

АКТУАЛЬНЫЕ НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В ОБЛАСТИ МЕЛИОРАЦИИ

Научная статья

УДК 628.31:631.67

К вопросу о целесообразности использования очищенных сточных вод в орошаемом земледелии

Татьяна Ильинична Дрововозова¹, Светлана Александровна Манжина²,
Наталья Николаевна Красовская³, Михаил Вячеславович Власов⁴

^{1, 2, 3, 4}Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск,
Российская Федерация

¹tid70.drovovozova@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8724-7799>

²manz.svetlana@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9322-0843>

³panya-86@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4426-7762>

⁴m_vlasov@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9103-1958>

Аннотация. **Цель:** провести агроэкологическую оценку целесообразности использования для орошения очищенных сточных вод с городских коммунальных очистных сооружений. **Материалы и методы.** Агроэкологическая оценка качества вод проводилась по минерализации, хлоридному засолению, содержанию тяжелых металлов и санитарно-паразитологическим показателям. Объект исследования – очищенные сточные воды с городских коммунальных очистных сооружений Ростовской области. **Результаты.** Первостепенное требование, определяющее возможность использования очищенных сточных вод с коммунальных очистных сооружений, – их санитарно-паразитологическая безопасность, исследуемые воды полностью отвечают этому требованию. Оценка показала превышение в 2–2,5 раза по сравнению с предельно допустимыми концентрациями меди, марганца и железа. Общая концентрация солей находилась в интервале 1200–1500 мг/куб. дм, показатель по хлору (хлоридное засоление) – в интервале 0,42–0,65, что указало на ограниченную пригодность их для использования с целью орошения из-за опасности засоления почв и загрязнения тяжелыми металлами. Оценка удобрительной ценности очищенных сточных вод по фосфору показала превышение необходимого для фертигации овощных культур содержания фосфора в пересчете на P_2O_5 в 1,6–3,7 раза. **Выводы.** Анализ качественного состава очищенных сточных вод с исследуемых коммунальных очистных сооружений показал, что перед их использованием для орошения требуется разбавление чистыми пресными водами. Разбавление приведет к снижению удобрительной ценности по азоту, соответственно, потере комплексного удобрительного эффекта. Эффективность использования очищенных сточных вод для орошения должна устанавливаться исходя из сопоставления финансовых затрат на доставку воды в оросительную сеть, предварительное смешивание с чистыми пресными водами с экологическим эффектом от утилизации недостаточно очищенных сточных вод с точки зрения требования к качеству воды при сбросе в естественные водоприемники.

Ключевые слова: очищенные сточные воды, удобрительная ценность, санитарно-паразитологическая безопасность, засоление почв, загрязнение тяжелыми металлами

Апробация результатов исследования: основные положения статьи доложены на Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых и специалистов «Актуальные научные исследования в области мелиорации» (г. Новочеркасск, 31 мая 2024 г.).

Для цитирования: К вопросу о целесообразности использования очищенных сточных вод в орошаемом земледелии / Т. И. Дрововозова, С. А. Манжина, Н. Н. Кра-

совская, М. В. Власов // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. 2024. Т. 93, № 2. С. 57–68.

CURRENT SCIENTIFIC RESEARCH IN THE FIELD OF LAND RECLAMATION

Original article

On issue of feasibility of using treated wastewater use in irrigated agriculture

Tatyana I. Drovovozova¹, Svetlana A. Manzhina², Natalia N. Krasovskaya³,
Mikhail V. Vlasov⁴

^{1, 2, 3, 4}Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk,
Russian Federation

¹tid70.drovovozova@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8724-7799>

²manz.svetlana@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9322-0843>

³panya-86@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4426-7762>

⁴m_vlasov@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9103-1958>

Abstract. Purpose: to conduct an agroecological assessment of the feasibility of using treated wastewater from urban municipal wastewater treatment plants for irrigation. **Materials and methods.** Agroecological assessment of water quality based on mineralization, chloride salinity, heavy metal content and sanitary and parasitological indicators was carried out. The object of the study is treated wastewater from urban municipal wastewater treatment plants in Rostov region. **Results.** The primary requirement determining the possibility of using treated wastewater from municipal wastewater treatment plants is their sanitary and parasitological safety; the waters under study fully meet this requirement. The assessment showed an excess of 2–2.5 times compared to the maximum permissible concentrations of copper, manganese and iron. The total salt concentration was in the range of 1200–1500 mg/cubic dm, the indicator for chlorine (chloride salinity) was in the range of 0.42–0.65, which indicated their limited suitability for using in irrigation due to the danger of soil salinization and contamination with heavy metals. An assessment of the fertilizing value of treated wastewater in terms of phosphorus showed that the phosphorus content in terms of P₂O₅ required for fertigation of vegetable crops was 1.6–3.7 times higher. **Conclusions.** An analysis of the qualitative composition of treated wastewater from the municipal wastewater treatment plants under study showed that before using it for irrigation, the dilution with clean fresh water is required. Dilution will lead to a decrease in the fertilizing value of nitrogen, and accordingly, a loss of a complex fertilizing effect. The efficiency of using treated wastewater for irrigation should be determined based on a comparison of the financial costs of delivering water to the irrigation network, pre-mixing it with clean fresh water with the environmental effect of utilization of insufficiently treated wastewater in terms of water quality requirements during discharge into natural water bodies.

Keywords: treated wastewater, fertilizing value, sanitary and parasitological safety, soil salinization, heavy metal pollution

Evaluation of the research results: the fundamental principles of the article were reported at the All-Russian Scientific and Practical Conference of Young Scientists and Specialists “Current Scientific Research in the Field of Land Reclamation” (Novocherkassk, May 31, 2024).

For citation: Drovovozova T. I., Manzhina S. A., Krasovskaya N. N., Vlasov M. V. On issue of feasibility of using treated wastewater use in irrigated agriculture. *Ways of Increasing the Efficiency of Irrigated Agriculture*. 2024;93(2):57–68. (In Russ.).

Введение. В последние годы из-за возросшего дефицита водных ресурсов идет активный поиск альтернативных источников воды, используемой в сельскохозяйственном производстве. Самым большим потребителем водных ресурсов является орошаемое земледелие, причем в данной отрасли возникает дефицит не просто пресной воды, а водных ресурсов как таковых. Поэтому рассматриваются возможности использования так называемой «вторичной воды», т. е. воды, полученной в результате очистки на коммунальных очистных сооружениях (КОС). Вторичное использование очищенных сточных вод (ОСВ) для полива городских ландшафтов и сельскохозяйственных территорий решает две важные экологические задачи: дополнительный ресурс поливной воды и утилизация ОСВ, недостаточно очищенных с точки зрения требований водоохранного законодательства.

В ряде нормативно-методических и научных работ устанавливаются требования к качеству ОСВ, допустимых к вторичному использованию для полива насаждений в пределах городских территорий, сельскохозяйственных культур в сельскохозяйственном производстве^{1, 2} [1–4]. При этом установлены требования к качественным показателям гидрохимического состава и обязательные санитарно-паразитологические требования при их использовании [5, 6].

Необходимо отметить различие подходов к нормированию качества ОСВ, допустимых к повторному применению для полива, в РФ и за рубежом [3, 5, 6]. Различие прежде всего определяется числом нормируемых показателей, в нормативных документах Европейского союза и рекомен-

¹ГОСТ 17.1.2.03-90. Охрана природы (ССОП). Гидросфера. Критерии и показатели качества воды для орошения [Электронный ресурс]. Введ. 1991-07-01. Доступ из ИС «Техэксперт: 6 поколение» Интранет.

²ГОСТ Р ИСО 16075-1-2023. Руководящие указания по использованию очищенных сточных вод для оросительных систем. Часть 1. Основные положения проекта по повторному использованию воды для орошения [Электронный ресурс]. Введ. 2024-07-01. Доступ из ИС «Техэксперт: 6 поколение» Интранет.

дациях Всемирной организации здравоохранения количество показателей ограничивается 10–11 ингредиентами, в основном биогенами, некоторыми тяжелыми металлами, минерализацией^{3, 4} [3, 4, 7]. В России ОСВ в зависимости от качества очистки классифицируют на пять видов, из которых только воды очень высокого качества очистки рекомендованы к повторному использованию². В требовании соблюдения санитарно-паразитологической безопасности ОСВ нормативные документы едины и за рубежом, и в РФ^{3, 4, 5}. Тем не менее вопрос повторного использования ОСВ для целей полива, особенно орошения сельскохозяйственных культур, должен решаться индивидуально, в зависимости от остроты проблемы недостатка природной поливной воды, технической достижимости доставки ОСВ на оросительные системы, и самое главное, от гидрохимического состава ОСВ. Перечисленные проблемы определяют актуальность исследований в данном направлении.

В связи с вышеизложенным, целью работы являлось проведение оценки возможности использования для орошения очищенных сточных вод с городских коммунальных очистных сооружений объекта-представителя Ростовской области по агрономическим и экологическим критериям.

Материалы и методы. При оценке качества ОСВ по агрономическим критериям использовалось руководство по режимам орошения, способам и технике полива при выращивании овощных и бахчевых культур в различных зонах РФ, разработанное ВНИИ овощеводства Россельхозака-

³Directive (EU) 2020/2184 of the European Parliament and of the Council of 16 December 2020 on the quality of water intended for human consumption (recast) [Electronic resource] // Official Journal of the European Union. 2020, 23 Dec. URL: <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2020/2184/oj> (date of access: 15.04.2024).

⁴Руководство по обеспечению качества питьевой воды / Всемир. орг. здравоохранения. 4-е изд. Женева, 2017. 628с.

⁵Нормы технологического проектирования оросительных систем с использованием сточных вод [Электронный ресурс]: НТП-АПК 1.30.03.02-06: утв. зам. Министра сел. хоз-ва Рос. Федерации С. Г. Митиным 01.01.07: введ. в действие с 01.01.07. Доступ из ИС «Техэксперт: 6 поколение» Интранет.

демии, различные нормативные документы, содержащие методики и критерии оценки качества воды, пригодной для орошения^{6,7} [5, 6, 8].

Исходными данными являлись данные химического анализа ОСВ с городских КОС объекта-представителя Ростовской области. Первоначально качество ОСВ оценивалось по санитарно-паразитологическим показателям согласно СанПиН 2.1.3685-21. Основными определяемыми показателями санитарно-паразитологической безопасности изучаемых ОСВ являлись общие колиформные бактерии (ОКБ), бактерии группы кишечной палочки *Escherichia coli* (*E. coli*), колифаги, энтерококки, цисты кишечных простейших, яйца гельминтов и возбудители кишечных инфекций бактериальной природы. Все вышеперечисленные показатели соответствуют требованиям СанПиН 2.1.3685-21, что позволяет отнести данные ОСВ к водам очень высокого качества очистки согласно ГОСТ Р ИСО 16075-1-2023.

Результаты и обсуждение. Гидрохимическая оценка качества ОСВ осуществлялась по 15 показателям. Поскольку в настоящее время ОСВ подлежат сбросу в природный водный объект, то критерием качества очистки является норматив предельно допустимой концентрации вещества для водных объектов рыбохозяйственного значения (ПДК_{рх}). В таблице 1 представлены сведения о процентном превышении содержания химических ингредиентов по сравнению с ПДК_{рх}, из данных которой очевидно, что после прохождения полного цикла очистки на КОС по ряду показателей соблюдение нормативных требований качества не достигается.

Максимальное превышение концентраций отмечается по фосфатам, что указывает на необходимость определения удобрительной ценности исследуемой ОСВ в пересчете на P₂O₅. Изучение динамики концентрации

⁶Режим орошения, способы и техника полива овощных и бахчевых культур в различных зонах РФ: руководство / сост.: С. С. Ванеян, А. М. Меньших. М.: Россельхозакадемия, ВНИИ овощеводства, 2010. 84 с.

⁷ГОСТ Р 58331.3-2019. Водопотребность для орошения сельскохозяйственных культур [Электронный ресурс]. Введ. 2019-07-01. Доступ из ИС «Техэксперт: 6 поколение» Интранет.

азотсодержащих биогенов в ОСВ в течение периода, совпадающего с поливным в сельскохозяйственном производстве, выявило недостаточную степень очистки ОСВ по фосфатам и нитратам (рисунок 1) и необходимость оценки удобрительной ценности воды в пересчете на азот и фосфор.

Таблица 1 – Гидрохимический состав очищенных сточных вод с коммунальных очистных сооружений (на 2022 г.)

Table 1 – Hydrochemical composition of treated wastewater from municipal wastewater treatment plants (for 2022)

Показатель	Взвешенные вещества	БПК ₅	ХПК	Фосфаты	Сульфаты	Ион аммония	Нитриты	Железо общее	Медь	Алюминий	Цинк	НФПР	Марганец	Хлориды	Нитраты
ПДК _{рх} , мг/дм ³	+0,25	2,1	30	0,2	100	0,5	0,08	0,1	0,001	0,04	0,01	0,05	0,01	300	40
% превышения над ПДК _{рх}	–	94	129	1837	355	54	87,5	260	200	Менее 100	Менее 100	Менее 100	230	77	72,5

БПК₅ – биохимическое потребление кислорода за 5 сут.
 ХПК – химическое потребление кислорода.
 НФПР – нефтепродукты.

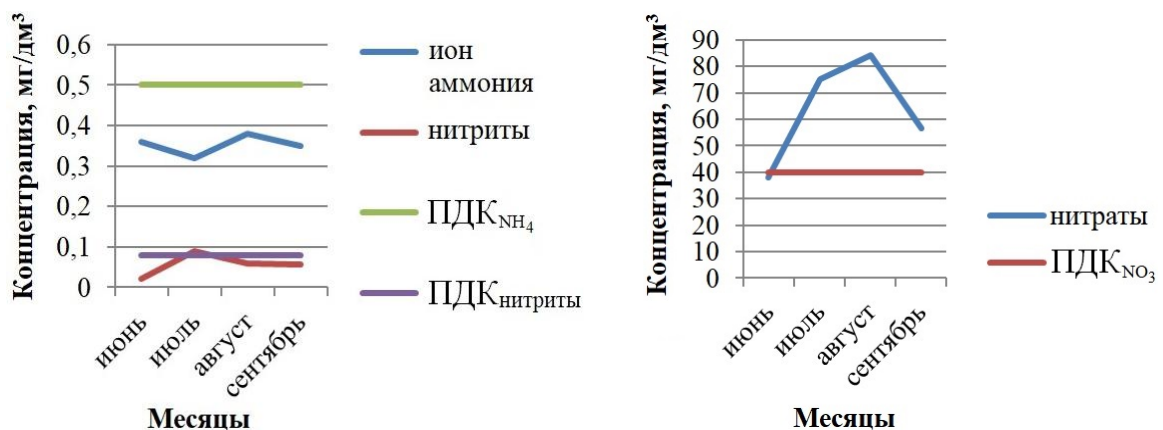


Рисунок 1 – Концентрация азотсодержащих биогенов в очищенных сточных водах и значения их предельно допустимой концентрации для водных объектов рыбохозяйственного значения в период, совпадающий с поливным

Figure 1 – Concentration of nitrogen-containing nutrients in treated wastewater and the values of their maximum permissible concentration for water bodies of fishery importance during the period coinciding with irrigation

Кроме того, установлено превышение содержания определяемых тяжелых металлов в 2 раза и более, что указывает на необходимость экологической оценки качества и пригодности данной воды для целей орошения.

В основу агроэкологической оценки положен фактор опасности засоления почв при поливе таковой водой. Рассчитано отношение концентрации иона хлора к концентрации сульфат-иона (показатель по хлору) в течение поливного сезона и по среднему значению.

В качестве экологического критерия в основу положен фактор загрязнения тяжелыми металлами, такими как медь, марганец и железо. Соответственно, определена сумма отношений фактических концентраций (C_i) к их ПДК_{рх} ($C_{нори}$), с учетом соблюдения санитарно-гигиенического условия. Результаты представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Оценка качества очищенных сточных вод городских коммунальных очистных сооружений объекта-представителя Ростовской области по степени опасности засоления почв и загрязнения тяжелыми металлами (на 2022 г.)

Table 2 – Assessment of the quality of treated wastewater from urban municipal wastewater treatment facilities of a representative facility of Rostov region according to the degree of soil salinization and heavy metal pollution hazard (for 2022)

Оцениваемый показатель	В течение месяцев поливного периода					Класс воды по опасности засоления
	июнь	июль	август	сентябрь	среднее значение за год	
Сухой остаток	1240	1550	1197	1374	1306,17	III ₂ , III ₃ – ограниченно пригодна
Хлоридное засоление	0,65	0,42	0,55	0,56	0,65	
$\sum_{i=1} \frac{C_{iTM}}{C_{нориTM}} \leq 3$	6,9	11,5	5,6	6,0	6,9	Непригодна

Согласно классификации оросительной воды по степени опасности засоления почв, исследуемые ОСВ относятся к воде III класса, пригодной для орошения на легких и средних дренированных почвах для культур средней и сильной солеустойчивости. Следовательно, без проведения мероприятий по дополнительному кондиционированию исследуемых ОСВ либо их разбавления использование их для орошения ограничено.

Удобрительную ценность ОСВ устанавливали для удобрительного вида полива (фертигации) для всех нуждающихся в подкормке культур исходя из нормы полива 150–250 м³/га (по Е. Г. Петрову с уточнениями С. С. Ванеяна) [9–11]. Данные расчетов в зависимости от фактического содержания биогенов в воде в течение периода, совпадающего с поливным, представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Удобрительная ценность очищенной сточной воды
 В кг/га

Table 3 – Fertilizer value of treated wastewater
 In kg/ha

Месяц	Исходя из нормы полива 150–250 м ³ /га в пересчете на N	Исходя из нормы полива 150–250 м ³ /га в пересчете на P ₂ O ₅
Июнь	0,41–0,69	0,69–1,14
Июль	2,6–4,3	2,62–4,37
Август	2,9–4,8	1,36–2,27
Сентябрь	1,9–3,3	1,55–2,59

Для оценки пригодности исследуемых вод для целей удобрительных поливов было проведено сравнение с примерными нормами удобрений при выращивании овощных культур, вносимых с фертигацией, по периодам выращивания, согласно данным таблицы 4 [10, 11].

Таблица 4 – Нормы для фертигации с учетом основного внесения N и P₂O₅ при выращивании овощных культур [10]

Table 4 – Fertigation rates, taking into account the basic application of N and P₂O₅ when growing vegetables [10]

Культура	Период роста	Содержание, кг д. в./ (га·день)	
		в пересчете на N	в пересчете на P ₂ O ₅
Огурец	1	1,1–1,7	0,7
	2	2,2–2,8	0,7
	3	2,8–2,2	1,0
Томат	1	1,1–2,2	0,7
	2	2,8–3,3	0,7–0,8
	3	2,8–2,2	0,5–0,6
Перец сладкий	1	1,1–1,7	1,0
	2	2,2–2,8	0,5–0,6
	3	3,4–2,8	1,0
Баклажан	1	1,1–1,7	0,7
	2	2,2–2,8	0,7–0,8
	3	3,4–2,8	0,5–0,6

Поскольку наименьшее значение питательного вещества приходится на фосфор (P_2O_5), то руководствовались его содержанием в ОСВ. Так как в ОСВ содержание фосфора превышает необходимое в 1,6–3,7 раза, требуется их разбавление, но при этом питательная ценность по азоту становится меньше во столько же раз. Соответственно, делать вывод об ОСВ как комплексном удобрительном растворе нецелесообразно. При этом возникает вопрос: если для использования ОСВ требуется разбавление, причем чистыми пресными водами, чтобы исключить возникновение эффекта засоления почв, загрязнения их тяжелыми металлами, то о каком рациональном использовании водных ресурсов может идти речь. Кроме того, чтобы говорить об эффективности использования ОСВ для орошения, необходимо сопоставить экономические затраты на доставку таковой воды в оросительную сеть, на предварительное смешение с чистыми пресными водами с экологическими эффектами от утилизации недостаточно очищенных сточных вод с точки зрения качества воды природных водных объектов. Тем не менее для регионов, характеризующихся острым дефицитом природной воды, в засушливых и полузасушливых районах использование ОСВ в целях полива городских ландшафтов является серьезным инструментом для решения проблемы рационального использования водных ресурсов и минимизации негативного воздействия на водные объекты.

Выводы. Проведена агроэкологическая оценка очищенных сточных вод объекта-представителя Ростовской области, показавшая ограниченную их пригодность для орошения по степени опасности засоления почв и загрязнения тяжелыми металлами. Общая концентрация солей лежит в интервале 1200–1500 мг/дм³, показатель по хлору (хлоридное засоление) лежит в интервале 0,42–0,65, содержание тяжелых металлов превышает в 2,0–2,5 раза нормативное.

Оценка удобрительной ценности очищенных сточных вод по фосфору показала превышение необходимого для фертигации овощных культур

содержания фосфора в пересчете на P_2O_5 в 1,6–3,7 раза, что требует разбавления очищенных сточных вод чистыми пресными природными водами, приводящего одновременно к снижению удобрительной ценности по азоту. Агрономическая оценка очищенных сточных вод указывает на отсутствие комплексного удобрительного эффекта.

Очищенные сточные воды целесообразно использовать для полива городских ландшафтов в засушливых регионах с острым дефицитом природной воды. При планировании использования очищенных сточных вод для орошения необходимо сопоставлять все экономические и экологические эффекты от их применения.

Список источников

1. Маматов С. А., Умаров Х. У., Мацура М. Е. Критерии пригодности сточных вод на орошение сельхозкультур // Актуальные проблемы водного хозяйства и мелиорации орошаемых земель: материалы респ. науч.-практ. конф., 12 дек. 2011 г. Ташкент, 2011. С. 70–76.
2. 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: POWDWH.
3. Ritter W. State regulations and guidelines for wastewater reuse for irrigation in the U.S. // Water. 2021. 13(20). 2818. DOI: 10.3390/w13202818.
4. California water reuse – Past, present and future perspectives / A. W. Olivieri, B. Pecson, J. Crook, R. Haltquist // Advances in Chemical Pollution, Environmental Management and Protection. 2020. Vol. 5. P. 65–108. <https://doi.org/10.1016/bs.apmp.2020.07.002>.
5. Максименко В. П., Зайцев А. С. Регулирование качества поливной воды на оросительных системах // Природообустройство. 2011. № 5. С. 15–20. EDN: OKKSAR.
6. О качестве воды для сельскохозяйственного водоснабжения и мерах по его обеспечению / Н. Н. Дубенок, С. Д. Исаева, Е. В. Овчинникова, Н. С. Быстрицкая // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2015. № 3(39). С. 20–25. EDN: UMEHSX.
7. Regulations Related to Recycled Water [Electronic resource] / California Department of Public Health. 2014. 81 p. URL: https://watereuse.org/wp-content/uploads/2015/05/RWregulations_20140618.pdf (date of access: 04.03.2024).
8. Безопасные системы и технологии капельного орошения: науч. обзор / Г. Т. Балакай, Л. А. Воеводина, Ю. Ф. Снопич, А. Н. Бабичев, В. А. Кулыгин, Н. И. Балакай, М. А. Евтухов, Д. Б. Латария, Т. А. Погоров, Д. В. Сухарев, Е. А. Бабичева, Н. И. Тупикин, Е. А. Кропина, А. Б. Фиошин; ФГНУ «РосНИИПМ». М.: Мелиоводинформ, 2010. 52 с. EDN: ZTXVTH.
9. Ванеян С. С. Режимы орошения и техника полива овощных культур: рекомендации. М.: Россельхозиздат, 1985. 40 с.
10. Ванеян С. С., Вишнякова А. Ф. Орошение овощных культур // Картофель и овощи. 2001. № 3. С. 29–30.

11. Ермоленко В. П., Шевченко П. Д., Маслов А. Н. Орошаемое земледелие юга России. Ростов н/Д., 2002. 447 с. EDN: UIYRVT.

References

1. Mamatov S.A., Umarov Kh.U., Matsura M.E., 2011. *Kriterii prigodnosti stochnykh vod na oroshenie sel'khozkul'tur* [Criteria for the suitability of wastewater for crop irrigation]. *Aktual'nye problemy vodnogo khozyaystva i melioratsii oroshaemykh zemel': materialy respublikanskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Actual Problems of Water Management and Reclamation of Irrigated Lands: Proc. of the Republican Scientific-Practical Conference]. Tashkent, pp. 70-76. (In Russian).

2. Borovoy E.P., Khodyakov E.A., Kremenskiy 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 the Crimea]. *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vysshee professional'noe obrazovanie* [Proceedings of the Lower Volga Agro-University Complex: Science and Higher Education], no. 4(52), pp. 49-57, DOI: 10.32786/2071-9485-2018-04-6, EDN: POWDWX. (In Russian).

3. Ritter W., 2021. State regulations and guidelines for wastewater reuse for irrigation in the U.S. *Water*, 13(20), 2818, DOI: 10.3390/w13202818.

4. Olivieri A.W., Pecson B., Crook J., Haltquist R., 2020. California water reuse – Past, present and future perspectives. *Advances in Chemical Pollution, Environmental Management and Protection*, vol. 5, pp. 65-108, <https://doi.org/10.1016/bs.apmp.2020.07.002>.

5. Maksimenko V.P., Zaytsev A.S., 2011. *Regulirovanie kachestva polivnoy vody na orositel'nykh sistemakh* [Regulation of the irrigation water quality at irrigation systems]. *Prirodoobustroystvo* [Environmental Engineering], no. 5, pp. 15-20, EDN: OKKSAR. (In Russian).

6. Dubenok N.N., Isaeva S.D., Ovchinnikova E.V., Bystritskaya N.S., 2015. *O kachestve vody dlya sel'skokhozyaystvennogo vodosnabzheniya i merakh po yego obespecheniyu* [On water quality for agricultural water supply and measures to ensure it]. *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vysshee professional'noe obrazovanie* [Proceedings of the Lower Volga Agro-University Complex: Science and Higher Education], no. 3(39), pp. 20-25, EDN: UMEHSX. (In Russian).

7. Regulations Related to Recycled Water. California Department of Public Health, 2014, 81 p., available: https://wateruse.org/wp-content/uploads/2015/05/RWregulations_20140618.pdf [accessed 04.03.2024].

8. Balakay G.T., Voevodina L.A., Snipich Yu.F., Babichev A.N., Kulygin V.A., Balakay N.I., Evtukhov M.A., Lataria D.B., Pogorov T.A., Sukharev D.V., Babicheva E.A., Tupikin N.I., Kropina E.A., Finoshin A.B., 2010. *Bezopasnye sistemy i tekhnologii kapel'nogo orosheniya: nauchnyy obzor* [Safe Systems and Technologies of Drip Irrigation: scientific review]. Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Moscow, *Meliovodinform Publ.*, 52 p., EDN: ZTXVTH. (In Russian).

9. Vaneyan S.S., 1985. *Rezhimy orosheniya i tekhnika poliva ovoshchnykh kul'tur: rekomendatsii* [Irrigation Regimes and Techniques for Watering Vegetables: recommendations]. Moscow, *Rosselkhoz Publ.*, 40 p. (In Russian).

10. Vaneyan S.S., Vishnyakova A.F., 2001. *Oroshenie ovoshchnykh kul'tur* [Irrigation of vegetable crops]. *Kartofel' i ovoshchi* [Potato and Vegetables], no. 3, pp. 29-30. (In Russian).

11. Ermolenko V.P., Shevchenko P.D., Maslov A.N., 2002. *Oroshaemoe zemledelie yuga Rossii* [Irrigated Agriculture in Southern Russia]. Rostov-on-Don, 447 p., EDN: UIYRVT. (In Russian).

Информация об авторах

Т. И. Дровозова – ведущий научный сотрудник, доктор технических наук, доцент, Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск,

Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. 2024. Т. 93, № 2. С. 57–68.
Ways of Increasing the Efficiency of Irrigated Agriculture. 2024. Vol. 93, no. 2. P. 57–68.

Российская Федерация, tid70.drovovozova@yandex.ru, AuthorID: 314686, ORCID ID: 0000-0002-8724-7799;

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;

Н. Н. Красовская – научный сотрудник, Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск, Российская Федерация, panya-86@mail.ru, AuthorID: 1094614, ORCID ID: 0000-0003-4426-7762;

М. В. Власов – ведущий научный сотрудник, кандидат физико-математических наук, Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск, Российская Федерация, m_vlasov@bk.ru, AuthorID: 632423, ORCID ID: 0000-0002-9103-1958.

Information about the authors

T. I. Drovovozova – Leading Researcher, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novochoerkassk, Russian Federation, tid70.drovovozova@yandex.ru, AuthorID: 314686, ORCID ID: 0000-0002-8724-7799;

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;

N. N. Krasovskaya – Researcher, Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novochoerkassk, Russian Federation, panya-86@mail.ru, AuthorID: 1094614, ORCID ID: 0000-0003-4426-7762;

M. V. Vlasov – Leading Researcher, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novochoerkassk, Russian Federation, m_vlasov@bk.ru, AuthorID: 632423, ORCID ID: 0000-0002-9103-1958.

*Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.
Все авторы в равной степени несут ответственность за нарушения в сфере этики научных публикаций.*

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

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

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 25.04.2024; одобрена после рецензирования 08.05.2024; принята к публикации 04.06.2024.

The article was submitted 25.04.2024; approved after reviewing 08.05.2024; accepted for publication 04.06.2024.