

МЕЛИОРАЦИЯ, ВОДНОЕ ХОЗЯЙСТВО И АГРОФИЗИКА

Научная статья

УДК 628.381.1

doi: 10.31774/2712-9357-2026-16-2-146-166

Оценка влияния удобрений из осадков сточных вод на накопление солей в почвах

Светлана Александровна Манжина¹, Лев Игоревич Русин²

^{1, 2}Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск, Российская Федерация

¹manz.svetlana@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9322-0843>

²leva19111@icloud.com, <https://orcid.org/0009-0007-8802-4726>

Аннотация. Цель: изучение солевого состава осадков сточных вод при использовании их в качестве удобрений и его влияния на агрохимические показатели почвы. **Материалы и методы.** Для исследований были отобраны осадки с иловых карт канализационных очистных сооружений «Кадамовские» трехлетнего срока размещения. Для натурных исследований в вегетационных и полевых опытах были использованы почвы, относящиеся к черноземам обыкновенным среднесуглинистого и тяжелосуглинистого механического состава. Оценивалось влияние вносимого осадка на гранулометрический состав почв и их засоление. Определение степени засоления почв проводилось согласно принятым методикам. **Результаты.** Анализ водной вытяжки образцов почв после проведения вегетационных опытов указывает на достоверно обнаруженное повышение содержания солей в ней. Регистрируется повышение количества ионов кальция и сульфат-ионов, содержание остальных ионов либо остается неизменным, либо колеблется в пределах лабораторной погрешности. Результаты исследования водной вытяжки почв с опытных участков указывают на повышение содержания ионов кальция на 16,7 % при внесении 28 т/га осадков, на 33 % – при внесении 56 т/га и на 36,7 % – при внесении 84 т/га. Увеличение количества сульфатов в водной вытяжке составило 6,6 % при внесении 5 т/га осадков, 81,7 % при внесении 28 т/га, при внесении 56 т/га содержание сульфатов увеличилось втрое, а при использовании осадков в количестве 84 т/га – в 4 раза. Полученные данные о водной вытяжке из почв по окончании полевого эксперимента с использованием осадков сточных вод в качестве удобрений в различных разовых дозах внесения подтвердили ранее полученные в вегетационных исследованиях результаты. **Выводы.** Натурные исследования воздействия осадков сточных вод на солевой состав почв выявили достоверно подтвержденное увеличение в их водных вытяжках содержания ионов кальция и сульфатов, причем количество последних увеличивается в разы.

Ключевые слова: осадок сточных вод, водная вытяжка из почв, накопление солей, засоление, токсичные соли, токсичный сульфат-ион, суммарный эффект токсичных ионов

Источник финансирования: субсидии на выполнение Государственного задания № 082-00063-26 ПР за счет средств федерального бюджета.

Благодарность: авторы выражают благодарность Юрию Дмитриевичу Дробину, кандидату ветеринарных наук, доценту, за помощь в организации и проведении полевых исследований.

Для цитирования: Манжина С. А., Русин Л. И. Оценка влияния удобрений из осадков сточных вод на накопление солей в почвах // Мелиорация и гидротехника. 2026. Т. 16, № 2. С. 146–166. <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2026-16-2-146-166>.



LAND RECLAMATION, WATER MANAGEMENT AND AGROPHYSICS

Original article

Assessing the impact of fertilizers from sewage sludge on salt accumulation in soils

Svetlana A. Manzhina¹, Lev I. Rusin²

^{1, 2}Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk,
Russian Federation

¹manz.svetlana@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9322-0843>

²leva19111@icloud.com, <https://orcid.org/0009-0007-8802-4726>

Abstract. Purpose: to study the salt composition of sewage sludge used as fertilizer and its effect on soil agrochemical parameters. **Materials and methods.** The samples from the sludge maps of the Kadamovskie sewage treatment plants over a three-year period of placement were collected for the study. Soils classified as ordinary chernozems with medium loamy and heavy loamy mechanical composition were used for field studies in vegetation and field experiments. The impact of the applied sludge on soil texture and their salinity was assessed. The degree of soil salinity was determined according to the accepted methods. **Results.** Analysis of water extract of soil samples after the pot studies indicates a reliably detected increase in the salt content. An increase in the amount of calcium and sulfate ions is recorded, the content of other ions either remains unchanged or fluctuates within the limits of laboratory error. The results of the study of soil water extract from experimental plots indicate an increase in the calcium ion content by 16.7 % with the application of 28 t/ha of sediment, by 33 % with the application of 56 t/ha, and by 36.7 % with the application of 84 t/ha. The increase in the amount of sulfates in the aqueous extract was 6.6 % with the application of 5 t/ha of sediment, 81.7 % with the application of 28 t/ha, the sulfate content tripled with the application of 56 t/ha, and quadrupled with the use of 84 t/ha of sediment. The data obtained on the soil water extract at the end of the field experiment using sewage sludge as fertilizer at various single application rates confirmed the results previously obtained in pot studies. **Conclusions.** Field studies of the impact of sewage sludge on the salt composition of soils have revealed a reliably confirmed increase in the calcium and sulfate ion content of their water extracts, with the amount of the latter increasing several-fold.

Keywords: sewage sludge, soil water extract, salt accumulation, salinization, toxic salts, toxic sulfate ion, cumulative effect of toxic ions

Funding source: subsidies for the implementation of State Assignment No. 082-00063-26 PR are from the federal budget.

Acknowledgment: the authors express their gratitude to Yuri Dmitrievich Drobin, Candidate of Veterinary Sciences, Associate Professor, for his assistance in organizing and conducting field research.

For citation: Manzhina S. A., Rusin L. I. Assessing the impact of fertilizers from sewage sludge on salt accumulation in soils. *Land Reclamation and Hydraulic Engineering*. 2026;16(2):146–166. (In Russ.). <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2026-16-2-146-166>.

Введение. Осадок сточных вод (ОСВ) образуется в процессе механической и биологической очистки хозяйственно-бытовых стоков на канализационных очистных сооружениях и выводится из технологического

процесса для дальнейшей утилизации или размещения на полигонах¹. Он является крупнотоннажным отходом, что требует особого внимания при вовлечении его в техносферный круговорот веществ. До настоящего времени проблемы размещения и утилизации крупнотоннажных отходов имеют высокую актуальность для обеспечения благоприятной для жизнедеятельности среды обитания [1, 2].

Наиболее простым и малозатратным по финансовым и энергетическим позициям является использование осадка сточных вод в качестве источника питательных веществ путем внесения его в почвы в качестве удобрения или рекультиванта [3–7]. Так, при исследовании агрохимических характеристик осадка сточных вод с иловых площадок очистных сооружений канализации г. Калуги, который вносили на дерново-слабоподзолистые супесчаные почвы в дозах от 5 до 30 т/га по сухому веществу под возделываемую культуру овес, отмечено увеличение содержания в почве гумуса от 0,01 до 0,22 %, подвижного фосфора от 9 до 44 мг/кг, обменного калия от 3 до 12 мг/кг [8]. Внесение возрастающих доз ОСВ приводит к заметному повышению биологической и ферментативной активности пахотного слоя дерново-подзолистой супесчаной почвы [9]. Подчеркивается, что под действием илистой фракции осадков повышается активность почвенных ферментов (арилсульфатазы, кислой и щелочной фосфатазы) [10]. Согласно данным, приведенным В. А. Касатиковым, при внесении ОСВ в почву регистрируется повышение содержания подвижных форм фосфора за счет их высокого содержания в самих осадках, также отмечен положительный результат на кислых почвах за счет уменьшения гидролитической кислотности, повышения рН и уровня насыщения основаниями, последнее возможно

¹ГОСТ Р 59748-2021. Технические принципы обработки осадков сточных вод. Общие требования [Электронный ресурс]. Введ. 2021-11-01. М.: Рос. ин-т стандартизации, 2021. 23 с. Доступ из ИС «Техэксперт: 6 поколение» Интранет.

при содержании солеобразующих ионов во вносимом удобрении [11–13]. Тем не менее сам солевой состав осадков не был исследован, что говорит об отсутствии полноты данных о химическом составе потенциального удобрения.

Основной тенденцией при исследовании допустимости использования осадка сточных вод для внесения в почвы является учет загрязняющих веществ, в состав которых входят тяжелые металлы и мышьяк, радиоактивные изотопы, болезнетворные микроорганизмы, а также нормирование минимального содержания питательных веществ и органического вещества [10, 14]. Однако с учетом условий формирования осадков сточных вод, присутствия в их составе фракций, способных к процессам сорбции-десорбции, и имеющегося опыта их применения в полевых условиях на различных почвах возникает вопрос о количестве содержащихся в них легкорастворимых солей, которые в последствии могут оказывать ингибирующее воздействие на сельскохозяйственные культуры в различные периоды и стадии их развития. Помимо этого, привнесение солей с удобрениями способно приводить к вторичному, антропогенно обусловленному засолению почв, что в дальнейшем может свести на нет все положительные эффекты от внесения органических и питательных веществ. Особую актуальность это имеет для средне- и тяжелосуглинистых почв степных, сухостепных и полупустынных географических зон, где нередко наблюдается формирование солонцовых и засоленных горизонтов за счет переноса солей от материнских пород через подземные воды на фоне дефицита атмосферных осадков и при отсутствии промывного режима увлажнения земель [15, 16].

Исходя из приведенных позиций, целью исследований было изучение солевого состава осадков сточных вод при использовании их в качестве удобрений и его влияния на агрохимические показатели почвы.

Материалы и методы. Для исследований были отобраны стабилизированные осадки с иловых карт канализационных очистных сооружений (далее – КОС) «Кадамовские», обеспечивающих очистку сточных вод городского округа Новочеркаска, расположенного в западной части Ростовской области. Близлежащие территории сельскохозяйственных земель представлены черноземами обыкновенными средне- и тяжелосуглинистого состава, сформировавшимися в сухостепной зоне, где по среднесуточным наблюдениям регистрируется дефицит атмосферных осадков. Характеристика солевого состава исследуемых ОСВ приведена в таблице 1.

Таблица 1 – Содержание солеобразующих ионов в водной вытяжке осадков сточных вод с канализационных очистных сооружений «Кадамовские»

Table 1 – Content of salt-forming ions in water extract of sewage sludge from the Kadamovskie sewage treatment plant

Определяемый показатель	Результат исследования
Кальций в водной вытяжке, ммоль/100 г (г/100 г)	27,25 (0,545)
Магний в водной вытяжке, ммоль/100 г (г/100 г)	2,0 (0,024)
Калий в водной вытяжке, ммоль/100 г (г/100 г)	0,03 (0,001)
Натрий в водной вытяжке, ммоль/100 г (г/100 г)	2,21 (0,051)
Ионы бикарбоната в водной вытяжке, ммоль/100 г (г/100 г)	1,75 (0,106)
Ионы хлорида в водной вытяжке, ммоль/100 г (г/100 г)	2,22 (0,079)
Ионы сульфата в водной вытяжке, ммоль/100 г (г/100 г)	27,52 (1,321)

Перед размещением на площадке стабилизации осадок подвергается дегидрации и обработке эмульсионным раствором тиазона 20 % в целях дезинвазии. Согласно Федеральному классификационному каталогу отходов (ФККО), ОСВ относится к IV классу опасности, т. е. является практически неопасным. Эпидемиологические испытания ОСВ с КОС «Кадамовские» проведены в филиале федерального бюджетного учреждения здравоохранения «Центр гигиены и эпидемиологии в Ростовской области» в г. Шахты. Согласно представленным протоколам присутствие вредных микроорганизмов не выявлено.

Содержание питательных веществ в исследуемых осадках представлено в таблице 2.

Таблица 2 – Оценка агрохимических показателей осадков сточных вод
Table 2 – Assessment of agrochemical parameters of sewage sludge

Показатель	Значение	Обеспеченность
Органическое вещество, %	21,84	IV – повышенное
Фосфор, подвижная форма (по Мачигину), мг/кг	192,9	VI – очень высокое
Азот нитратов, мг/кг	178,65	VI – повышенное
Калий обменный (по Мачигину), мг/кг	320,40	V – высокое
pH водной вытяжки, ед. pH	6,6	III – среднекислая
Содержание микроэлементов		
Цинк, мг/кг	22,6	высокое
Медь, мг/кг	2,22	высокое

Гранулометрический состав осадков приведен в таблице 3.

Таблица 3 – Гранулометрический состав осадка сточных вод

B %

Table 3 – Granulometric composition of sewage sludge

In %

Плотность, т/м ³	Содержание фракции грунта						
	> 0,1 мм	0,1–0,05 мм	0,05–0,01 мм	0,01–0,005 мм	0,005–0,002 мм	0,002–0,001 мм	< 0,001 мм
0,7	32,1 ± 0,1	25,7 ± 0,1	35,8 ± 0,1	1,2 ± 0,1	0,5 ± 0,1	0,2 ± 0,1	4,5 ± 0,1

Содержание физической глины в ОСВ составляет 6,4 %, преобладающей фракцией является крупная пыль. Исходя из классификации почв по соотношению физической глины и физического песка согласно В. И. Кирюшину², ОСВ аналогичен связнопесчаным почвам.

Для натуральных исследований в вегетационных и полевых опытах были использованы почвы бассейна Нижнего Дона – Аксайского и Зерноградского районов Ростовской области, где, помимо погодных условий, активное участие в формировании солевого состава почв принимают грунтовые воды, характеризующиеся повышенной минерализацией. Территория Зерноградского района приурочена к зоне сульфатно-гидрокарбонатного типа грунтовых вод, а Аксайского – к зоне смешанного типа. Землепользование на указанной территории характеризуется недостаточным и неустойчивым увлажнением. Увлажнение почвы за счет атмосферных осадков происходит в ос-

²Кирюшин В. И. Классификация почв и агроэкологическая типология земель: учеб. пособие для вузов. 4-е изд., стер. СПб.: Лань, 2024. 284 с.

новном осенью и зимой, максимум – ранней весной. Аксайский район относится к Приазовской природно-сельскохозяйственной зоне Ростовской области, а Зерноградский район – к Южной. Основные природно-климатические параметры указанных зон области приведены в таблице 4³.

Таблица 4 – Почвенно-климатические параметры сельскохозяйственных зон Ростовской области

Table 4 – Soil and climatic parameters of agricultural zones of the Rostov region

Природно-сельскохозяйственная зона	Преобладающий тип почвы	Среднегодовая температура воздуха, °С	Сумма активных температур воздуха, °С	Сумма осадков, мм: среднегодовая/за вегетационный период	Испаряемость за год, мм
Приазовская	Чернозем обыкновенный карбонатный	8,0–8,5	3200–3400	412/251	960
Южная		8,9	3304	474/290–300	912

Характеристика водной вытяжки почвенных проб, отобранных с пашни Мишкинского сельского поселения Аксайского района (далее – АР) и с пашни Агротехнологического центра Зерноградского района (далее – ЗР) Ростовской области, приведена в таблице 5.

Таблица 5 – Характеристика образцов почв, используемых в натурных исследованиях

Table 5 – Characteristics of soil samples used in field studies

Показатель	Содержание	
	Почва АР	Почва ЗР
1	2	3
Кальций (водная вытяжка), г/100 г	0,020	0,028
Магний (водная вытяжка), г/100 г	0,002	0,001
Калий (водная вытяжка), г/100 г	0,001	0,010
Натрий (водная вытяжка), г/100 г	0,001	0,002
Гидрокарбонат (водная вытяжка), г/100 г	0,034	0,031
Хлорид (водная вытяжка), г/100 г	0,016	0,030
Сульфат (водная вытяжка), г/100 г	0,019	0,027
рН, ед. рН	7,79	8,2

³Зональные системы земледелия в Ростовской области на 2022–2026 годы: монография / А. И. Клименко [и др.]. пос. Рассвет: Федер. Рост. аграр. науч. центр, 2022. 736 с. EDN: GHQGWS.

Продолжение таблицы 5

Table 5 continued

1	2	3
Плотный остаток (водная вытяжка), %	0,095	0,103
Фосфор, подвижная форма, мг/кг	21,9	33,8
Азот нитратов, мг/кг	20,01	46,2
Калий общий, мг/кг	277,6	451,2
Органическое вещество, %	1,5	1,5

Гранулометрический состав исследуемых почв приведен в таблице 6.

Таблица 6 – Гранулометрический состав почв

B %

Table 6 – Soil texture

In %

Опыт- ный участок	Содержание фракций грунта						
	> 0,1 мм	0,1– 0,05 мм	0,05– 0,01 мм	0,01– 0,005 мм	0,005– 0,002 мм	0,002– 0,001 мм	< 0,001 мм
AP	0,2 ± 0,1	23,3 ± 0,1	46,3 ± 0,1	7,6 ± 0,1	8,8 ± 0,1	4,3 ± 0,1	9,5 ± 0,1
ЗР	0,2 ± 0,1	14,5 ± 0,1	39,7 ± 0,1	17,7 ± 0,1	13,2 ± 0,1	4,9 ± 0,1	9,8 ± 0,1

Содержание физической глины в образце почв AP составляет 30,2 %, что, согласно классификации почв по В. И. Кирюшину (1996)², соответствует среднесуглинистым почвам, в образце ЗР – 45,6 %, что характеризует ее как тяжелосуглинистую. Показатель структурности по А. Ф. Вадюниной⁴ для почв AP – 14,18 %, для почв ЗР – 12,98 %.

Содержание солей в тестируемых осадках и почвах определяется по формуле [15]:

$$\omega = \sum_{i=1}^n c_i \cdot K_i, \quad (1)$$

где ω – массовая доля токсичных солей, в % к массе абсолютно сухой почвы;

c_i – концентрация определяемого i -го иона, ммоль/100 г почвы;

K_i – безразмерный коэффициент пересчета i -го иона, зависящий от вида иона и его эквивалентной массы, а также учитывающий перевод ммоль

⁴Вадюнина А. Ф., Корчагина З. А. Методы исследования физических свойств почв. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Агропромиздат, 1986. 416 с.

в моль: $K(\text{CO}_3^{2-}) = 0,03$; $K(\text{HCO}_3^-) = 0,061$; $K(\text{Cl}^-) = 0,0355$; $K(\text{SO}_4^{2-}) = 0,048$;
 $K(\text{Na}^+) = 0,023$; $K(\text{Ca}^{2+}) = 0,0204$; $K(\text{Mg}^{2+}) = 0,0122^5$.

Тип засоления и степень деградации устанавливали согласно градациям, приведенным в «Руководстве по управлению засоленными почвами»⁵.

Согласно данным Е. И. Панковой и др. (2018), предел токсичности различных ионов в почвенной вытяжке соответствует $\text{Cl}^- \geq 0,3$ смоль(экв)/кг (0,3 ммоль/100 г, или 0,01 %), SO_4^{2-} в соединении с ионами Na^+ и Mg^{2+} соответствует 1,7 смоль(экв)/кг (1,7 ммоль/100 г, или 0,082 %), HCO_3^- в соединении с ионами Na^+ и Mg^{2+} соответствует 0,8–1,0 смоль(экв)/кг (или 0,049–0,061 %) [17]. Поэтому при оценке суммы токсичных солей в грунтах или количества токсичных гидрокарбонатов и сульфатов исходят из следующих позиций: сначала определяют количество Ca^{2+} , пошедшее на связывание HCO_3^- (при его наличии в почве), а затем по оставшемуся количеству Ca^{2+} определяют количество SO_4^{2-} , которое может быть связано последним. Оставшееся количество сульфат-иона относят к группе токсичных солей [16].

Суммарный эффект токсичных ионов рассчитывают, исходя из их выражения через токсичность хлорид-иона, которая принята за единицу. Он будет определяться по формуле:

$$CЭ = \frac{C_{\text{Cl}}}{1} + \frac{C_{\text{CO}_3^{2-}}}{0,1} + \frac{C_{\text{HCO}_3^-}}{2,5...3} + \frac{C_{\text{SO}_4^{2-}}}{5...6}, \quad (2)$$

где СЭ – суммарный эффект токсичности, г/100 г почвы;

C_{Cl} , $C_{\text{CO}_3^{2-}}$, $C_{\text{HCO}_3^-}$, $C_{\text{SO}_4^{2-}}$ – концентрации соответствующих анионов, г/100 г почвы.

⁵Руководство по управлению засоленными почвами / под ред. Р. Варгаса, Е. И. Панковой, С. А. Балюка, П. В. Красильникова, Г. М. Хасанхановой; ФАО. Рим, 2017. 153 с.

Состояние засоленности обследуемых почв оценивается по шкале Н. И. Базилевич и Е. И. Панковой⁶:

- незасоленные – менее 0,3 мг-экв Cl^- ;
- слабозасоленные – 0,31–1,0 мг-экв Cl^- ;
- средnezасоленные – 1,1–3,0 мг-экв Cl^- ;
- сильнозасоленные – 3,1–7,0 мг-экв Cl^- ;
- очень сильно засоленные – более 7,0 мг-экв Cl^- .

Закладку опытов проводили по методике Б. А. Доспехова (1985)⁷. Опыты закладывались в целях исследования агрономической эффективности и безопасности различных доз ОСВ. Расчет дозы вносимого ОСВ осуществляли в зависимости от состава осадка и почв опытного участка по методике, приведенной в «Рекомендациях по использованию очищенных хозяйственно-бытовых сточных вод и их осадков для нужд агропромышленного комплекса»⁸. Согласно расчетам для почв AP экологически допустимая доза составила 53 т/га, а для почв ЗР – 56 т/га. Биологическую эффективность вносимых доз ОСВ оценивали: в вегетационных опытах по биометрическим показателям растений, в полевых – по урожайности культуры. В данной работе эти параметры не являлись целью исследований, поэтому не приводятся. Для понимания процессов накопления почвами солей, поступивших в составе вносимого осадка, анализировали водную вытяжку удобренных почв и количество токсичных ионов, а также их суммарный эффект.

⁶Методические рекомендации по мелиорации солонцов и учету засоленных почв / М-во сел. хоз-ва СССР; Гл. упр. химизации сел. хоз-ва Всесоюз. акад. с.-х. наук им. В. И. Ленина; Почв. ин-т им. В. В. Докучаева. М.: Колос, 1970. 112 с.

⁷Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). 5-е изд., доп. и перераб. М.: Агропромиздат, 1985. 351 с. EDN: QLCQEP.

⁸Рекомендации по использованию очищенных хозяйственно-бытовых сточных вод и их осадков для нужд агропромышленного комплекса: инстр.-метод. изд. / С. А. Манжина, Т. И. Дровозова, М. В. Власов, Л. И. Русин. М.: Росинформагротех, 2025. 140 с.

Вегетационные опыты проводились в трехкратной повторности в климатической установке – лабораторном агротехническом комплексе «Агролаб» при заданной температуре 24 °С и влажности 70 %. Инсоляция – по состоянию на апрель в регионе «Ростовская область». Скорость ветра 0,5 м/с. Схема вегетационного опыта, проведенного с почвами АР, имеет следующий вид:

- вариант 1 – без внесения (контроль);
- вариант 2 – внесение ОСВ в расчетной дозе (53 т/га);
- вариант 3 – внесение ОСВ в полуторной дозе (79,5 т/га);
- вариант 4 – внесение ОСВ в удвоенной дозе (106 т/га).

Осадки сточных вод вносили на поверхность почвы с последующим рыхлением на глубину 15 см. В сосуды высевали семена озимой пшеницы Еланчик, размещая их на поверхности с последующей присыпкой грунтом. Водный режим в сосудах поддерживался одинаковым. Вес почв в вегетационном сосуде составлял $\sim 0,5 \pm 0,01$ кг. По окончании опыта почвы из всех вегетационных сосудов после выращивания пшеницы объединили по всем повторностям, получив смешанные пробы согласно представленным вариантам.

Полевые исследования проводили в 2022–2025 гг. на пахотных землях зерноградского района на посевах озимой пшеницы сорта Еланчик. Закладку опыта осуществляли на опытных делянках в трехкратной повторности. Площадь опытных делянок – 25,0 м². Основная обработка почвы проводилась дискованием на глубину 8–10 см. Выращивание озимой пшеницы осуществляли по черному пару на принятом агрофоне: основное удобрение (по результатам почвенной диагностики) – Р₆₀; весенняя подкормка в период начала вегетации по мерзлоталой почве для стимулирования кущения – 100 кг/га мочевины, что соответствует N₄₆. Дальнейшее удобрение, исходя из тканевой диагностики растений, не потребовалось.

Оценивали остаточное количество солей в водной вытяжке почв после сбора урожая.

Схема опыта:

- вариант 1 – без внесения (контроль);
- вариант 2 – предпосевное внесение ОСВ в дозе 5 т/га;
- вариант 3 – предпосевное внесение ОСВ в половине расчетной дозы (28 т/га);
- вариант 4 – предпосевное внесение ОСВ в расчетной дозе внесения (56 т/га);
- вариант 5 – предпосевное внесение ОСВ в полуторной дозе внесения от расчетной (84 т/га).

После окончания полевого эксперимента с каждой повторности каждого варианта отбирали смешанную пробу методом конверта, после чего пробы с повторностями объединялись для получения смешанных проб по каждому варианту. Физико-химические испытания почвенных образцов проводили в аккредитованной эколого-аналитической лаборатории ФГБНУ «РосНИИПМ».

Результаты и обсуждение. Оценка засоленности ОСВ и почв, использованных в натуральных исследованиях, в соответствии с принятыми методиками приведена в таблице 7.

Таблица 7 – Содержание солеобразующих ионов в водной вытяжке осадков сточных вод с канализационных очистных сооружений «Кадамовские» и образцов почв

Table 7 – Content of salt-forming ions in water extract of sewage sludge from the Kadamovskie sewage treatment plant and soil samples

Определяемый показатель	Результат исследования		
	ОСВ	Почва	
		АР	ЗР
Сумма солей, г/100 г	2,126	0,092	0,119
Сумма токсичных солей, г/100 г	1,036	0,052	0,063
Тип засоления	сульфатный	–	содовый
Степень засоления	очень сильно засоленные	незасоленные	слабозасоленные
Суммарный эффект (СЭ), г/100 г	7,39	0,033	0,048
Степень засоления по СЭ	сильнозасоленные	незасоленные	незасоленные
Токсичный сульфат-ион, г/100 г	0,882	0,019	0,027

Анализ водной вытяжки образцов почв после проведения вегетационных опытов показал повышение содержания общего количества солей в ней, за счет значительного увеличения содержания ионов кальция и сульфат-ионов. Количество остальных ионов либо оставалось неизменным, либо колебалось в пределах лабораторной погрешности (таблица 8).

Таблица 8 – Результаты анализа водной вытяжки из почв после проведения вегетационных исследований

Table 8 – Results of analysis of soil water extract after pot studies

Показатель	Методика определения	Погрешность, %	Вариант			
			1	2	3	4
Кальций, ммоль/100 г (г/100 г)	ГОСТ 26428-85	10,0	1,403 (0,028)	2,040 (0,041)	2,168 (0,043)	2,423 (0,048)
Магний, ммоль/100 г (г/100 г)	ГОСТ 26428-85	12,5	0,077 (0,001)	0,128 (0,002)	0,064 (0,001)	0,153 (0,002)
Натрий, ммоль/100 г (г/100 г)	ГОСТ 26427-85	7,5	0,437 (0,010)	0,375 (0,009)	0,430 (0,010)	0,450 (0,010)
Калий, ммоль/100 г (г/100 г)	ГОСТ 26427-85	7,5	0,040 (0,002)	0,044 (0,002)	0,050 (0,002)	0,045 (0,002)
Бикарбонаты, ммоль/100 г (г/100 г)	ГОСТ 26424-85	1,15	0,500 (0,031)	0,500 (0,031)	0,500 (0,031)	0,500 (0,031)
Хлориды, ммоль/100 г (г/100 г)	ГОСТ 26425-85	15,0	0,900 (0,032)	0,750 (0,027)	0,850 (0,030)	0,900 (0,032)
Сульфаты, ммоль/100 г (г/100 г)	ГОСТ 26426-85	10,0	0,557 (0,027)	1,337 (0,064)	1,362 (0,065)	1,671 (0,080)
Плотный остаток водной вытяжки, %	ГОСТ 26423-85		0,157 ± 0,047	0,227 ± 0,068	0,231 ± 0,069	0,301 ± 0,03
pH, ед. pH	ГОСТ 26423-85	0,1	8,0	7,9	7,9	7,92
СЭ, г/100 г	–	–	0,050	0,052	0,055	0,060
Степень засоления по СЭ	–	–	незасоленные	незасоленные	незасоленные	незасоленные
Сумма солей, %	–	–	0,121	0,174	0,180	0,203
Сумма токсичных солей, %	–	–	0,073	0,092	0,094	0,107
Тип засоления	–	–	содовый	хлоридно-сульфатный	сульфатно-хлоридный	сульфатно-хлоридный
Степень деградации	–	–	слабозасоленные	незасоленные	слабозасоленные	слабозасоленные
Токсичный сульфат, %	–	–	0,027	0,054	0,053	0,063

Оценивая ионный состав водной вытяжки образцов почв, можно с высокой достоверностью говорить о влиянии ОСВ на содержание растворимых форм кальцийсодержащих соединений: их количество увеличилось в зависимости от изменения дозы внесенного осадка на 46, 54 и 72 % соответственно в сравнении с контролем. Такая же аналогия прослеживается с сульфат-ионом, его количество в водной вытяжке возросло в зависимости от дозы используемого осадка в 2,4–3 раза в сравнении с контролем. При увеличении дозы вносимых осадков растет количество токсичного сульфат-иона, обнаруженного в водной вытяжке почв.

Гранулометрический состав почв после проведения вегетационных исследований приведен в таблице 9.

Таблица 9 – Гранулометрический состав почв по вариантам вегетационных исследований

Table 9 – Soil texture by pot study variants

Вариант	Содержание фракций грунта, %							Показатель структурности <i>p</i> , %	Физическая глина, %
	Более 0,1	0,1–0,05	0,05–0,01	0,01–0,005	0,005–0,002	0,002–0,001	менее 0,001		
1	1,2	29,1	34,1	14,8	9,2	2,9	8,7	14,26	35,6
2	3,2	32,0	33,1	11,8	8,6	2,6	8,7	15,51	31,7
3	2,2	28,8	37,4	12,0	9,0	3,0	7,6	12,38	31,6
4	2,7	22,6	40,8	11,6	10,4	3,1	8,8	13,35	33,9

По гранулометрическому составу почвы, отобранные в Аксайском районе, остались в категории среднесуглинистых, показатель структурности остался приблизительно на том же уровне.

Результаты исследования водной вытяжки образцов почв, полученных с опытных участков при полевых исследованиях, указывают на повышение количества ионов кальция соразмерно вносимой дозе ОСВ: на 16,7 % – при внесении ОСВ в дозе 28 т/га, на 33 % – при внесении 56 т/га ОСВ и на 36,7 % – при внесении 84 т/га ОСВ. Увеличение количества сульфатов в водной вытяжке составило 6,6 % при внесении 5 т/га ОСВ, 81,7 % при вне-

сении 28 т/га ОСВ, при внесении ОСВ в количестве 56 т/га содержание сульфатов в водной вытяжке по окончании полевого эксперимента увеличилось втрое, а при использовании ОСВ в количестве 84 т/га – в 4 раза.

Гранулометрический состав образцов почв, отобранных после окончания полевого эксперимента, приведен в таблице 10.

Таблица 10 – Гранулометрический состав почв опытных участков
Table 10 – Soil texture in experimental plots

Ва-ри-ант	Содержание фракций грунта, %							Показатель структурности p , %	Физи-ческая глина, %
	более 0,1	0,1–0,05	0,05–0,01	0,01–0,005	0,005–0,002	0,002–0,001	менее 0,001		
1	0,8	17,8	44,5	13,0	13,6	4,1	6,2	9,97	36,9
2	1,2	12,1	43,5	16,6	14,8	4,9	6,9	8,64	43,2
3	0,8	18,9	42,1	14,8	13,6	4,2	5,6	41,12	38,2
4	1,1	12,1	44,4	16,0	14,1	4,7	7,6	44,21	42,4
5	2,2	21,0	38,6	14,5	12,2	3,2	8,3	44,63	38,2

По гранулометрическому составу почвы опытного участка Зерноградского района по окончании исследований относятся к категории среднесуглинистых, включая и вариант без внесения осадка. Последний факт не дает оснований делать вывод о влиянии ОСВ на их гранулометрический состав. При этом показатель структурности почв (по А. Ф. Вадюниной) увеличился при внесении ОСВ, что является положительной тенденцией при оценке физических показателей почв.

Результаты исследований водной вытяжки образцов почв, отобранных по окончании полевого эксперимента с опытных делянок, представляющих разные варианты разовой дозы внесения ОСВ с КОС «Кадамовские», приведены в таблице 11.

Изменение количества сульфат-ионов в образцах почв с опытных делянок приведено на рисунке 1.

Таблица 11 – Результаты анализа водной вытяжки проб почв с опытных участков после окончания полевого эксперимента

Table 11 – Results of the analysis of soil water extract samples from experimental plots after the pot experiment

Определяемый показатель	Вариант				
	1	2	3	4	5
Кальций в в. в., ммоль/100 г (г/100 г)	0,765 (0,015)	0,765 (0,015)	0,893 (0,018)	1,020 (0,020)	1,046 (0,021)
Магний в в. в., ммоль/100 г (г/100 г)	0,064 (0,001)	0,064 (0,001)	0,064 (0,001)	0,128 (0,002)	0,102 (0,001)
Натрий в в. в., ммоль/100 г (г/100 г)	0,650 (0,015)	0,650 (0,015)	0,600 (0,014)	0,660 (0,015)	0,740 (0,017)
Калий в в. в., ммоль/100 г (г/100 г)	0,008 (0,000)	0,017 (0,001)	0,017 (0,001)	0,008 (0,000)	0,010 (0,000)
Ионы бикарбоната в в. в., ммоль/100 г (г/100 г)	0,650 (0,040)	0,650 (0,040)	0,625 (0,038)	0,675 (0,041)	0,600 (0,037)
Ионы хлорида в в. в., ммоль/100 г (г/100 г)	0,700 (0,025)	0,700 (0,025)	0,700 (0,025)	0,750 (0,027)	0,750 (0,027)
Ионы сульфата в в. в., ммоль/100 г (г/100 г)	0,137 (0,007)	0,146 (0,007)	0,249 (0,012)	0,411 (0,020)	0,548 (0,026)
Плотный остаток в. в., %	0,097 ± 0,029	0,090 ± 0,027	0,102 ± 0,051	0,133 ± 0,040	0,130 ± 0,039
рН в. в., ед. рН	8,4 ± 0,1	8,2 ± 0,1	8,2 ± 0,1	8,2 ± 0,1	8,2 ± 0,1
СЭ, г/100 г почвы	0,042	0,042	0,043	0,047	0,047
Степень засоления по СЭ	незасоленные	незасоленные	незасоленные	незасоленные	незасоленные
Сумма солей, %	0,103	0,103	0,108	0,125	0,129
Сумма токсичных солей, %	0,073	0,088	0,090	0,105	0,108
Тип засоления	содовый	содовый	содовый	содовый	содовый
Степень деградации	слабозасоленные	слабозасоленные	слабозасоленные	слабозасоленные	слабозасоленные
Токсичный сульфат-ион, г/100 г почвы	0,007	0,007	0,012	0,020	0,026
Органическое вещество, %	1,5 ± 0,4	1,6 ± 0,4	2,1 ± 0,4	2,3 ± 0,4	2,2 ± 0,4
Примечание – В. в. – водная вытяжка.					

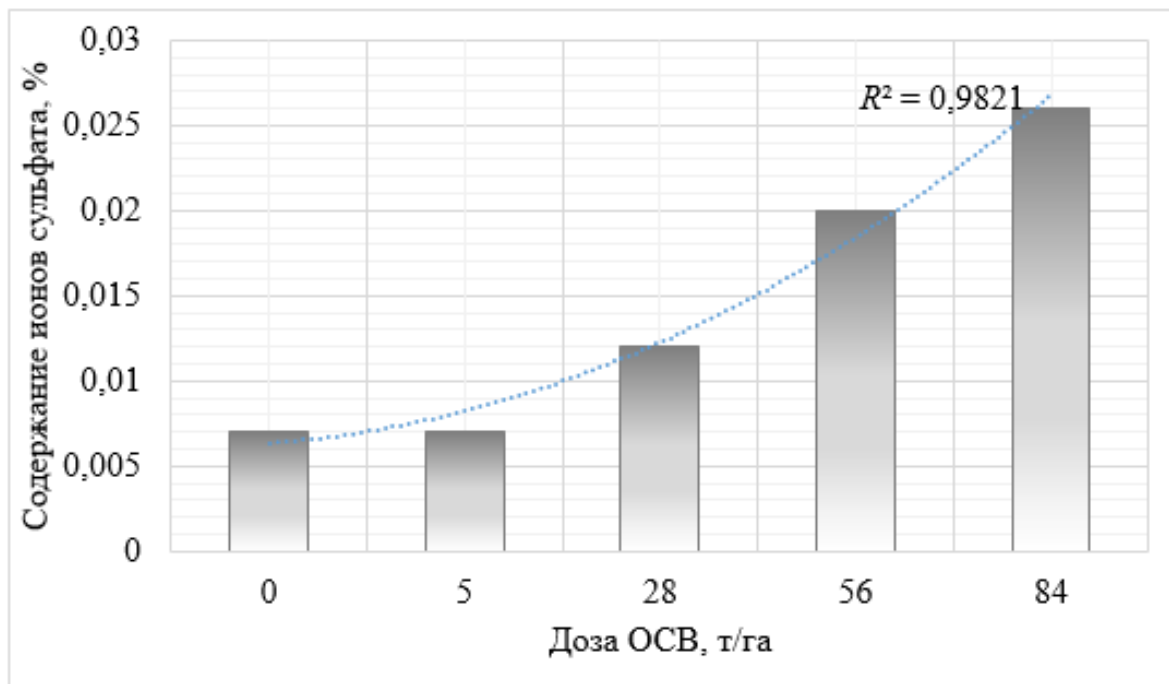


Рисунок 1 – Изменение содержания сульфатов в водной вытяжке почв при внесении различных доз осадка сточных вод канализационных очистных сооружений «Кадамовские» после сбора урожая
Figure 1 – Change in the sulfate content in the soil water extract upon the introduction of different doses of sewage sludge from the Kadamovskie sewage treatment plant after harvesting

Выводы. Исследование состава водной вытяжки из осадков сточных вод с иловых карт КОС «Кадамовские» показало высокое содержание в них солей. Преобладающими в солевом составе являются ионы сульфатов и кальция. Изученный образец относится к сильнозасоленному при оценке по аналогии с почвами и грунтами. Натурные исследования воздействия осадков сточных вод на солевой состав почв выявили достоверно подтвержденное увеличение в их водных вытяжках содержания ионов кальция и сульфатов в зависимости от вносимых доз, причем количество последних увеличивается в разы. Данный факт указывает на то, что при планировании использования осадков сточных вод в качестве удобрений и определении экологически допустимой дозы их внесения необходимо учитывать их солевой состав и определить потенциальное поступление в почвы солеобразующих ионов. Такой подход позволит не только эффективно утилизиро-

вать техногенные грунты с иловых карт канализационных очистных сооружений, используя присутствующие в них питательные вещества и органические соединения, но и предотвратить потенциальное засоление почв.

Список источников

1. Потапова А. Ю., Бархатова О. А. Проблемы накопления осадков сточных вод на территории канализационных очистных сооружений // Известия Иркутского государственного университета. Серия: Науки о Земле. 2024. Т. 48. С. 57–73. DOI: 10.26516/2073-3402.2024.48.57. EDN: UYMIND.

2. Манжина С. А. Российские и зарубежные практики обращения с осадком сточных вод // Экология и водное хозяйство. 2023. Т. 5, № 1. С. 15–31. DOI: 10.31774/2658-7890-2023-5-1-15-31. EDN: XSGMHE.

3. Валиев В. С., Иванов Д. В., Шагидуллин Р. Р. Анализ мирового опыта утилизации осадка городских сточных вод // Российский журнал прикладной экологии. 2020. № 4(24). С. 43–51. DOI: 10.24411/2411-7374-2020-10033. EDN: KZXCCU.

4. Kumar V., Chopra A. K., Kumar A. A review on sewage sludge (Biosolids) a resource for sustainable agriculture // Archives of Agriculture and Environmental Science. 2017. № 2(4). P. 340–347. DOI: 10.26832/24566632.2017.020417.

5. Влияние осадков сточных вод в сочетании с различными добавками на азотное состояние чернозема выщелоченного / И. М. Габбасова, Т. Т. Гарипов, Е. С. Дорогая, М. А. Комиссаров, Ф. И. Назырова, А. С. Нигматзянов // Агрохимия. 2023. № 11. С. 92–96. DOI: 10.31857/S0002188123110054. EDN: PPGLZR.

6. Эффективность применения осадка городских сточных вод при рекультивации нефтезагрязненной серой лесной почвы / А. А. Утомбаева, Т. В. Кузнецова, А. А. Вершинин, Э. Р. Зайнулгабидинов, А. М. Петров // Вестник Нижневартковского государственного университета. 2023. № 3. С. 113–126. DOI: 10.36906/2311-4444/23-3/09. EDN: GVURZK.

7. Влияние илового осадка местных очистных сооружений на урожайность и качество газонной травосмеси / В. И. Титова, Е. Г. Белоусова, Р. Н. Рыбин, Д. Ю. Судаков // Плодородие. 2025. № 1. С. 59–63. DOI: 10.25680/S19948603.2025.142.13. EDN: MYTFXY.

8. Изменение основных параметров плодородия дерново-подзолистой супесчаной почвы в условиях применения возрастающих доз осадков сточных вод / С. Д. Малахова, М. В. Тютюнькова, З. В. Федорова, М. В. Чудинова // Экология урбанизированных территорий. 2016. № 1. С. 6–10. EDN: WDKWCZ.

9. Пескарев А. А., Яшин И. М., Касатиков В. А. Агрохимические свойства дерново-подзолистой супесчаной почвы при применении удобрений на основе осадков сточных вод // Плодородие. 2011. № 1. С. 9–10. EDN: NCQKBH.

10. Sewage sludge: An important biological resource for sustainable agriculture and its environmental implications / K. Usman, S. Khan, S. Ghulam, M. Umar Khan, N. Khan, M. Anwar Khan, S. K. Khalil // American Journal of Plant Sciences. 2012. Vol. 3, № 12. P. 1708–1721. DOI: 10.4236/ajps.2012.312209.

11. Динамика агрохимических показателей почвы в многолетнем полевом опыте при внесении осадков сточных вод и извести / А. С. Фрид, В. А. Касатиков, Т. И. Борисочкина, К. А. Колчанова, Н. С. Никитина // Агрохимия. 2022. № 9. С. 3–14. DOI: 10.31857/S0002188122090058. EDN: JXQKEU.

12. Касатиков В. А., Шабардина Н. П. Влияние органических удобрений на основе осадков городских сточных вод на показатели почвенного плодородия, урожай и миграцию макро- и микроэлементов в экосистеме почва-растение // Биоконверсия побоч-

ных продуктов животноводства и отходов АПК: коллектив. моногр. Владимир: ПресСто, 2023. С. 261–276. EDN: OSQJIF.

13. Zawadzki P., Głodniok M. Environmental safety assessment of fertilizer products // Polish Journal of Environmental Studies. 2020. Vol. 30, № 1. DOI: 10.15244/pjoes/120519. EDN: IDMDWQ.

14. Манжина С. А., Дробин М. Ю. Мировые тенденции в нормировании осадков сточных вод при использовании для повышения плодородия почв // Экология и водное хозяйство. 2023. Т. 5, № 2. С. 54–69. DOI: 10.31774/2658-7890-2023-5-2-54-69. EDN: СКFTQY.

15. Повышение плодородия орошаемых земель: науч.-практ. изд. / А. Н. Бабичев, Р. С. Масный, Г. Т. Балакай, Л. М. Докучаева, И. В. Гурина, Р. Е. Юркова, В. А. Монастырский, В. И. Ольгаренко, С. А. Селицкий, А. А. Бабенко. М.: Росинформагротех, 2023. 304 с.

16. Манжина С. А. К вопросу выявления химизма и степени засоления почв: российские и зарубежные практики // Мелиорация и гидротехника. 2021. Т. 11, № 3. С. 163–181. DOI: 10.31774/2712-9357-2021-11-3-163-181. EDN: NUDOIO.

17. Панкова Е. И., Герасимова М. И., Королюк Т. В. Засоленные почвы в отечественных, американской и международной почвенной классификациях // Почвоведение. 2018. № 11. С. 1309–1321. DOI: 10.1134/S0032180X18110072. EDN: VLVPOW.

References

1. Potapova A.Yu., Barkhatova O.A., 2024. *Problemy nakopleniya osadkov stochnykh vod na territorii kanalizatsionnykh ochistnykh sooruzheniy* [Problems of accumulation of sewage sludge on the territory of sewerage treatment plants]. *Izvestiya Irkutskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Nauki o Zemle* [Bulletin of Irkutsk State University. Series: Earth Sciences], vol. 48, pp. 57-73, DOI: 10.26516/2073-3402.2024.48.57, EDN: UYMHD. (In Russian).

2. Manzhina S.A., 2023. *Rossiyskie i zarubezhnye praktiki obrashcheniya s osadkom stochnykh vod* [Russian and foreign practices of sewage sludge management]. *Ekologiya i vodnoe khozyaystvo* [Ecology and Water Management], vol. 5, no. 1, pp. 15-31, DOI: 10.31774/2658-7890-2023-5-1-15-31, EDN: XSGMHE. (In Russian).

3. Valiev V.S., Ivanov D.V., Shagidullin R.R., 2020. *Analiz mirovogo opyta utilizatsii osadka gorodskikh stochnykh vod* [Analysis of world experience in urban wastewater sediment disposal]. *Rossiyskiy zhurnal prikladnoy ekologii* [Russian Journal of Applied Ecology], no. 4(24), pp. 43-51, DOI: 10.24411/2411-7374-2020-10033, EDN: KZXCCU. (In Russian).

4. Kumar V., Chopra A.K., Kumar A., 2017. A review on sewage sludge (Biosolids) a resource for sustainable agriculture. *Archives of Agriculture and Environmental Science*, no. 2(4), pp. 340-347, DOI: 10.26832/24566632.2017.020417.

5. Gabbasova I.M., Garipov T.T., Dorogaya E.S., Komissarov M.A., Nazirova F.I., Nigmatzhanov A.S., 2023. *Vliyanie osadkov stochnykh vod v sochetanii s razlichnymi dobavkami na azotnoe sostoyanie chernozema vyshchelochennogo* [Impact of sewage sludges in combination with various amendments on the nitrogen state of leached chernozem]. *Agrokimiya* [Agrochemistry], no. 11, pp. 92-96, DOI: 10.31857/S0002188123110054, EDN: PPGLZR. (In Russian).

6. Utombaeva A.A., Kuznetsova T.V., Vershinin A.A., Zainulgabidinov E.R., Petrov A.M., 2023. *Effektivnost' primeneniya osadka gorodskikh stochnykh vod pri rekul'tivatsii nefteagryaznennoy seroy lesnoy pochvy* [Efficiency of using municipal wastewater sludge in the reclamation of oil-contaminated gray forest soil]. *Vestnik Nizhnevartovskogo gosudarstvennogo universiteta* [Bulletin of Nizhnevartovsk State University], no. 3, pp. 113-126, DOI: 10.36906/2311-4444/23-3/09, EDN: GVURZK. (In Russian).

7. Titova V.I., Belousova E.G., Rybin R.N., Sudakov D.Yu., 2025. *Vliyanie ilovogo*

osadka mestnykh ochistnykh sooruzheniy na urozhaynost' i kachestvo gazonnoy travosmesi [The influence of sludge from sewage treatment plants on the yield and quality of lawn grass mixtures]. *Plodorodie* [Fertility], no. 1, pp. 59-63, DOI: 10.25680/S19948603.2025.142.13, EDN: MYTFXY. (In Russian).

8. Malakhova S.D., Tyutyunkova M.V., Fedorova Z.V., Chudinova M.V., 2016. *Izmenenie osnovnykh parametrov plodorodiya dernovo-podzolistoy supeschanoy pochvy v usloviyakh primeneniya vozrastayushchikh doz osadkov stochnykh vod* [Changes in the main fertility parameters of sod-podzolic sandy loamy soil under increasing doses of sewage sludge]. *Ekologiya urbanizirovannykh territoriy* [Ecology of Urbanized Areas], no. 1, pp. 6-10, EDN: WDKWCZ. (In Russian).

9. Peskarev A.A., Yashin I.M., Kasatkov V.A., 2011. *Agrokhimicheskie svoystva dernovo-podzolistoy supeschanoy pochvy pri primenении udobreniy na osnove osadkov stochnykh vod* [Agrochemical properties of sod-podzolic sandy loam soil when using fertilizers based on sewage sludge]. *Plodorodie* [Fertility], no. 1, pp. 9-10, EDN: NCQKBH. (In Russian).

10. Usman K., Khan S., Ghulam S., Umar Khan M., Khan N., Anwar Khan M., Khalil S.K., 2012. Sewage sludge: An important biological resource for sustainable agriculture and its environmental implications. *American Journal of Plant Sciences*, vol. 3, no. 12, pp. 1708-1721, DOI: 10.4236/ajps.2012.312209.

11. Frid A.S., Kasatkov V.A., Borisochkina T.I., Kolchanova K.A., Nikitina N.S., 2022. *Dinamika agrokhimicheskikh pokazateley pochvy v mnogoletnem polevom opyte pri vnesenii osadkov stochnykh vod i izvesti* [Dynamics of agrochemical indicators of soil in long-term field experience in the application of sewage sludge and lime]. *Agrokhimiya* [Agrochemistry], no. 9, pp. 3-14, DOI: 10.31857/S0002188122090058, EDN: JXQKEU. (In Russian).

12. Kasatkov V.A., Shabardina N.P., 2023. *Vliyanie organicheskikh udobreniy na osnove osadkov gorodskikh stochnykh vod na pokazateli pochvennogo plodorodiya, urozhay i migratsiyu makro- i mikroelementov v ekosisteme pochva-rastenie* [Effect of organic fertilizers based on urban wastewater sludge on soil fertility indicators, yield, and migration of macro- and microelements in the soil-plant ecosystem]. *Biokonversiya pobochnykh produktov zhivotnovodstva i otkhodov APK: kollektiv. monogr.* [Bioconversion of Livestock By-Products and Agro-Industrial Waste: collective monograph]. Vladimir, PresSto Publ., pp. 261-276, EDN: OSQJIF. (In Russian).

13. Zawadzki P., Głodniak M., 2020. Environmental safety assessment of fertilizer products. *Polish Journal of Environmental Studies*, vol. 30, no. 1, DOI: 10.15244/pjoes/120519, EDN: IDMDWQ.

14. Manzhina S.A., Drobin M.Yu., 2023. *Mirovye tendentsii v normirovanii osadkov stochnykh vod pri ispol'zovanii dlya povysheniya plodorodiya pochv* [Global trends in the sewage sludge rationing for improving soil fertility]. *Ekologiya i vodnoe khozyaystvo* [Ecology and Water Management], vol. 5, no. 2, pp. 54-69, DOI: 10.31774/2658-7890-2023-5-2-54-69, EDN: CKFTQY. (In Russian).

15. Babichev A.N., Masnyi R.S., Balakay G.T., Dokuchayeva L.M., Gurina I.V., Yurkova R.Ye., Monastyrskiy V.A., Olgarenko V.I., Selitskiy S.A., Babenko A.A., 2023. *Povyshenie plodorodiya oroshaemykh zemel': nauch.-prakt. izd.* [Enhancing the Fertility of Irrigable Soils: Scientific and Practical Publication]. Moscow, Rosinformagrotech Publ., 304 p. (In Russian).

16. Manzhina S.A., 2021. *K voprosu vyyavleniya khimizma i stepeni zasoleniya pochv: rossiyskie i zarubezhnye praktiki* [On the issue of chemical mechanism and soil salinity degree determination: Russian and foreign practices]. *Melioratsiya i gidrotehnika* [Land Reclamation and Hydraulic Engineering], vol. 11, no. 3, pp. 163-181, DOI: 10.31774/2712-9357-2021-11-3-163-181, EDN: NUDOIO. (In Russian).

17. Pankova E.I., Gerasimova M.I., Korolyuk T.V., 2018. *Zasolennye pochvy v otech-*

estvennykh, amerikanskoj i mezhdunarodnoj pochvennoj klassifikatsiyakh [Salt-affected soils in Russian, American, and international soil classifications]. *Pochvovedenie* [Eurasian Soil Science], no. 11, pp. 1309-1321, DOI: 10.1134/S0032180X18110072, EDN: VLVPOW. (In Russian).

Информация об авторах

С. А. Манжина – старший научный сотрудник, кандидат технических наук, доцент, Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации (346421, Ростовская обл., г. Новочеркасск, пр-т Баклановский, д. 190), manz.svetlana@yandex.ru, AuthorID: 861972, ORCID: 0000-0001-9322-0843;

Л. И. Русин – аспирант, Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации (346421, Ростовская обл., г. Новочеркасск, пр-т Баклановский, д. 190), leva19111@icloud.com, AuthorID: 1204138, ORCID: 0009-0007-8802-4726.

Information about the authors

S. A. Manzhina – Senior Researcher, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems (346421, Rostov region, Novocherkassk, Baklanovsky Ave., 190), manz.svetlana@yandex.ru, AuthorID: 861972, ORCID: 0000-0001-9322-0843;

L. I. Rusin – Postgraduate Student, Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems (346421, Rostov region, Novocherkassk, Baklanovsky Ave., 190), leva19111@icloud.com, AuthorID: 1204138, ORCID: 0009-0007-8802-4726.

Вклад авторов: С. А. Манжина – формирование основной концепции, целей и задач исследований, планирование эксперимента, формулирование выводов, статистическая обработка данных, участие в написании статьи. Л. И. Русин – планирование эксперимента, сбор и камеральная обработка данных полевых исследований, анализ результатов. Все авторы в равной степени несут ответственность за нарушения в сфере этики научных публикаций.

Contribution of the authors: S. A. Manzhina – developed the basic concept, purposes and objectives of the study and experimental design, formulated conclusions, processed statistical data and participated in writing the article. L. I. Rusin – developed experimental design, collected and office processed field research data, and analyzed results.

All authors are equally responsible for ethical violations in scientific publications.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 19.01.2026; одобрена после рецензирования 02.04.2026; принята к публикации 22.06.2026.

The article was submitted 19.01.2026; approved after reviewing 02.04.2026; accepted for publication 22.06.2026.