно других вариантов опыта. Прибавка к компосту составила 9,1–11,6 т/га корм. ед.

Все авторы несут ответственность за свою работу и представленные данные.

Все авторы внесли равный вклад в эту научную работу. Авторы в равной степени участвовали в написании рукописи и несут равную ответственность за плагиат. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Материалы подготовлены при поддержке Минобрнауки РФ в рамках государственного задания Всероссийского научно-исследовательского института мелиорированных земель — филиала Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный исследовательский центр «Почвенный институт им. В.В. Докучаева» (ВНИИМЗ) (тема № 0439-2022-0007).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Roy T., Singh R.D., Biswas D.R., Patra A.K. Effect of Sewage Sludge and Inorganic Fertilizers on Productivity and Micronutrients Accumulation by Palak (*Beta vulgaris*) and their Availability in a Typic Haplustept. *Journal of the Indian Society of Soil Science*. 2013; 61(3): 207–218.
- Пахненко Е.П. Осадки сточных вод и другие нетрадиционные органические удобрения. М.: Бином. Лаборатория знаний. 2013; 311. ISBN 978-5-94774-597-9 <https://www.elibrary.ru/qkytrd>
- Мерзлая Г.Е., Афанасьев Р.А. Трансформация токсичных осадков сточных вод в экологически безопасные удобрения. *Химическая безопасность*. 2018; 2(1): 180–190. <https://doi.org/10.25514/CHS.2018.1.12892>
- Касатиков В.А., Анисимова Т.Ю., Шабардина Н.П. К вопросу о мелиоративном влиянии систематического применения осадка городских сточных вод на агроэкологические свойства слабокультуренной дерново-подзолистой почвы. *Мелиорация*. 2018; (3): 78–84. <https://www.elibrary.ru/yujldv>
- Ильинский А.В., Сельмен В.Н., Сельмен Е.В., Карякина С.Д., Матюхин М.С., Гребенникова В.В. Применение почвогрунта на основе осадков сточных вод городских очистных сооружений в озеленении городских территорий. *Теоретическая и прикладная экология*. 2022; (2): 191–197 (на англ. яз.). <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2022-2-191-197>
- Нездойминов В.И., Чернышев В.Н., Кизяев В.Ф., Могучало А.В. Аспекты обезвреживания осадков сточных вод, содержащих ионы тяжелых металлов. *Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры*. 2018; (5): 79–83. <https://www.elibrary.ru/ljnljon>
- Джумагулова Н.Т., Гаврилов И.Е., Нгуен Д.Д. Изучение видового состава микроорганизмов, осуществляющих очистку сточных вод. *Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов*. 2019; 330(9): 195–203. <https://doi.org/10.18799/24131830/2019/9/2273>
- Большаков Н.Ю. Очистка от биогенных элементов на городских очистных сооружениях. СПб: Издательство Санкт-Петербургского политехнического университета. 2010; 112. ISBN: 978-5-7422-2798-4 <https://www.elibrary.ru/qnpamx>
- Gulshin I. The settling behavior of an activated sludge with simultaneous nitrification and denitrification. *MATEC Web of Conferences*. 2017; 106: 07002. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201710607002>
- Kapanen A., Vikman M., Rajasärkkä J., Virta M., Itävaara M. Biotests for environmental quality assessment of composted sewage sludge. *Waste Management*. 2013; 33(6): 1451–1460. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2013.02.022>
- Smits M.J.W. et al. Phosphorus Recycling from manure — A Case Study on the Circular Economy: Work package 4. *EU*. 2018; 61.
- Межевова А.С., Азаров А.С. Осадки сточных вод — высокоэффективное удобрение. *Плодородие*. 2021; (5): 95–97. <https://doi.org/10.25680/S19948603.2021.122.23>
- Соколов А.В. (ред.). Агрохимические методы исследования почв. 5-е изд., доп. и перераб. М.: Наука. 1975; 656.
- Плотникова Т.А., Орлова Н.Е. Использование модификационной схемы Пономаревой — Плотниковой для определения состава, природы и свойств гумуса почв. *Почвоведение*. 1984; (8): 120–130.
- Куликова А.Х., Захаров Н.Г. Последствие осадков сточных вод, применяемых в качестве удобрения сельскохозяйственных культур, в зависимости от систем основной обработки почвы. *Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии*. 2015; (2): 6–13. <https://www.elibrary.ru/uhjqph>
- Арефьев А.Н., Кузин Е.Н. Изменение урожайности культур звена зернопаропропашного севооборота и качества растениеводческой продукции под влиянием осадков сточных вод и цеолита. *Нива Поволжья*. 2018; (3): 9–15. <https://www.elibrary.ru/xympln>
- Donatello S., Cheeseman C.R. Recycling and recovery routes for incinerated sewage sludge ash (ISSA): A review. *Waste Management*. 2013; 33(11): 2328–2340. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2013.05.024>
- Касатиков В.А. Влияние мелиоративных доз осадка городских сточных вод на азотный режим дерново-подзолистой почвы и продуктивность зерновых культур. *Агрохимия*. 2020; (6): 64–68. <https://doi.org/10.31857/S0002188120060058>

ОБ АВТОРАХ

Галина Юрьевна Рабинович, доктор биологических наук, заведующая отделом биотехнологий, 2016vniimz-noo@list.ru <https://orcid.org/0000-0002-5060-6241>

Елена Александровна Подolian, кандидат сельскохозяйственных наук, младший научный сотрудник лаборатории плодородия отдела биотехнологий, <https://orcid.org/0000-0002-2754-0053>

Татьяна Степановна Зинковская, кандидат сельскохозяйственных наук, заведующая лабораторией плодородия отдела биотехнологий, <https://orcid.org/0000-0003-3546-9637>

Федеральный исследовательский центр «Почвенный институт им. В.В. Докучаева», Пыжевский пер., 7, стр. 2, Москва, 119017, Россия

All authors bear responsibility for the work and presented data.

All authors have made an equal contribution to this scientific work. The authors were equally involved in writing the manuscript and bear the equal responsibility for plagiarism. The authors declare no conflict of interest.

FUNDING

The materials were prepared with the support of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation within the framework of the state assignment of the All-Russian Research Institute of Reclaimed Lands — a branch of the Federal State Budgetary Scientific Institution «Federal Research Center “V.V. Dokuchaev Soil Institute”» (VNIIMZ) (topic No. 0439-2022-0007).

REFERENCES

- Roy T., Singh R.D., Biswas D.R., Patra A.K. Effect of Sewage Sludge and Inorganic Fertilizers on Productivity and Micronutrients Accumulation by Palak (*Beta vulgaris*) and their Availability in a Typic Haplustept. *Journal of the Indian Society of Soil Science*. 2013; 61(3): 207–218.
- Pakhnenko E.P. Sewage sludge and other unconventional organic fertilizers. Moscow: Binom. Laboratoriya znaniy. 2013; 311 (In Russian). ISBN 978-5-94774-597-9 <https://www.elibrary.ru/qkytrd>
- Merzlaya G.E., Afanasev R.A. Transformation of toxic wastewater sediments into environmentally friendly fertilizers. *Chemical Safety Science*. 2018; 2(1): 180–190 (In Russian). <https://doi.org/10.25514/CHS.2018.1.12892>
- Kasatikov V.A., Anisimova T.Yu., Shabardina N.P. The effect of systematic use of sewage sludge on agro ecological properties of poorly cultivated sod-podzolic soil. *Land Reclamation*. 2018; (3): 78–84 (In Russian). <https://www.elibrary.ru/yujldv>
- Ilinsky A.V., Selmen V.N., Selmen E.V., Karyakina S.D., Matyukhin M.S., Grebennikova V.V. The use of soil based on sewage sludge from urban wastewater treatment plants in the greening of urban areas. *Theoretical and Applied Ecology*. 2022; (2): 191–197. <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2022-2-191-197>
- Nezdoyminov V.I., Chernyshev V.N., Kizhaev V.F., Moguchalo A.V. Aspects of active sludge containing heavy metal ions utilization. *Proceeding of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture*. 2018; (5): 79–83 (In Russian). <https://www.elibrary.ru/ljnljon>
- Dzhumagulova N.T., Gavrillov I.E., Nguyen D.D. Studying species composition of microorganisms performing wastewater treatment. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*. 2019; 330(9): 195–203 (In Russian). <https://doi.org/10.18799/24131830/2019/9/2273>
- Bolshakov N.Yu. Purification from biogenic elements at urban wastewater treatment plants. St. Petersburg: St. Petersburg Polytechnic University. 2010; 112 (In Russian). ISBN: 978-5-7422-2798-4 <https://www.elibrary.ru/qnpamx>
- Gulshin I. The settling behavior of an activated sludge with simultaneous nitrification and denitrification. *MATEC Web of Conferences*. 2017; 106: 07002. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201710607002>
- Kapanen A., Vikman M., Rajasärkkä J., Virta M., Itävaara M. Biotests for environmental quality assessment of composted sewage sludge. *Waste Management*. 2013; 33(6): 1451–1460. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2013.02.022>
- Smits M.J.W. et al. Phosphorus Recycling from manure — A Case Study on the Circular Economy: Work package 4. *EU*. 2018; 61.
- Mezhevoval A.S., Azarov A.S. Sewage sludge is a high efficiency nanofertilizer. *Polodoriadi*. 2021; (5): 95–97 (In Russian). <https://doi.org/10.25680/S19948603.2021.122.23>
- Sokolov A.V. (ed.). Agrochemical methods of soil research. 5th ed., add. and redraw it. Moscow: Nauka. 1975; 656 (In Russian).
- Plotnikova T.A., Orlova N.E. Using the Ponomareva — Plotnikova modification scheme to determine the composition, nature and properties of soil humus. *Pochvovedenie*. 1984; (8): 120–130 (In Russian).
- Kulikova A.Kh., Zakharov N.G. Aftereffect of wastewater sludge used as fertilizer of agricultural crops, depending on systems of primary tillage. *Vestnik of Ulyanovsk State Agricultural Academy*. 2015; (2): 6–13 (In Russian). <https://www.elibrary.ru/uhjqph>
- Arefyev A.N., Kuzin E.N. The change in the crop yield of the link of crop rotation and quality of crop production produce under the influence of sewage sludge and zeolite. *Niva Povolzhya*. 2018; (3): 9–15 (In Russian). <https://www.elibrary.ru/xympln>
- Donatello S., Cheeseman C.R. Recycling and recovery routes for incinerated sewage sludge ash (ISSA): A review. *Waste Management*. 2013; 33(11): 2328–2340. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2013.05.024>
- Kasatikov V.A. Effect of reclamation doses of sludge of municipal wastewater on nitrogen regime of sod-podzolic soil and crop productivity. *Agrokhimiya*. 2020; (6): 64–68 (In Russian). <https://doi.org/10.31857/S0002188120060058>

ABOUT THE AUTHORS

Galina Yuryevna Rabinovich, Doctor of Biological Sciences, Head of the Biotechnology Department, 2016vniimz-noo@list.ru <https://orcid.org/0000-0002-5060-6241>

Elena Aleksandrovna Podolian, Candidate of Agricultural Sciences, Junior Researcher at the Fertility Laboratory of the Biotechnology Department, <https://orcid.org/0000-0002-2754-0053>

Tatyana Stepanovna Zinkovskaya, Candidate of Agricultural Sciences, Head of the Fertility Laboratory of the Biotechnology Department, <https://orcid.org/0000-0003-3546-9637>

V.V. Dokuchaev Soil Science Institute, 7 Pyzhevsky lane, 2 building, Moscow, 119017, Russia