

Оригинальная статья

УДК 631.67.03:628.3

<https://doi.org/10.26897/1997-6011-2023-5-20-27>

ОЦЕНКА АГРОНОМИЧЕСКИХ КРИТЕРИЕВ ПОЧВ ПОСЛЕ ОРОШЕНИЯ СТОЧНЫМИ ВОДАМИ ОТ МУНИЦИПАЛЬНЫХ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ

Манжина Светлана Александровна, канд. техн. наук, доцент, старший научный сотрудник;

РИНЦ 3829-36114; manz.svetlana@yandex.ru; ORCID:0000-0001-9322-0843

Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации; 346421, Ростовская область, г. Новочеркасск, пр. Баклановский, 190, Россия

Аннотация. Целью исследований являлась оценка изменения агрономических критериев почв после полива сточными водами разной степени очистки от муниципальных очистных сооружений. В качестве материала для исследований отобраны пробы сточных вод различной степени очистки (образец 1 – после механической очистки, образец 2 – после биологической очистки и дезинфекции) с канализационных очистных сооружений ООО «Экологические технологии» г. Новочеркаска. Произведена оценка отобранных проб по основным ирригационным показателям: ирригационный коэффициент, натриево-адсорбционное соотношение и опасность магниевое осолонцевания. В лабораторных условиях в вегетационных сосудах выращивались семена люцерны на фоне полива тестируемыми водами. В качестве контроля производили полив водой из реки Дон (образец 3). Агрохимические показатели почв оценивались в сравнении с утвержденными нормативами для почв Ростовской области. Ирригационные характеристики отобранных проб сточных вод по всем контролируемым показателям демонстрируют их пригодность для орошения. В обоих видах очищенных сточных водах отмечается превышение фосфатов более чем в 30 раз над установленными нормативами, сульфатов – более чем в 4 раза. В результате исследований получены такие данные: содержание гумуса в почвах после орошения сточными водами, прошедшими только механическую очистку, незначительно увеличилось; в остальных случаях количество гумуса уменьшилось, причем в контрольном варианте – в 1,5 раза, а в варианте с водой после биологической очистки – всего на 6%; в вариантах с орошением сточными водами отмечается накопление азота, во всех вариантах отмечено также уменьшение фосфатов и калия в почвах. Изменение удельной электропроводности указывает на выщелачивание легкорастворимых солей из почв на фоне орошения, причем в наибольшей степени – при поливе водой, прошедшей вторую стадию очистки. В целом по всем показателям наиболее пригодной для орошения является вода после биологической очистки.

Ключевые слова: сточные воды, орошение сточными водами, муниципальные очистные сооружения, ирригационные характеристики, агрохимические показатели почв

Формат цитирования: Манжина С.А. Оценка агрономических критериев почв после орошения сточными водами от муниципальных очистных сооружений // Природообустройство. 2023. № 5. С. 20-27. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2023-5-20-27>

© Манжина С.А., 2023

Original article

ASSESSMENT OF AGRONOMIC CRITERIA OF SOILS AFTER IRRIGATION WITH WASTEWATER FROM MUNICIPAL WASTEWATER TREATMENT PLANTS

Manzhina Svetlana Alexandrovna, candidate of technical sciences, associate professor; senior researcher,

RSC3829-36114; manz.svetlana@yandex.ru; ORCID:0000-0001-9322-0843

Russian Research Institute of Land Reclamation Problems. 190 Baklanovsky Ave., Rostov region, Novocherkassk, 346421, Russia

Abstract. The aim of the study is to assess the impact of irrigation with wastewater of various degrees of treatment from urban wastewater treatment plants on agrochemical indicators of soils. As materials for the study, samples of wastewater of various degrees of treatment were selected (stage 1 – mechanical treatment, stage 2 – biological treatment) from the Kadamovsky treatment facilities of LLC “Ecological Technologies” in Novocherkassk. The selected samples were evaluated according to the main irrigation indicators: irrigation coefficient, sodium adsorption coefficient and the danger

of magnesium salinization. Under laboratory conditions, alfalfa seeds were grown in vessels against the background of irrigation with tested waters. Agrochemical indicators of soils were evaluated in comparison with the approved standards for soils of the Rostov region. The control sample was watered with water from the Don River. Irrigation characteristics of the selected wastewater samples demonstrate their suitability for irrigation in all controlled parameters. In both types of treated wastewater, there is an excess of the content of phosphates by more than 30 times compared to the established norms, sulfates – by more than 4 times. As a result of the soil assessment, the following data were obtained: the humus content after irrigation with wastewater that has undergone only mechanical treatment increased slightly, in other cases the amount of humus decreased, and in the control variant by 1.5 times, and in the variant with water after biological treatment by only 6%; in all variants, when irrigation with wastewater, it is noted accumulation of nitrogen, as well as in all variants, there is a decrease in the content of phosphates and potassium in soils. The change in electrical conductivity indicates the leaching of easily soluble salts from soils against the background of irrigation, and to the greatest extent when watering with water that has passed the 2nd stage of treatment. In general, according to all indicators, the most suitable for irrigation is water after biological treatment.

Key words: wastewater, wastewater irrigation, municipal wastewater treatment plants, irrigation characteristics, agrochemical indicators of soils

Format of citation: Manzhina S.A. Assessment of agronomic criteria of soil after irrigation with wastewater from municipal wastewater treatment plants // Prirodoobustrojstvo. 2023. № 5. P 20-27. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2023-5-20-27>

Введение. Обеспечение отвода жидких коммунальных стоков с территории муниципальных образований предполагает соблюдение экологических требований к их составу, для достижения которого осуществляют очистку сточных вод на канализационных очистных сооружениях (КОС). Необходимо отметить, что во многих средних и малых муниципальных образованиях очистные сооружения имеют уже достаточно длительный срок службы без проведения необходимой модернизации систем очистки, а дорогостоящие технологии финансово недоступны для их бюджетов [1].

Ввиду недостаточной эффективности работы очистных сооружений может регистрироваться высокое содержание фосфатов в отводимых после очистки стоках, что приводит к эвтрофикации водных объектов. В этой связи рассматриваются варианты доочистки сточных вод на полях орошения, что будет являться мероприятием как удобрительным – с учетом полезных свойств от содержащихся в них компонентов, так и экологическим – в качестве оздоровления территориальных водных объектов [2-5]. По совокупности эффектов этот способ демонстрирует наилучшие экологические показатели, наименьшие финансовые затраты и наибольшую экономическую отдачу [6, 7].

Являясь одним из крупнейших потребителей пресной воды, в ряде регионов нашей страны сельское

хозяйство нуждается в дополнительных водных ресурсах и питательных элементах при возделывании сельскохозяйственных культур, что и легло в основу совмещения орошения с доочисткой через повторное использование сточных вод, и в первую очередь – стоков пищевой промышленности, животноводческих и коммунально-бытовых. Особенно актуальным это становится в случае расположения муниципальных очистных сооружений вблизи сельскохозяйственных полей, что позволяет избежать строительства протяженных мелиоративных систем. Примером такого расположения служат муниципальные очистные сооружения г. Новочеркаска Ростовской области (рис. 1).

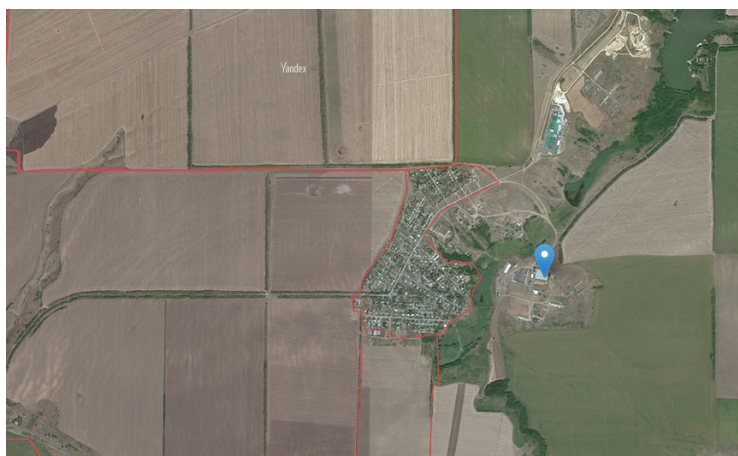


Рис. 1. Расположение КОС «Кадамовские» ООО «Экологические технологии» (г. Новочеркасск, Ростовская обл.)

Fig. 1. Location of WWTP “Kadamovskie” LLC “Ecological technologies” (Novocherkassk, Rostov region)

В соответствии с ГОСТ 17.1.2.03-90 для «...обеспечения комплексной оценки качества воды для орошения следует учитывать агрономические, технические и экологические критерии». В рамках агрономических критериев выделяют учет влияния оросительной воды на почвы «...с целью сохранения и повышения плодородия и предотвращения процессов засоления, осолонцевания, содообразования, слитизации и нарушения биологического режима» [8].

Цель исследований: оценка изменения агрономических критериев почв после полива сточными водами разной степени очистки от муниципальных очистных сооружений.

Материалы и методы исследований. В вегетационных опытах исследовалось изменение химических показателей почвы, определяющих ее плодородие (содержание гумуса, макроэлементов, рН, степени засоления), под влиянием орошения хозяйственно-бытовыми сточными водами КОС «Кадамовские» ООО «Экологические технологии»: образец 1 – после механической очистки; образец 2 – после биологической очистки; образец 3 – природной водой. КОС ООО «Экологические технологии» осуществляют прием и очистку сточных вод от районов и микрорайонов г. Новочеркаска: Первомайский район, микрорайоны Черемушки, Новый поселок («Новый городок»), Восточный, Новоселовка и Промышленный. Производительность КОС составляет: проектная – 55 тыс. м³/сут.; фактическая – 30 тыс. м³/сут.*.

Сточные воды, часть которых поступает от промышленных объектов, а часть является коммунально-бытовыми стоками, проходят раздельную очистку на сооружениях механической очистки, далее – совместную биологическую очистку на аэротенках-смесителях. Обеззараживание очищенных сточных вод производится газообразным хлором. Перед сбросом в реку Тузлов стоки выдерживаются в биологических прудах.

Критерии оценки качества очищенных сточных вод определены в соответствии с ГОСТ 17.1.2.03-90. По данным лаборатории КОС за 2022 г., отбор проб для исследования влияния сточных вод на микробиологические показатели водного объекта осуществляется в месте их сброса и в контрольных створах (500 м выше и ниже по течению). По результатам микробиологических исследований вод реки Тузлов, в месте сброса сточных вод отмечено превышение допустимых нормативов содержания микроорганизмов единожды в июле: содержание обобщенных колиформных

бактерий в количестве 2,4ПДК и E. Coli в количестве 12 ПДК. В остальное время количество микроорганизмов в месте сброса сточных вод соответствовало фоновым показателям. С учетом того, что выпуск очищенных вод осуществлялся из биологического пруда, причины такого превышения могут быть связаны как с антропогенными, так и с естественными факторами среды. Для исключения негативных показателей по микробиологическому составу сточные воды после механической очистки (образец 1) обрабатывались гипохлоритом натрия, после биологической очистки (образец 2) – забирались после хлорирования и перед поливом отстаивались в открытом сосуде.

Допустимая концентрация тяжелых металлов в поливной воде устанавливается согласно НТП-АПЖ 1.30.03.02-06 [9] по формуле:

$$C_{TM} = ПДК_{TM} \frac{(M + P)}{M},$$

где C_{TM} – допустимая концентрация тяжелого металла в поливной сточной воде, мг/дм³; $ПДК_{TM}$ – предельно допустимая концентрация тяжелого металла для воды хозяйственно-питьевого водопользования согласно СанПиН 1.2.3685-21 [10], мг/дм³; M – среднееголетняя средневзвешенная по севообороту оросительная норма сточных вод нетто, мм (1 мм = 10 м³/га); P – среднееголетние атмосферные осадки, впитавшиеся в почву, мм.

Исходя из того, что в вегетационных опытах атмосферные осадки отсутствовали, допустимое количество тяжелых металлов приравнивается к ПДК.

Оценка ирригационных характеристик исследуемых вод осуществлялась по общепринятым критериям [11-13].

1. Ирригационный коэффициент ($K_{и}$) – по X. Стеблеру:

$$K_{и} = \frac{288}{[Na^+] + 4 \times [Cl^-]}$$

при $[Cl^-] + [SO_4^{2-}] > [Na^+] > [Cl^-]$;

$$K_{и} = \frac{288}{5 \times [Cl^-]} \text{ при } [Na^+] < [Cl^-],$$

где состояние воды оценивается как хорошее при $K_{и} > 18$; удовлетворительное – при $K_{и} = 18-6$; неудовлетворительное – при $K_{и} = 5,9-1,2$; плохое, не пригодное для орошения, – при $K_{и} < 1,2$.

2. Натриево-адсорбционное отношение (SAR):

$$SAR = \frac{1,41 \times [Na^+]}{\sqrt{[Ca^{2+}] + [Mg^{2+}]}}$$

где при минерализации 1-2 г/л наблюдается низкая опасность натриевого засоления при $SAR < 10$ – нет опасности осолонцевания; $SAR = 10-18$ – средняя опасность; $SAR > 18$ – высокая опасность воды.

* Очистные сооружения Новочеркаска. URL: <https://dc-region.ru/ochistnyye-sooruzheniya-novoherkasska> (дата обращения: 01.12.2022).

3. Опасность магниевое осолонцевания почвы (И. Сабольч и К. Дараб):

$$K_{Mg} = \frac{[Mg^{2+}] \times 100}{[Ca^{2+}] + [Mg^{2+}]}$$

где $K_{Mg} \geq 50$ – вредное воздействие магния на почву.

Почвы для вегетационных опытов, отобранные с орошаемых полей Семикаракорского района Ростовской области, представлены черноземом обыкновенным, незасоленные. Оценка плодородия почв по методикам ЦИНАО представлена в таблице 1.

Уровень засоления почв оценивался по удельной электропроводности в соответствии с градацией (табл. 2) [14].

В лабораторных условиях в вегетационных сосудах высевались семена люцерны. Общая масса почвы в сосуде – 1,5 кг. Лабораторные испытания осуществлялись дважды (в период 04.04.2022-18.05.2022 гг. и 25.07.2022-04.09.2022 гг.) в трехкратной повторности по каждому варианту представленных образцов поливной воды (всего по 9 вегетационных сосудов в каждый период исследований). Полив всех сосудов проводился одновременно, по необходимости. Норма полива,

исходя из обеспечения 80% НВ, составила 300 м³/га (оросительная норма за этот период – 4000 м³/га). Полив осуществлялся сточными водами КОС «Кадамовские» – образцы 1 и 2. В качестве контроля использовалась природная вода реки Дон (образец 3). Температура воды для полива – комнатная. Температура воздуха колебалась от 25 до 27°С, температура почвы – от 22 до 25°С. Влажность воздуха за периоды исследований менялась от 33 до 35%, влажность почвы – от 60 до 90%. Влажность почвы контролировалась прибором-щупом ЕТР-301. Для предотвращения влияния неравномерности освещения вегетационные сосуды переставлялись произвольно каждые 4 дня.

Показатели по гумусу, азоту и фосфору сравнивались с утвержденными нормативами для почв Ростовской области [15].

Результаты и их обсуждение. Усредненный химический состав сточных вод муниципальных очистных сооружений г. Новочеркаска по данным эколого-аналитической лаборатории ФГБНУ «РосНИИПМ» и КОС «Кадамовские» представлен в таблице 3. Приведенные в таблице ПДК для водных объектов хозяйственно-питьевого назначения позволяют судить о допустимом количестве тяжелых металлов в потенциальных ирригационных водах.

Таблица 1. Группировка исследуемых почв по агрохимическим показателям

Table 1. Grouping of the studied soils by agrochemical indicators

| Показатели, ед. изм. <i>Indicators, units</i> | Значения <i>Values</i> | Группировка почв по ЦИНАО <i>Grouping of soils according to TSINAO</i> |
|---|---------------------------|---|
| Гумус, % / <i>Humus, %</i> | 3,30 | II – низкая / <i>low</i> |
| Фосфор, подвижная форма, мг/кг <i>Phosphorus, mobile form, mg/kg</i> | 48,3 | IV – повышенная <i>increased</i> |
| Азот нитратов, мг/кг / <i>Nitrate nitrogen, mg/kg</i> | 1,44 | I – очень низкая / <i>very low</i> |
| Калий, мг/кг / <i>Potassium, mg/kg</i> | 391,2 | IV – повышенная / <i>increased</i> |
| pH водной вытяжки, ед. pH <i>pH of the water extract, pH unit</i> | 7,71 | VI – слабощелочная <i>slightly alkaline</i> |

Таблица 2. Классификация по электропроводности фильтрата из насыщенной пасты с учетом суммы токсичных солей и количества Na⁺

Table 2. Classification by electrical conductivity of saturated paste filtrate given sum of toxic salts and amount of Na⁺

| Контролируемый показатель <i>Controlled indicator</i> | Градации или степень засоления / <i>Gradations or degree of salinity</i> | | | | |
|---|--|---|--|---|---|
| | Незасоленные <i>Non-saline</i> | Слабозасоленные <i>Slightly saline</i> | Среднезасоленные <i>Medium saline</i> | Сильнозасоленные <i>Heavily saline</i> | Очень сильно засоленные <i>Very heavily saline</i> |
| Удельная электропроводность, мСм/см <i>Specific electrical conductivity, mS/cm</i> | 0-3 | 3-5 | 5-10 | 10-16 | >16 |
| Сумма токсичных солей, % <i>Sum of toxic salts, %</i> | 0-0,15 | 0,15-0,30 | 0,30-0,60 | 0,60-1,0 | >1,0 |
| Количество ионов Na ⁺ , ммоль(экв)/кг <i>Number of Na⁺ ions, mmol(eq)/kg</i> | 0-1 | 1-3 | 3-6 | 6-11 | >11 |

Таблица 3. Концентрация веществ в пробах реки Дон и сточных вод КОС ООО «Экологические технологии» г. Новочеркаска, Ростовской области

Table 3. Concentration of substances in samples of the Don River and wastewater from the "WWTP of Ecological Technologies" LLC, Novocherkassk, Rostov Region

| Вещество Substance | ПДК _{х.п.} [10] МРС _{х.п.} [10] | Река Дон Don River | В сточных водах КОС (среднее ¹) In WWTP waste water (average ¹) | | | |
|--|--|---------------------------|--|--|--|--|
| | | | НДС ¹ SAC ² | Поступивших на очистку received for treatment | После механической очистки after mechanical treatment | После биологической очистки и дезинфекции after biological treatment and disinfection |
| рН, ед. рН / Ph, unit pH | 6,0-9,0 | 8,2 | 6,5-8,5 | 8,32 | 8,03 | 7,80 |
| Взвешенные вещества, мг/дм ³ Sustained substances, mg/dm ³ | – | 5,40 | 200,00 | 222,60 | не опр. Not determined | не опр. Not determined |
| Сухой остаток, мг/дм ³ Dry matter, mg/dm ³ | – | 468,0 | не опр. Not determined | не опр. Not determined | 1385,25 | 1484,5 |
| NO ₃ ⁻ , мг/дм ³ | 45 | 0,20 | 8,85 | 100,70 | 91,36 | 0,55 |
| NO ₃ ⁻ , мг/дм ³ | 3,3 | <0,02 | 32,86 | 0,45 | 0,22 | 0,14 |
| NH ₄ ⁺ , мг/дм ³ | 1,5-2,0 | <0,05 | 32,00 | 40,61 | 33,17 | 0,59 |
| HCO ₃ ⁻ , мг/дм ³ | 1000 | 207,50 | не опр. Not determined | не опр. Not determined | 477,36 | 225,38 |
| SO ₄ ²⁻ , мг/дм ³ | 100 | 129,60 | 500,00 | 401,70 | 465,44 | 473,24 |
| Cl ⁻ , мг/дм ³ | 350 | 85,10 | 350,00 | 197,837 | 230,44 | 261,63 |
| PO ₄ ²⁻ , мг/дм ³ | 3,5 | <0,05 | 4,91 | 6,384 | 7,06 | 7,00 |
| Фосфор по фосфатам, мг/дм ³ Phosphor by phosphates, mg/dm ³ | – | 0 | 1,60 | 2,081 | 2,30 | 2,28 |
| Mg ²⁺ , мг/дм ³ | 200 | не опр. Not determined | не опр. Not determined | 256,00 | 255,65 | 189,43 |
| Mg ²⁺ , мг/дм ³ | 50 | 29,20 | не опр. Not determined | 58,00 | 58,02 | 58,12 |
| Ca ²⁺ , мг/дм ³ | 120 | 72,10 | не опр. Not determined | 148,00 | 147,74 | 134,86 |
| K ⁺ , мг/дм ³ | – | не опр. Not determined | не опр. Not determined | 23,00 | 22,34 | 16,00 |
| Железо общее, мг/дм ³ Iron total, mg/dm ³ | 0,3 | 0,19 | 0,50 | 1,37 | 1,30 | 0,20 |
| Cu ²⁺ , мг/дм ³ | 1,0 | <0,002 | 0,010 | 0,045 | <0,002 | <0,002 |
| Zn ²⁺ , мг/дм ³ | 1,0 | <0,005 | 0,015 | 0,026 | 0,07 | <0,04 |
| Al ³⁺ , мг/дм ³ | 0,2 | не опр. Not determined | 0,30 | 0,12 | не опр. Not determined | не опр. Not determined |
| Нефтепродукты, мг/дм ³ Petroleum products, mg/dm ³ | 0,3 | 0,023 | 8,00 | 1,44 | 0,805 | 0,12 |
| АСПАВ, мг/дм ³ ASPAВ, mg/dm ³ | – | <0,01 | 10,00 | 2,14 | не опр. Not determined | не опр. Not determined |
| Жесткость, общая, ммоль/дм ³ Hardness total, mmol/dm ³ | – | 6,0 | не опр. Not determined | 13,00 | 12,01 | 11,55 |
| Минерализация, г/дм ³ Mineralization, g/dm ³ | 1,0 | ~0,5 | не опр. Not determined | 1,8 | 1,766 | 1,340 |

¹ Отбор проб осуществлялся 14.02.2022, 08.04.2022, 06.05.2022, 04.07.2022.² По данным ООО «Экологические технологии» (г. Новочеркасск, Ростовская обл.).¹ Sampling was carried out 14.02.2022, 08.04.2022, 06.05.2022, 04.07.2022.² According to the data of LLC "Ecological technologies" (Novocherkassk, Rostov regio)

Для выявления влияния сточных вод КОС «Кадамовские» на качественные показатели воды реки Тузлов произведена оценка изменения концентраций загрязняющих веществ в контрольных створах до выпуска сточных вод и после него. Результаты представлены на рисунке 2, показатели веществ, не отраженные на графике, оставались неизменными.

В сравнении с фоновыми значениями отмечено превышение фосфатов на 30%, нитритов на 6% в контрольном створе ниже выпуска сточных вод.

Анализ данных состава очищенных сточных вод в среднем по месяцам позволяет сделать вывод о постоянном превышении фосфатов более чем в 30 раз над установленными нормативами, сульфатов – более чем в 4 раза. Азот нитратов после биологической очистки значительно падает, однако наличие азота нитритов в количестве, более чем в 2 раза превышающем установленные нормативы, указывает на возможность последующего нитратного загрязнения водного объекта – приемника сточных вод.

Содержание тяжелых металлов в сточных водах отвечает предъявляемым требованиям согласно СанПиН 1.2.3685-21. После механической очистки (образец 1) превышены ПДК по железу и нефтепродуктам, в связи с чем в целях применения такой воды для орошения требуется пятикратное разбавление водой благоприятного состава. Учитывая, что целью исследований являлись показатели плодородия почв, орошение осуществляли неразбавленными сточными водами.

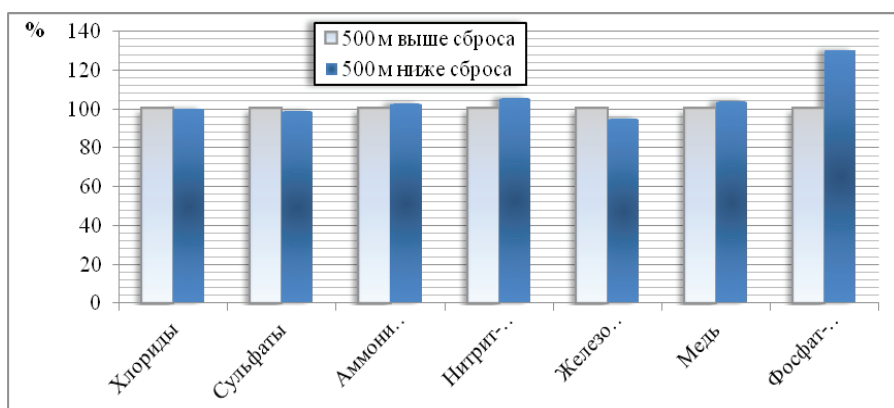


Рис. 2. Изменение показателей ионов в р. Тузлов в контрольных створах:

500 м выше и 500 м ниже сброса сточных вод КОС «Кадамовские» (по усредненным данным за 2022 г.)

Fig. 2. Change in ion indicators in the Tuzla River in the control sections:

500 m above and 500 m below the wastewater discharge of the “Kadamovskie” WWTP (according to the average data for 2022). There was an excess of phosphates by 30%, nitrite by 6% in the control

Ирригационные характеристики отобранных проб сточных вод по всем оцениваемым показателям характеризуют их как вполне пригодные:

1) по ирригационному коэффициенту (по Х. Стеблеру) вода после механической очистки имеет значение 1 (7,767), после биологической – 2 (7,816), что характеризует ее состояние как удовлетворительное;

2) оценка натриево-адсорбционного отношения показала значения $SAR < 10$ в обоих случаях, что указывает на очень низкую опасность накопления ионов натрия при орошении тестируемой водой;

3) оценка опасности магниевое осолонцевания почв при орошении тестируемой водой в обоих вариантах указывает на отсутствие последней.

Исходные почвы, отобранные для постановки эксперимента, по агрохимическим параметрам относятся к недеградированным, соответствующим территориальным показателям центрально-орошаемой природно-сельскохозяйственной зоны Ростовской области, согласно нормативам плодородия почв земель сельскохозяйственного назначения Семикаракорского района. Данные результатов анализа почв после орошения сточными водами разной степени очистки и природными водами (контроль) представлены в таблице 4.

Оценка агрохимических показателей почв по вариантам эксперимента показывает, что содержание количества гумуса при орошении сточными водами после механической очистки незначи-

тельно увеличилось, что, по-видимому, обусловлено содержанием в них органических веществ. В остальных случаях количество гумуса уменьшилось. Уменьшается и содержание фосфора и калия во всех вариантах. В почвах, орошаемых сточными водами, отмечается накопление азота. Во всех вариантах после полива почв регистрируется выщелачивание натрия, в наибольшей степени – в вариантах с образцом 2 для полива. В почвах в вариантах с образцами поливной воды 1 и 3 увеличивается содержание токсичных солей.

Таблица 4. Агрохимический состав исследуемых почв до и после орошения сточными водами разной степени очистки

Table 4. Agrochemical composition of the studied soils before and after irrigation with wastewater of different degrees of treatment

| Объект Object | Удельная электропроводность, мСм/см Specific Electrical conductivity, mS/cm | Na ⁺ , ммоль(экв)/кг Na ⁺ , mmol (eq)/kg | Σтоксич. солей, % Σtoxic salts | Гумус, % Humus, % | Содержание питательных веществ, мг/кг Nutrient content, mg/kg | | | pH водной вытяжки, ед. pH pH of water extract, pH unit |
|--|--|---|-----------------------------------|----------------------|--|-----------------------------------|--------------------|---|
| | | | | | Фосфор, подвиж. форма Phosphorus, moving form | Азот нитратов Nitrate nitrogen | Калий Potassium | |
| Норматив [12] / Norm | - | - | - | 3,20 | 25-32 | - | 376-470 | 7,5-8,3 |
| Исходная почва Initial soil | 0,186 | 0,391 | 0,055 | 3,30 | 48,3 | 34,4 | 391,2 | 7,71 |
| Почва после орошения водой образец ¹ Soil after irrigation with water, sample ¹ | 0,186 | 0,261 | 0,098 | 3,40 | 41,7 | 41,5 | 386,4 | 7,9 |
| Почва после орошения водой образец ² Soil after irrigation with water, sample ² | 0,185 | 0,085 | 0,050 | 3,10 | 38,30 | 46,2 | 351,2 | 8,06 |
| Почва после орошения водой образец ³ Soil after irrigation with water, sample ³ | 0,186 | 0,095 | 0,079 | 2,10 | 42,5 | 18,26 | 323,4 | 8,11 |

Выводы

Опыт орошения почв хозяйственно-бытовыми сточными водами продемонстрировал их влияние на агрономические критерии. Так, при орошении сточными водами после механической очистки регистрируется увеличение гумуса на 3,3% от исходного; в варианте с водой после биологической очистки отмечается падение содержания гумуса на 6%, что в сравнении с контрольным вариантом, где количество гумуса уменьшилось в 1,5 раза, является также положительным эффектом.

Во всех вариантах орошения сточными водами происходит накопление азота нитратов в почвах на 20% и более, в то время как при орошении природными водами последний уменьшается практически вдвое. Содержание фосфора и калия во всех вариантах уменьшается, что

указывает на недостаточную удобрительную ценность тестируемых вод по данным макроэлементам. Удельная электропроводность почв во всех вариантах практически не меняется. Тем не менее сумма токсичных солей увеличивается при орошении сточными водами, прошедшими только механическую очистку, на 78%, что является негативным показателем для качества черноземов. По содержанию натрия в почвах после орошения наблюдается улучшение показателей. Наилучший результат зарегистрирован при поливе сточными водами после биологической очистки.

В целом по всем параметрам наилучшее влияние на агрохимические показатели почв демонстрируют воды с муниципальных очистных сооружений после биологической очистки и дезинфекции.

Список использованных источников

1. Актуальные вопросы правового регулирования отношений в сфере водоотведения: стенограмма парламентских слушаний, 26 октября 2020 г. [Электронный ресурс]. URL: <http://council.gov.ru/media/files/wbvz0IeFDJHmSZZQJ5Y8oKep3AARy7If.pdf> (дата обращения: 10.03.2023).
2. Новиков В.М., Элик Э.И. Использование сточных вод на полях орошения. М.: Россельхозиздат, 1986. 80 с.
3. Pescod M.B. Wastewater treatment and use in agriculture – FAO irrigation and drainage paper 47. Rome, 1992. URL: <https://www.fao.org/3/t0551e/t0551e00.htm#Contents>, 2023.
4. Захаров Р.Ю., Волкова Н.Е. Экологическая оценка возможности использования очищенных сточных

References

1. Transcript of the parliamentary hearings on “Topical issues of legal regulation of relations in the field of sanitation” on October 26, 2020. [electronic resource]. URL: <http://council.gov.ru/media/files/wbvz0IeFDJHmSZZQJ5Y8oKep3AARy7If.pdf> (date of access: 03/10/2023).
2. Novikov V.M., Elik E.I. The use of wastewater in irrigation fields. M.: Rosselkhozizdat, 1986. 80 p.
3. Pescod M.B. Wastewater treatment and use in agriculture – FAO irrigation and drainage paper 47. Rome, 1992. URL: <https://www.fao.org/3/t0551e/t0551e00.htm#Contents>, 2023.
4. Zakharov R.Yu., Volkova N.E. Ecological assessment of the possibility of using treated wastewater from

вод КОС ПГТ «Советский» для целей орошения // Экология природопользования. 2019. № 2 (36). С. 126-134. DOI: 10.33075/2220-5861-2019-2-126-134. [Электронный ресурс]. URL: <https://msoe.ru/wp-content/uploads/2019/07/36-17.pdf>, 2022. (дата обращения: 10.03.2023).

5. **Боровой Е.П., Ходяков Е.А., Кременской В.И., Джапарова А.М.** Экологическая оценка полива очищенной сточной водой корнеплодов в Крыму // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса «Наука и высшее профессиональное образование». 2018. № 4 (52). С. 49-57. DOI: 10.32786/2071-9485-2018-04-6.

6. **Орлова С.С., Панкова Т.А.** Оценка эффективности использования сточных вод на орошении // Международный научно-исследовательский журнал. 2019. № 3(22). Ч. 2. С. 43-46.

7. **Безднина С.Я.** Регламентирование и улучшение качества оросительной воды // Повышение качества оросительной воды: Сборник трудов. М.: Агропромиздат, 1990. С. 4-11.

8. ГОСТ 17.1.2.03-90. Охрана природы (ССОП). Гидросфера. Критерии и показатели качества воды для орошения: введ. 1991-07-01. М.: Изд-во стандартов, 2001. 10 с.

9. Нормы технологического проектирования оросительных систем с использованием сточных вод: НТП-АПК 1.30.03.02-06: утв. Министерством сельского хозяйства и продовольствия Российской Федерации 1 января 2007 г.; введ. в действие 1 января 2007 г. М.: Росинформагротех, 2007. 53 с.

10. СанПиН 1.2.3685-21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания: утв. постановлением главного государственного санитарного врача РФ от 28 января 2021 г. № 2.

11. **Антипов-Каратаев И.Н., Кадер Г.М.** К методике определения мелиоративной оценки оросительной воды // Почвоведение. 1969. № 5. С. 69-101.

12. **Маматов С.А., Умаров Х.У., Мацура М.Е.** Критерии пригодности сточных вод на орошение сельхозкультур // Материалы Республиканской научно-практической конференции (г. Ташкент, 12 декабря 2011 г.). Ташкент: САНИИРИ, 2011. С. 70-76.

13. **Манжина С.А., Власов М.В.** Агроэкологическая оценка хозяйственно-бытовых сточных вод в целях их применения для орошения // Мелиорация и гидротехника. 2023. Т. 13, № 1. С. 132-149. DOI: 10.31774/2712-9357-2023-13-1-132-149.

14. Руководство 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.

15. Нормативы плодородия почв земель сельскохозяйственного назначения Ростовской области: приложение к постановлению Правительства Ростовской области от 14 января 2016 г. № 6 «Об утверждении нормативов плодородия почв земель сельскохозяйственного назначения Ростовской области». [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/561681600> (дата обращения: 10.03.2023).

Критерии авторства / Authorship criteria

Манжина С.А. выполнила практические и теоретические исследования, на основании которых провела обобщение и написала рукопись.

Манжина С.А. имеет на статью авторское право и несет ответственность за плагиат.

Поступила в редакцию / Received at the editorial office 17.05.2023

Поступила после рецензирования / Received after peer review 28.08.2023

Принята к публикации / Accepted for publication 28.08.2023

the village of Sovetsky for irrigation purposes // Ecology of Nature Management No. 2 (36), 2019. pp. 126-134. DOI: 10.33075/2220-5861-2019-2-126-134. [electronic resource]. URL: <https://msoe.ru/wp-content/uploads/2019/07/36-17.pdf>, 2022. (date of access: 03/10/2023).

5. **Borovoy E.P.** Ecological assessment of irrigation of purified wastewater of root crops in the Crimea / E.P. Borovoy, E.A. Khodyakov, V.I. Kremenskoy, A.M. Dzharparova // Proceedings of the Nizhnevolzhsky agro-university complex science and higher professional education. 2018. No. 4(52). P. 49-57. DOI: 10.32786/2071-9485-2018-04-6

6. **Orlova S.S., Pankova T.A.** Assessment of the effectiveness of wastewater use in irrigation // International Scientific Research Journal. 2019. No. 3(22). Part 2. P. 43-46.

7. **Bezdnina S.Ya.** Regulation and improvement of irrigation water quality / Collection. Improving the quality of irrigation water. M.: Agro-promizdat, 1990. P. 4-11. ISBN5-10-001383-4

8. GOST 17.1.2.03-90. Nature Protection (SSOP). Hydrosphere. Criteria and indicators of water quality for irrigation. Introduction. 1991-07-01. Moscow: Publishing House of Standards, 2001. 10 p. allgosts.ru "13/060/gost_17.1.2.03-90"

9. Norms of technological design of irrigation systems with the use of wastewater: NTP-APK 1.30.03.02-06: approved. The volume of agriculture and food grew. Federation 01.01.07: introduction. effective 01.01.07. Moscow: Rosinformagrotech, 2007. 53 p.

10. SanPiN 1.2.3685-21. Hygienic standards and requirements for ensuring the safety and (or) harmlessness of environmental factors for humans [Electronic resource]: approved by Resolution of the Chief State Sanitary Doctor of the Russian Federation dated January 28, 2021 No. 2. Access from the ISS "Techexpert: 6th generation" Intranet.

11. **Antipov-Karataev I.N., Kader G.M.** To the methodology of determining the irrigation water assessment // Soil Science, 1969. No. 5. pp. 69-101.

12. **Mamatov S.A., Umarov H.U., Matsura M.E.** Criteria for the suitability of wastewater for irrigation of agricultural crops // Materials of the republican scientific and practical conference. December 12, 2011 Tashkent: SANIIRI, 2011. P. 70-76.

13. **Manzhina S.A., Vlasov M.V.** Agroecological assessment of household wastewater in order to use them for irrigation. Land reclamation and hydraulic engineering. 2023. Vol. 13, No. 1. pp. 132-149. doi: 10.31774/2712-9357-2023-13-1-132-149.

14. Guidelines for the management of saline soils / Edited by R. Vargas, E.I. Pankova, S.A. Balyuk, P.V. Krasilnikov, G.M. Kha-sankhanova. FAO. Rome, 2017. – 153 p.

15. Standards of soil fertility of agricultural lands of the Rostov region: appendix to the decree of the Government of the Rostov region dated January 14, 2016 No. 6 "On approval of standards of soil fertility of agricultural lands of the Rostov region". [electronic resource]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/561681600> (date of application: 03/10/2023).

Manzhina S.A. carried out practical and theoretical research, on the basis of which she carried out a generalization and wrote a manuscript.

Manzhina S.A. has a copyright on the article and is responsible for plagiarism.