

МЕЛИОРАЦИЯ, ВОДНОЕ ХОЗЯЙСТВО И АГРОФИЗИКА

Обзорная статья

УДК 628.381.4:631.67

doi: 10.31774/2712-9357-2023-13-2-145-167

Основные стимулы для использования сточных вод в целях орошения: лучшие мировые практики

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:** определение основных стимулов для развития орошения в регионах страны с явным дефицитом водных ресурсов за счет использования хозяйственно-бытовых сточных вод, сбрасываемых с муниципальных канализационных очистных сооружений. **Обсуждение.** Использование бытовых сточных вод для орошения практиковалось еще древними цивилизациями. В современных реалиях, как и ранее, орошение бытовыми сточными водами и имеющими различную степень очистки наиболее широко практикуется у фермеров и иных потребителей, имеющих угодья вблизи муниципальных систем канализации, что обуславливает упрощение при транспортировке оросительных вод и уменьшение финансовых затрат на их доочистку. В целях продвижения социальной и экологической политики по эффективной утилизации сточных вод используются различные мотивирующие механизмы. Выделены основные позиции, которые должны быть учтены в случае планирования орошения сточными водами. В работе приведены данные об использовании сточных вод для орошения в зарубежной практике, выделены мотивирующие механизмы, применяемые для стимулирования такого использования, действующие российские и зарубежные нормативы, применяемые для оценки качества очищенных сточных вод. В России не применяется никаких дополнительных стимулирующих механизмов для доочистки сточных вод на полях орошения. Основной стимул – возможность предотвращения платежей и штрафов за сброс сточных вод несоответствующего качества. Такой стимул работает только для предприятий, осуществляющих отвод и очистку хозяйственно-бытовых сточных вод, а для российских аграриев стимулов для освоения сточных вод для орошения нет. **Выводы.** Особое значение имеют финансовые показатели и экономические выгоды для сторон, занятых в реализации процесса орошения сельскохозяйственных культур очищенными сточными водами. Если ориентироваться на международный опыт мотивирующих стимулов, представляет особый интерес варьирование платы за оросительную воду в зависимости от ее качества и объемов потребления.

Ключевые слова: сточные воды, орошение сточными водами, вторичные ресурсы, муниципальные очистные сооружения, химический состав стоков, удобрительный потенциал сточных вод, допустимые показатели

Для цитирования: Манжина С. А. Основные стимулы для использования сточных вод в целях орошения: лучшие мировые практики // Мелиорация и гидротехника. 2023. Т. 13, № 2. С. 145–167. <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2023-13-2-145-167>.

LAND RECLAMATION, WATER MANAGEMENT AND AGROPHYSICS

Review article

Key incentives for using wastewater for irrigation purposes: best world practices

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 determine the key incentives for developing irrigation in the regions of the country with a clear shortage of water resources through the use of domestic wastewater discharged from municipal sewage treatment plants. **Discussion.** The use of domestic wastewater for irrigation has been practiced by ancient civilizations. In modern realities, as earlier, irrigation with domestic wastewater and water of varying degrees of purification is most widely practiced by farmers and other consumers having land near municipal sewerage systems, which makes it easier to transport irrigation water and reduce financial costs for their post-treatment. In order to promote social and environmental policies on efficient wastewater disposal, various motivating mechanisms are used. The main positions that should be taken into account in the case of planning wastewater irrigation are highlighted. The data on using wastewater for irrigation in foreign practice are presented, the motivating mechanisms used to stimulate such usage and the current Russian and foreign standards used to assess the quality of treated wastewater are highlighted. In Russia, no additional incentive mechanisms for wastewater post-treatment of irrigated fields are used. The main incentive is the ability to avoid payments and fines for discharge of wastewater of inadequate quality. Such an incentive works only for enterprises that carry out the removal and treatment of domestic wastewater, and there are no incentives for Russian farmers to develop wastewater for irrigation. **Conclusions.** Of particular importance are the financial indicators and economic benefits for the parties involved in the implementation of the process of irrigating crops with treated wastewater. If we focus on the international experience of motivating incentives, it is of particular interest to vary the payment for irrigation water depending on its quality and consumption amount.

Keywords: wastewater, wastewater irrigation, recyclable resources, municipal treatment facilities, chemical wastewater composition, wastewater fertilizing potential, acceptable indicators

For citation: Manzhina S. A. Key incentives for using wastewater for irrigation purposes: best world practices. *Land Reclamation and Hydraulic Engineering*. 2023;13(2): 145–167. (In Russ.). <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2023-13-2-145-167>.

Введение. По данным Центра Хэдли метеослужбы Соединенного Королевства, скорость глобального потепления постоянно растет: за период с 1976 по 2020 г. каждое десятилетие температура увеличивалась на 0,18 °С [1]. В совокупности с аномалиями температуры повсеместно наблюдается уменьшение количества осадков, приводящее к дефициту водного баланса территорий, обмелению источников водообеспечения, ухудшению водоснабжения отраслей производства, и в первую очередь сельскохозяйственной. Анализируя данные из отчетов ФАО, СОФА-2020 и за 1994 г., старший экономист Отдела агропродовольственной экономики ФАО Якоб Скут отметил, что если 25 лет назад ключевым вопросом был

«недостаток воды», то в настоящее время речь идет о ее дефиците, который все более усугубляется резким изменением климата^{1, 2}.

Для стабилизации водообеспечения отраслей промышленности в практику производства все чаще внедряют такие механизмы, как вторичное использование сточных вод (СВ) и оборотное водоснабжение. Повторное использование СВ сопровождается доведением их качества до приемлемых показателей посредством очистки, что, несомненно, требует определенных финансовых затрат. Более того, повторное использование СВ даже после всех возможных стадий очистки для нужд пищевой промышленности или коммунально-бытового водоснабжения может встречать социальное напряжение в восприятии этого факта.

Сбрасываемые после очистки в природные водные объекты СВ, как правило, изменяют свои показатели за счет процессов разбавления, осаждения, испарения летучих веществ и биохимической деструкции содержащихся в них соединений, в результате чего их качество улучшается. 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 [2]. В этой связи наилучшим вариантом вторичного использования СВ с учетом полезных свойств содержащихся в них компонентов является сельскохозяйственное и ландшафтное орошение, что позволяет решить проблему как с дефицитом воды, так и с обеспечением доочистки СВ путем пропускания сквозь почвенный массив. По совокупности эффектов этот способ

¹Краткий обзор. Положение дел в области продовольствия и сельского хозяйства – 2020. Решение проблем с водой в сельском хозяйстве / ФАО. Рим, 2020. 28 с. <https://doi.org/10.4060/cb1441ru>.

²Положение дел в области продовольствия и сельского хозяйства – 2020. Решение проблем с водой в сельском хозяйстве / ФАО. Рим, 2020. 209 с. <https://doi.org/10.4060/cb1447ru>.

демонстрирует наилучшие экологические показатели, наименьшие финансовые затраты и наибольшую экономическую отдачу [3, 4].

Являясь одним из крупнейших потребителей пресной воды в мире, сельское хозяйство в ряде регионов нуждается в дополнительных водных ресурсах и питательных элементах при выращивании сельскохозяйственных культур, что и легло в основу совмещения орошения и повторного использования СВ, и в первую очередь стоков пищевой промышленности, животноводческих и коммунально-бытовых.

Практика использования СВ для орошения, разработка стимулов для такого использования и организация подачи вторичных вод имеют многолетний опыт применения как у нас в стране, так и за рубежом [3–10]. Тем не менее в современных условиях существования аграрного комплекса Российской Федерации нет четко сформулированных стратегий развития орошения за счет повторного использования очищенных хозяйственно-бытовых СВ.

Исходя из вышеизложенного, целью исследований стало определение основных стимулов для развития орошения в регионах страны с явным дефицитом водных ресурсов за счет использования хозяйственно-бытовых СВ, сбрасываемых с муниципальных канализационных очистных сооружений (КОС).

Обсуждение. Использование бытовых СВ для орошения практиковалось еще древними цивилизациями со времен бронзового века (около 3200–1100 гг. до н. э.) [11]. Примером могут служить Месопотамия, долина Инда и минойского Крита (княжество Магадха), где гидротехника вообще занимала высокое место в формировании внутренней политики [12, 13]. Впоследствии СВ использовались для орошения и внесения удобрений эллиническими цивилизациями, а затем римлянами в районах, окружающих города (например, Афины и Рим) [11]. Известны также данные об использовании СВ при производстве культивируемых растений в Бунцлау (Силезия,

1531 г.) и в Эдинбурге (Шотландия, 1650 г.) [11, 14]. Дальнейшее развитие программ утилизации СВ привело к формированию так называемых «канализационных ферм», которые создавались во многих быстрорастущих городах Европы и Соединенных Штатов [11]. Первые канализационные фермы для переработки СВ городов были созданы в 1872 г. в Женвилье, пригороде Парижа (Франция), позднее, в 1897 г. в Мельбурне (Австралия) [15].

В Российской империи первые (известные историкам) поля орошения появились в 1887 г. в Одессе, в 1894 г. – в Киеве и в 1898 г. – в Москве [8]. Их целью было обеспечение почвенных методов очистки СВ. В сельскохозяйственном производстве поначалу допускалось орошение как СВ различной степени очистки, так и неочищенными СВ. Однако в процессе накопления знаний стало очевидным, что орошение неочищенными СВ приводит к ухудшению санитарных и гигиенических условий территорий (может способствовать размножению и распространению гельминтов и патогенных микроорганизмов, вызывая эпидемии и эпизоотии), а также загрязнению почв, растений и грунтовых вод. В связи с накопленными данными наблюдений в 40–50-х гг. прошлого столетия орошение СВ стало недопустимым без предварительной их очистки (сначала только механической, а затем механической и биологической) [8].

В современных реалиях, как и ранее, орошение бытовыми СВ и имеющими различную степень очистки наиболее широко практикуется у фермеров и иных потребителей, имеющих угодья вблизи муниципальных КОС, что обуславливает упрощение транспортировки оросительных вод и уменьшение финансовых затрат на их доочистку [9].

Основные позиции, которые должны быть учтены в случае планирования применения орошения СВ:

- экономическая целесообразность внедрения данного процесса, которая должна учитывать возможные дополнительные затраты на строительство отводящих каналов от очистных сооружений в сторону сельско-

хозяйственных полей, сезонность запросов водопотребителей, что предполагает наличие вариативности в утилизации СВ;

- сохранение водного баланса вовлеченных в процесс «забор – утилизация вод» водных объектов;

- возможности соблюдения санитарно-гигиенических условий при транспортировке и использовании СВ;

- соблюдение условий сохранения почвенного плодородия, предотвращение деградации почв;

- достаточная прибыльность сельскохозяйственного производства при использовании СВ для орошения, включая величину спроса и товарной стоимости сельскохозяйственных культур, пригодных для выращивания в данных условиях полива, производственные и логистические затраты и т. д.

На рисунке 1 приведены данные, отражающие популярность такого способа полива в мировом сообществе.

В настоящее время конкуренция за пресную воду между промышленным, сельскохозяйственным и коммунальным секторами усиливается, что способствует развитию направления использования СВ как ресурса для орошения.

В качестве стимулов внедрения практик орошения очищенными СВ можно выделить:

- экономию средств, затрачиваемых на очистку СВ до нормативных показателей качества [16];

- удаленность и труднодоступность природных источников пресной воды, что ведет к увеличению затрат на транспортировку ее потребителю;

- недостаток средств у потребителей (фермеров, сельскохозяйственных организаций, общин) на покупку воды, поставляемой из природных источников;

- экономию финансовых средств, выделяемых на природоохранные мероприятия, в т. ч. компенсационного характера;

- уменьшение количества биогенов, поступающих в водные объекты – приемники СВ, что ведет к снижению вероятности антропогенно обусловленной эвтрофикации.

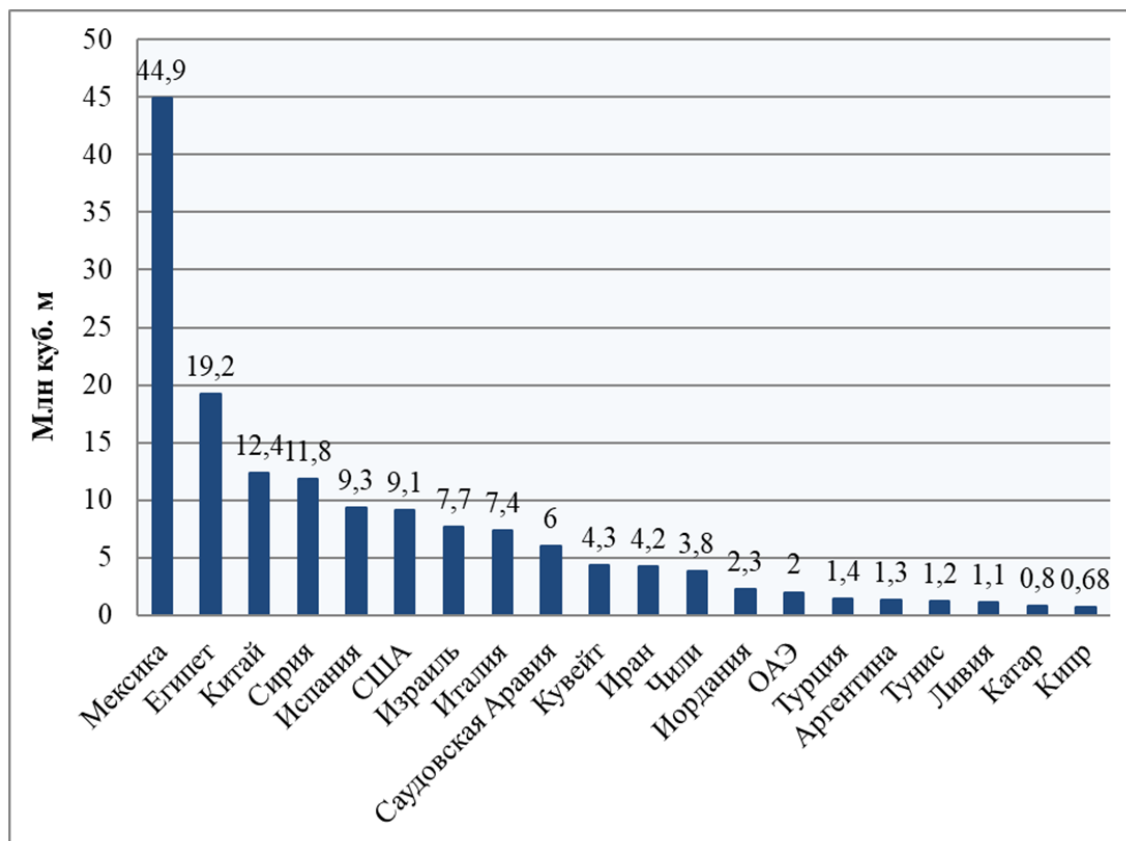


Рисунок 1 – Двадцатка стран с наибольшим объемом сточных вод, используемых для орошения (по данным отчетов ICID – International Commission on Irrigation & Drainage³)

Figure 1 – Top 20 countries with the largest amount of wastewater used for irrigation (according to ICID reports – International Commission on Irrigation & Drainage³)

В целях продвижения социальной и экологической политики по эффективной утилизации СВ используются различные мотивирующие механизмы.

Например, в ряде стран ЕС⁴ используют «зеленые государственные закупки» (ЗГЗ), которые позволяют не только экономить природные ресур-

³Annual Report // ICID – International Commission on Irrigation & Drainage [Electronic resource]. URL: <https://icid-ciid.org/publication/info/33> (date of access: 10.01.2023).

⁴Green Public Procurement // European Commission [Electronic resource]. URL: https://ec.europa.eu/environment/gpp/index_en.htm (date of access: 10.01.2023).

сы и оздоравливать среду обитания, но и стимулировать внедрение эколого ориентированных инновационных разработок в производство, развивать рынок экологических товаров и услуг [17]. Впервые этот механизм был внедрен в 1995 г. в странах так называемой «зеленой семерки» (G7 – Австрия, Дания, Финляндия, Германия, Голландия, Швеция и Великобритания) посредством введения системы государственного заказа, основанной на закупках, сокращающих негативное воздействие на окружающую среду. Позднее этот механизм поддержали международные и региональные организации, включая ООН, ОЭСР, Европейскую комиссию и Всемирную торговую организацию [18, 19].

С 1 января 2023 г. ЗГЗ действуют и в Российской Федерации^{5, 6}.

Особый интерес представляет дифференцированная система платежей за потребление оросительных вод различного качества. Например, в Израиле ставка платы привязана не только к количеству ирригационных вод, но и к их виду (качеству). Каждый фермер – потребитель оросительных вод получает так называемый лицензионный лимит чистой (природной) воды (ЛЛПВ). В рамках использования этого лимита в зависимости от количества и качества оросительных вод варьируются платежи водопользователей (по состоянию на 2015 г.):

- природная вода: < 50 % от ЛЛПВ – 0,20 долл. США/м³; 50–80 % – 0,25 долл. США/м³; 80–100 % – 0,30 долл. США/м³;

- СВ: < 50 % ЛЛПВ – 0,13 долл. США/м³; ≥ 50 % – 0,10 долл. США/м³
[20].

⁵Об особенностях описания отдельных видов товаров, являющихся объектом закупки для обеспечения государственных и муниципальных нужд, при закупках которых предъявляются экологические требования [Электронный ресурс]: Постановление Правительства РФ от 8 июля 2022 г. № 1224. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_421799/ (дата обращения: 10.01.2023).

⁶О реализации постановления Правительства Российской Федерации от 8 июля 2022 г. № 1224 [Электронный ресурс]: письмо М-ва природ. ресурсов и экологии РФ от 15 дек. 2022 г. № 25-53/49250. URL: <https://base.garant.ru/406011037/> (дата обращения: 10.01.2023).

Такой подход, с одной стороны, позволяет управлять дефицитным ресурсом – водой – с помощью относительно уникальной комбинации количественных, качественных и ценовых инструментов, с другой – предоставляет фермерам возможность варьировать водопотребление в соответствии со своими бюджетными возможностями либо экономической целесообразностью возделывания определенного вида культур.

Немаловажно и формирование общественного положительного мнения путем социального конструирования через средства массовой информации посредством освещения положительных сторон и безопасности такой практики полива, распространения точных научных фактов и убедительных аргументов в пользу инициатив по повторному использованию воды [21–23]. Например, правительство Сингапура ведет позитивно ориентированную кампанию по повторному использованию воды в ходе общественных дебатов. Понятие «сточные воды» было заменено на «использованную воду» во всех сообщениях. Более того, все «очистные сооружения сточных вод» были переименованы в «мелиоративные сооружения». Эта коммуникационная стратегия стала частью генерального плана по устранению дефицита водного баланса в Сингапуре и приведению городских СВ в соответствие с качеством питьевой воды. Такие мероприятия сыграли важную роль в процессах принятия решений для должностных лиц и заинтересованных сторон, таких как фермеры, научно-производственные объединения, группы защиты окружающей среды, ученые в области водных ресурсов и социологии и т. д. [9].

Особую роль в этом вопросе играет определение допустимого для орошения качества СВ. Ограничение показателей по ряду токсичных компонентов позволяет улучшать экологический и социальный имидж СВ, подаваемых на орошение. В текущей ситуации в качестве критериев пригодности СВ для орошения рассматриваются различные нормативы, в т. ч. и отражающие качество природных вод для различных целей использова-

ния. Единого подхода в этой области не определено. В одних странах отсутствуют стандарты в этой области, в других, напротив, требования к качеству СВ для орошения предъявляются аналогичные требованиям к природным источникам для питьевого водоснабжения. Однако, так как реальный состав СВ как у нас в стране, так и за рубежом имеет превышение показателей биогенных элементов, и в первую очередь фосфора [24–27], который является ценным удобрением в сельском хозяйстве, нормирование СВ должно производиться с учетом их удобрительного потенциала. Немаловажен также и способ подачи СВ на орошение, так как приходится учитывать влияние их компонентов на техническое оборудование. Особую актуальность это приобретает в случае с капельным орошением [4]. Поэтому оцениваются возможности применения СВ для орошения: по способу подачи, по степени очистки, индивидуальные требования в рамках национальных подходов.

Например, в рекомендациях ФАО определены ПДК для поливных вод, которыми руководствуются в ряде стран и для оценки СВ, подаваемых на орошение (таблица 1 [24]).

Таблица 1 – Предельно допустимые концентрации тяжелых металлов и фтора в поливных водах [24]

В мг/дм³

Table 1 – Maximum permissible concentrations of heavy metals and fluorine in irrigation water [24]

In mg/dm³

Элемент	Для всех видов почв	Для использования до 20 лет на почвах тяжелого гранулометрического состава и pH 6,0–8,5	Элемент	Для всех видов почв	Для использования до 20 лет на почвах тяжелого гранулометрического состава и pH 6,0–8,5
1	2	3	4	5	6
Al	5,0	20,0	F	1,0	15,0
As	0,1	2,0	Li	2,5	2,5
Be	0,1	0,5	Mn	0,2	10,0
B	< 0,7	2,0	Mo	0,01	0,05*
Cd	0,01	0,05	Ni	0,2	2,0
Co	0,05	5,0	Pb	5,0	10,0
Cr	0,1	1,0	Se	0,02	0,02

Продолжение таблицы 1

Table 1 continued

1	2	3	4	5	6
Cu	0,2	5,0	V	0,2	1,0
Fe	0,5	20,0	Zn	2,0	10,0

*Только для кислых почв тяжелого гранулометрического состава и кислых почв с относительно высоким содержанием оксида железа.

В ЕС относительно качества СВ для орошения принят Регламент (ЕС) 2020/741⁷ от 25 мая 2020 г. о минимальных требованиях к повторному использованию воды, согласно которому обязательное нормирование осуществляется только по биохимическому потреблению кислорода (БПК), общему количеству твердых веществ и содержанию патогенных микроорганизмов (таблица 2). При этом требования дифференцированы в зависимости от способов очистки и предварительной обработки СВ. Однако, если исходить из требований обеспечения безопасности населения, необходимо учитывать и токсические вещества в СВ согласно Директиве ЕС 2020/2184⁸ (таблица 3).

Нормативные значения концентраций загрязняющих веществ для оценки экологической безопасности СВ, принятые в российских и зарубежных стандартах, приведены в таблице 3.

Следует отметить, что практика оценки показателей качества СВ чаще всего формируется на возможности их очистки до производственно-хозяйственных нормативов, это в ряде случаев является трудноосуществимым, особенно по показателям фосфора. Попадание биогенов в природные водные объекты ведет к целому каскаду негативных экологических последствий: усиление продуктивности малоценных гидробионтов, и в первую очередь фитопланктона, уменьшение содержания растворенного кислоро-

⁷Регламент (ЕС) 2020/741 Европейского парламента и совета от 25 мая 2020 года о минимальных требованиях к повторному использованию воды.

⁸Directive (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) (Text with EEA relevance) [Electronic resource]. URL: <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2020/2184/oj> (date of access: 10.01.2023).

да, ухудшение видового разнообразия обитателей водной среды, изменение рН, органолептических свойств воды и т. д. В свою очередь, нарушение производственно-хозяйственных нормативов для СВ коммунальных очистных сооружений у нас в стране приводит к увеличению платежей за сброс вод ненадлежащего качества в водный объект и выплате штрафов. При этом в России существует ряд регионов, где коммунальные очистные сооружения расположены вблизи сельскохозяйственных полей, что является благоприятным фактором для организации оросительных систем с участием СВ. Такая практика пошла бы на пользу коммунальным станциям очистки. Однако для аграриев такой вид полива может создавать определенные неудобства: дополнительный экологический и санитарно-гигиенический контроль, проведение процедуры согласования с органами Роспотребнадзора, соблюдение санитарно-защитных зон, выращивание ограниченного ассортимента сельскохозяйственных культур или соблюдение определенного способа полива. Поэтому конкретно для российских аграриев стимулов для освоения СВ для орошения нет, что не прибавляет популярности этому способу полива.

Применение СВ для орошения после комплексного их анализа должно сопровождаться подбором подходящих севооборотов, который может быть ограничен не только качеством СВ, но и климатическими условиями и национальными приоритетами. В ЕС требования к видам культур, допустимых к выращиванию при орошении СВ, регламентированы в соответствии со степенью очистки и способом полива (таблица 2).

В практику орошения СВ в странах Латинской Америки включены такие культуры, как рис, овощные, в т. ч. картофель, сахарный тростник, кукуруза, зерновые, фуражные, фруктовые деревья, оливки, кормовые культуры и пастбища, хлопок, табак, виноградники, леса [23].

Таблица 2 – Требования к качеству очищенной воды для орошения сельскохозяйственных угодий в странах ЕС
Table 2 – Requirements for treated water quality for irrigation of agricultural land in the EU countries

Класс качества очищенной СВ	Ориентировочная технологическая цель	Категория урожая	Способ орошения	Требование к качеству				
				E. coli (количество/100 мл)	БПК ₅ (мг O ₂ /дм ³)	TSS* (мг/л)	Мутность (NTU)	Другое
A	Вторичная обработка, фильтрация, дезинфекция	Все пищевые культуры и корнеплоды, употребляемые в сыром виде, независимо от контакта с водой	Все	≤ 10	≤ 10	≤ 10	≤ 5	Legionella spp.: < 1000 КОЕ/л, где существует риск аэрозолизации. Кишечные нематоды (яйца гельминтов): ≤ 1 яйцо/л для орошения пастбищ или фуражирования
B	Вторичная обработка, дезинфекция	Продовольственные культуры, потребляемые в сыром виде, съедобная часть без контакта с водой, непродовольственные культуры, в т. ч. кормовые	Все	≤ 100	25**	35** (при ЭН*** > 10000)	–	
C	Вторичная обработка, дезинфекция		Неконтактный со съедобной частью (капельное)	≤ 1000			–	
D	Вторичная обработка, дезинфекция	Технические культуры: для промышленной переработки и нужд биоэнергетики	Все	≤ 10000	–	60** (при ЭН*** 2000–10000)	–	

*TSS – общее количество твердых веществ.
 **Согласно таблице 1 приложения I Директивы от 21 мая 1991 г. «Об очистке городских стоков» (91/271/ЕЕС).
 ***Количество абонентов по отводу канализационных вод в муниципальном образовании или округе.

Таблица 3 – Нормативные показатели концентраций загрязняющих веществ для оценки экологической безопасности сточных вод: российские и зарубежные стандарты

Table 3 – Normative indicators of pollutant concentrations for assessing the environmental safety of wastewater: Russian and foreign standards

Вещество	Усредненный состав СВ по МДК 3-01.2001 ⁹	НДТ ¹⁰ в сфере очистки СВ	ПДК _{р.х.} ¹¹	ПДК _{х.п.} ¹²	US EPA ¹³	Директива ЕС 2020/2184	Рекомендации ВОЗ ¹⁴	GB20922–2007 ¹⁵
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Взвешенные вещества	110	15	–	–	–	–	–	60–90
ХПК, мг/дм ³	250	80	15–30	15–30	–	–	–	–
БПК _{пол.} , мг О ₂ /дм ³	180	–	3,0	3,0	–	–	–	40–100
БПК ₅ , мг О ₂ /дм ³	–	10	2,1	3,5–4	–	–	–	–
Растворенный О ₂ , мг/дм ³	–	–	> 6,0	> 6,0	–	5,0	–	–
Сухой остаток, мг/дм ³	300	–	–	–	500	–	600–1000	–
NO ₃ ⁻ , мг/дм ³	–	12	40	45	44	50	50	–

⁹Методические рекомендации по расчету количества и качества принимаемых сточных вод и загрязняющих веществ в системы канализации населенных пунктов [Электронный ресурс]: МДК 3-01.2001: утв. Госстроем России 06.04.01. Доступ из ИС «Техэксперт: 6 поколение» Интранет.

¹⁰Об утверждении технологических показателей наилучших доступных технологий в сфере очистки сточных вод с использованием централизованных систем водоотведения поселений или городских округов [Электронный ресурс]: Постановление Правительства РФ от 15 сент. 2020 г. № 1430. Доступ из ИС «Техэксперт: 6 поколение» Интранет.

¹¹Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения [Электронный ресурс]: приказ Минсельхоза России от 13 дек. 2016 г. № 552 (с изм. на 10 марта 2020 г.). Доступ из ИС «Техэксперт: 6 поколение» Интранет.

¹²Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания [Электронный ресурс]: СанПиН 1.2.3685-21: утв. Гл. гос. санитар. врачом Рос. Федерации 28.01.21. Доступ из ИС «Техэксперт: 6 поколение» Интранет.

¹³Water Quality Criteria // United States Environmental Protection Agency [Electronic resource]. URL: <https://www.epa.gov/wqc> (date of access: 02.03.2023).

¹⁴Руководство по обеспечению качества питьевой воды. 4-е изд. Женева: Всемир. орг. здравоохранения, 2017. 604 с.

¹⁵Chinese National Standard GB20922-2007. The Reuse of Urban Recycling Water – Water Quality Standard for Green Space Irrigation [Electronic resource]. 2010. URL: <https://www.chinesestandard.net/PDF/English.aspx/GB20922-2007> (date of access: 10.01.2023).

Продолжение таблицы 3

Table 3 continued

1	2	3	4	5	6	7	8	9
NO ₂ ⁻ , мг/дм ³	–	0,25	0,08	3,3	3,5	0,5	3,0	–
NH ₄ ⁺ , мг/дм ³	18	1,5	0,5	1,5–2,0	–	0,5	1,5	–
N _{общ.} , мг/дм ³	–	–	–	–	–	–	–	–
HCO ₃ ⁻ , мг/дм ³	–	–	–	1000	–	–	–	–
SO ₄ ²⁻ , мг/дм ³	40	–	100	100	250	250	250	–
S ²⁻ , мг/дм ³	–	–	0,01	отсут.	–	–	–	1,0
Cl ⁻ , мг/дм ³	45	–	300	350	250	250	250	350
PO ₄ ²⁻ , мг/дм ³	2,0	1(1,5)	0,2	3,5	–	–	–	–
P _{общ.} , мг/дм ³	–	–	0,1	3,5	–	–	–	–
Нефтепродукты, мг/дм ³	1,0	–	0,05	0,3	–	–	–	1,0
Железо общее, мг/дм ³	2,2	–	0,1	0,3	–	–	–	–
Мышьяк суммарно, мг/дм ³	–	–	0,05	0,05	0,05	0,01	–	0,05
Pb ²⁺ , мг/дм ³	0,004	–	0,006	0,03	0,015	0,01	–	0,2
Cd ²⁺ , мг/дм ³	0,0002	–	0,001	0,005	0,005	0,005	–	0,01
Cu ²⁺ , мг/дм ³	0,02	–	0,001	1,0	1,0–1,3	2,0	2,0	–
Ni ⁺ , мг/дм ³	0,005	–	0,01	0,1	–	–	–	–
Zn ²⁺ , мг/дм ³	0,1	–	0,01	1,0	5,0	1,0	3,0–5,0	–
Cr ³⁺ , мг/дм ³	0,003	–	0,07	0,5				
Cr ⁶⁺ , мг/дм ³	0,0003	–	0,02	0,05				
Al ³⁺ , мг/дм ³	0,5	–	0,04	0,5				
Ртуть, мг/дм ³	0,0001	–	отсут.	0,0005				
Фториды, мг/дм ³	0,08	–	0,5	1,5(1,2)				

Продолжение таблицы 3

Table 3 continued

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Na ⁺ , мг/дм ³	–	–	120	200	–	200	200	–
Mg ²⁺ , мг/дм ³	–	–	40	50	–	–	–	–
Mn ²⁺ , мг/дм ³	0,1		0,01	0,1				
Ca ²⁺ , мг/дм ³	–	–	180	120	–	–	–	–
K ⁺ , мг/дм ³	–	–	50	–	–	–	–	–
СПАВ (анионные), мг/дм ³	2,5	–	–	0,5	–	–	–	–
Фенолы, мг/дм ³	0,005	–	0,001	0,001	–	–	–	–
Жесткость общая, ммоль/дм ³	–	–	–	–	–	–	–	–
Минерализация, г/дм ³	–	–	–	1,0	< 2,0	–	0,6–1,0	–
Щелочность, ммоль/дм ³ , или рН, ед. рН	–	–	–	–	6,5–8,5	6,5–9,5	–	5,5–8,5

В странах Средиземноморья орошение овощей, citrusовых или других культур, которые будут употребляться в пищу в сыром виде, можно осуществлять СВ только после прохождения их очистки в стабилизационных прудах и прерывистых фильтрах или только определенным способом – подповерхностным капельным поливом [28].

В Индии ассортимент орошаемых культур напрямую зависит от степени очистки СВ: практически чистыми водами (96 %) орошают все культуры, в т. ч. овощные, салаты и зелень, а при малой степени очистки (< 50 %) – в основном зерновые, рис и цветы [29, 30].

В российской практике использования СВ для орошения разрешенным является выращивание технических, зерновых, кормовых культур и древесно-кустарниковых насаждений¹⁶. Культивирование на полях, орошаемых СВ или их растворами, овощных, в т. ч. картофеля, ягодных, фруктовых, бахчевых, салатных культур запрещается, что соответственно накладывает ограничения на агрария по выбору, которые могут носить долгосрочный характер.

Из-за возрастающей нагрузки на пресноводные экосистемы и дефицита этих ресурсов орошение очищенными СВ становится актуальным способом как экономии водных ресурсов, так и улучшения их экологических показателей. Экономические, социальные и экологические выгоды такого подхода очевидны. Однако для его продвижения и популяризации среди аграриев и населения в нашей стране правительству необходимо адаптировать комплексный подход к управлению водными ресурсами, в т. ч. за счет экономического стимулирования внедрения передовых технологий и способов использования СВ, содействовать участию общественности, распространять существующие знания, генерировать новые знания, а также контролировать и обеспечивать соблюдение стандартов.

¹⁶Пособие к ВНТП 01-98 «Оросительные системы с использованием сточных вод и животноводческих стоков». М., 1998. 168 с.

Выводы. В российском законодательстве в настоящее время отсутствуют разработанные нормативы, регламентирующие применение хозяйственно-бытовых СВ для орошения, что требует детального изучения данного вопроса.

Особое значение имеют финансовые показатели и экономические выгоды для сторон, заинтересованных в реализации данного процесса. Если ориентироваться на международный опыт мотивирующих стимулов, представляет особый интерес варьирование стоимости оросительных вод в зависимости от их качества и объемов потребления (опыт Израиля). В качестве стимула заинтересованности аграриев в применении хозяйственно-бытовых СВ после биологической очистки в целях орошения определенных сельскохозяйственных культур следует внедрить в российскую практику формирования платежей за подачу воды на орошение поправочные коэффициенты, учитывающие качество используемых вод.

Список источников

1. Глобальное потепление на 1,5 °С. Специальный доклад МГЭИК о последствиях глобального потепления на 1,5 °С выше доиндустриальных уровней и о соответствующих траекториях глобальных выбросов парниковых газов в контексте укрепления глобального реагирования на угрозу изменения климата, а также устойчивого развития и усилий по искоренению нищеты. Резюме для политиков / ред. группа: В. Массон-Дельмонтт [и др.]; Межправительств. группа экспертов по изм. климата. 2019. 94 с.
2. Инчагов А. Д. Сброс сточных вод без очистки: нюансы проблемы // Экология производства. 2020, 24 авг. С. 2–9.
3. Новиков В. М., Элик Э. И. Использование сточных вод на полях орошения. М.: Россельхозиздат, 1986. 80 с.
4. Pescod M. B. Wastewater treatment and use in agriculture – FAO irrigation and drainage paper 47 [Electronic resource]. Rome, 1992. URL: <https://www.fao.org/3/t0551e/t0551e00.htm#Contents> (date of access: 12.01.2023).
5. 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.
6. Water reuse: From ancient to modern times and the future / A. N. Angelakis, T. Asano, A. Bahri, B. E. Jimenez, G. Tchobanoglous // Front. Environ. Sci. Sec. Wastewater Management. 2018. Vol. 6. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2018.00026>.
7. Кузнецов Е. В., Хаджиди А. Е. Сельскохозяйственный мелиоративный комплекс для устойчивого развития агроландшафтов: монография. Краснодар: Эдви, 2014. 200 с.
8. Беличенко Ю. П., Швецов М. М. Рациональное использование и охрана водных ресурсов. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Россельхозиздат, 1986. 303 с.

9. The use of (treated) domestic wastewater for irrigation: Current situation and future challenges / M. L. Gatto D'Andrea, A. G. J. Salas Barboza, V. Garcés, M. S. Rodriguez-Alvarez, M. A. Iribarnegaray, V. I. Liberal, G. E. Fasciolo, J. B. van Lier, L. Seghezzo // *Int. J. Water and Wastewater Treatment*. 2015. № 1(2). <http://dx.doi.org/10.16966/2381-5299.107>.
10. Ратников А. А. Использование бытовых сточных вод для орошения зеленых насаждений // *Мир климата*. 2014. № 86. С. 120–128.
11. Angelakis A. N., Snyder S. A. Wastewater treatment and reuse: Past, present, and future // *Water*. 2015. № 7(9). P. 4887–4895. DOI: 10.3390/w7094887.
12. Tzanakakis V. E., Paranychianakis N. V., Angelakis A. N. Soil as a wastewater treatment system: Historical development // *Water Supply*. 2007. Vol. 7, iss. 1. P. 67–76. <https://doi.org/10.2166/ws.2007.008>.
13. Саинов М. П., Саинова Н. П. Ирригация и гидротехника в Древней Индии // *Вестник МГСУ*. 2010. № 4. С. 346–349.
14. The history of land application and hydroponic systems for wastewater treatment and reuse / V. E. Tzanakakis, S. Koo-Oshima, M. Haddad, N. Apostolidis, A. N. Angelakis // *Evolution of Sanitation and Wastewater Management through the Centuries* / eds.: A. N. Angelakis, J. B. Rose. London, UK: IWA Publishing, 2014. Chap. 24. P. 459–482.
15. Wastewater recycling and reuse practices in Mediterranean region: Recommended Guidelines [Electronic resource] / G. Kamizoulis, A. Bahri, F. Brissaud, A. N. Angelakis. 2003. URL: https://www.researchgate.net/publication/228797648_Wastewater_recycling_and_reuse_practices_in_Mediterranean_region_Recommended_Guidelines (date of access: 12.01.2023).
16. Qadir M., Scott C. A. Trade-offs of wastewater irrigation // *Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences*. 2022. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-822974-3.00018-5>.
17. Государственные «зеленые» закупки: опыт правового регулирования и предложения по внедрению в России / О. В. Анчишкина, Ю. А. Грачева, Р. А. Исмаилов, Е. М. Кузнецова, А. В. Птичников, Е. Н. Хмелева; Всемир. фонд дик. природы (WWF). М., 2020. 64 с.
18. Концепция внедрения экологических критериев в контрактную систему закупок / К. А. Белокрылов, А. Н. Вакуленко, А. О. Кишковская, А. Н. Ситухо // *Journal of Economic Regulation (Вопросы регулирования экономики)*. 2021. № 12(4). С. 150–158. DOI: 10.17835/2078-5429.2021.12.4.150-158.
19. Липина С. А., Агапова Е. В., Липина А. В. Международный опыт применения экологических критериев в государственной закупочной практике // *Экономика и управление народным хозяйством*. 2019. № 6(175). С. 127–133. DOI: 10.14451/1.175.127.
20. Манжина С. А., Медведева Л. Н. К вопросу привлечения инвестиций в мелиорацию через формирование платы за подачу воды сельскохозяйственным водопотребителям // *Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]*. 2019. № 2(34). С. 215–229. URL: <http://www.rosniipm-sm.ru/article?n=980> (дата обращения: 12.01.2023). DOI: 10.31774/2222-1816-2019-2-215-229.
21. Alemayehu Y. A., Asfaw S. L., Terfie T. A. Reusing urine and coffee processing wastewater as a nutrient source: Effect on soil characteristics at optimum cabbage yield // *Environmental Technology & Innovation*. 2021. Vol. 23. 101571. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2021.101571>.
22. Obstacles to low quality water irrigation of food crops in Morogoro, Tanzania / S. Samson, R. H. Mdegela, A. Permin, J. E. D. Mlangwa, C. P. Mahonge // *Journal of Sustainable Development*. 2017. Vol. 10, № 2. 12 p. DOI: 10.5539/jsd.v10n2p1.

23. Комарова Е. В., Слабунова А. В. Зарубежный и российский опыт применения сточных вод в удобрительном поливе сельскохозяйственных земель // Сборник статей XXXIII Международной научно-практической конференции 10 апреля 2021 г. Пенза: Наука и Просвещение (ИП Гуляев Г. Ю.), 2021. С. 35–40.

24. Шеуджен А. Х., Аканова Н. И., Бондарева Т. Н. Агрехимия. Ч. 6. Экологическая агрохимия: учеб. пособие. Майкоп: Полиграф-Юг, 2018. 575 с.

25. Манжина С. А., Власов М. В. Агрэкологическая 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: 12.03.2023). <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2023-13-1-132-149>.

26. Economic Valuation of Wastewater. The cost of action and the cost of no action. United Nations Environment Programme / H.-S. Francesc, L.-D. Birguy, M.-S. Javier, Q. Manzoor. 2015. 72 p.

27. Ляшевский В. И., Вердыш М. В., Кременской В. И. Изучение возможностей использования очищенных сточных вод для орошения в Крыму // Таврический вестник аграрной науки. 2016. № 1(5). С. 111–119.

28. Waste Water Treatment and Reuse in the Mediterranean Region / vol. ed.: D. Barceló, M. Petrovic. The Handbook of Environmental Chemistry. Vol. 14. 2011. 327 p. DOI: 10.1007/978-3-642-18281-5.

29. Wastewater production, treatment and use in India / R. Kaur, S. P. Wani, A. K. Singh, K. Lal // National Report presented at the 2nd Regional Workshop on Safe Use of Wastewater in Agriculture. 2012. P. 1–13.

30. Urban wastewater and agricultural reuse challenges in India / P. Amerasinghe, R. M. Bhardwaj, C. Scott, K. Jella, F. Marshall; International Water Management Institute. Colombo, Sri Lanka, 2013. 36 p. DOI: 10.5337/2013.200.

References

1. Masson-Delmotte V. [et al.], 2019. *Global'noe poteplenie na 1,5 °C. Spetsial'nyy doklad MGEIK o posledstviyakh global'nogo potepleniya na 1,5 °C vyshe doindustrial'nykh urovney i o sootvetstvuyushchikh traektoriyakh global'nykh vybrosov parnikovyykh gazov v kontekste ukrepleniya global'nogo reagirovaniya na ugrozu izmeneniya klimata, a takzhe ustoychivogo razvitiya i usiliy po iskoreneniyu nishchety. Rezyume dlya politikov* [Global warming of 1.5 °C – an IPCC special report on the impacts of global warming of 1.5 °C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty. Summary for politicians]. Intergovernmental Change Expert Group Climate, 94 p. (In Russian).

2. Inchagov A.D., 2020. *Sbros stochnykh vod bez ochistki: nyuansy problemy* [Wastewater discharge without treatment: the nuances of the problem]. *Ekologiya proizvodstva* [Ecology of Production], Aug. 24, pp. 2-9. (In Russian).

3. 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).

4. Pescod M.B., 1992. Wastewater treatment and use in agriculture – FAO irrigation and drainage paper 47. Rome, available: <https://www.fao.org/3/t0551e/t0551e00.htm#Contents> [accessed 12.01.2023].

5. 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 Scientific Research Journal], no. 3(22), pt. 2, pp. 43-46. (In Russian).

6. Angelakis A.N., Asano T., Bahri A., Jimenez B.E., Tchobanoglous G., 2018. Water reuse: From ancient to modern times and the future. *Front. Environ. Sci. Sec. Wastewater Management*, vol. 6, <https://doi.org/10.3389/fenvs.2018.00026>.

7. Kuznetsov E.V., Khadzhidi A.E., 2014. *Sel'skokhozyaystvennyy meliorativnyy kompleks dlya ustoychivogo razvitiya agrolandshaftov: monografiya* [Agricultural Reclamation Complex for the Sustainable Development of Agrolandscapes: monograph]. Krasnodar, Edvi Publ., 200 p. (In Russian).

8. Belichenko Yu.P., Shvetsov M.M., 1986. *Ratsional'noe ispol'zovanie i okhrana vodnykh resursov* [Rational Use and Protection of Water Resources]. 2nd ed., rev. and add., Moscow, Rosselkhozizdat Publ., 303 p. (In Russian).

9. Gatto D'Andrea M.L., Salas Barboza A.G.J., Garcés V., Rodriguez-Alvarez M.S., Iribarnegaray M.A., Liberal V.I., Fasciolo G.E., van Lier J.B., Seghezzo L., 2015. The use of (treated) domestic wastewater for irrigation: Current situation and future challenges. *Int. J. Water and Wastewater Treatment*, no. 1(2), <http://dx.doi.org/10.16966/2381-5299.107>.

10. Ratnikov A.A., 2014. *Ispol'zovanie bytovykh stochnykh vod dlya orosheniya zelenykh nasazhdeniy* [Use of household wastewater for irrigation of green spaces]. *Mir klimata* [World of Climate], no. 86, pp. 120-128. (In Russian).

11. Angelakis A.N., Snyder S.A., 2015. Wastewater treatment and reuse: Past, present, and future. *Water*, no. 7(9), pp. 4887-4895, DOI: 10.3390/w7094887.

12. Tzanakakis V.E., Paranychianakis N.V., Angelakis A.N., 2007. Soil as a wastewater treatment system: Historical development. *Water Supply*, vol. 7, iss. 1, pp. 67-76, <https://doi.org/10.2166/ws.2007.008>.

13. Sainov M.P., Sainova N.P., 2010. *Irrigatsiya i gidrotekhnika v Drevney Indii* [Irrigation and hydraulic engineering in Ancient India]. *Vestnik MGSU* [Bulletin of MGSU], no. 4, pp. 346-349. (In Russian).

14. Tzanakakis V.E., Koo-Oshima S., Haddad M., Apostolidis N., Angelakis A.N., 2014. The history of land application and hydroponic systems for wastewater treatment and reuse. *Evolution of Sanitation and Wastewater Management through the Centuries* London. UK, IWA Publishing, chap. 24, pp. 459-482.

15. Kamizoulis G., Bahri A., Brissaud F., Angelakis A.N., 2003. Wastewater recycling and reuse practices in the Mediterranean region: Recommended Guidelines, available: https://www.researchgate.net/publication/228797648_Wastewater_recycling_and_reuse_practices_in_Mediterranean_region_Recommended_Guidelines [accessed 12.01.2023].

16. Qadir M., Scott C.A., 2022. Trade-offs of wastewater irrigation. Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-822974-3.00018-5>.

17. Anchishkina O.V., Gracheva Yu.E., Ismailov R.A., Kuznetsova E.M., Ptichnikov A.V., Khmeleva E.N., 2020. *Gosudarstvennyye "zelenye" zakupki: opyt pravovogo regulirovaniya i predlozheniya po vnedreniyu v Rossii* [State "Green" Procurement: Experience of Legal Regulation and Proposals for Implementation in Russia]. World Wildlife Fund (WWF), Moscow, 64 p. (In Russian).

18. Belokrylov K.A., Vakulenko A.N., Kishkovskaya A.O., Situkho A.N., 2021. *Kontseptsiya vnedreniya ekologichnykh kriteriev v kontraktную систему zakupok* [The concept of introducing eco-friendly criteria into the contract procurement system]. *Voprosy regulirovaniya ekonomiki* [Journal of Economic Regulation (Issues of Economic Regulation)], no. 12(4), pp. 150-158, DOI: 10.17835/2078-5429.2021.12.4.150-158. (In Russian).

19. Lipina S.A., Agapova E.V., Lipina A.V., 2019. *Mezhdunarodnyy opyt primeneniya ekologicheskikh kriteriev v gosudarstvennoy zakupochnoy praktike* [International experience

in the application of environmental criteria in public procurement practices]. *Ekonomika i upravlenie narodnym khozyaystvom* [Economics and Management of the National Economy], no. 6(175), pp. 127-133, DOI: 10.14451/1.175.127. (In Russian).

20. Manzhina S.A., Medvedeva L.N., 2019. [On the issue of attracting investments into reclamation through the formation of water charge supplied to agricultural water consumers]. *Nauchnyy zhurnal Rossiyskogo NII problem melioratsii*, no. 2(34), pp. 215-229, available: <http://www.rosniipm-sm.ru/article?n=980> [accessed 12.01.2023], DOI: 10.31774/2222-1816-2019-2-215-229. (In Russian).

21. Alemayehu Y.A., Asfaw S.L., Terfie T.A., 2021. Reusing urine and coffee processing wastewater as a nutrient source: Effect on soil characteristics at optimum cabbage yield. *Environmental Technology & Innovation*, vol. 23, 101571, <https://doi.org/10.1016/j.eti.2021.101571>.

22. Samson S., Mdegela R.H., Permin A., Mlangwa J.E.D., Mahonge C.P., 2017. Obstacles to low quality water irrigation of food crops in Morogoro, Tanzania. *Journal of Sustainable Development*, vol. 10, no. 2, 12 p., DOI: 10.5539/jsd.v10n2p1.

23. Komarova E.V., Slabunova A.V., 2021. *Zarubezhnyy i rossiyskiy opyt primeneniya stochnykh vod v udobritel'nom polive sel'skokhozyaystvennykh zemel'* [Foreign and Russian experience of using wastewater in fertilizing irrigation of agricultural lands]. *Sbornik statey XXXIII Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Coll. of articles of the XXXIII International Scientific and Practical Conference]. Penza, Science and Education (IP Gulyaev G.Yu.) Publ., pp. 35-40. (In Russian).

24. Sheudzhen A.Kh., Akanova N.I., Bondareva T.N., 2018. *Agrokimiya. Ch. 6. Ekologicheskaya agrokimiya* [Agrochemistry. Pt. 6. Ecological Agrochemistry: textbook]. Maykop, Polygraph-South Publ., 575 p. (In Russian).

25. Manzhina S.A., Vlasov M.V., 2023. [Agro-ecological 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 12.03.2023], <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2023-13-1-132-149>. (In Russian).

26. Francesc H.-S., Birguy L.-D., Javier M.-S., Manzoor Q., 2015. Economic Valuation of Wastewater. The cost of action and the cost of no action. United Nations Environment Programme. 72 p.

27. Lyashevsky V.I., Verdysh M.V., Kremenskiy V.I., 2016. *Izuchenie vozmozhnostey ispol'zovaniya ochishchennykh stochnykh vod dlya orosheniya v Krymu* [Studying the possibilities of using treated wastewater for irrigation in the Crimea]. *Tavricheskiy vestnik agrarnoy nauki* [Tauride Herald of Agrarian Sciences], no. 1(5), pp. 111-119. (In Russian).

28. Barceló D., Petrovic M., 2011. Wastewater Treatment and Reuse in the Mediterranean Region. *The Handbook of Environmental Chemistry*, vol. 14, 327 p., DOI: 10.1007/978-3-642-18281-5.

29. Kaur R., Wani S.P., Singh A.K., Lal K., 2012. Wastewater production, treatment and use in India. National Report presented at the 2nd Regional Workshop on Safe Use of Wastewater in Agriculture, pp. 1-13.

30. Amerasinghe P., Bhardwaj R.M., Scott C., Jella K., Marshall F., 2013. Urban wastewater and agricultural reuse challenges in India. *International Water Management Institute*. Colombo, Sri Lanka, 36 p., DOI: 10.5337/2013.200.

Информация об авторе

С. А. Манжина – старший научный сотрудник, кандидат технических наук, доцент.

Information about the author

S. A. Manzhina – Senior Researcher, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor.

Автор несет ответственность при обнаружении плагиата, самоплагиата и других нарушений в сфере этики научных публикаций.

The author is responsible for detecting plagiarism, self-plagiarism and other ethical violations in scientific publications.

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

The author declares no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 30.01.2023; одобрена после рецензирования 05.04.2023; принята к публикации 25.04.2023.

The article was submitted 30.01.2023; approved after reviewing 05.04.2023; accepted for publication 25.04.2023.