

МЕЛИОРАЦИЯ, ВОДНОЕ ХОЗЯЙСТВО И АГРОФИЗИКА

Научная статья

УДК 631.879.2:631.4

doi: 10.31774/2712-9357-2024-14-1-34-50

Влияние осадков сточных вод на тест-растения и агрохимические свойства почв

Светлана Александровна Манжина

Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск,
Российская Федерация, manz.svetlana@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9322-0843>

Аннотация. **Цель:** оценка удобрительной ценности осадков сточных вод (ОСВ). **Материалы и методы.** В качестве материала для исследований использовались ОСВ муниципальных очистных сооружений г. Новочеркаска с трехлетним сроком пребывания на иловой карте. Исследования проводились в рамках вегетационного опыта на почвах, отобранных с сельскохозяйственных угодий Аксайского района Ростовской области. По данным анализов, почвы являются недеградированными, незасоленными с низким содержанием гумуса и средним содержанием питательных веществ. В гранулометрическом составе почв преобладают крупнопылеватые фракции. ОСВ, напротив, характеризуется высоким содержанием органического вещества и питательных элементов, в гранулометрическом составе преобладают песчаные фракции. В качестве тест-растений использовали редис и кресс-салат как наиболее чувствительные к присутствию загрязнений. Оценка биопродуктивности почв проводили по показателям всхожести семян, общей биомассы и средней биомассы на одно растение. **Результаты и обсуждения.** Отмечена наилучшая всхожесть семян растений в вариантах с добавлением к почвам ОСВ в сравнении как с контролем, так и с вариантом использования удобрений в аналогичных дозах по действующему веществу. Под влиянием ОСВ отмечены изменения в качественном составе почв: увеличилось количество нитратов, фосфатов, ионов кальция и сульфатов, выросло содержание органического вещества. **Выводы.** Установлено положительное влияние ОСВ на растения: урожай редиса на фоне применения ОСВ вырос на 55 %, а на фоне применения азофоски – всего на 10 %; урожай кресс-салата вырос на 29 % на фоне применения ОСВ и на 2 % – на фоне применения азофоски. В вариантах с внесением ОСВ наблюдается повышение содержания органического вещества в среднем на 30 %. В образцах почвы с ОСВ отмечен рост по сравнению с контролем содержания азота на 30–59 %, фосфора – на 67–78 %, а при внесении азофоски в сравнении с контрольными образцами количество азота повысилось на 5–23 %, а фосфора в среднем на 50 %.

Ключевые слова: осадок сточных вод, органическое вещество, тест-растение, вегетационный опыт, биомасса растений, агрохимические показатели, черноземные почвы

Для цитирования: Манжина С. А. Влияние осадков сточных вод на тест-растения и агрохимические свойства почв // Мелиорация и гидротехника. 2024. Т. 14, № 1. С. 34–50. <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2024-14-1-34-50>.

LAND RECLAMATION, WATER MANAGEMENT AND AGROPHYSICS

Original article

Impact of sewage sludge on test plants and agrochemical properties of soils

Svetlana A. Manzhina

Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novochoerkassk,
Russian Federation, manz.svetlana@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9322-0843>

Abstract. Purpose: to assess the fertilizing value of sewage sludge. **Materials and methods.** The material used for research was sewage sludge from municipal wastewater treatment plants in Novochoerkassk with a three-year stay period on the sludge map. The research was carried out as a part of a vegetation experiment on soils selected from agricultural lands in Aksai district Rostov region. According to the analysis, the soils are non-degraded, non-saline with a low humus content and an average nutrient content. The granulometric composition of soils is dominated by coarse silt fractions. Sewage sludge, on the contrary, is characterized by a high content of organic matter and nutrients; sand fractions predominate in the granulometric composition. Radish and watercress were used as test plants as they were the most sensitive to the presence of contaminants. Soil bioproductivity was assessed by seed germination, total biomass, and average biomass per plant. **Results and discussions.** The best germination of plant seeds was noted in variants with the application of sewage sludge to soils in comparison with both the control and the variant of using fertilizers in similar doses of the active substance. Under the influence of sewage sludge, changes in the qualitative composition of soils were noted: the amount of nitrates, phosphates, calcium ions and sulfates increased, and the content of organic matter increased. **Conclusions.** The positive effect of sewage sludge on plants has been determined: the radish yield increased by 55 % with the use of sewage sludge, and by only 10 % with the use of azofoska (nitrogen-phosphorus potassium fertilizer); the watercress yield increased by 29 % against the background of the use of sewage sludge and by 2 % against the background of the use of azofoska. In variants with the application of sewage sludge, an increase in the content of organic matter by an average of 30 % is observed. In soil samples with sewage sludge, an increase in the nitrogen content by 30–59 %, phosphorus by 67–78 % compared to the control was noted, and when azofoska was added, in comparison with control samples, the amount of nitrogen increased by 5–23 %, and phosphorus by on average by 50 %.

Keywords: sewage sludge, organic matter, test plant, vegetation experiment, plant biomass, agrochemical indicators, chernozem soils

For citation: Manzhina S. A. Impact of sewage sludge on test plants and agrochemical properties of soils. *Land Reclamation and Hydraulic Engineering*. 2024;14(1):34–50. (In Russ.). <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2024-14-1-34-50>.

Введение. Согласно «Стратегии социально-экономического развития Ростовской области на период до 2030 года»¹ «содержание гумуса в почвах Ростовской области по данным первого тура обследований (1965 – 1968 годы) составляло 3,5 процента, а к девятому туру обследований (2011 – 2015 годы) снизилось до 3,18 процента», подвижный фосфор во все периоды обследования был в дефиците: в 1997 г. – 27,8 мг/кг, в 2006 г. – 18 мг/кг, в 2017 г. –

¹Стратегия социально-экономического развития Ростовской области на период до 2030 года [Электронный ресурс]: утв. Постановлением Правительства Рост. обл. от 26 дек. 2018 г. № 864 (в ред. постановления от 19 дек. 2022 г. № 1100). URL: <https://www.donland.ru/activity/2158/> (дата обращения: 14.12.2023).

23,8 мг/кг (при оптимальном значении 30–40 мг/кг). Снижение естественного плодородия почв соответствует недобору урожая зерновых в среднем по 10 ц/га.

Известно, что основным средством для повышения содержания гумуса в почвах является внесение органических удобрений [1] или организация посева сидеральных культур. В настоящее время уровень обеспечения отечественными органическими удобрениями остается недостаточным для стабильного восполнения гумуса почв, активно задействованных в сельскохозяйственном производстве. Посев сидеральных культур является эффективным средством, тем не менее накопление гумуса идет более медленными темпами в сравнении с использованием органических удобрений [1–3].

С другой стороны, тенденцией настоящего времени является рециркуляция отходов, привлечение вторичных ресурсов, в т. ч. освоение новых ресурсов для удобрения земель. В данном направлении в последние десятилетия активно рассматривается осадок хозяйственно-бытовых сточных вод (далее – ОСВ), который образуется на муниципальных очистных сооружениях. Состав осадков определяется составом очищаемых стоков, который, в свою очередь, зависит от производственной и коммунально-бытовой нагрузки на системы водоотведения муниципального образования. В соответствии с имеющимися данными, значительная часть массы ОСВ приходится на органическое вещество, содержание которого достигает 70 % и более [4–15]. Помимо органического вещества в составе ОСВ содержатся фосфор, азот и микроэлементы.

В соответствии с изложенным, целью исследований является оценка удобрительной ценности осадков сточных вод, образовавшихся в процессе очистки хозяйственно-бытовых стоков г. Новочеркаска.

Материалы и методы. В качестве материала для исследований использовали ОСВ канализационных очистных сооружений «Кадамовские» ООО «Экологические технологии» г. Новочеркаска трехлетнего срока

пребывания на иловой карте. Состав осадка приведен в таблице 1. Для эксперимента отобраны почвы (чернозем обыкновенный) с пахотного участка Мишкинского сельского поселения Аксайского района Ростовской области. Отбор почвенных проб осуществлялся в соответствии с ГОСТ 17.4.3.01-2017². Анализы проводились в аккредитованных эколого-аналитических лабораториях ФГБНУ «РосНИИПМ» и ИЛ ФГБУ ГЦАС «Ростовский» по действующим методикам. В почвах и осадках определены фосфор и калий³, исследована водная вытяжка на активность ионов водорода, плотный остаток⁴, солеобразующие ионы – кальций и магний⁵, калий и натрий, гидрокарбонаты⁶, хлориды⁷, сульфаты⁸ (таблица 1).

Таблица 1 – Характеристика осадка сточных вод и почв с репрезентативного участка

Table 1 – Characteristics of sewage sludge and soils from a representative site

Показатель	ОСВ	Почва
1	2	3
1) кальций (водная вытяжка), г/100 г	0,323	0,020
2) магний (водная вытяжка), г/100 г	0,022	0,002
3) калий (водная вытяжка), г/100 г	0,001	0,001

²ГОСТ 17.4.3.01-2017. Охрана природы. Почвы. Общие требования к отбору проб [Электронный ресурс]. Введ. 2019-01-01. Доступ из ИС «Техэксперт: 6 поколение» Интранет.

³ГОСТ 26205-91. Почвы. Определение подвижных соединений фосфора и калия по методу Мачигина в модификации ЦИНАО [Электронный ресурс]. Введ. 1993-07-01. Доступ из ИС «Техэксперт: 6 поколение» Интранет.

⁴ГОСТ 26423-85. Почвы. Методы определения удельной электрической проводимости, рН и плотного остатка водной вытяжки [Электронный ресурс]. Введ. 1986-01-01. Доступ из ИС «Техэксперт: 6 поколение» Интранет.

⁵ГОСТ 26428-85. Почвы. Методы определения кальция и магния в водной вытяжке [Электронный ресурс]. Введ. 1986-01-01. Доступ из ИС «Техэксперт: 6 поколение» Интранет.

⁶ГОСТ 26424-85. Почвы. Метод определения ионов карбоната и бикарбоната в водной вытяжке [Электронный ресурс]. Введ. 1986-01-01. Доступ из ИС «Техэксперт: 6 поколение» Интранет.

⁷ГОСТ 26425-85. Почвы. Методы определения иона хлорида в водной вытяжке [Электронный ресурс]. Введ. 1986-01-01. Доступ из ИС «Техэксперт: 6 поколение» Интранет.

⁸ГОСТ 26426-85. Почвы. Методы определения иона сульфата в водной вытяжке [Электронный ресурс]. Введ. 1986-01-01. Доступ из ИС «Техэксперт: 6 поколение» Интранет.

Продолжение таблицы 1

Table 1 continued

1	2	3
4) натрий (водная вытяжка), г/100 г	0,001	0,001
5) гидрокарбонат (водная вытяжка), г/100 г	0,022	0,034
6) хлорид (водная вытяжка), г/100 г	0,018	0,016
7) сульфат, г/кг	0,806	0,019
8) рН, ед. рН	6,02 ± 0,1	7,79 ± 0,1
9) плотный остаток (водная вытяжка), %	1,358	0,104
10) фосфор, подвижная форма, мг/кг	166,5 ± 33,3	21,9 ± 3,9
11) азот нитратов, мг/кг	139,36 ± 34,84	20,01 ± 5,00
12) калий (обменный), мг/кг	552,7 ± 110,5	277,6 ± 65,1
13) органическое вещество (гумус), %	27,1 ± 1,2 ¹	2,9 ± 0,5 ²
Примечание – «1» – ГОСТ 27980-88 ⁹ ; «2» – ГОСТ 26213-2021.		

Исходя из данных анализов проб, почвы являются недеградированными, незасоленными. ОСВ, напротив, имеет в своем составе высокое содержание солей, в т. ч. ионы кальция и сульфата. Содержание органического вещества в осадках в 9 раз превышает его содержание в отобранных образцах почвы, содержание калия – вдвое, азота и фосфора – более чем в 7 раз.

Гранулометрический состав¹⁰ почв характеризуется преобладанием крупнопылеватых фракций, а ОСВ – высоким содержанием песчаной фракции (таблица 2).

Таблица 2 – Фракционный состав исследуемых почв и осадков сточных вод

В %

Table 2 – Fractional composition of the studied soils and sewage sludge

In %

Проба	Содержание фракций грунта размерами, мм						
	> 0,1	0,1–0,05	0,05–0,01	0,01–0,005	0,005–0,002	0,002–0,001	< 0,001
ОСВ	18,9 ± 0,1	61,6 ± 0,1	9,2 ± 0,1	2,6 ± 0,1	0,1 ± 0,1	1,7 ± 0,1	5,9 ± 0,1
Почва	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

⁹ГОСТ 27980-88. Удобрения органические. Методы определения органического вещества [Электронный ресурс]. Введ. 1990-01-01. Доступ из ИС «Техэксперт: 6 поколение» Интранет.

¹⁰ГОСТ 12536-2014. Грунты. Методы лабораторного определения гранулометрического (зернового) и микроагрегатного состава [Электронный ресурс]. Введ. 2015-07-01. Доступ из ИС «Техэксперт: 6 поколение» Интранет.

К фракции физической глины (частиц < 0,01 мм) в почве относится 30,2 % частиц, содержание физического песка (частицы > 0,01 мм) составляет 69,8 %, что характеризует ее как среднесуглинистую (по Н. А. Качинскому). В осадке на долю фракции физической глины приходится 10,3 %, а на долю физического песка – 89,7 %. Если проводить аналогию с классификацией почв по гранулометрическому составу, такое содержание соответствует супесчаной почве.

Оценка агрохимического состава почв по методам ЦИНАО указывает на низкое содержание гумуса (таблица 3).

Таблица 3 – Группировка почв с репрезентативного участка по методам ЦИНАО

Table 3 – Grouping of soils from a representative site according to CINAО methods

Показатель, единица измерения	Значение	Группа почв по методам ЦИНАО
Гумус, %	2,9	II – низкое
Фосфор, подвижная форма (по Мачигину), мг/кг	21,9	III – среднее
Азот нитратов, мг/кг	20,01	III – среднее
Калий (по Мачигину), мг/кг	277,6	III – среднее
pH водной вытяжки, ед. pH	7,79	VI – слабощелочная

Содержание основных питательных элементов в обследуемых почвах находится на среднем уровне. Однако, согласно рекомендациям ВНИИ агрохимии им. Д. Н. Прянишникова¹¹, этот показатель оценивается в зависимости от вида сельскохозяйственных культур, планируемых к выращиванию, и может для некоторых из них трактоваться как «низкое» и «очень низкое» обеспечение, что требует повышенных доз внесения удобрений (таблица 4).

¹¹Рекомендации по интегрированному применению минеральных удобрений в системах земледелия с учетом региональных особенностей производства сельскохозяйственной продукции в Российской Федерации. М.: ВНИИ агрохимии им. Д. Н. Прянишникова, 2019. 174 с.

Таблица 4 – Обеспеченность почв питательными элементами по отношению к конкретным культурам
Table 4 – Provision of soil nutrients in relation to specific crops

Группа по обеспеченности	Содержание в почве, мг/кг			Уровень обеспеченности культур		
	Нитрифицирующая способность	P ₂ O ₅	K ₂ O	Яровые зерновые, кукуруза, подсолнечник, бобовые	Озимая пшеница, сахарная свекла, табак, рис	Овощные, плодовые, виноград
1	< 5	< 10	< 100	Очень низкая	Очень низкая	Очень низкая
2	5–8	10–15	100–200	Низкая	Очень низкая	Очень низкая
3	8–15	15–30	200–300	Средняя	Низкая	Очень низкая
4	15–30	30–40	300–400	Повышенная	Средняя	Низкая
5	30–40	45–60	400–600	Высокая	Повышенная	Средняя
6	> 50	> 60	> 600	Очень высокая	Высокая	Повышенная

Следует отметить, что в соответствии с нормативами плодородия почв земель сельскохозяйственного назначения Аксайского района Ростовской области, утвержденными в 2016 г. (таблица 5), показатели исследуемых почв по содержанию гумуса и питательных элементов (см. таблицу 3) считаются приемлемыми для нашего региона.

Таблица 5 – Нормативы плодородия почв земель сельскохозяйственного назначения Аксайского района Ростовской области¹²

Table 5 – Soil fertility standards for agricultural lands in Aksai district Rostov region¹²

Степень эродированности почв	Средневзвешенное содержание гумуса, %		Содержание подвижного фосфора, мг/кг		Содержание подвижного калия, мг/кг		Реакция почвенного раствора, рН _{водн}	
	Норматив	Допустимый предел снижения	Норматив	Допустимый предел снижения	Норматив	Допустимый предел снижения	Норматив	Допустимый предел повышения
Отсутствует	3,60	2,88	26	21	404	323	8,0	8,8
Слабая	3,42	2,74						
Средняя	3,06	2,45						
Сильная	2,88	2,30						

¹²Нормативы плодородия почв земель сельскохозяйственного назначения Ростовской области [Электронный ресурс]: прил. к Постановлению Правительства Рост. обл. от 14 янв. 2016 г. № 6 «Об утверждении нормативов плодородия почв земель сельскохозяйственного назначения Ростовской области». Доступ из ИС «Техэксперт: 6 поколение» Интранет.

Для выявления удобрительного потенциала исследуемых осадков в качестве эксперимента был заложен вегетационный опыт в трехкратной повторности в следующих вариантах:

- вариант 1 – почва с посевом редиса (контроль);
- вариант 2 – почва + ОСВ с посевом редиса;
- вариант 3 – почва + удобрения с посевом редиса;
- вариант 4 – почва с посевом кресс-салата (контроль);
- вариант 5 – почва + ОСВ с посевом кресс-салата;
- вариант 6 – почва + удобрения с посевом кресс-салата.

Исходя из состава питательных макроэлементов в ОСВ, в качестве альтернативного удобрения использовалась азофоска с составом питательных веществ: 16 % (N), 16 % (P_2O_5), 16 % (K_2O). Норму внесения удобрений и ОСВ в рамках исследований определяли по фосфору, исходя из нормативов плодородия почв Аксайского района Ростовской области (таблица 5). Учитывая, что начальное содержание фосфора в исследуемых почвах находится на уровне допустимого предела снижения, определение количества вносимых удобрений будем производить исходя из возможности его доведения до нормативных показателей. Расчет по нормам внесения азота не производился, ввиду отсутствия нормативных показателей и данных о предполагаемом выносе урожаем тест-растений. Расчетная доза ОСВ, с учетом возможной лабораторной погрешности при определении количества питательных веществ в почвах, принята 37 г на 1 кг почвы, азофоски соответственно 0,039 г на 1 кг почвы. При этом содержание подвижного фосфора (по методу ЦИНАО) останется на среднем уровне, а содержание азота будет характеризоваться как «повышенное» в обоих вариантах удобрений. Количество внесенных удобрительных веществ с расчетной дозой приведено в таблице 6.

Таблица 6 – Определение количества основных питательных веществ, вносимых в почву с осадком сточных вод и азофоской
Table 6 – Determination of the amount of essential nutrients, applied into soil with sewage sludge and nitrogen-phosphorus potassium fertilizer

Удобрение	Масса удобрения		Количество питательных веществ, мг/кг		
	т/га ¹	г/кг	Фосфор	Азот	Калий
ОСВ	98	37,00	6,16	5,16	20,45
Азофоска	0,102	0,039	6,16	6,16	6,16

Примечание – «1» – Расчет произведен при плотности почвы 1283,0 кг/м³ на величину пахотного слоя 0,22 м.

В период лабораторных исследований среднесуточная температура колебалась в пределах 20–27 °С. Полив посевов осуществлялся по необходимости дождевой водой. Для обеспечения одинаковой освещенности вегетационные сосуды переставляли в свободном порядке каждые 4 дня.

Оценку биопродуктивности почв в вариантах опыта проводили по показателям всхожести семян (методом подсчета), общей биомассы (весовым методом) и средней биомассы на одно растение (расчетным методом). Взвешивание производили на лабораторных электронных весах модели ЛВ-210-А.

Лабораторные исследования отобранных проб проводили в аккредитованной эколого-аналитической лаборатории ФГБНУ «РосНИИПМ» по утвержденным методикам.

Результаты и обсуждение. Данные, полученные в результате оценки биопродуктивности, показали, что для вариантов с внесением ОСВ в качестве удобрений отмечены:

- наилучшая всхожесть семян тестовых растений;
- наибольший прирост биомассы.

Наблюдения за высотой и внешним видом ростков в течение месяца показали наиболее активный рост и развитие в вариантах выращивания на почвах с добавлением ОСВ. Результаты биотестирования удобрительной эффективности ОСВ приведены в таблице 7.

Таблица 7 – Показатели всхожести и биомассы тест-растений
Table 7 – Indicators of germination and biomass of test plants

Тест-растение	Почва (контроль)	Почва + ОСВ		Почва + удобрение	
		Среднестатистическая	Прибавка, %	Среднестатистическая	Прибавка, %
Всхожесть семян, %					
Редис	70 ± 0,1	80 ± 0,1	10	75 ± 0,1	5
Кресс-салат	70 ± 0,1	80 ± 0,1	10	75 ± 0,1	5
Полученная биомасса на весь урожай, г					
Редис	3,94 ± 0,01	6,12 ± 0,01	55,33	4,32 ± 0,01	9,64
Кресс-салат	1,27 ± 0,01	1,64 ± 0,01	29,13	1,30 ± 0,01	2,36
Средний прирост биомассы на 1 растение, мг					
Редис	281,43 ± 0,01	386,50 ± 0,01	37,33	350,00 ± 0,01	24,36
Кресс-салат	127,00 ± 0,01	136,67 ± 0,01	7,61	128,19 ± 0,01	0,94

Изменение показателей тест-растений по результатам проведения вегетационных опытов представлено на рисунках 1, 2.

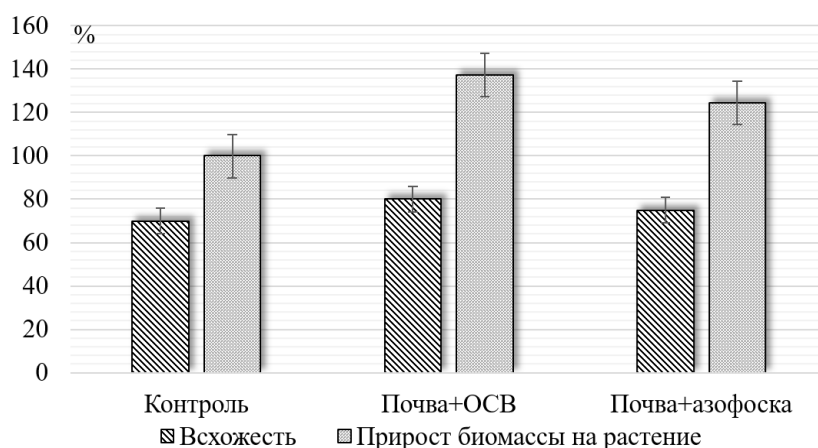


Рисунок 1 – Изменение показателей редиса в вегетационном опыте
Figure 1 – Changes in indicators of radish in vegetation experiment

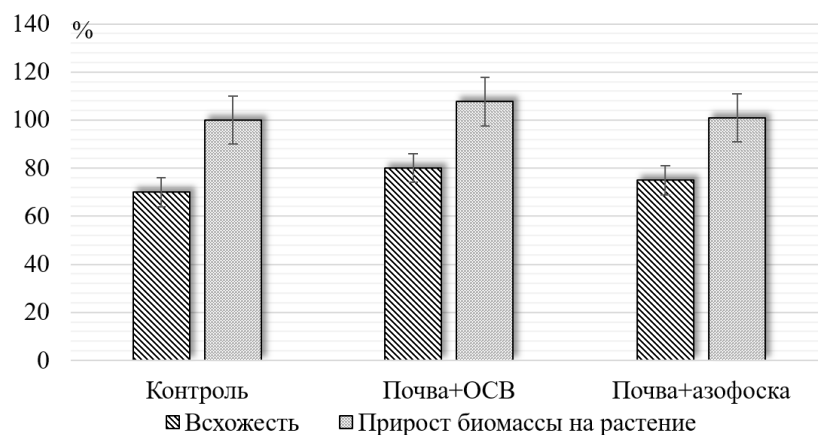


Рисунок 2 – Изменение показателей кресс-салата в вегетационном опыте

Figure 2 – Changes in the indicators of watercress in vegetation experiment

В случае с внесением ОСВ всхожесть семян обоих тест-растений увеличилась на 10 % по сравнению с контролем, что вдвое превышает увеличение всхожести семян на фоне удобрений. Прирост биомассы редиса на фоне применения ОСВ увеличился на 55 %, а на фоне применения удобрений – всего на 10 %. Прирост биомассы кресс-салата увеличился на 29 % на фоне применения ОСВ и на 2 % – на фоне применения азофоски. Среднее увеличение биомассы в пересчете на одно растение редиса на фоне ОСВ по сравнению с контролем составило 37 %, а на фоне минерального удобрения – 24 %. Эти же показатели для кресс-салата составили: на фоне ОСВ – 7,6 %, на фоне удобрений – на 1 %.

Разные варианты использования почв в вегетационном опыте позволили проследить изменение их показателей (таблица 8).

Таблица 8 – Химический состав почв по вариантам вегетационных опытов
Table 8 – Chemical composition of soils according to variants of vegetation experiments

Показатель	Вариант					
	1 Почва	2 Почва + ОСВ	3 Почва + удобрение	4 Почва	5 Почва + ОСВ	6 Почва + удобрение
	Редис			Кресс-салат		
1	2	3	4	5	6	7
Кальций (водная вытяжка), г/100 г	0,018	0,030	0,020	0,023	0,030	0,020
Магний (водная вытяжка), г/100 г	0,002	0,003	0,001	0,002	0,002	0,001
Калий (водная вытяжка), г/100 г	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Натрий (водная вытяжка), г/100 г	0,001	0,000	0,000	0,001	0,001	0,001
Гидрокарбонат (водная вытяжка), г/100 г	0,037	0,037	0,037	0,039	0,037	0,034
Хлорид (водная вытяжка), г/100 г	0,005	0,005	0,006	0,006	0,006	0,006
Сульфат, г/100 г	0,018	0,048	0,016	0,024	0,045	0,018
pH	7,76 ± 0,1	7,70 ± 0,1	7,81 ± 0,1	7,83 ± 0,1	7,66 ± 0,1	7,74 ± 0,1
Плотный остаток (водная вытяжка), %	0,080	0,110	0,082	0,102	0,106	0,082
Фосфор (подвижная форма), мг/кг	15,6 ± 3,1	26,1 ± 5,2	23,9 ± 4,8	20,4 ± 4,1	36,3 ± 5,4	30,4 ± 4,6

Продолжение таблицы 8

Table 8 continued

1	2	3	4	5	6	7
Азот нитратов, мг/кг	17,44 ± 4,36	27,8 ± 7,0	21,5 ± 5,4	18,8 ± 4,7	24,7 ± 6,2	19,8 ± 5,0
Калий (обменный), мг/кг	255,6 ± 25,6	253,6 ± 25,3	258,0 ± 25,8	252,0 ± 25,2	265,2 ± 26,5	314,4 ± 31,4
Органическое веще- ство (гумус), %	2,8 ± 0,6	3,7 ± 0,6	3,2 ± 0,5	2,9 ± 0,6	3,7 ± 0,6	3,2 ± 0,5

В результате анализа почв по вариантам отмечено:

- в вариантах 1 и 4, где посев тест-растений осуществлялся без добавления каких-либо удобрений, в почвах отмечается незначительное уменьшение питательных элементов, в основном азота и фосфора, по сравнению с их первоначальным содержанием (см. таблицу 1);

- вариант 2 (почвы + ОСВ с посевом редиса): содержание хлоридов понизилось до 0,005 г/100 г, т. е. на 70 % в сравнении с их первоначальным содержанием в почве (см. таблицу 1), увеличилось содержание кальция на 50 % до 0,030 г/100 г, сульфатов в 2,5 раза до 0,048 г/100 г, количество органического вещества (гумуса) выросло на 12 % до 3,7 %, содержание азота нитратов повысилось на 28 % с 20,01 до 27,8 г/100 г, фосфора содержится больше на 67 % по сравнению с контролем и на 19 % по сравнению с первоначальным содержанием (см. таблицу 1);

- вариант 3 (почвы + удобрения с посевом редиса): содержание хлоридов понизилось до 0,006 г/100 г, т. е. на 70 % в сравнении с их первоначальным содержанием в почве (см. таблицу 1), рН изменился незначительно с 7,79 до 7,81, изменение содержания азота лежит в пределах допустимой погрешности, рост количества фосфора и калия лежит в пределах погрешности исследований, фосфора по сравнению с контролем содержится на 53 % больше;

- вариант 5 (почвы + ОСВ с посевом кресс-салата): содержание хлоридов уменьшилось на 63 % в сравнении с их первоначальным содержа-

нием в почве (см. таблицу 1), количество кальция увеличилось на 50 %, содержание сульфатов выросло в 3 раза до 0,045 г/100 г, рН понизился с 7,79 до 7,66, количество фосфора увеличилось на 40 %, азота – на 20 %, до 24,7 мг/кг, содержание органического вещества (гумуса) выросло на 12 %, фосфора по сравнению с контролем содержится больше на 77 %;

- вариант 6 (почвы + удобрения с посевом кресс-салата): содержание гидрокарбонатов увеличилось на 20 % по сравнению с данными до проведения анализа (см. таблицу 1), по сравнению с контролем их содержание меньше на 12,8 % (см. таблицу 8), количество хлоридов уменьшилось на 60 % по сравнению с первоначальным содержанием (см. таблицу 1), содержание сульфатов практически не изменилось по сравнению с первоначальным (см. таблицу 1), количество азота и калия изменилось в пределах лабораторной погрешности, фосфора по сравнению с контролем содержится на 49 % больше.

В вегетационных опытах отмечено увеличение содержания фосфора в почвах во всех вариантах применения удобрений. Дополнительно в почвах, в которые вносили ОСВ в качестве удобрений, отмечено увеличение азота, кальция и сульфатов. Во всех вариантах вегетационного опыта с применением удобрений зарегистрировано повышение содержания органического вещества в составе почв, однако в вариантах с применением ОСВ эти показатели превышают возможную лабораторную погрешность, что позволяет сделать выводы о достоверности роста количества органического вещества на фоне внесения ОСВ в качестве удобрений.

Выводы. В вариантах биотестирования удобрительной ценности осадков сточных вод было отмечено их положительное влияние на всхожесть семян, рост и развитие растений: всхожесть семян увеличилась на 14 %, прирост биомассы на одно растение составил в среднем 37 % для редиса и 8 % для кресс-салата. Эти показатели превысили аналогичные при использовании в качестве удобрения азофоски. Рост урожая редиса

на фоне применения осадков сточных вод составил 55 %, а на фоне применения азофоски – всего 10 %. Рост урожая кресс-салата составил 29 % на фоне применения осадков сточных вод и 2 % – на фоне применения азофоски. Судя по отклику тест-растений, увеличение количества сульфатов вследствие внесения осадков сточных вод не оказывало токсического воздействия на них.

В вариантах с внесением осадков сточных вод отмечается достоверно подтвержденное повышение содержания органического вещества в почвах (в среднем на 30 %), что может оказать положительное влияние на баланс гумуса.

При внесении в почву осадков сточных вод с муниципальных очистных сооружений г. Новочеркаска отмечается увеличение в ней содержания фосфора, азота, кальция и сульфатов. Так, в образцах почвы с осадком сточных вод отмечено увеличение по сравнению с контролем содержания азота на 30–59 %, фосфора – на 67–78 %, а при внесении азофоски в сравнении с содержанием в контрольных образцах количество азота повысилось на 5–23 %, фосфора – в среднем на 50 %.

Список источников

1. Манжина С. А. Анализ обеспечения АПК России удобрениями // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. 2017. № 3(27). С. 199–221. URL: <https://rosniipm-sm.ru/article?n=292> (дата обращения: 14.12.2023). EDN: ZCQARJ.
2. Влияния способов обработки почвы, минеральных и органических удобрений в различных севооборотах на содержание гумуса в черноземе типичном / С. И. Тютюнов, В. Д. Соловichenко, А. С. Цыгуткин, И. В. Логвинов // Достижения науки и техники АПК. 2020. Т. 34, № 5. С. 7–12. DOI: 10.24411/0235-2451-2020-10501. EDN: EJPKYT.
3. Зезин Н. Н., Постников П. А., Намятов М. А. Баланс гумуса в полевых севооборотах // Пермский аграрный вестник. 2019. № 2(26). С. 57–64. EDN: DWCCNI.
4. Куликова А. Х., Захаров Н. Г., Починова Т. В. Применение осадков сточных вод в качестве удобрения в сельском хозяйстве Ульяновской области // Агрехимический вестник. 2010. № 5. С. 32–35. EDN: MVSPFN.
5. Брындина Л. В., Бакланова О. В. Нетрадиционное органическое удобрение из осадков сточных вод // Инновационные процессы в пищевых технологиях: наука и практика: материалы междунар. науч.-практ. конф. М.: ФНЦ пищевых систем им. В. М. Горбатова РАН, 2019. С. 64–67. EDN: YYUBVZ.
6. Межевова А. С., Новиков А. Е. Состав, структура и морфология осадка сточ-

ных вод // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2021. № 1(61). С. 390–398. DOI: 10.32786/2071-9485-2021-01-37. EDN: ALDDCW.

7. Кусакина Н. А., Чемерис М. С. Экологическая эффективность действия осадков сточных вод при возделывании рапса ярового // Мир науки, культуры, образования. 2012. № 2(33). С. 342–343. EDN: OXJXHN.

8. Зотов В. А., Плеханова И. О. Экологические аспекты использования осадков сточных вод для целей сельского хозяйства и рекультивации нарушенных территорий // Природные и антропогенные экосистемы: проблемы и решения: монография / под ред. Д. В. Рисника. М.: Библиоглобус, 2017. С. 82–106. DOI: 10.18334/9785604023730. EDN: NSQHBT.

9. Средство повышения плодородия почв на основе осадка сточных вод / Н. Д. Аргунов, Я. К. Абрамов, Н. А. Саломатина, В. М. Веселов, В. М. Залевский, Г. Е. Мерзлая // Вестник Федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Московский государственный агроинженерный университет имени В. П. Горячкина». 2012. № 2. С. 83–86. EDN: RBFRT.

10. Межевова А. С. Использование биомелиорантов для повышения продуктивности слабогумусированных почв // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. 2020. № 4(40). С. 58–70. URL: <https://rosniipm-sm.ru/article?n=1159> (дата обращения: 14.12.2023). DOI: 10.31774/2222-1816-2020-4-58-70. EDN: NSEGOU.

11. Ананьева Ю. С., Давыдов А. С. Экологическая оценка воздействия осадков сточных вод на почву по фитотестированию // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2009. № 8(58). С. 38–40. EDN: KPUATF.

12. Некоторые свойства и особенности осадков сточных вод / Н. Д. Аргунов, О. Б. Ватуева, В. М. Веселов, Н. А. Саломатина, В. А. Пильгун // Агрехимический вестник. 2013. № 4. С. 39–43. EDN: RRWIHN.

13. Федоровская Л. А., Углов В. А., Бородай Е. В. Агроэкологическая оценка осадков сточных вод очистных сооружений города Новосибирска // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2015. № 4. С. 275–279. EDN: TOUKJR.

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

15. Агрехимические, санитарно-эпидемиологические и токсикологические исследования ОСВ и компостов очистных сооружений г. Москвы, устойчивость функционирования в агроэкосистемах / Е. П. Пахненко, Е. А. Гунина, Г. Е. Мерзлая, Н. В. Костина // Почвы в биосфере: сб. материалов Всерос. науч. конф. с междунар. участием, посвящ. 50-летию Ин-та почвоведения и агрохимии СО РАН, г. Новосибирск, 10–14 сент. 2018 г. Томск: Нац. исслед. Том. гос. ун-т, 2018. Ч. 1. С. 359–363. EDN: UXJAZB.

References

1. Manzhina S.A., 2017. [Analysis of provision of Russian agroindustrial complex with fertilizers]. *Nauchnyy zhurnal Rossiyskogo NII problem melioratsii*, no. 3(27), pp. 199-221, available: <https://rosniipm-sm.ru/article?n=292> [accessed 14.12.2023], EDN: ZCQARJ. (In Russian).

2. Tyutyunov S.I., Solovichenko V.D., Tsygutkin A.S., Logvinov I.V., 2020. *Vliyaniya sposobov obrabotki pochvy, mineral'nykh i organicheskikh udobreniy v razlichnykh sevooborotakh na sodержание gumusa v chernozeme tipichnom* [Influence of soil cultivation methods, mineral and organic fertilizers in various crop rotations on the humus content in typical chernozem]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK* [Achievements of Science and Technolo-

gy in Agro-Industrial Complex], vol. 34, no. 5, pp. 7-12, DOI: 10.24411/0235-2451-2020-10501, EDN: EJPKYT. (In Russian).

3. Zezin N.N., Postnikov P.A., Namyatov M.A., 2019. *Balans gumusa v polevykh sevooborotakh* [Humus balance in field crop rotations]. *Permskiy agrarnyy vestnik* [Perm Agrarian Bull.], no. 2(26), pp. 57-64, EDN: DWCCHI. (In Russian).

4. Kulikova A.Kh., Zakharov N.G., Pochinova T.V., 2010. *Primenenie osadkov stochnykh vod v kachestve udobreniya v sel'skom khozyaystve Ul'yanovskoy oblasti* [Application of sewage sludge as a fertilizer for agriculture in Ulyanovsk region]. *Agrokhimicheskiy vestnik* [Agrochemical Bulletin], no. 5, pp. 32-35, EDN: MVSPFN. (In Russian).

5. Bryndina L.V., Baklanova O.V., 2019. *Netraditsionnoe organicheskoe udobrenie iz osadkov stochnykh vod* [Non-traditional organic fertilizer from sewage sludge]. *Innovatsionnye protsessy v pishchevykh tekhnologiyakh: nauka i praktika: materialy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Innovative Processes in Food Technologies: Science and Practice: Proc. of the International Scientific-Practical Conference]. Moscow, Federal Scientific Center for Food Systems named after V. M. Gorbатов RAS, pp. 64-67, EDN: YYUBVZ. (In Russian).

6. Mezhevova A.S., Novikov A.E., 2021. *Sostav, struktura i morfologiya osadka stochnykh vod* [Composition, structure and morphology of sewage sludge]. *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vysshee professional'noe obrazovanie* [Bull. of Lower Volga Agro-University Complex: Science and Higher Education], no. 1(61), pp. 390-398, DOI: 10.32786/2071-9485-2021-01-37, EDN: ALDDCW. (In Russian).

7. Kusakina N.A., Chemeris M.S., 2012. *Ekologicheskaya effektivnost' deystviya osadkov stochnykh vod pri vozdeystvii rapsa yarovogo* [Ecological efficiency of sewage sludge during the cultivation of spring rape]. *Mir nauki, kul'tury, obrazovaniya* [World of Science, Culture, Education], no. 2(33), pp. 342-343, EDN: OXJXHN. (In Russian).

8. Zotov V.A., Plekhanova I.O., 2017. *Ekologicheskie aspekty ispol'zovaniya osadkov stochnykh vod dlya tseley sel'skogo khozyaystva i rekul'tivatsii narushennykh territoriy* [Environmental aspects of the use of sewage sludge for agricultural purposes and reclamation of disturbed areas]. *Prirodnye i antropogennye ekosistemy: problemy i resheniya: monografiya* [Natural and Anthropogenic Ecosystems: Problems and Solutions: monograph]. Moscow, Biblioglobus Publ., pp. 82-106, DOI: 10.18334/9785604023730, EDN: NSQHBT. (In Russian).

9. Argunov N.D., Abramov Y.K., Salomatina N.A., Veselov V.M., Zalevsky V.M., Merzlaya G.E., 2012. *Sredstvo povysheniya plodorodiya pochv na osnove osadka stochnykh vod* [Means of increasing soil fertility based on sewage sludge]. *Vestnik Federal'nogo gosudarstvennogo obrazovatel'nogo uchrezhdeniya vysshego professional'nogo obrazovaniya "Moskovskiy gosudarstvennyy agroinzhenernyy universitet imeni V. P. Goryachkina"* [Bull. of Federal State Educational Institution of Higher Professional Education "Moscow State Agro-Engineering University named after V. P. Goryachkin"], no. 2, pp. 83-86, EDN: RBFRT. (In Russian).

10. Mezhevova A.S., 2020. [Biomeliorant application for increasing the productivity of slightly humic soils]. *Nauchnyy zhurnal Rossiyskogo NII problem melioratsii*, no. 4(40), pp. 58-70, available: <https://rosniipm-sm.ru/article?n=1159> [accessed 14.12.2023], DOI: 10.31774/2222-1816-2020-4-58-70, EDN: NSEGOU. (In Russian).

11. Ananyeva Yu.S., Davydov A.S., 2009. *Ekologicheskaya otsenka vozdeystviya osadkov stochnykh vod na pochvu po fitotestirovaniyu* [Ecological assessment of the impact of sewage sludge on soil using phytotesting]. *Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Bulletin of Altai State Agrarian University], no. 8(58), pp. 38-40, EDN: KPUATF. (In Russian).

12. Argunov N.D., Vatieva O.B., Veselov V.M., Solomatina N.A., Pilgun V.A., 2013. *Nekotorye svoystva i osobennosti osadkov stochnykh vod* [Some properties and features of sewage sludge]. *Agrokhimicheskiy vestnik* [Agrochemical Bull.], no. 4, pp. 39-43, EDN: RRWIHN. (In Russian).

13. Fedorovskaya L.A., Uglov V.A., Boroday E.V., 2015. *Agroekologicheskaya otsenka osadkov stochnykh vod ochistnykh sooruzheniy goroda Novosibirsk* [Agroecological assessment of sewage sludge treatment facilities in the city of Novosibirsk]. *Mezhdunarodnyy zhurnal prikladnykh i fundamental'nykh issledovaniy* [International Journal of Applied and Fundamental Research], no. 4, pp. 275-279, EDN: TOUKJR. (In Russian).

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

15. Pakhnenko E.P., Gunina E.A., Merzlaya G.E., Kostina N.V., 2018. *Agrokhimicheskie, sanitarno-epidemiologicheskie i toksikologicheskie issledovaniya OSV i kompostov ochistnykh sooruzheniy g. Moskvy, ustoychivost' funktsionirovaniya v agroekosistemakh* [Agrochemical, sanitary-epidemiological and toxicological studies of sediment waste water and compost of sewage treatment plants in Moscow, sustainability of functioning in agroecosystems]. *Pochvy v biosfere: sb. materialov Vserossiyskoy nauchnoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem, posvyashch. 50-letiyu Instituta pochvovedeniya i agrokhimii SO RAN* [Soils in Biosphere: Proc. of All-Russian Scientific Conference with International Participation, Dedicated to the 50th Anniversary of Institute of Soil Science and Agrochemistry SB RAS]. Tomsk, National Research Tomsk State University, pt. 1, pp. 359-363, EDN: UXJAZB. (In Russian).

Информация об авторе

С. А. Манжина – старший научный сотрудник, кандидат технических наук, доцент, Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск, Российская Федерация, manz.svetlana@yandex.ru, AuthorID: 861972, ORCID ID: 0000-0001-9322-0843.

Information about the author

S. A. Manzhina – Senior Researcher, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novochoerkassk, Russian Federation, manz.svetlana@yandex.ru, AuthorID: 861972, ORCID ID: 0000-0001-9322-0843.

*Автор несет ответственность за нарушения в сфере этики научных публикаций.
The author is responsible for violation of scientific publication ethics.*

*Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.
The author declares no conflicts of interests.*

*Статья поступила в редакцию 11.12.2023; одобрена после рецензирования 08.02.2024;
принята к публикации 08.02.2024.
The article was submitted 11.12.2023; approved after reviewing 08.02.2024; accepted for
publication 08.02.2024.*