

РОЛЬ МЕЛИОРАЦИИ И ВОДНОГО ХОЗЯЙСТВА В ОБЕСПЕЧЕНИИ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ ЗЕМЛЕДЕЛИЯ

Обзорная статья

УДК 628.31

Информационно-аналитический обзор технических решений для очистки дренажно-сбросных вод с рисовых оросительных систем

Дарья Вячеславовна Мильченкова¹, Татьяна Ильинична Дрововозова²

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

¹milchenkova.darya@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0001-7665-1366>

²tid70.drovovozova@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8724-7799>

Аннотация. Цель: провести анализ технических решений для очистки дренажно-сбросных вод с рисовых оросительных систем для дальнейшей разработки блочно-модульной станции их очистки и повторного использования их для нужд орошения. **Обсуждение.** В 2023 г. объем сточных вод в Российской Федерации составил 37,47 куб. км, из них в сельскохозяйственной отрасли – 11,5 %. Объем дренажно-сбросных вод с орошаемых земель на всей территории страны составил 3,015 куб. км, большая часть их образуется на рисовых оросительных системах. С целью рационального использования водных ресурсов на таких системах применяют оборотную систему водопользования. Дренажно-сбросные воды с рисовых оросительных систем характеризуются повышенным содержанием органических веществ (пестицидов и их метаболитов) и высоким солесодержанием. В зависимости от исходного качества рассматриваемых вод все способы очистки подразделяют на биохимическую, сорбционную, деминерализацию и сооружение биоплато. Повторное использование дренажно-сбросных вод из отводящих каналов рисовых оросительных систем возможно только при условии их очистки, позволяющей исключить процесс вторичного засоления почв, ухудшения их общего эколого-мелиоративного состояния. Анализ патентов показал, что основные разработки направлены на возможность повторного использования сбросных вод с рисовых чеков на орошение без учета химического состава воды. Практически все технологии ориентированы на биохимическую и сорбционную очистку сбросных вод с рисовых систем, не устраняется самый главный фактор негативного воздействия на почвы, естественные водотоки, грунтовые воды, а именно высокое солесодержание. **Вывод.** Анализ технических решений для очистки дренажно-сбросного стока с рисовой оросительной системы показал, что при разработке конструкции станции очистки необходимо руководствоваться химическим составом дренажно-сбросных вод, общим эколого-мелиоративным состоянием орошаемых земель и обосновывать финансовые затраты на сооружение очистной станции.

Ключевые слова: рисовая оросительная система, дренажно-сбросные воды, технические решения для очистки, повторное использование воды

Апробация результатов исследования: основные положения статьи доложены на Всероссийской научно-практической конференции «Роль мелиорации и водного хозяйства в обеспечении устойчивого развития земледелия» (г. Новочеркасск, 19 февраля 2025 г.).

Для цитирования: Мильченкова Д. В., Дрововозова Т. И. Информационно-аналитический обзор технических решений для очистки дренажно-сбросных вод с рисовых оросительных систем // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. 2025. Т. 95, № 1. С. 299–317.

THE ROLE OF LAND RECLAMATION AND WATER MANAGEMENT IN ENSURING THE SUSTAINABLE DEVELOPMENT OF AGRICULTURE

Review article

Information and analytical review of engineering solutions for drainage and discharge water treatment from rice irrigation systems

Darya V. Milchenkova¹, Tatyana I. Drovovozova²

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

¹milchenkova.darya@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0001-7665-1366>

²tid70.drovovozova@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8724-7799>

Abstract. Purpose: to analyze engineering solutions for cleaning drainage and waste water from rice irrigation systems for further development of a block-modular station for their treatment and reuse for irrigation needs. **Discussion.** In 2023, the volume of wastewater in the Russian Federation was 37.47 cub. km, of which 11.5 % were in the agricultural sector. The volume of drainage and waste water from irrigated lands throughout the country was 3.015 cub. km, most of which is generated in rice irrigation systems. For the rational use of water resources, a recirculating water management system is used in such systems. Drainage and waste water from rice irrigation systems is characterized by an increased content of organic matter (pesticides and their metabolites) and high salinity. Depending on the initial quality of the waters under consideration, all purification methods are divided into biochemical, sorption, demineralization and construction of a bioplateau. Reuse of drainage and waste water from the outlet channels of rice irrigation systems is possible only if they are purified, which eliminates the process of secondary soil salinization and deterioration of their general ecological and reclamation state. Patent analysis showed that the main developments are aimed at the possibility of reusing waste water from rice paddies for irrigation without taking into account the chemical composition of the water. Almost all technologies are focused on biochemical and sorption treatment of waste water from rice systems; the main factor of negative impact on soils, natural watercourses, groundwater, namely high salinity, is not eliminated. **Conclusion.** Analysis of technical solutions for treatment of drainage and waste water from a rice irrigation system showed that when developing a treatment plant design, it is necessary to be guided by the chemical composition of drainage and waste water, the general ecological and meliorative state of irrigated lands and to justify the financial costs of constructing a treatment plant.

Keywords: rice irrigation system, drainage and waste water, engineering solutions for treatment, water reuse

Evaluation of the research results: the main provisions of the article were reported at the All-Russian scientific and practical conference “The role of land reclamation and water management in ensuring the sustainable development of agriculture” (Novocherkassk, February 19, 2025).

For citation: Milchenkova D. V., Drovovozova T. I. Information and analytical review of engineering solutions for drainage and discharge water treatment from rice irrigation systems. *Ways of Increasing the Efficiency of Irrigated Agriculture*. 2025;95(1):299–317. (In Russ.).

Введение. По данным Государственного доклада «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2023 году»¹, на нужды орошения в рассматриваемом году было затрачено 6,031 км³ свежей воды, что составило 11 % от общего объема водозабора.

На рисунке 1 приведена динамика объемов использования свежей воды на нужды орошения за период 2014–2023 гг., млн м³.

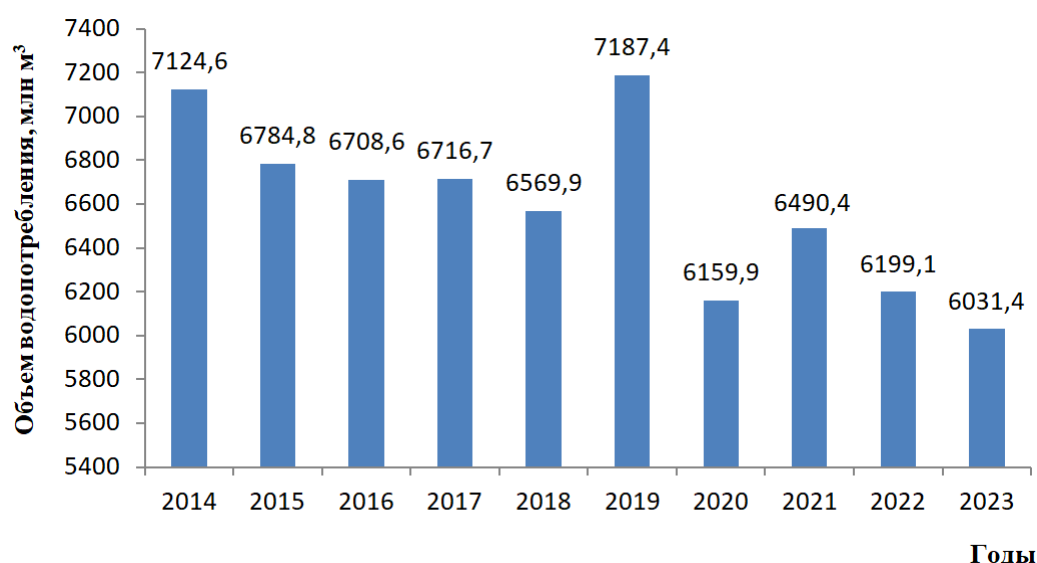


Рисунок 1 – Динамика объемов использования свежей воды на нужды орошения за период 2014–2023 гг., млн м³

Figure 1 – Dynamics of fresh water use volumes for irrigation needs for the period 2014–2023, million m³

По данным Росводресурсов, объем сточных вод, сбрасываемых в природные водные объекты, в 2023 г. составил 37,47 км³, среди них сброс от сельского, лесного хозяйства, охоты, рыболовства и рыбоводства был равен 4,3 км³, т. е. 11,5 % от общего количества¹.

Согласно данным, приведенным Л. В. Кирейчевой, «объем дренажного стока составляет примерно 50 % от объема, затраченного на орошение» [1]. Соответственно, в 2023 г. объем дренажно-сбросных вод (ДСВ)

¹О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2023 году. Проект Государственного доклада [Электронный ресурс]. М.: Минприроды России, Интеллектуал. аналитика, Дирекция НТП, Фонд экол. мониторинга и междунар. технол. сотрудничества, 2024. 707 с. URL: <https://2023.ecology-gosdoklad.ru/> (дата обращения: 15.01.2025).

с орошаемых площадей на всей территории Российской Федерации составил 3,015 км³. С учетом сброса сточных вод от всех отраслей сельского хозяйства доля данного стока составила примерно 70 % от общего объема.

Динамика объемов сброса сточных вод с орошаемых земель за период 2014–2023 гг. приведена на рисунке 2.

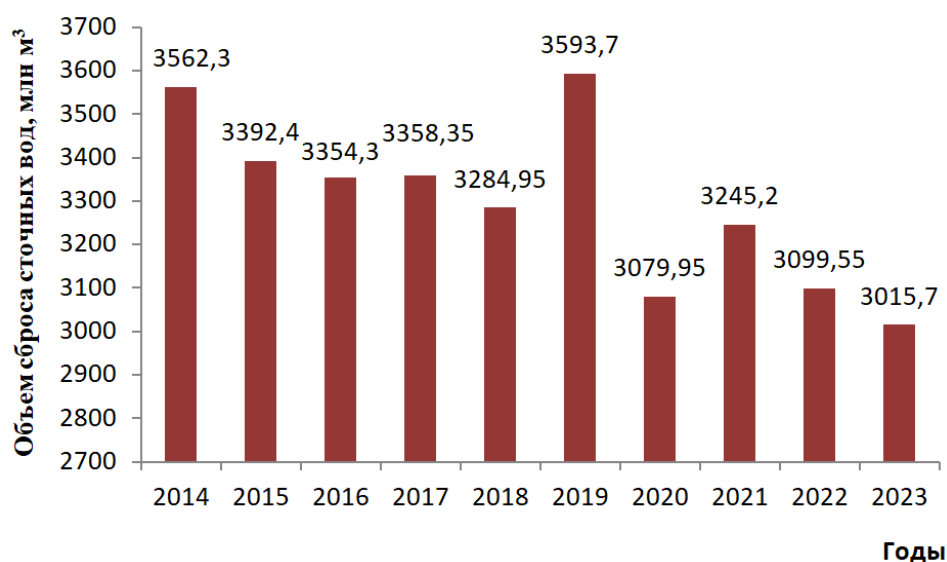


Рисунок 2 – Динамика объемов сброса сточных вод с орошаемых земель за 2014–2023 гг.

Figure 2 – Dynamics of wastewater discharge volumes from irrigated lands for 2014–2023

Согласно данным Государственного доклада¹, в сельском хозяйстве в 2023 г. сократился объем забора воды по сравнению с 2022 г. на 0,2 %, одновременно с этим уменьшился объем сброса сточных вод на 3,5 %.

Избыточное водопотребление и последующий сброс больших объемов ДСВ, особенно без очистки, наносят значительный вред природным водным объектам.

Наиболее острой проблемой в сельскохозяйственной отрасли, прежде всего в мелиоративной, являются потери воды. В 2023 г. потери воды на предприятиях и в организациях, относящихся к виду экономической деятельности «сельское, лесное хозяйство, охота, рыболовство и рыбоводство», составили 3917,4 млн м³, что равно 56,85 % от общего объема потерь воды по Российской Федерации¹.

Следовательно, задача обеспечения рационального водопотребления требует незамедлительного решения.

Наиболее сложная ситуация с объемами водопотребления, водоотведения и качеством отводимых ДСВ сложилась на рисовых оросительных системах. По данным «Мелиоративного комплекса России»², в 2019 г. поверхностным способом было полито 185 тыс. га рисовых чеков, из них на Ростовскую область пришлось 7,8 %. Известно, что на возделывание риса требуется 17–28 тыс. м³/га, следовательно, объем водопотребления на рисовых оросительных системах составил 3145–5180 тыс. м³, при этом объем ДСВ составляет примерно 20 % от объема водопотребления³.

Учеными из Казахстана для решения возникших водохозяйственных проблем предлагается признать формирующиеся внутри республики коллекторно-дренажные воды внутренним ресурсом и использовать их на нужды орошения. Однако рекомендуется осуществлять их использование только в крайнем случае во избежание ухудшения эколого-мелиоративного состояния орошаемых земель [2].

С целью снижения дефицита водных ресурсов на рисовых системах Краснодарского края учеными ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет» разработана «технология повторного использования дренажно-сбросных вод внутрихозяйственного звена рисовых оросительных систем», которая позволяет экономить в среднем 10 % от оросительной нормы риса [3–6].

В Ростовской области ситуация хуже и практически весь сток с рисовых оросительных систем без очистки сбрасывается в реку федерального

²Мелиоративный комплекс Российской Федерации [Электронный ресурс]: информ. изд. / Г. В. Ольгаренко, С. С. Турапин, В. И. Булгаков, Т. А. Капустина, Н. А. Мищенко, М. С. Зверьков, Л. Е. Паутова, А. В. Грушин, Е. В. Медведева, А. И. Банникова, И. Д. Мищенко. М.: Росинформагротех, 2020. 304 с. URL: <https://mcx.gov.ru/upload/iblock/100/10066d946f5310cccea55020bd2ac7bf.pdf?ysclid=m6g6gkczaw939416309> (дата обращения: 27.01.2025). EDN: AVWQXO.

³Костылев П. И., Парфенюк А. А., Степовой В. И. Северный рис (генетика, селекция, технология). Ростов н/Д.: Книга, 2004. 576 с. EDN: VDWSTV.

значения Дон. Для ликвидации негативного воздействия дренажно-сбросного стока на водные объекты необходимо внедрять оборотную систему водоподачи и разрабатывать технические решения для очистки ДСВ.

В связи с вышеизложенным, целью работы является проведение анализа технических решений для очистки дренажно-сбросных вод (ДСВ) с рисовых оросительных систем для дальнейшей разработки блочно-модульной станции очистки ДСВ и их повторного использования на нужды орошения.

Обсуждение. Изучению вопросов рационального водопользования на оросительных системах, разработке технологий очистки и повторного использования очищенных ДСВ посвящены работы Б. А. Шумакова, Б. Б. Шумакова, Б. М. Кизяева, И. П. Айдарова, С. Я. Бездниной, В. Н. Щедрина, В. И. Ольгаренко, В. В. Лысенко, А. Н. Семененко, А. В. Сербинова, Н. В. Островского, В. О. Шишкина, В. И. Маковского и др.⁴ [7–13].

В настоящее время существует два концептуальных направления утилизации ДСВ – сброс в водные объекты либо возврат в оросительную систему, для чего необходимо предварительно провести очистку ДСВ в полном объеме либо его части с последующим разбавлением оросительной водой.

Современные известные технологии очистки классифицируются по способу реализации и представляют собой:

- биохимическую очистку;
- сорбционную очистку;
- деминерализацию;
- сооружение биоплато [14].

Эффективность существующих технологий очистки ДСВ варьируется в пределах 60–80 % [14].

В работах Ю. Е. Домашенко, Н. Н. Проценко указывалось, что «в мировой практике очистки коллекторно-дренажных вод с рисовых ороси-

⁴Шумаков Б. Б. Научные основы ресурсосбережения и охраны природы в мелиорации и водном хозяйстве (избранные статьи и доклады). М.: ВНИИГиМ, 1998. 305 с.

тельных систем для повторного их использования на нужды орошения выделено три основных технологических комплекса: удаление взвешенных и гидратированных органических веществ, технологии обессоливания (обратный осмос, электродиализ и т. д.), удаление токсичных загрязнений» [15, 16].

В работах исследователей ФГБНУ «РосНИИПМ» обращается внимание на то, что дренажный сток с оросительных систем децентрализован на больших площадях, при этом характеризуется непостоянным объемом и химическим составом. Следовательно, для обеспечения корректной работы очистных сооружений данный сток первоначально нуждается в аккумуляции, а затем уже в очистке. Сущность самого технического решения для очистки состоит в последовательном осаждении механических примесей, а затем адсорбции химических веществ. При этом из-за высокого содержания солесодержащих ионов в качестве фильтрующего материала рекомендованы ионообменные смолы [17, 18].

В настоящее время все существующие способы очистки дренажного стока из отводящих коллекторов рисовой оросительной системы направлены на снижение экологической нагрузки на окружающую среду и природные водные объекты, являющиеся приемниками данного стока. Следует отметить, что при должной степени очистки ДСВ с рисовых чеков могут стать дополнительным источником пресных водных ресурсов, повторно направляемых на орошение земель.

Конструктивные решения блоков очистки ДСВ в первую очередь зависят от объема очищаемого стока и его химического состава. С учетом сложности химического состава ДСВ с рисовых оросительных систем для их очистки следует внедрять комплекс инженерных сооружений.

Все существующие в настоящее время способы очистки дренажного стока из отводящих коллекторов рисовой оросительной системы объединяет общий недостаток – необходимость отведения больших площадей для размещения очистных сооружений, громоздкость, высокая стоимость обо-

рудования. При выборе технологии очистки ДСВ с рисовых систем необходимо соблюдать баланс между целесообразностью финансовых затрат и экологической эффективностью инженерной защиты водных объектов.

В данной работе проведен анализ различных технологических подходов к очистке загрязненных вод, в результате которого выявлены преимущества и недостатки способов с точки зрения их применения на отводящей коллекторно-дренажной сети (таблица 1).

Зарубежный опыт повторного использования ДСВ с рисовых оросительных систем показал эффективность применения каскадной группы прудов-накопителей как способа очистки ДСВ. «Согласно исследованиям, проведенным в Китае, 20,6–68,9 % сосредоточенного в прудах-накопителях объема было повторно использовано на нужды орошения, при этом содержание общего фосфора снизилось на 47,2 %, общего азота – на 60,8 %, а количество взвешенных веществ сократилось на 84 %» [15]. Данное техническое решение позволило не только сократить водопотребление, но и предотвратить миграцию азота и фосфора в окружающую среду [15, 19, 20].

Основываясь на изучении научной литературы и патентов, провели анализ отечественных технических решений для очистки дренажного стока из отводящих коллекторов рисовой оросительной системы.

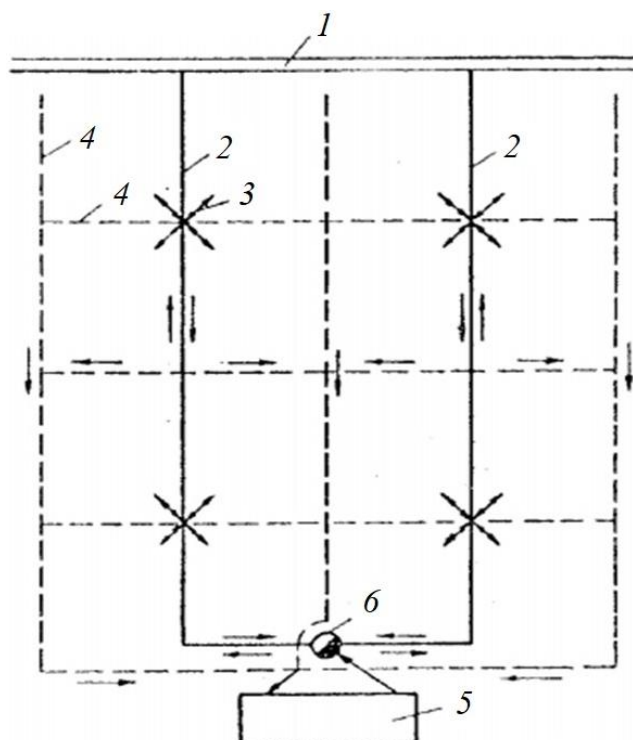
Так, В. И. Маковским была предложена закольцованная рисовая оросительная система, сущность которой заключается в том, что рисовые чеки заполняются водой, как в самотечном режиме, так и при помощи насосной станции, сбросная вода подается в бассейн-отстойник, а из него – назад в рисовый чек [21]. Схема технологии представлена на рисунке 3.

Следует отметить, что недостатком данной разработки является отсутствие достаточной степени очистки дренажного стока от химического загрязнения, так как дренажные воды с рисовой оросительной системы характеризуются не только большим содержанием взвешенных веществ, но и высокой степенью минерализации.

Таблица 1 – Преимущества и недостатки методов очистки загрязненных дренажно-сбросных вод с точки зрения применения на отводящих коллекторах

Table 1 – Advantages and disadvantages of methods for treatment of contaminated drainage and waste water from the point of view of their application on waste collectors

Название		Преимущество	Недостаток
Биохимическая очистка		Экологическая безопасность, невысокая стоимость, энергонезависимость	Выполненные в земляном русле отводящие коллекторы подвержены зарастанию высшей водной растительностью по естественным причинам, что приводит к снижению пропускной способности. Дополнительное высаживание водной растительности приведет к увеличению потери пропускной способности и скоростного режима
Сорбционная очистка		Экологическая безопасность за счет использования природных сорбентов, невысокая стоимость, энергонезависимость	Забивание и заиливание пор фильтрующих загрузок, обрастание водной растительностью
Деминерализация	Обратный осмос	Высокая эффективность очистки, возможность очистки сильноминерализованного стока	Необходимость высоких капиталовложений, наличия источника электроэнергии, предварительной очистки стока. Значительное потребление энергоресурсов при эксплуатации, большие объемы рассолов, сбросной воды при промывке мембран, необходимость утилизации рассола, необходимость в квалифицированном обслуживающем персонале
	Ионный обмен	Высокая эффективность очистки, корректировка химического состава, очистка от ионов тяжелых металлов; долгий срок службы при соблюдении условий эксплуатации	Высокая стоимость, необходимость систематической регенерации смолы и утилизации используемых для регенерации реагентов, затраты на эксплуатацию, необходимость в квалифицированном обслуживающем персонале
	Электродиализ	Отсутствие необходимости использования реагентов, возможность очистки сильноминерализованного стока	Необходимость высоких капиталовложений, наличия источника электроэнергии, предварительной очистки стока от взвешенных веществ и коллоидных частиц, необходимость в квалифицированном обслуживающем персонале
	Термическое испарение	Возможность испарения сильноминерализованной воды, простота эксплуатации	Необходимость высоких капиталовложений, больших площадей, наличия источника электроэнергии, утилизации образующихся в процессе испарения твердых отходов



1 – водоисточник; 2 – закрытая закольцованная водоподводящая сеть; 3 – водовыпуски;
4 – закрытая дренажная сеть; 5 – бассейн-отстойник; 6 – насосная станция

1 – water source; 2 – closed loop water supply network; 3 – water outlets; 4 – closed drainage network; 5 – settling basin; 6 – pumping station

Рисунок 3 – Закольцованная рисовая оросительная система В. И. Маковского [21]

Figure 3 – V. I. Makovsky loop rice irrigation system [21]

Известна водооборотная рисовая система, предложенная И. А. Приходько. Суть данной разработки заключается в том, что «дренажный сток проходит через фильтрующую кассету с сорбентом, установленную в русле сбросного канала оросительной системы. Фильтрующая кассета, в свою очередь, представляет собой фитосекцию, по всему периметру засаженную галофитами. В первый год очистки дренажного стока на рисовой оросительной системе, после прекращения подачи воды, одноразово высаживают многолетний галофит Татора, весной в первый и последующие годы очистки дренажного стока на водную поверхность дренажного стока в сбросном канале высаживают галофит Эйхорния (водный гиацинт)» [22]. Схема высаживания фитосекции представлена на рисунке 4.



a – расстояние по длине участкового сброса, м, с высадкой галофита Татора;
 b – расстояние по длине участкового сброса, м, с высадкой галофита Эйхорния;
 l – длина фитосекции

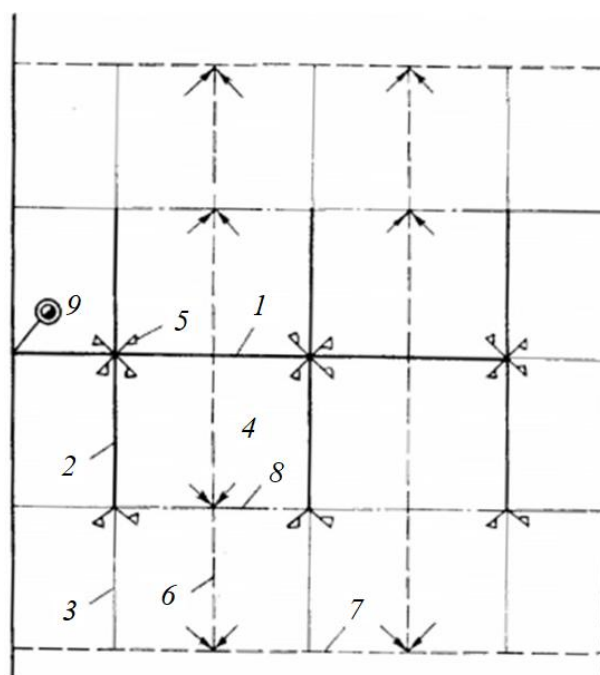
a – distance along the length of the sectional discharge, m, with the halophyte Tator planting;
 b – distance along the length of the sectional discharge, m, with the halophyte Eichhornia planting; l – length of the phytosection

Рисунок 4 – Схема высаживания фитосекции [22]

Figure 4 – Planting scheme of the phytosection [22]

Недостатком данного метода является тот факт, что каналы, выполненные в земляном русле, подвержены зарастанию высшей водной растительностью по естественным причинам, это приводит к снижению пропускной способности в них. Дополнительное высаживание водной растительности вызовет увеличение потерь и изменение скоростного режима в коллекторе.

В. В. Лысенко, А. Н. Семененко, А. В. Сербиновым предложен способ повторного использования сбросных вод с рисовых чеков на орошение сельскохозяйственных культур, заключающийся в том, что сбрасываемая с поверхности чеков вода подается в распределитель 1 с последующим разбавлением ее первичной оросительной водой и дальнейшей ее подачей в оросители [23]. Схема повторного использования сбросных вод с рисовых чеков на орошение сельскохозяйственных культур представлена на рисунке 5.



- 1 – распределитель-сброс; 2 – картовый ороситель-сброс; 3 – междучековые валики;
4 – чеки; 5 – сооружения, одновременно являющиеся водовыпускными и водосбросными; 6 – картовая дрена; 7 – участковый дренажный канал;
8 – дорога; 9 – насосная станция совмещенного типа
- 1 – distributor-discharge; 2 – areal overflow distributor; 3 – inter-check borders; 4 – checks;
5 – structures that are both water outlet and water discharge; 6 – areal drain; 7 – section drainage channel; 8 – road; 9 – combined type pumping station

Рисунок 5 – Схема повторного использования сбросных вод с рисовых чеков на орошение сельскохозяйственных культур [23]

Figure 5 – Scheme of waste water reuse from rice checks for irrigation of agricultural crops [23]

Предложенный способ применим для дренажных стоков, имеющих низкую минерализацию и содержащих следовые количества ядохимикатов, т. е. не требующих очистки и допустимых к повторному использованию на орошение в полном объеме. Биологическая очистка сбросной воды осуществляется исключительно за счет выдерживания (отстаивания) ее в чеках и биохимической деструкции загрязняющих органических веществ (пестицидов и их метаболитов) под действием солнечной радиации и окислительных микробиологических процессов.

К недостатку данной схемы относится отсутствие возможности повторного использования дренажно-сбросного стока, характеризующегося высоким уровнем минерализации.

Ученые ФГБНУ «ВНИИГиМ им. А. Н. Костякова», занимающиеся технологиями очистки дренажного стока из отводящих коллекторов рисовых оросительных систем, разработали агроинженерную технологию очистки и обессоливания ДСВ [24]. Разработанная опытная установка биосорбционного сооружения прошла апробацию на Сарпинской рисовой оросительной системе Республики Калмыкия [24, 25]. Сущность работы сооружения заключается в имитации естественных природных процессов самоочищения. Так, в качестве природного фильтра была принята высшая водная растительность, для последующей доочистки применялись материалы природного и искусственного происхождения с сорбционными свойствами, а именно песок и диатомитовый порошок NDP-600, способные поглощать загрязняющие вещества биогенного происхождения, тяжелые металлы, а также растворенные в воде солеобразующие ионы. Для более глубокой доочистки на последнем этапе рекомендовано использовать камеру со смесью агроионита и перлита [25].

Среди преимуществ данной технологии следует отметить низкие эксплуатационные затраты на процесс очистки и отсутствие привлечения электроэнергии. Недостатками данной разработки являются большие размеры биосорбционного сооружения, зависящие от расходов воды в отводящем коллекторе, что сопоставимо с сооружением дополнительного канала, отсутствие информации о продолжительности работы сорбентов, их промывке, возможной регенерации и их утилизации в случае окончания срока эксплуатации.

Выводы. Анализ научной литературы показал, что повторное использование дренажно-сбросных вод из отводящих каналов, особенно для рисовых оросительных систем, возможно только при условии их очистки, она позволит исключить процесс вторичного засоления почв, ухудшение их общего эколого-мелиоративного состояния.

Анализ патентной литературы показал, что основные разработки на-

правлены на возможность повторного использования сбросных вод с рисовых чеков на орошение без учета химического состава воды. Практически все технологии ориентированы на биохимическую и сорбционную очистку сбросных вод с рисовых систем, не устраняется самый главный фактор негативного воздействия на почвы, естественные водотоки, грунтовые воды, а именно высокое солесодержание.

При выборе технического решения для очистки дренажно-сбросного стока из отводящих коллекторов рисовой оросительной системы и его повторного использования необходимо руководствоваться прежде всего его химическим составом, общим эколого-мелиоративным состоянием орошаемых земель и тщательно обосновывать финансовые затраты на сооружение очистной станции.

Список источников

1. Кирейчева Л. В. Основные направления снижения антропогенной нагрузки на водные объекты за счет уменьшения сброса дренажных вод с мелиорируемых территорий // Природообустройство. 2015. № 5. С. 64–69. EDN: VDZYCT.
2. Дуанбекова А. Е. Основы использования коллекторно-дренажных вод для орошения // Water Resources Management in the Context of Globalization: collection of the International scientific and practical conference dedicated to the 105th anniversary of the birth of Professor L. Y. Tazhibaev. Almaty: KazNARU, 2021. P. 28–32.
3. Островский Н. В., Шишкин В. О. Технология повторного использования дренажно-сбросного стока на внутрихозяйственном звене рисовых систем // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2017. № 3(47). С. 225–233. EDN: ZGYFZ.
4. Пат. 2138946 Рос. Федерация, МПК⁶ А 01 G 16/00, 9/00, А 01 С 7/00, А 01 В 79/02. Способ выращивания риса / Кузнецов Е. В., Островский Н. В., Островский В. Т.; заявитель и патентообладатель Куб. гос. аграр. ун-т. № 98112424/13; заявл. 24.06.98; опубл. 10.10.99. 5 с. EDN: ZBNYLG.
5. Пат. 2450104 Рос. Федерация, МПК Е 02 В 13/02. Аэрогидравлический водоподъемник / Островский Н. В., Островский В. Т., Кизюн Ж. В.; заявитель и патентообладатель Куб. гос. аграр. ун-т. № 2010133833/13; заявл. 12.08.10; опубл. 10.05.12, Бюл. № 13. 10 с. EDN: ZGIUST.
6. Островский В. Т., Островский Н. В. Комплекс технических средств для повышения эффективности водосберегающих мероприятий на низовом звене рисовых оросительных систем // Мелиорация, охрана окружающей среды и рациональное использование водных ресурсов. Краснодар: КубГАУ, 2000. С. 127.
7. Безднина С. Я. Принципы и методы экосистемного водопользования в мелиорации // Проблемы устойчивого развития мелиорации и рационального природопользования: материалы Юбилейн. междунар. науч.-практ. конф. (Костяковские чтения), г. Москва, 10–11 апр. 2007 г. М.: ВНИИА, 2007. Т. 2. С. 87–93. EDN: YKNRMN.

8. Технологические процессы водопользования на экологически сбалансированных оросительных системах / В. И. Ольгаренко, И. В. Ольгаренко, О. Н. Ольгаренко, И. И. Карманцева // Мелиорация как драйвер модернизации АПК в условиях изменения климата: материалы III Междунар. науч.-практ. интернет-конф., г. Новочеркасск, 26–28 апр. 2022 г. Новочеркасск: Лик, 2022. С. 92–96. EDN: GXQVCM.

9. Раткович Л. Д., Маркин В. Н., Глазунова И. В. Вопросы рационального использования водных ресурсов и проектного обоснования водохозяйственных систем: монография. М.: МГУП, 2013. 258 с. EDN: XVIVSX.

10. Айдаров И. П. Проблемы мелиорации земель и водопользования // Природообустройство. 2008. № 2. С. 5–19. EDN: KBENLV.

11. Высокопродуктивная система возделывания различных сельскохозяйственных культур на орошении в условиях многолетнего дефицита на водные ресурсы / В. Н. Щедрин, А. Н. Бабичев, В. И. Ольгаренко, В. А. Монастырский, И. В. Гурина, Д. П. Сидаренко // Аграрная Россия. 2024. № 1. С. 19–21. DOI: 10.30906/1999-5636-2024-1-19-21. EDN: NJKCEB.

12. Анализ экологической надежности гидромелиоративных систем / В. И. Ольгаренко, И. В. Ольгаренко, В. И. Коржов, В. И. Ольгаренко // Наука сегодня: вызовы и решения: материалы Междунар. науч.-практ. конф., г. Вологда, 29 янв. 2020 г. Вологда: Маркер, 2020. С. 38–41.

13. Кизяев Б. М., Погодаев А. Е., Филиппов Е. В. Водопользование и водоучет на водохозяйственных и мелиоративных системах агропромышленного комплекса страны: монография / Всерос. НИИ гидротехники и мелиорации им. А. Н. Костякова. М.: ВНИИА, 2004. 131 с. EDN: QQIRRF.

14. Марьяш С. А., Мильченкова Д. В., Дрововозова Т. И. Влияние химического состава коллекторно-сбросных вод на экологическое состояние водных объектов приемников коллекторно-дренажного и поверхностного стоков // Мелиорация как драйвер модернизации АПК в условиях изменения климата: материалы III Междунар. науч.-практ. интернет-конф., г. Новочеркасск, 26–28 апр. 2022 г. Новочеркасск: Лик, 2022. С. 46–50.

15. Домашенко Ю. Е., Проценко Н. Н. Анализ зарубежного опыта утилизации сбросных и дренажных вод в оросительных мелиорациях // Экология и водное хозяйство. 2022. Т. 4, № 1. С. 1–13. DOI: 10.31774/2658-7890-2022-4-1-1-13. EDN: LRZVZM.

16. Домашенко Ю. Е., Проценко Н. Н. Ретроспективный обзор технологий очистки и подготовки дренажных вод с оросительных систем // Экология и водное хозяйство. 2022. Т. 4, № 3. С. 58–72. DOI: 10.31774/2658-7890-2022-4-3-58-72. EDN: YOHDCB.

17. Дрововозова Т. И., Кириленко А. А. Техническое решение локальной очистки дренажного стока с орошаемых земель // Инженерный вестник Дона. 2023. № 7(103). С. 303–313. EDN: EBWLNU.

18. Дрововозова Т. И., Кириленко А. А. Совершенствование технического подхода к управлению процессом локальной очистки дренажного стока с орошаемых земель // Мелиорация и гидротехника [Электронный ресурс]. 2023. Т. 13, № 2. С. 94–108. URL: <https://rosniipm-sm.ru/article?n=1357> (дата обращения: 13.01.2025). DOI: 10.31774/2712-9357-2023-13-2-94-108. EDN: XZHVDY.

19. An overview of reclaimed water reuse in China / L. Yi, W. Jiao, X. Chen, W. Chen // Journal of Environmental Sciences. 2011. Vol. 23, iss. 10. P. 1585–1593. [https://doi.org/10.1016/S1001-0742\(10\)60627-4](https://doi.org/10.1016/S1001-0742(10)60627-4).

20. Performance analysis of on-farm irrigation tanks on agricultural drainage water reuse and treatment / D. Shao, X. Tan, H. Liu, H. Yang, C. Xiao, F. Yang // Resources, Conservation and Recycling. 2013. Vol. 75. P. 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2013.03.011>.

21. А. с. 1771602 СССР, МПК А 01 G 25/00. Рисовая оросительная система Маковского В. И. / В. И. Маковский. № 4769405/15; заявл. 19.12.89; опубл. 30.10.92, Бюл. № 40. 4 с. EDN: NGLHBJ.

22. Пат. 2759966 Рос. Федерация, МПК С 02 F1/28, С 02 F3/32, Е 02 В 13/00, А 01 G 25/00. Способ очистки дренажного стока рисовой оросительной системы / Приходько И. А.; заявитель и патентообладатель Куб. гос. аграр. ун-т. № 2020135351; заявл. 26.10.20; опубл. 19.11.21, Бюл. № 32. 11 с. EDN: IBPJTY.

23. А. с. 1115685 СССР, МПК А 01 G 25/02. Способ орошения сельскохозяйственных культур / В. В. Лысенко, А. Н. Семенов, А. В. Сербинов. № 3442166/30-15; заявл. 24.05.82; опубл. 30.09.84, Бюл. № 36. 3 с. EDN: THLLAB.

24. Кирейчева Л. В., Супрун В. А. Агроинженерная технология улучшения качества дренажно-сбросных вод с рисовых оросительных систем // Мелиорация и водное хозяйство. 2022. № 6. С. 4–8. DOI: 10.32962/0235-2524-2021-6-4-8. EDN: YJHURW.

25. Suprun V. A., Shiryayeva M. A. Engineering biosorption construction for drainage water treatment // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021. Vol. 723. 042021. DOI: 10.1088/1755-1315/723/4/042021. EDN: JQJQYT.

References

1. Kireycheva L.V., 2015. *Osnovnye napravleniya snizheniya antropogennoy nagruzki na vodnye obyekty za schet umen'sheniya sbrosa drenazhnykh vod s melioriruemykh territoriy* [Main directions of reduction of anthropogenic load on water bodies due to reduction of drainage water discharge from reclaimed territories]. *Prirodoobustroystvo* [Environmental Engineering], no. 5, pp. 64-69, EDN: VDZYCT. (In Russian).

2. Duanbekova A.E., 2021. *Osnovy ispol'zovaniya kollektorno-drenazhnykh vod dlya orosheniya* [Basics of using collector-drainage water for irrigation]. *Water Resources Management in the Context of Globalization: collection of the International Scientific and Practical Conference Dedicated to the 105th Anniversary of the Birth of Professor L. Y. Tazhibaev*. Almaty, KazNARU Publ., pp. 28-32. (In Russian).

3. Ostrovsky N.V., Shishkin V.O., 2017. *Tekhnologiya povtornogo ispol'zovaniya drenazhno-sbrosnogo stoka na vnutrikhozyaystvennom zvene risovykh sistem* [Technology of reuse of drainage and wastewater runoff at the on-farm link of rice systems]. *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vysshee professional'noe obrazovanie* [Proceedings of Nizhnevolzskiy Agrouniversity Complex: Science and Higher Vocational Education], no. 3(47), pp. 225-233, EDN: ZGYFYZ. (In Russian).

4. Kuznetsov E.V., Ostrovsky N.V., Ostrovsky V.T., 1999. *Sposob vyrashchivaniya risa* [Method of Growing Rice]. Patent RF, no. 2138946, EDN: ZBNYLG. (In Russian).

5. Ostrovsky N.V., Ostrovsky V.T., Kizyun Zh.V., 2012. *Aerogidravlicheskiy vodoropod"emnik* [Aerohydraulic Water Lift]. Patent RF, no. 2450104, EDN: ZGIUST. (In Russian).

6. Ostrovsky V.T., Ostrovsky N.V., 2000. *Kompleks tekhnicheskikh sredstv dlya povysheniya effektivnosti vodosberegayushchikh meropriyatiy na nizovom zvene risovykh orositel'nykh sistem* [Complex of technical means for increasing the efficiency of water-saving measures at the lower level of rice irrigation systems]. *Melioratsiya, okhrana okruzhayushchey sredy i ratsional'noe ispol'zovanie vodnykh resursov* [Land Reclamation, Environmental Protection and Rational Use of Water Resources]. Krasnodar, KubSAU, p. 127. (In Russian).

7. Bezdina S.Ya., 2007. *Printsipy i metody ekosistemnogo vodopol'zovaniya v melioratsii* [Principles and methods of ecosystem water use in land reclamation]. *Problemy ustoychivogo razvitiya melioratsii i ratsional'nogo prirodoopol'zovaniya: materialy Yubileyn. mezhdunar. nauchno-prakticheskoy konferentsii (Kostyakovskie chteniya)* [Problems of Sustainable Development of Land Reclamation and Rational Nature Management: Proc. of Anniversary International Scientific-Practical Conference (Kostyakov Readings)]. Moscow, VNIIA, vol. 2, pp. 87-93, EDN: YKNRMN. (In Russian).

8. Olgarenko V.I., Olgarenko I.V., Olgarenko O.N., Karmantseva I.I., 2022. *Tekhnologicheskie protsessy vodopol'zovaniya na ekologicheski sbalansirovannykh orositel'nykh sistemakh*

[Technological processes of water use in ecologically balanced irrigation systems]. *Melioratsiya kak drayver modernizatsii APK v usloviyakh izmeneniya klimata: materialy III Mezhdunar. nauchno-prakticheskoy internet-konferentsii* [Land Reclamation as a Driver of Agro-Industrial Complex Modernization in the Context of Climate Change: Proc. of the III International Scientific-Practical Internet-Conference]. Novocherkassk, Lik Publ., pp. 92-96, EDN: GXQVCM. (In Russian).

9. Ratkovich L.D., Markin V.N., Glazunova I.V., 2013. *Voprosy ratsional'nogo ispol'zovaniya vodnykh resursov i proektnogo obosnovaniya vodokhozyaystvennykh sistem: monografiya* [Issues of Rational Use of Water Resources and Design Justification of Water Management Systems: monograph]. Moscow, MGUP Publ., 258 p., EDN: XVIVSX. (In Russian).

10. Aidarov I.P., 2008. *Problemy melioratsii zemel' i vodopol'zovaniya* [Problems of land reclamation and water use]. *Prirodoobustroystvo* [Environmental Engineering], no. 2, pp. 5-19, EDN: KBEHLV. (In Russian).

11. Shchedrin V.N., Babichev A.N., Olgarenko V.I., Monastyrsky V.A., Gurina I.V., Sidarenko D.P., 2024. *Vysokoproduktivnaya sistema vozdevyvaniya razlichnykh sel'skokhozyaystvennykh kul'tur na oroshenii v usloviyakh mnogoletnego defitsita na vodnye resursy* [Highly productive system of cultivation of various agricultural crops under irrigation in conditions of long-term shortage of water resources]. *Agrarnaya Rossiya* [Agrarian Russia], no. 1, pp. 19-21, DOI: 10.30906/1999-5636-2024-1-19-21, EDN: NJKCEB. (In Russian).

12. Olgarenko V.I., Olgarenko I.V., Korzhov V.I., Olgarenko V.I., 2020. *Analiz ekologicheskoy nadezhnosti gidromeliorativnykh sistem* [Analysis of environmental reliability of irrigation and drainage systems]. *Nauka segodnya: vyzovy i resheniya: materialy Mezhdunar. nauch.-prakt. konferentsii* [Science Today: Challenges and Solutions: Proc. of the International Scientific-Practical Conference]. Vologda, Marker Publ., pp. 38-41. (In Russian).

13. Kizyaev B.M., Pogodaev A.E., Filippov E.V., 2004. *Vodopol'zovaniye i vodouchet na vodokhozyaystvennykh i meliorativnykh sistemakh agropromyshlennogo kompleksa strany: monografiya* [Water Use and Water Accounting in Water Management and Reclamation Systems of the Country's Agro-Industrial Complex: monograph]. All-Russian Research Institute of Hydraulic Engineering and Land Reclamation named after A. N. Kostyakov. Moscow, VNIIA Publ., 131 p., EDN: QQIRRF. (In Russian).

14. Maryash S.A., Milchenkova D.V., Drovovozova T.I., 2022. *Vliyanie khimicheskogo sostava kollektorno-sbrosnykh vod na ekologicheskoe sostoyanie vodnykh obektov priemnikov kollektorno-drenazhnogo i poverkhnostnogo stokov* [Influence of the chemical composition of collector-drainage waters on the ecological state of water bodies receivers collector-drainage and surface runoff]. *Melioratsiya kak drayver modernizatsii APK v usloviyakh izmeneniya klimata: materialy III Mezhdunar. nauchno-prakticheskoy internet-konferentsii* [Land Reclamation as a Driver of Agro-Industrial Complex Modernization in the Context of Climate Change: Proc. of the III International Scientific-Practical Internet-Conference]. Novocherkassk, Lik Publ., pp. 46-50. (In Russian).

15. Domashenko Yu.E., Protsenko N.N., 2022. *Analiz zarubezhnogo opyta utilizatsii sbrosnykh i drenazhnykh vod v orositel'nykh melioratsiyakh* [Analysis of foreign experience of waste and drainage water recycling in irrigation reclamation]. *Ekologiya i vodnoe khozyaystvo* [Ecology and Water Management], vol. 4, no. 1, pp. 1-13, DOI: 10.31774/2658-7890-2022-4-1-1-13, EDN: LRZVZM. (In Russian).

16. Domashenko Yu.E., Protsenko N.N., 2022. *Retrospektivnyy obzor tekhnologiy ochistki i podgotovki drenazhnykh vod s orositel'nykh sistem* [Retrospective review of drainage water cleaning and treatment technologies from irrigation systems]. *Ekologiya i vodnoe khozyaystvo* [Ecology and Water Management], vol. 4, no. 3, pp. 58-72, DOI: 10.31774/2658-7890-2022-4-3-58-72, EDN: YOHDCEB. (In Russian).

17. Drovovozova T.I., Kirilenko A.A., 2023. *Tekhnicheskoe reshenie lokal'noy ochistki drenazhnogo stoka s oroshaemykh zemel'* [Technical solution for local treatment of drainage runoff from irrigated lands]. *Inzhenernyy vestnik Dona* [Engineering Bulletin of the Don], no. 7(103), pp. 303–313, EDN: EBWLNU. (In Russian).

18. Drovovozova T.I., Kirilenko A.A., 2023. [Improving the technical approach to managing the process of local treatment of drainage runoff from irrigated lands]. *Melioratsiya i gidrotekhnika*, vol. 13, no. 2, pp. 94–108, available: <https://rosniipm-sm.ru/article?n=1357> [accessed 13.01.2025], DOI: 10.31774/2712-9357-2023-13-2-94-108, EDN: XZHVDY. (In Russian).

19. Yi L., Jiao W., Chen X., Chen W., 2011. An overview of reclaimed water reuse in China. *Journal of Environmental Sciences*, vol. 23, iss. 10, pp. 1585–1593, [https://doi.org/10.1016/S1001-0742\(10\)60627-4](https://doi.org/10.1016/S1001-0742(10)60627-4).

20. Shao D., Tan X., Liu H., Yang H., Xiao C., Yang F., 2013. Performance analysis of on-farm irrigation tanks on agricultural drainage water re-use and treatment. *Resources, Conservation and Recycling*, vol. 75, pp. 1–13, <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2013.03.011>.

21. Makovsky V.I., 1992. *Risovaya orositel'naya sistema Makovskogo* [Makovsky Rice Irrigation System]. Patent USSR, no. 1771602, EDN: NGLHBJ. (In Russian).

22. Prikhodko I.A., 2021. *Sposob ochistki drenazhnogo stoka risovoy orositel'noy sistemy* [Method for Cleaning Drainage Runoff of a Rice Irrigation System]. Patent RF, no. 2759966, EDN: IBPJTY. (In Russian).

23. Lysenko V.V., Semenenko A.N., Serbinov A.V., 1984. *Sposob orosheniya sel'skokhozyaystvennykh kul'tur* [Method of Irrigation of Agricultural Crops]. Author's certificate USSR, no. 3442166/30-15, EDN: THLLAB. (In Russian).

24. Kireycheva L.V., Suprun V.A., 2022. *Agroinzhenernaya tekhnologiya uluchsheniya kachestva drenazhno-sbrosnykh vod s risovyykh orositel'nykh sistem* [Agroengineering technology for the rice irrigation systems to manage drainage flow quality]. *Melioratsiya i vodnoe khozyaystvo* [Land Reclamation and Water Management], no. 6, pp. 4–8, DOI: 10.32962/0235-2524-2021-6-4-8, EDN: YJHURW. (In Russian).

25. Suprun V.A., Shiryayeva M.A., 2021. Engineering biosorptional construction for drainage water treatment. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, vol. 723, 042021, DOI: 10.1088/1755-1315/723/4/042021, EDN: JQJQYT.

Информация об авторах

Д. В. Мильченкова – научный сотрудник, Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск, Российская Федерация, milchenkova.darya@mail.ru, ORCID ID: 0009-0001-7665-1366;

Т. И. Дрововозова – ведущий научный сотрудник, доктор технических наук, доцент, Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск, Российская Федерация, tid70.drovovozova@yandex.ru, Research ID: ABH-4873-2020, ORCID ID: 0000-0002-8724-7799.

Information about the authors

D. V. Milchenkova – Researcher, Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk, Russian Federation, milchenkova.darya@mail.ru, ORCID ID: 0009-0001-7665-1366;

T. I. Drovovozova – Leading Researcher, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk, Russian Federation, tid70.drovovozova@yandex.ru, Research ID: ABH-4873-2020, ORCID ID: 0000-0002-8724-7799.

Вклад авторов: Д. В. Мильченкова – патентный поиск и анализ существующих технических решений, написание статьи. Т. И. Дрововозова – формирование основной кон-

Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. 2025. Т. 95, № 1. С. 299–317.
Ways of Increasing the Efficiency of Irrigated Agriculture. 2025. Vol. 95, no. 1. P. 299–317.

*цепции, целей и задач исследований, формулирование выводов, написание статьи.
Все авторы в равной степени несут ответственность за нарушения в сфере этики научных публикаций.*

Contribution of the authors: D. V. Milchenkova – patent search and analysis of existing technical solutions, writing the article. T. I. Drovovozova – formation of the main concept, goals and objectives of the research, formulation of conclusions, writing of the 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 04.02.2025; одобрена после рецензирования 10.02.2025; принята к публикации 03.03.2025.

The article was submitted 04.02.2025; approved after reviewing 10.02.2025; accepted for publication 03.03.2025.