

МЕЛИОРАЦИЯ, ВОДНОЕ ХОЗЯЙСТВО И АГРОФИЗИКА

Обзорная статья

УДК 628.31:631.67.03

Российские и советские практики применения хозяйственно-бытовых сточных вод для орошения

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 исследования: выявление последствий применения сточных вод для орошения на основании ретроспективного анализа данных исследований, полученных на почвах нашего государства. **Обсуждение.** В работе приведен анализ советского и российского опыта использования для орошения сточных вод с городских очистных сооружений. Выделенные под их применение поля получили общее название «поля орошения». Многие наблюдения носили долгосрочный характер. Приведены данные по результатам орошения сточными водами городов Харьков, Одесса, Волжский, Алейск, Новочеркасск, а также Республики Крым и Саратовской области. Полученные данные указывали на благотворное влияние очищенных сточных вод на урожайность культур, отмечался прирост органического вещества почв. В то же время наблюдался прирост содержания в пахотном слое почв легкорастворимых солей, причем в большей степени в тяжелосуглинистых почвах. Регистрировалось увеличение содержания натрия в почвенно-поглощающем комплексе, что может в дальнейшем при неблагоприятных условиях создавать опасность осолонцевания. На примере опытов со сточными водами от муниципальных очистных сооружений г. Новочеркаска автором показана необходимость актуализации ранее проведенных исследований в связи со значительными изменениями в качественном составе хозяйственно-бытовых стоков. **Выводы.** Анализ имеющихся данных исследований, осуществленных в различные временные периоды, помог выявить основные критические показатели почв, изменение которых происходит при орошении хозяйственно-бытовыми сточными водами. Изменение состава сточных вод от муниципальных очистных сооружений (что связано как с изменением социально-экономической структуры городов, так и с техническими и технологическими параметрами очистных сооружений) указывает на необходимость периодической актуализации исследований по их пригодности для орошения.

Ключевые слова: хозяйственно-бытовые сточные воды, орошение, агрохимические показатели почв, вторичное осолонцевание почв, качественные характеристики вод, вторичное засоление почв.

Для цитирования: Манжина С. А. Российские и советские практики применения хозяйственно-бытовых сточных вод для орошения // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. 2024. Т. 94, № 3. С. 191–212.

LAND RECLAMATION, WATER MANAGEMENT AND AGROPHYSICS

Review article

Russian and Soviet practices of using domestic wastewater for irrigation

Svetlana A. Manzhina

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



Abstract. Purpose: to identify the consequences of using wastewater for irrigation based on a retrospective analysis of research data obtained on the soils of our country. **Discussion.** The analysis of the Soviet and Russian experience of using wastewater from municipal treatment facilities for irrigation is presented. The fields allocated for their use were generally called “irrigation fields”. Many observations were long-term. The data on the results of wastewater irrigation in the cities of Kharkov, Odessa, Volzhsky, Aleysk, Novocherkassk, as well as the Republic of Crimea and the Saratov Region are given. The data obtained indicated a beneficial effect of treated wastewater on crop yields; an increase in soil organic matter was noted. At the same time, an increase in the content of easily soluble salts in the arable layer of soils and especially, in heavy loamy soils was observed. An increase in the sodium content in the soil-absorbing complex was recorded, which may further create a danger of alkalization under unfavorable conditions. Using the example of experiments with wastewater from municipal treatment facilities in Novocherkassk, the need to update previously conducted studies in connection with significant changes in the qualitative composition of domestic wastewater is shown. **Conclusions.** Analysis of the available research data carried out in different time periods helped to identify the main critical soil parameters that change when irrigated with domestic wastewater. Changes in the composition of wastewater from municipal treatment facilities (which is associated with both changes in the socio-economic structure of cities and with technical and technological parameters of treatment facilities) indicate the need for periodic updating of studies on their suitability for irrigation.

Keywords: domestic wastewater, irrigation, agrochemical soil parameters, secondary soil alkalization, qualitative characteristics of water, secondary soil salinization

For citation: Manzhina S. A. Russian and Soviet practices of using domestic wastewater for irrigation. *Ways of Increasing the Efficiency of Irrigated Agriculture*. 2024;94(3):191–212. (In Russ.).

Введение. В последнее время во многих странах к использованию в сельскохозяйственном производстве все чаще привлекают вторичные водные ресурсы – сточные воды или, как их чаще называют за рубежом, регенерированные воды. По данным Продовольственной и сельскохозяйственной организации объединенных наций (ФАО) во многих странах (не менее 50) практикуется использование сточных вод разной степени очистки для орошения муниципальных ландшафтов и сельскохозяйственных полей¹. Особенно это актуально для стран с устойчивым дефицитом водных ресурсов, который усугубляется в рамках меняющегося климата. Лидирующие позиции по использованию сточных вод на орошение занимает

¹Руководство по безопасному использованию сточных вод и экскрементов в сельском хозяйстве и аквакультуре. Меры по охране здоровья людей [Электронный ресурс] / подготовили Дункан Мара, Сэнди Кэрнкросс. Женева: Всемирная организация здравоохранения, 1992. 100 с. URL: <https://iris.who.int/handle/10665/139701> (дата обращения: 30.08.2024).

Израиль, их доля составляет более 50 % всех ирригационных вод. Дефицит пресных вод в этой стране стимулировал активное освоение морских и сточных вод. Использование последних варьируется в зависимости от их качества и продвигается посредством различных финансовых механизмов [1].

Интерес к использованию хозяйственно-бытовых вод для орошения продиктован несколькими причинами, в их числе:

- возможность насыщения почвы питательными веществами и в первую очередь биогенами, содержащимися в них;
- доочистка образовавшихся стоков за счет сорбционной активности почв;
- возможность уменьшения затрат на доочистку;
- возможность уменьшения площадей земель, отведенных под биологические пруды, в которых размещают сточные воды после биологической очистки и дезинфекции;
- улучшение экологических показателей водных объектов-приемников сточных вод.

Последняя особенно актуальна для нашей страны, т. к. ситуация с несоответствием нормативам качества хозяйственно-бытовых сточных вод наблюдается практически повсеместно [2, 3]. Например в Курской области в 14 районах из 18 отмечены значительные превышения над нормативами фосфора в очищенных хозяйственно-бытовых сточных водах [4]. Сброс коммунальных сточных вод является основным источником загрязнения нитратами и фосфатами водных объектов Крымского полуострова [5, 6]. Такие же проблемы отмечаются и в Ростовской области [7–9]. Все это делает актуальным изыскание возможностей экологически обусловленного использования регенерированных вод в качестве поливных.

Применение сточных вод для полива может сопровождаться как положительными, так и отрицательными эффектами, что определяется не

только качеством самих стоков, но и типом почв, их экологическими характеристиками, условиями эксплуатации водоподающих систем [10–12].

В соответствии с изложенным целью исследований являлось выявление последствий применения сточных вод для орошения на основании ретроспективного анализа данных исследований, полученных на почвах указанных регионов.

Обсуждение. Опыты по использованию сточных вод в нашей стране проводились еще во времена СССР. Выделенные под их применение поля получили общее название «поля орошения» [13]. В советский период поля орошения устраивались в ряде хозяйств, где проводились наблюдения за последствиями орошения сточными водами сельскохозяйственных культур. Среди них: Крымская опытно-мелиоративная станция Украинского научно-исследовательского института гидротехники и мелиорации (УкрНИИГиМ); колхоз «Путь к коммунизму» (Энгельсский район, Саратовская область); совхоз «Аксацкий» (Аксацкий район, Ростовская область); подсобное хозяйство треста столовых г. Новочеркасска (Ростовская область); поселок «Радужный» Всесоюзного научно-производственного объединения по механизации орошения «Радуга» (Коломенский район, Московская область); колхоз «Рассвет» (Корочанский район, Белгородская область) [14, 15]. Многие наблюдения носили долговременный характер. Так, Ю. Ф. Насонов, оценивая исследования, проведенные на базе опытного поля Харьковского СХИ им. В. В. Докучаева, которое с 1973 года орошалось сточными водами с очистных сооружений г. Харькова, указывал на отсутствие негативного воздействия исследуемых вод на фракционный состав чернозема типичного, в т. ч. на агрономически ценные агрегаты [16]. Имеются положительные результаты многолетнего опыта использования очищенных хозяйственно-бытовых стоков для орошения сельскохозяйственных культур в зоне степей бывшей УССР. Полив водами от муниципальных очистных сооружений городов: Одесса, Кривой Рог, Донецк показал положительное

влияние сточных вод на содержание органического вещества в почве – его содержание повысилось в отдельных случаях на 0,3–1 %. Из нежелательных последствий отмечено повышение содержания поглощенного натрия, при этом прослеживается прямая зависимость между содержанием натрия в оросительной воде и почвенном поглощающем комплексе. Наблюдается увеличение объемной массы на 0,1–0,3 г/см³ за счет изменения структуры почвы, что особенно заметно при орошении водами с повышенной минерализацией [17].

Учитывая, что показатели химического состава сточных вод весьма неоднородны, наибольшая информативность достигается при учете как можно большего их числа. Изучено влияние хозяйственно-бытовых сточных вод с коммунальных очистных сооружений на состояние почв и урожайность сельскохозяйственных культур. Химический состав исследуемых вод представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Качественная характеристика хозяйственно-бытовых сточных вод различных городов (составлено автором по [18–23])

Table 1 – Qualitative characteristics of domestic wastewater in various cities (compiled by the author based on [18–23])

Вещество	Сточные воды с КОС муниципальных образований		
	г. Одесса	г. Волжский ¹	г. Алейск
1	2	3	4
ХПК, мг/дм ³	не опред.	45,40	101,1–1566,2
БПК, мг О ₂ /дм ³	не опред.	не опред.	не опред.
БПК ₅ , мг О ₂ /дм ³	не опред.	не опред.	не опред.
Растворенный кислород, мг/дм ³	не опред.	не опред.	не опред.
Сухой остаток, мг/дм ³	не опред.	635,60	440–450
Азот общий, мг/дм ³	–	4,20	16,7
NO ₃ [–] , мг/дм ³	не опред.	0,46	не опред.
NO ₂ [–] , мг/дм ³	не опред.	0,11	не опред.
NH ₄ ⁺ , мг/дм ³	не опред.	2,82	6,6
HCO ₃ [–] , мг/дм ³	414,8	150,06	221,5–229,0

Продолжение таблицы 1

Table 1 continued

1	2	3	4
CO_3^{2-} , мг/дм ³	22,5	–	не опред.
SO_4^{2-} , мг/дм ³	225,6	372,48	35,0
Cl^- , мг/дм ³	323,9	156,20	69,4–75,0
PO_4^{2-} , мг/дм ³	–	не опред.	не опред.
Фосфаты (P_2O_5), мг/дм ³	не опред.	0,15	28,3
Нефтепродукты, мг/дм ³	не опред.	не опред.	не опред.
Cu^{2+} , мг/дм ³	не опред.	не опред.	не опред.
Zn^{2+} , мг/дм ³	не опред.	не опред.	не опред.
Na^+ , мг/дм ³	273,7	130,41	22,0–26,0
Mg^{2+} , мг/дм ³	37,2	17,14	не опред.
Ca^{2+} , мг/дм ³	128,0	61,76	не опред.
K^+ , мг/дм ³	–	8,74	5,0–23,6
Минерализация, г/дм ³	1,447	0,900	0,4–0,5
Щелочность, ммоль/дм ³ или (рН, ед. рН)	8,1	8,1	7,0–8,1
Примечание – «1» – Среднее за 5 лет.			

Осуществляя орошение опытных участков сточными водами г. Одессы (качественный состав приведен в таблице 1), исследователи (Н. А. Крейда и др.) пришли к мнению, что орошение не привело к существенным изменениям плодородия южных малогумусных тяжелосуглинистых черноземов. При этом упоминается, что количество подвижных форм NPK изменилось незначительно, а содержание обменного натрия увеличилось в 2,5 раза по сравнению с неорошаемыми почвами, что привело к понижению доли кальция на 5,9 % в составе поглощенных оснований и к снижению водопрочности структурных агрегатов. На фоне незначительного увеличения содержания водорастворимых солей (на 0,013–0,016 %), засоление почв не регистрировалось, тем не менее отмечена тенденция к осолонцеванию. Вместе с тем подчеркивается высокая эффективность применения сточных вод для выращивания кормовых культур: урожайность люцерны повысилась на 11,6 т/га, зеленой массы горохоовсяной смеси – на 7,2 т/га. Улучшились и качественные показатели кормов: в сене люцерны повыси-

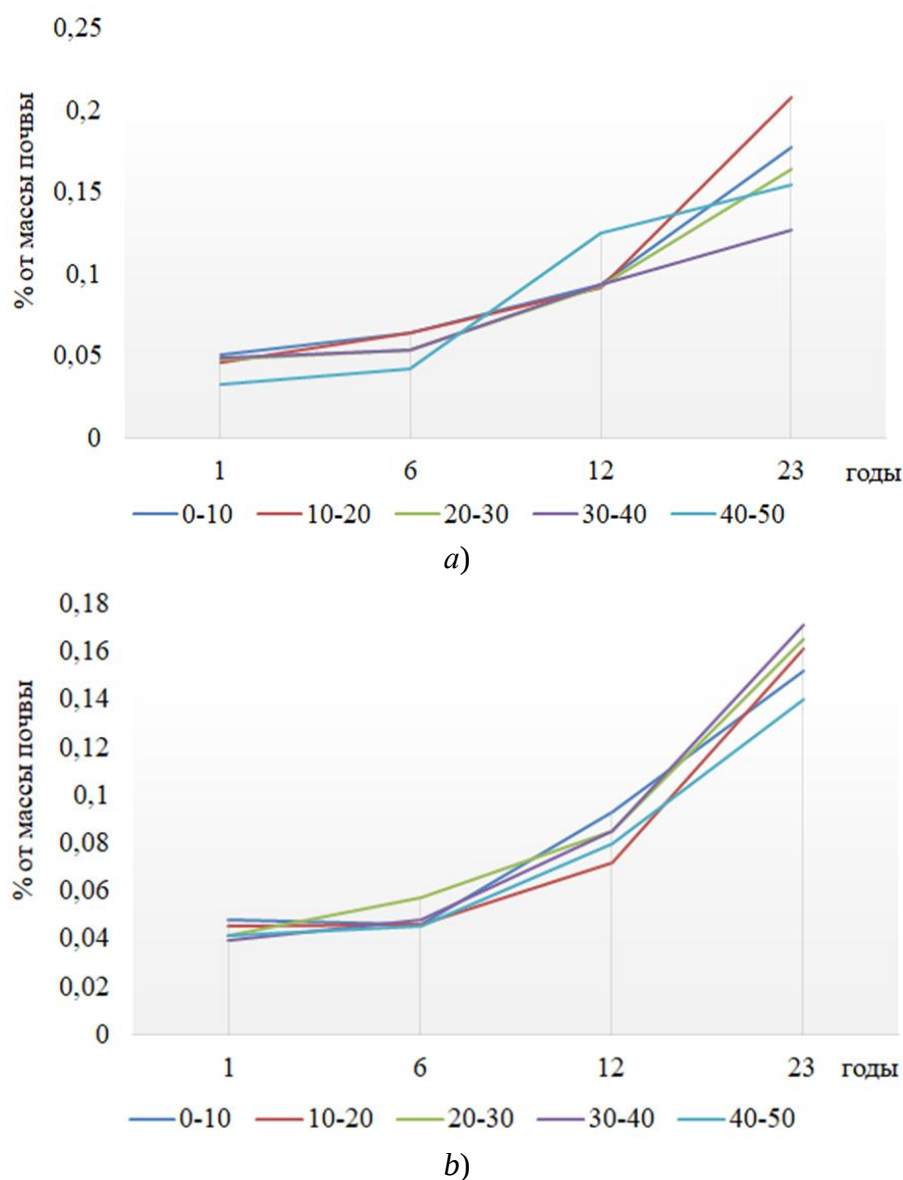
лось содержание NP , жира и протеина, в горохоовсяной смеси – сырого белка, протеина и жира [18]. Сочетание полученных изменений указывает на необходимость проведения мелиоративных мероприятий, позволяющих исключить риск осолонцевания земель.

В Волгоградской области в совхозе «Химик» Ленинского района на тяжелых суглинках и в совхозе «Волгоградский» Среднеахтубинского района на легких суглинках производилось орошение хозяйственно-бытовыми сточными водами г. Волжский в течение 23 лет, качественный состав сточных вод приведен в таблице 1. Многолетний опыт использования хозяйственно-бытовых сточных вод для орошения (первые 7 лет – затоплением, в дальнейшем – дождеванием, поливной нормой от 1680 до 3080 м³/га) показал, что в слое 0–20 см наблюдалось увеличение гумуса, а в 20–30 см – падение. Общее содержание гумуса в слое 0–50 см падает на 1,2 % в тяжелосуглинистых почвах и на 0,8 % – в легкосуглинистых. Содержание водорастворимых солей увеличилось по всем горизонтам в 3–4 раза (рисунок 1).

Наибольшее накопление солей наблюдается в тяжелосуглинистой почве в слое 10–20 см, в легкосуглинистой – в слоях 20–30 см и 30–40 см.

Почвы по содержанию гидролизуемого азота из разряда высокообеспеченных перешли в разряд низко- и очень низкообеспеченных, что указывает на необходимость дополнительного внесения азота ввиду недостаточного его содержания в растворах сточных вод. Уменьшилось количество доступного калия: с 72 до 45 мг/100 г в тяжелосуглинистых почвах и с 64 до 29 мг/100 г в легкосуглинистых почвах [19]. Анализируя полученные данные, необходимо отметить, что подобные явления наблюдаются и в зоне действия оросительных систем, подающих воду на полив из природных источников. При орошении происходит вымывание нитратной формы азота из ризосферы, повышение уровня грунтовых вод, что влечет изменение высоты капиллярной каймы и приводит к миграции солей от грунтовых вод в почвенный массив. Часто в черноземах регистрируется увеличе-

ние содержания ионов натрия и уменьшение ионов кальция, что создает опасность осолонцевания [20–22]. Указанные факты не дают возможности с полной уверенностью идентифицировать причину возникновения негативных последствий: сам процесс орошения или вид применяемых вод.



a) тяжелосуглинистые почвы; b) легкосуглинистые почвы

a) heavy loamy soils; b) light loamy soils

Рисунок 1 – Изменение количества водорастворимых солей в почвах участков, орошаемых хозяйственно-бытовыми сточными водами г. Волжский в разный временной период (построено автором по данным [18])

Figure 1 – Change in the amount of water-soluble salts in the soils of plots irrigated with domestic wastewater in town Volzhsky in different time periods (developed by the author based on data from [18])

В ОАО «Колпаковский» Алтайского края на лизиметрических площадках опытно-производственного участка с 1989 по 2003 г. осуществлялось орошение сточными водами г. Алейска (качественный состав приведен в таблице 1), образованными в результате смешения хозяйственно-бытовых и отработанных вод прачечных и котельных в системе городской канализации. Почвенный покров орошаемого участка представлен черноземами обыкновенными, незасоленными, относящимися к умеренно-засушливой и колючной степи Предальтайской провинции. По мощности гумусового горизонта почвы характеризуются как мало- и среднемошнные, по гранулометрическому составу – как среднесуглинистые. Опыт заключался в исследовании степени очистки сточных вод при прохождении через массивы участка, засеянного многолетними травами и в наблюдении влияния сточных вод на виталитет растений и качественные характеристики почв. Поливная норма определена в $3200 \text{ м}^3/\text{га}$ и соответствовала производственной [23]. За исследуемый период в результате орошения отмечена разница в содержании подвижного фосфора: в начале исследований – $162,8 \text{ мг/кг}$ почвы и на конец исследования – $159,0 \text{ мг/кг}$ (всего на 3 %, что может быть сопоставимо с лабораторной погрешностью). При этом колебание фосфора по годам не показало никакой закономерности в его уменьшении и коррелировалось с выносом культивируемых растениями. Изменение обменного калия на начало и конец исследований с $294,5$ до $277,0 \text{ мг/кг}$ (всего на 6 %) соответственно также не имеет значимых показателей. Плотность пахотного слоя орошаемого чернозема возросла с $1,27$ до $1,32 \text{ г/см}^3$ в результате ухудшения его структуры, что привело к уменьшению водопроницаемости, что, впрочем, не дает четкой зависимости от качества ирригационной воды [24], т. к. подобные изменения регистрируются и на фоне орошения из природных источников. При этом отмечается увеличение содержания гумуса на орошаемых сточными водами участках по сравнению с контролем и рост урожайности возделываемых культур за

счет поступления органики со сточными водами [25]. Сопоставление данных емкости поглощения за период с 1989 по 2002 г. показало ее уменьшение с 32–20 ммоль/100 г до 18,4 мг-экв/100 г почвы на неорошаемом участке, до 18,0 ммоль/100 г – на орошаемом вегетационными поливами участке, до 18,8 ммоль/100 г – на участке с круглогодичным орошением [26]. Содержание поглощенного Na в исходном состоянии почвы (1989 г.) составляло 0,28–0,34 ммоль/100 г почвы (или 0,9–1,7 %). К 2002 г. содержание натрия в пахотном горизонте неорошаемого участка не изменилось и составило 0,3 мг-экв/100 г почвы. На орошаемых участках увеличилось: при вегетационных поливах до 0,75 ммоль/100 г почвы, на фоне круглогодичных поливов до 1,0 ммоль/100 г почвы. В метровом слое эти значения равны 0,12; 1,22 и 1,4 ммоль/100 г, что соответствует емкости поглощения 1,4; 4,2 и 5,3 %. Увеличение содержания обменного натрия указывает на протекание процессов вторичного осолонцевания орошаемых участков. Содержание легкорастворимых солей в почвах опытных участков колебалось по годам, но к концу исследований находилось на тех же уровнях, что и в исходном состоянии почв. Урожайность сена многолетних трав имела наибольшие показатели на участке с круглогодичным орошением и наименьшие – на контроле [26].

В Республике Крым, где дефицит пресных вод, пригодных к орошению, стимулирует адаптацию к использованию для этих целей коммунально-бытовых стоков, был проведен ряд исследований по их агрономической ценности и экологической безопасности [27–29]. Первые работы в этом направлении на полуострове проводились еще в 70-х годах прошлого столетия. Использование городских сточных вод в Республике Крым на сельскохозяйственных полях орошения практиковалось в Сакском, Симферопольском и Ленинском районах [17]. На всех опытных полях наблюдалось повышение урожайности возделываемых культур: кукурузы на силос, озимой пшеницы, кормовой свеклы, озимого ячменя, люцерны, многолетних трав [30–32].

В Саратовской области (Марковский район) проведены исследования на темно-каштановых маломощных малогумусных почвах, находящихся в зоне действия Комсомольской оросительной системы. Почвы – суглинистые на бурой карбонатной глине, на древнеаллювиальных слоистых отложениях. В процессе исследования на опытных участках выращивалась люцерна. Полив осуществлялся в трех вариантах: 1) первый полив сточной водой, далее – природной; 2) первый полив разбавленной сточной водой 1:1, далее – природной; 3) полив только природной водой. Прибавка урожайности зеленой массы люцерны на участках, где применялась сточная вода для орошения, составила порядка 20,9 % по сравнению с вариантом полива только чистой водой [33].

Учеными Южного научно-исследовательского института гидротехники и мелиорации (ЮжНИИГиМ, впоследствии ФГБНУ «РосНИИПМ») был проведен полевой опыт орошения очищенными сточными водами КОС г. Новочеркасска в 1978–1980 гг. В условиях эксперимента на лизиметрических площадках на почвах Аксайского района, представленных предкавказскими карбонатными тяжелосуглинистыми черноземами, содержащими гумус в верхнем слое в количестве 4,24 % с уменьшением в метровом слое до 1,32 % были исследованы показатели урожайности сельскохозяйственных растений: сои (сорт «Амурская 310») и кукурузы (сорт «Краснодарский 303»). Результаты исследований приведены в таблице 2.

Результаты наблюдения за растениями показывают наибольшую прибавку урожайности в вариантах с поливом природной водой из реки Аксай, тем не менее полив сточными водами показал лучшие данные, чем выращивание культур без орошения в климатических условиях региона, что может расцениваться в качестве альтернативы забору природных вод при возникновении дефицита последних.

**Таблица 2 – Влияние орошения очищенными сточными водами
с муниципальных очистных сооружений
г. Новочеркаска на культивируемые растения**

**Table 2 – Effect of irrigation with treated wastewater from municipal
treatment facilities in Novocherkassk on cultivated plants**

Условия водообеспечения	Соя Амурская 310				Кукуруза Краснодарский 303	
	Летний высев ¹		Весенний высев			
	Урожай- ность, ц/га	Количе- ство, шт./м ²	Урожай- ность, ц/га	Количе- ство, шт./м ²	Урожай- ность, ц/га	Количе- ство, шт./м ²
Без орошения	19,3	66	11,2	66	36,5	10
СВ (пов.)	31,5	65	22,5	65	63,3 ⁴	10
Вода р. Аксай (пов.)	40,9	55	28,2	60	71,3 ⁵	10
СВ (в/п)	–	–	34,2 ²	65	–	–
Вода р. Аксай (в/п)	–	–	26,6 ³	70	–	–
Примечание: пов. – поверхностный полив; в/п – внутрпочвенный полив; «1» – оросительная норма 120 мм, поливная норма: 1 полив – 40 мм, 2 полив – 80 мм; «2» – поливная норма 70 мм; «3» – поливная норма 80 мм; «4» – оросительная норма 180 мм, поливная норма: 1 полив – 100 мм, 2 полив – 80 мм; «5» – оросительная норма 215 мм, поливная норма: 1 полив – 135 мм, 2 полив – 80 мм.						

На период проведения опыта был сделан вывод о малопригодности исследуемых сточных вод для орошения сельскохозяйственных культур в связи с высоким содержанием гидрокарбонатов, аммонийного азота и повышенной щелочностью, которая на тот период функционирования канализационных очистных сооружений регистрировалась в пределах pH 8,5–8,68. В современный период процесс очистки сточных вод на муниципальных канализационных очистных сооружений города претерпел значительные изменения. По усредненным данным лаборатории КОС ООО «Экологические технологии» содержание опасных для ощелачивания почв, гидрокарбонатов уменьшилось более чем вдвое по сравнению с данными 1978–1980 гг., аммонийный азот достиг ныне действующих допустимых показателей ПДК для водных объектов рыбохозяйственного назначения [34], а его количество перед выпуском сточных вод в реку Тузлов (после биологических прудов) находится на уровне 0,2 и менее, что соответствует 0,4 ПДК, pH – в среднем на уровне 7,9, при этом наиболее щелочная реакция у очищенных сточных вод наблюдается в зимне-весенний период (с января по май),

когда рН достигает показателей 8,2, а далее до конца года рН регистрируется на уровне 7,7 (рисунки 2, 3).

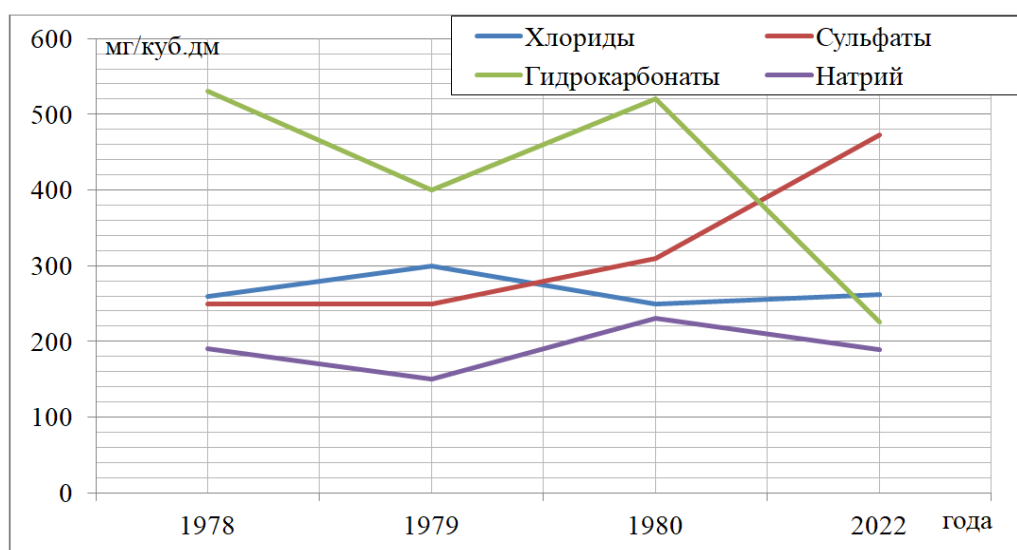


Рисунок 2 – Сопоставление солевого состава очищенных сточных от муниципальных очистных сооружений г. Новочеркасска за разный период их эксплуатации
Figure 2 – Comparison of the salt composition of treated wastewater from municipal treatment facilities in Novocherkassk for different periods of their operation

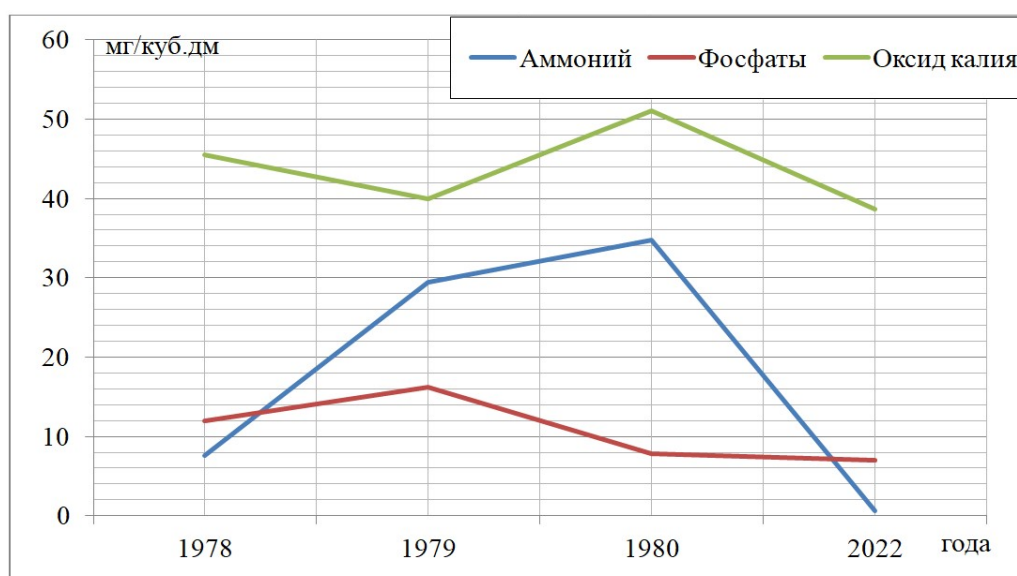


Рисунок 3 – Сопоставление удобрительных компонентов очищенных сточных от муниципальных очистных сооружений г. Новочеркасска за разный период их эксплуатации
Figure 3 – Comparison of fertilizer components of treated wastewater from municipal treatment facilities in Novocherkassk for different periods of their operation

В химическом составе сточных вод регистрируется их динамическое изменение во времени по некоторым значимым показателям, особенно это заметно по потенциальным питательным веществам для растений, например содержание нитратов значительно увеличивается после пребывания вод в биологических прудах, по сравнению с состоянием после биологической очистки. Напротив, содержание фосфатов падает практически вдвое, что, впрочем, не позволяет их довести до действующих значений ПДК. Среднестатистические показатели состава сточных вод города Новочеркаска в 1979 и 2022 гг. приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Среднестатистические показатели состава сточных вод города Новочеркаска в 1979 и 2022 гг.

Table 3 – Average statistical indicators of the wastewater composition in Novocherkassk in 1979 and 2022

Вещество	Год		
	1979 ¹	2022 ²	
		после дезинфекции ³	перед выпуском ⁴ в р. Тузлов
1	2	3	4
ХПК, мг/дм ³	400	37,50	38,64
БПК, мг О ₂ /дм ³	150,00	8,52	2,83
Взвешенные вещества, мг/дм ³	200,00	н/о	23,69
Растворенный кислород, мг/дм ³	11,96	8,35	8,235
Сухой остаток, мг/дм ³	85,00	1484,5	1306,167
NO ₃ ⁻ , мг/дм ³	3,474	0,55	26,782
NO ₂ ⁻ , мг/дм ³	0,238	0,14	0,07
NH ₄ ⁺ , мг/дм ³	25,00	0,59	0,27
HCO ₃ ⁻ , мг/дм ³	400,00	225,38	н/о
SO ₄ ²⁻ , мг/дм ³	5,25	473,24	355,71
Cl ⁻ , мг/дм ³	18,54	261,63	230,675
PO ₄ ²⁻ , мг/дм ³	16,20	7,00	3,674
Нефтепродукты, мг/дм ³	8,50	0,12	0,051
СПАВ, мг/дм ³	8,30	н/о	0,023
Cu ²⁺ , мг/дм ³	н/о	< 0,1	0,002
Zn ²⁺ , мг/дм ³	н/о	< 0,04	< 0,01
Al ³⁺ , мг/дм ³	н/о	н/о	< 0,04
Железо общее, мг/дм ³	н/о	н/о	0,26

Продолжение таблицы 3

Table 3 continued

1	2	3	4
Na ⁺ , мг/дм ³	н/о	189,43	н/о
Mg ²⁺ , мг/дм ³	371,00	58,12	н/о
Ca ²⁺ , мг/дм ³	331,00	134,86	н/о
K ⁺ , мг/дм ³	н/о	16,00	н/о
Жесткость, общая, ммоль/дм ³	н/о	11,55	н/о
Минерализация, г/дм ³	н/о	1,340	н/о
Щелочность, ммоль/дм ³ или (рН, ед. рН)	7,9	3,80	7,96
Примечание – «1» – Создать и отработать в опытно-производственных условиях технологические процессы использования различных видов сточных вод (кроме животноводческих стоков) в целях орошения сельскохозяйственных угодий и охраны водных ресурсов: отчет о НИР (заключ. за 1976–1980 гг.): Т. 1. Режим орошения: 1.25/0.85.01.06.06 / ЮжНИИГиМ; рук. Михайлин А. С. Новочеркасск, 1980. 219 с. Исполн.: Еремеев Ю. Н. № гос. регистрации 78011726.; «2» – по данным аналитической лаборатории Кадамовских очистных сооружений ООО «Экологические технологии»; «3» – по данным эколого-аналитической лаборатории ФГБНУ «РосНИИПМ»; «4» – после пребывания в биологических прудах.			

Проведение опытов с актуальным составом воды очистных сооружений г. Новочеркаска показало, что в варианте с водой после биологической очистки отмечается падение содержания гумуса на 6 %, что в сравнении с контрольным вариантом (орошение водой из реки Дон, где количество гумуса уменьшилось в 1,5 раза) является положительным эффектом, указывающим на замедление процесса дегумификации за счет питательных веществ, присутствующих в сточных водах [9]. Во всех вариантах орошения сточными водами отмечено накопление азота нитратов в почвах на 20 % и более, в то время как при орошении природными водами последний уменьшается практически вдвое. Значимого изменения количества токсичных солей не регистрировалось [9].

Приведенные данные по составу сточных вод с муниципальных очистных сооружений города Новочеркаска указывают на необходимость актуализации исследований, касающихся возможности использования их для орошения сельскохозяйственных культур.

Выводы. Анализ имеющихся данных исследований, осуществленных в различные временные периоды, помог выявить основные критические показатели почв, изменение которых происходит при орошении хозяйственно-бытовыми сточными водами. В большинстве случаев применение сточных вод стимулировало процессы осолонцевания в почвах. Однако полученные данные не имеют однозначной трактовки, т. к. процессы осолонцевания в почвах могут развиваться и на фоне полива природными водами.

Изменение состава сточных вод от муниципальных очистных сооружений, что связано как с изменением социально-экономической структуры городов, так и с техническими и технологическими параметрами очистных сооружений, указывает на необходимость периодической актуализации исследований по их пригодности для орошения.

Список источников

1. Манжина С. А. Основные стимулы для использования сточных вод в целях орошения: лучшие мировые практики // Мелиорация и гидротехника [Электронный ресурс]. 2023. Т. 13, № 2. С. 145–167. URL: <http://www.rosniipm-sm.ru/article?n=1360> (дата обращения: 28.06.2024). DOI: 10.31774/2712-9357-2023-13-2-145-167. EDN: AKZLEA.
2. Пупырев Е. И. Сбор и очистка хозяйственно-бытовых сточных вод: критический обзор достигнутых результатов // Вестник МГСУ. 2019. Т. 14, № 11(134). С. 1365–1407. DOI: 10.22227/1997-0935.2019.11.1365-1407. EDN: KRADMF
3. Данилович Д. А., Эпов А. Н., Канунникова М. А. Анализ данных работы очистных сооружений российских городов – основа для технологического нормирования // Наилучшие доступные технологии водоснабжения и водоотведения. 2015. № 3–4. С. 18–28. EDN: XQVCHF.
4. Волкова С. В., Сивак Е. Е., Панченко И. В. Сельскохозяйственное использование сточных вод как перспективное направление их утилизации // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2009. № 3. С. 66–69. EDN: KZVHUL.
5. Иванютин Н. М., Подовалова С. В. Загрязнение водных объектов Крыма сточными водами // Экология и строительство. 2018. № 1. С. 4–8. DOI: 10.24411/2413-8452-2018-00001. EDN: USCQVC.
6. Захаров Р.Ю., Волкова Н.Е. Динамика качественных показателей очищенных сточных вод в Крымском регионе // Строительство и техногенная безопасность. 2017. № 7(59). С. 141–145. EDN: ZWBTMP.
7. Капнинов А. С., Хайбуллаев А. С. Оценка качества воды р. Тузлов по макрозообентосу // Международный студенческий научный вестник [Электронный ресурс]. 2016. № 4, ч. 3. С. 371–373. URL: <https://eduherald.ru/ru/article/view?id=16290> (дата обращения: 27.06.2024). EDN: WCIXTF.
8. Стрельцова Н. Б., Шептиев С. А. Особенности эвтрофирования малых рек

Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. 2024. Т. 94, № 3. С. 191–212.
Ways of Increasing the Efficiency of Irrigated Agriculture. 2024. Vol. 94, no. 3. P. 191–212.

Ростовской области // Экология и водное хозяйство. 2020. № 4(07). С. 12–21. DOI: 10.31774/2658-7890-2020-4-12-21. EDN: ZMBPXY.

9. Манжина С.А. Оценка агрономических критериев почв после орошения сточными водами от муниципальных очистных сооружений // Природообустройство [Электронный ресурс]. 2023. № 5. С. 20–27. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=59763025> (дата обращения: 25.06.2024). DOI: 10.26897/1997-6011-2023-5-20-27. EDN: VSOXTU.

10. Урожайность и качество зеленой массы кукурузы при многолетнем орошении сточными водами г. Александрия (Египет) / А. В. Шуравилин, С. А. Койка, Гома Ботхина Саад, Н. Н. Бушуев // Плодородие. 2011. № 1. С. 38–40. EDN: NCQKGN.

11. Бушуев Н. Н., Шуравилин А. В., Раджех Амин Яхъя Мохаммед. Влияние водного режима и химического состава оросительной воды на загрязнение горной красно-бурой почвы тяжелыми металлами в северном Йемене // Плодородие. 2010. № 4. С. 46–48. EDN: MUTURB.

12. Воробьева Р. П., Кирейчева Л. В., Тиньгаев А. В. Влияние орошения сточными водами на содержание тяжелых металлов в почве // Алтай: экология и природопользование: материалы III российско-монгольской научной конференции / БГПУ им. В. М. Шукшина. Барнаул, 2004. С. 5–10. EDN: ZFYFGZ.

13. Новиков В. М., Элик Э. И. Использование сточных вод на полях орошения. М.: Россельхозиздат, 1986. 80 с.

14. Суровикина А. П., Слабунова А. В. Отечественный опыт использования хозяйственно-бытовых сточных вод // Экология и водное хозяйство [Электронный ресурс]. 2022. Т. 4, № 2. С. 32–48. URL: https://elibrary.ru/download/elibrary_48659488_54866464.pdf (дата обращения: 16.02.2024). DOI: 10.31774/2658-7890-2022-4-2-32-48. EDN: IKCEHK.

15. Ратников А. А. Использование бытовых сточных вод для орошения зеленых насаждений // Мир климата [Электронный ресурс]. 2014. № 86. С. 120–128. URL: <https://mir-klimata.info/i/pdfjs/web/viewer.html?file=https://mir-klimata.info/wp-content/uploads/2020/09/86.pdf> (дата обращения: 02.03.2022).

16. Насонов Ю. Ф. Плодородие чернозема типичного при длительном орошении сточными водами г. Харьков // Использование сточных вод для орошения сельскохозяйственных культур: межвуз. сб. науч. тр. / Волгоградский с.-х. ин-т. Волгоград, 1990. С. 27–30.

17. Кременской В. И., Вердыш М. В. Сточные воды как перспективный ресурс повышения водообеспеченности Республики Крым // Природообустройство. 2016. № 5. С. 72–77. EDN: XHZZSL.

18. Влияние орошения промышленными и городскими сточными водами на плодородие черноземов южных / Н. А. Крейда, Н. И. Лядова, В. Ф. Голубченко, Э. А. Адлан // Использование сточных вод для орошения сельскохозяйственных культур: межвуз. сб. науч. тр. / Волгоградский с.-х. ин-т. Волгоград, 1990. С. 21–27.

19. Марымов В. И., Сегиенко Л. И., Голодов В. И. Опыт длительного орошения хозяйственно-бытовыми сточными водами г. Волжского в совхозе «Химик» Ленинского района Волгоградской области // Использование сточных вод для орошения сельскохозяйственных культур: межвуз. сб. науч. тр. / Волгоградский с.-х. ин-т. Волгоград, 1990. С. 9–15.

20. Кушнарева А. В., Безуглова О. С. Влияние орошения на свойства почв. Обзор // Живые и биокосные системы. 2023. № 46. С. 45–59. URL: <https://jbks.ru/archive/issue-46/article-4>. DOI: 10.18522/2308-9709-2023-46-4.

21. Новикова А. Ф. Мелиоративное состояние орошаемых земель Ростовской области // Почвоведение. 2008. № 5. С. 599–613.

22. Зайдельман Ф. Р., Давыдова И. Ю. Причины ухудшения химических и физи-

Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. 2024. Т. 94, № 3. С. 191–212.
Ways of Increasing the Efficiency of Irrigated Agriculture. 2024. Vol. 94, no. 3. P. 191–212.

ческих свойств черноземов при орошении неминерализованными водами // Почвоведение. 1989. № 11. С. 101–108.

23. Воробьева Р. П., Макарычев С. В., Алешина Н. И. Сельскохозяйственное использование городских сточных вод // Природообустройство. № 5. 2009. С. 32–35. EDN: KZTJMT.

24. Алешина Н. И., Макарычев С. В. Использование городских сточных вод для орошения многолетних трав // Вестник Алтайского ГАУ. 2007. № 10(36). С. 23–28.

25. Алешина Н. И., Макарычев С. В., Томаровский А. А. Влияние круглогодичного использования сточных вод на агрохимические и агрофизические свойства черноземов // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2013. № 3(101). С. 32–37. EDN: OHJCCG.

26. Макарычев С. В., Алешина Н. И. Экологические особенности орошения многолетних трав городскими сточными водами // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2015. № 9(131). С. 53–57. EDN: UIWGLR.

27. Перспективы использования для орошения очищенных канализационных стоков и коллекторно-дренажных вод на территории Крыма / В. С. Тарасенко, В. С. Паштецкий, В. И. Ляшевский [и др.]. Симферополь: НИИСХ Крыма, 2017. 32 с.

28. Сейтумеров Э. Э. Перспективы использования очищенных канализационных стоков и коллекторно-дренажных вод для орошения на территории Крыма // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. 2016. № 2(62). С. 166–170. EDN: WBMQGH.

29. Волкова Н.Е., Захаров Р.Ю. Использование очищенных сточных вод в Крыму: опыт прошлого, реалии настоящего // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. 2017. № 3(27). С. 144–159. URL: https://rosniipm-sm.ru/dl_files/udb_files/udb4-rec289-field12.pdf (дата обращения: 15.02.2024). EDN: ZCQAQF.

30. Использование сточных вод для орошения / Ю. Г. Бескровный, М. В. Козинец, В. И. Бойко [и др.] / под ред. Ю. Г. Бескровного. Киев: Урожай, 1989. 160 с.

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

32. Захаров Р. Ю., Волкова Н. Е. Экологическая оценка возможности использования очищенных сточных вод КОС ПГТ «Советский» для целей орошения. // Экология природопользования [Электронный ресурс]. 2019. № 2 (36). С. 126–134. URL: <https://msoe.ru/wp-content/uploads/2019/07/36-17.pdf> (дата обращения: 10.03.2023). DOI: 10.33075/2220-5861-2019-2-126-134.

33. Орлова С. С., Панкова Т. А. Оценка эффективности использования сточных вод на орошении // Международный научно-исследовательский журнал. 2014. № 3(22), ч. 2. С. 43–46.

34. Манжина С. А., Власов М. В. Агроэкологическая оценка хозяйственно-бытовых сточных вод в целях их применения для орошения // Мелиорация и гидротехника [Электронный ресурс]. 2023. Т. 13, № 1. С. 132–149. URL: <http://www.rosniipm-sm.ru/article?n=1345> (дата обращения: 28.06.2024). DOI: 10.31774/2712-9357-2023-13-1-132–149. EDN: VCPZED.

References

1. Manzhina S.A., 2023. [Key incentives for using wastewater for irrigation purposes: best world practices]. *Melioratsiya i gidrotekhnika*, vol. 13, no. 2, pp. 145–167, available: <http://www.rosniipm-sm.ru/article?n=1360> [accessed 28.06.2024], DOI: 10.31774/2712-9357-2023-13-2-145-167, EDN: AKZLEA. (In Russian).

2. Pupyrev E.I., 2019. *Sbor i ochistka khozyaystvenno-bytovykh stochnykh vod: kriticheskiy obzor dostignutykh rezul'tatov* [Collection and treatment of domestic wastewater: a critical review of the achieved results]. *Vestnik MGSU* [Bulletin of MGSU], vol. 14, no. 11(134), pp. 1365-1407, DOI: 10.22227/1997-0935.2019.11.1365-1407, EDN: KRADMF. (In Russian).

3. Danilovich D.A., Epov A.N., Kanunnikova M.A., 2015. *Analiz dannykh raboty ochistnykh sooruzheniy rossiyskikh gorodov – osnova dlya tekhnologicheskogo normirovaniya* [Data analysis of the treatment facilities of Russian cities is the basis for technological standardization]. *Nailuchshie dostupnye tekhnologii vodosnabzheniya i vodootvedeniya* [Best Available Technologies for Water Supply and Discharge], no. 3-4, pp. 18-28, EDN: XQVCHF. (In Russian).

4. Volkova S.V., Sivak E.E., Panchenko I.V., 2009. *Sel'skokhozyaystvennoe ispol'zovanie stochnykh vod kak perspektivnoe napravlenie ikh utilizatsii* [Agricultural use of wastewater as a promising direction for its utilization]. *Vestnik Kurskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii* [Bulletin of Kursk State Agricultural Academy], no. 3, pp. 66-69, EDN: KZVHUL. (In Russian).

5. Ivanyutin N.M., Podovalova S.V., 2018. *Zagryaznenie vodnykh ob'ektov Kryma stochnymi vodami* [Pollution of water bodies in the Crimea with wastewater]. *Ekologiya i stroitel'stvo* [Ecology and Construction], no. 1, pp. 4-8, DOI: 10.24411/2413-8452-2018-00001, EDN: USCQVC. (In Russian).

6. Zakharov R.Yu., Volkova N.E., 2017. *Dinamika kachestvennykh pokazateley ochishchennykh stochnykh vod v Krymskom regione* [Dynamics of quality indicators of the purified sewage in the Crimean region]. *Stroitel'stvo i tekhnogennaya bezopasnost'* [Construction and Technogenic Safety], no. 7(59), pp. 141-145, EDN: ZWBTMP. (In Russian).

7. Kapninov A.S., Khaibullaev A.S., 2016. *Otsenka kachestva vody r. Tuzlov po makrozoobentosu* [Assessment of water quality of the Tuzlov River by macrozoobenthos]. *Mezhdunarodnyy studencheskiy nauchnyy vestnik* [International Student Scientific Bulletin], no. 4, pt. 3, pp. 371-373, available: <https://eduherald.ru/ru/article/view?id=16290> [accessed 27.06.2024], EDN: WCIXTF. (In Russian).

8. Streltsova N.B., Sheptiev S.A., 2020. *Osobennosti evtrofirovaniya malykh rek Rostovskoy oblasti* [Features of eutrophication of small rivers in the Rostov region]. *Ekologiya i vodnoe khozyaystvo* [Ecology and Water Management], no. 4(07), pp. 12-21, DOI: 10.31774/2658-7890-2020-4-12-21, EDN: ZMBPXY. (In Russian).

9. Manzhina S.A., 2023. *Otsenka agronomicheskikh kriteriev pochv posle orosheniya stochnymi vodami ot munitsipal'nykh ochistnykh sooruzheniy* [Assessment of agronomic criteria of soils after irrigation with wastewater from municipal wastewater treatment plants]. *Prirodobustroystvo* [Environmental Engineering], no. 5, pp. 20-27, available: <https://elibrary.ru/item.asp?id=59763025> [accessed 25.06.2024], DOI: 10.26897/1997-6011-2023-5-20-27, EDN: VSOXTU. (In Russian).

10. Shuravilin A.V., Koika S.A., Goma Botkhina Saad, Bushuev N.N., 2011. *Urozhaynost' i kachestvo zelenoy massy kukuruzy pri mnogoletnem oroshenii stochnymi vodami g. Aleksandriya (Yegipet)* [Yield and quality of corn green mass under long-term irrigation with wastewater from Alexandria (Egypt)]. *Plodorodie* [Fertility], no. 1, pp. 38-40, EDN: NCQKGH. (In Russian).

11. Bushuev N.N., Shuravilin A.V., Rajeh Amin Yahya Mohammed, 2010. *Vliyanie vodnogo rezhima i khimicheskogo sostava orositel'noy vody na zagryaznenie gornoy krasnoburoy pochvy tyazhelymi metallami v severnom Yemene* [Influence of water regime and irrigation water chemical compound on pollution of mountain red-brown soil with heavy metals in northern Yemen]. *Plodorodie* [Fertility], no. 4, pp. 46-48, EDN: MUTURB. (In Russian).

12. Vorobyova R.P., Kireycheva L.V., Tingaev A.V., 2004. *Vliyanie orosheniya stochnymi vodami na sodержание tyazhelykh metallov v pochve* [The effect of irrigation with wastewater on the content of heavy metals in the soil]. *Altay: ekologiya i prirodopol'zovanie*:

materialy III Rossiysko-mongol'skoy nauchnoy konferentsii [Altai: Ecology and Nature Management: Proc. of the III Russian-Mongolian Scientific Conference]. BSPU named after V. M. Shukshin, Barnaul, pp. 5-10, EDN: ZFYFGZ. (In Russian).

13. Novikov V.M., Elik E.I., 1986. *Ispol'zovanie stochnykh vod na polyakh orosheniya* [Wastewater Use in Irrigation Fields]. Moscow, Rosselkhozizdat Publ., 80 p. (In Russian).

14. Surovikina A.P., Slabunova A.V., 2022. [Domestic experience of household wastewater use]. *Ekologiya i vodnoe khozyaystvo*, vol. 4, no. 2, pp. 32-48, available: https://elibrary.ru/download/elibrary_48659488_5.4866464.pdf [accessed 16.02.2024], DOI: 10.31774/2658-7890-2022-4-2-32-48, EDN: IKCEXK. (In Russian).

15. Ratnikov A.A., 2014. *Ispol'zovanie bytovykh stochnykh vod dlya orosheniya zelenykh nasazhdeniy* [The use of household wastewater for irrigation of green spaces]. *Mir klimata* [Climate World], no. 86, pp. 120-128, available: <https://mir-klimata.info/i/pdfs/web/viewer.html?file=https://mir-klimata.info/wp-content/uploads/2020/09/86.pdf> [accessed 02.03.2022]. (In Russian).

16. Nasonov Yu.F., 1990. *Plodorodie chernozema tipichnogo pri dlitel'nom oroshenii stochnymi vodami g. Khar'kova* [Fertility of typical chernozem with long-term irrigation with wastewater in Kharkov]. *Ispol'zovanie stochnykh vod dlya orosheniya sel'skokhozyaystvennykh kul'tur: mezhvuz. sb. nauch. trudov* [The Use of Wastewater for Irrigation of Agricultural Crops: Interuniversity Collection of Scientific Papers]. Volgograd Agricultural Institute, Volgograd, pp. 27-30. (In Russian).

17. Kremenskoy V.I., Verdysh M.V., 2016. *Stochnye vody kak perspektivnyy resurs povysheniya vodoobespechennosti Respubliki Krym* [Wastewater as a promising resource of increasing water availability in the Republic of Crimea]. *Prirodoobustroystvo* [Environmental Engineering], no. 5, pp. 72-77, EDN: XHZZSL. (In Russian).

18. Kreyda N.A., Lyadova N.I., Golubchenko V.F., Adlan E.A., 1990. *Vliyanie orosheniya promyshlennymi i gorodskimi stochnymi vodami na plodorodie chernozemov yuzhnykh* [The influence of irrigation with industrial and municipal wastewater on the fertility of southern chernozems]. *Ispol'zovanie stochnykh vod dlya orosheniya sel'skokhozyaystvennykh kul'tur: mezhvuz. sb. nauch. trudov* [The Use of Wastewater for Irrigation of Agricultural Crops: Interuniversity Collection of Scientific Papers]. Volgograd Agricultural Institute, Volgograd, pp. 21-27. (In Russian).

19. Marymov V.I., Segienko L.I., Golodov V.I., 1990. *Opyt dlitel'nogo orosheniya khozyaystvenno-bytovymi stochnymi vodami g. Volzhskogo v sovkhoze «Khimik» Leninskogo rayona Volgogradskoy oblasti* [Experience of long-term irrigation with domestic wastewater from the town Volzhsky in the Khimik state farm, Leninsky district, Volgograd region]. *Ispol'zovanie stochnykh vod dlya orosheniya sel'skokhozyaystvennykh kul'tur: mezhvuz. sb. nauch. tr.* [The Use of Wastewater for Irrigation of Agricultural Crops: Interuniversity Collection of Scientific Papers]. Volgograd Agricultural Institute, Volgograd, pp. 9-15. (In Russian).

20. Kushnareva A.V., Bezuglova O.S., 2023. [The influence of irrigation on soil properties. Review]. *Zhivye i biokosnye sistemy*, no. 46, pp. 45-59, available: <https://jbks.ru/archive/issue-46/article-4>, DOI: 10.18522/2308-9709-2023-46-4. (In Russian).

21. Novikova A.F., 2008. *Meliorativnoe sostoyanie oroshaemykh zemel' Rostovskoy oblasti* [Reclamation status of irrigated lands in Rostov region]. *Pochvovedenie* [Soil Science], no. 5, pp. 599-613. (In Russian).

22. Zaidelman F.R., Davydova I.Yu., 1989. *Prichiny ukhudsheniya khimicheskikh i fizicheskikh svoystv chernozemov pri oroshenii nemineralizovannymi vodami* [Reasons of chernozems' chemical and physical properties degradation by irrigation with non-mineralized waters]. *Pochvovedenie* [Soil Science], no. 11, pp. 101-108. (In Russian).

23. Vorobyova R.P., Makarychev S.V., Aleshina N.I., 2009. *Sel'skokhozyaystvennoe ispol'zovanie gorodskikh stochnykh vod* [Agricultural use of municipal wastewater]. *Prirodoobustroystvo* [Environmental Engineering], no. 5, pp. 32-35, EDN: KZTJMT. (In Russian).

24. Aleshina N.I., Makarychev S.V., 2007. *Ispol'zovanie gorodskikh stochnykh vod dlya orosheniya mnogoletnikh trav* [The use of municipal wastewater for irrigation of perennial grasses]. *Vestnik Altayskogo GAU* [Bulletin of Altai State Agrarian University], no. 10(36), pp. 23-28. (In Russian).

25. Aleshina N.I., Makarychev S.V., Tomarovskiy A.A., 2013. *Vliyanie kruglogodovogo ispol'zovaniya stochnykh vod na agrokhimicheskie i agrofizicheskie svoystva chernozemov* [Effect of year-round use of wastewater on the agrochemical and agrophysical properties of chernozems]. *Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Bulletin of Altai State Agrarian University], no. 3(101), pp. 32-37, EDN: OHJCCG. (In Russian).

26. Makarychev S.V., Aleshina N.I., 2015. *Ekologicheskie osobennosti orosheniya mnogoletnikh trav gorodskimi stochnymi vodami* [Ecological features of irrigation of perennial grasses with urban wastewater]. *Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Bulletin of Altai State Agrarian University], no. 9(131), pp. 53-57, EDN: UIWGLR. (In Russian).

27. Tarasenko V.S. [et al.], 2017. *Perspektivy ispol'zovaniya dlya orosheniya ochishchennykh kanalizatsionnykh stokov i kollektorno-drenazhnykh vod na territorii Kryma* [Prospects for the Use of Treated Sewage and Drainage Water for Irrigation in the Crimea]. Simferopol, Research Institute of Agriculture of Crimea, 32 p. (In Russian).

28. Seytumerov E.E., 2016. *Perspektivy ispol'zovaniya ochishchennykh kanalizatsionnykh stokov i kollektorno-drenazhnykh vod dlya orosheniya na territorii Kryma* [Prospects for the use of treated sewage and drainage water for irrigation in the Crimea]. *Puti povysheniya effektivnosti oroshayemogo zemledeliya* [Ways of Increasing the Efficiency of Irrigated Agriculture], no. 2(62), pp. 166-170, EDN: WBMQGH. (In Russian).

29. Volkova N.E., Zakharov R.Yu., 2017. [Treated sewage waters usage in Crimea: experience of the past, reality of the present]. *Nauchnyy zhurnal Rossiyskogo NII problem melioratsii*, no. 3(27), pp. 144-159, available: https://rosniipm-sm.ru/dl_files/udb_files/udb4-rec289-field12.pdf [accessed 15.02.2024], EDN: ZCQAQF. (In Russian).

30. Beskrovny Yu.G. [et al.], 1989. *Ispol'zovanie stochnykh vod dlya orosheniya* [The Use of Wastewater for Irrigation]. Kyiv, Urozhai Publ., 160 p. (In Russian).

31. Borovoy E.P., Khodyakov E.A., Kremenskoy V.I., Dzhaparova A.M., 2018. *Ekologicheskaya otsenka poliva ochishchennoy stochnoy vodoy korneplodov v Krymu* [Ecological estimation of irrigation by treated wastewater of roots in Crimea]. *Izvestiya Nizhnepovolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vysshee professionalnoe obrazovanie* [Proceedings of Lower Volga Agro-University Complex: Science and Higher Education], no. 4(52), pp. 49-57, DOI: 10.32786/2071-9485-2018-04-6, EDN: YXTVTF. (In Russian).

32. Zakharov R.Yu., Volkova N.E., 2019. [Environmental assessment of possibility of use of purified effluents of sewage treatment plant of the settlement Sovetsky for irrigation purposes]. *Ekologiya prirodopol'zovaniya* [Environmental Engineering Ecology], no. 2(36), pp. 126-134, available: <https://msoe.ru/wp-content/uploads/2019/07/36-17.pdf> [accessed 10.03.2023], DOI: 10.33075/2220-5861-2019-2-126-134. (In Russian).

33. Orlova S.S., Pankova T.A., 2014. *Otsenka effektivnosti ispol'zovaniya stochnykh vod na oroshenii* [Performance evaluation use of wastewater for irrigation]. *Mezhdunarodnyy nauchno-issledovatel'skiy zhurnal* [International Research Journal], no. 3(22), pt. 2, pp. 43-46. (In Russian).

34. Manzhina S.A., Vlasov M.V., 2023. [Agroecological assessment of domestic wastewater for irrigation purposes]. *Melioratsiya i gidrotekhnika*, vol. 13, no. 1, pp. 132-149, available: <http://www.rosniipm-sm.ru/article?n=1345> [accessed 28.06.2024], DOI: 10.31774/2712-9357-2023-13-1-132-149, EDN: VCPZED. (In Russian).

Информация об авторе

С. А. Манжина – старший научный сотрудник, кандидат технических наук, доцент, Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск,

Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. 2024. Т. 94, № 3. С. 191–212.
Ways of Increasing the Efficiency of Irrigated Agriculture. 2024. Vol. 94, no. 3. P. 191–212.

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, Novocherkassk, 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 05.07.2024; одобрена после рецензирования 09.10.2024;
принята к публикации 23.10.2024.
The article was submitted 05.07.2024; approved after reviewing 09.10.2024; accepted for
publication 23.10.2024.*