

## ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОЧИЩЕННЫХ СТОЧНЫХ ВОД В КРЫМУ

Н.Г. КОЛЕСОВА, Е.Б. СТРЕЛЬБИЦКАЯ, К.Б. ШУМАКОВА

**Ключевые слова:** сточные воды, повторное использование многоступенчатая очистка, внутриводочное орошение, способы очистки, очистные сооружения, качество сбросных вод, мониторинг.

**Keywords:** wastewater, reuse, multi-stage treatment, intra-soil irrigation, purification methods, sewage treatment plants, quality of waste water, monitoring.

**Аннотация.** В статье рассматривается возможность использования в Республике Крым очищенных сточных вод, как альтернативного источника для орошения. Анализируются факторы, влияющие на целесообразность использования очищенных стоков и законодательные требования к оросительной воде. Анализируются перспективные методы очистки стоков, применение которых позволит доводить качественные показатели сточных вод до допустимых значений для их повторного использования. Приведены примеры патентов на изобретения в области очистки сточных вод при внутриводочном орошении, применение которых привело бы к повышению водообеспеченности возделываемых культур в условиях дефицита водных ресурсов.

**Abstract.** The article considers the possibility of using treated wastewater in the Republic of Crimea as an alternative source for irrigation. The factors influencing the expediency of using treated wastewater and the legal requirements for irrigation water are analyzed. Promising wastewater treatment methods are analyzed, the use of which will make it possible to bring the quality indicators of wastewater to acceptable values for their reuse. Examples of patents for inventions in the field of wastewater treatment, for intra-soil and drip irrigation, the use of which would lead to an increase in the water availability of cultivated crops for conditions of water scarcity in the Crimea, are given.

**Введение.** В Республике Крым основным источником пресной воды до недавнего времени был Северо-Крымский канал, обеспечивавший до 80...87 % объема забора воды, однако после перекрытия подачи воды из Днепра вначале в 2014 г., а затем в 2023 г. ситуация с водообеспечением полуострова резко ухудшилась. Уровень водопользования в сельском хозяйстве и промышленности, характерный для 2013 г., вернуть практически невозможно из-за ограниченной доступности собственных водных ресурсов. Однако комплекс мероприятий, таких как реконструкция очистных сооружений, модернизация водотранспортных сетей, переход на водосберегающие технологии, будет способствовать улучшению водообеспеченности населения, отраслей промышленности и сельского хозяйства [1].

Одной из приоритетных задач по водообеспечению Крыма является поиск альтернативных источников водоснабжения, способных частично решить водную проблему, в том числе и для орошаемого земледелия. По мнению ряда ведущих специалистов, одним из перспективных гарантированных дополнительных источников воды для орошения в условиях дефицита водных ресурсов являются очищенные городские сточные и коллекторно-дренажные воды, которые могут частично решить водную проблему. Общий годовой объем очищенных сточных вод для повторного использования на орошение в 2021 г. составил более 60 млн м<sup>3</sup>, который может быть использован для орошения более 18 тыс. га [2–4]. По данным Министерства ЖКХ Крыма прогнозируется дальнейшее увеличение объема

сточных вод, что означает наличие в Крыму большого потенциала повторного использования нормативно-очищенных сточных вод.

Очищенные сточные воды представляют собой ценный ресурс и обладают высоким потенциалом повторного использования в различных отраслях народного хозяйства, в том числе для ирригации сельскохозяйственных угодий, повышая при этом плодородие почвы. Кроме того, повторное использование очищенных сточных вод является эффективным методом их утилизации, снижающим нагрузку на экосистемы. Таким образом, повторное использование очищенных сточных вод является экологически целесообразным и экономически выгодным решением, способствующим устойчивому развитию регионов, включая Крым, и сохранению водных ресурсов [5].

**Материалы и методы.** Материалом исследований послужили данные статистической отчетности сельскохозяйственных и водохозяйственных организаций, научно-исследовательские публикации. Применены информационно-аналитические методы исследования, которые включали статистический и сравнительный анализы, структуризацию теоретической, научно-технической и нормативной информации, а также обобщение и синтез полученных данных по вопросам определения перспективных источников воды для повышения водообеспеченности сельского хозяйства, технологий очистки сточных вод, в том числе для целей орошения, а также нормативных требований к использованию данной категории воды.

**Результаты и обсуждение.** В настоящее время в Республике Крым формируется значительный объем сточных вод различного происхождения и качества, в том числе хозяйственно-бытовые, промышленные, дренажные, животноводческие стоки. Основным источником сточных вод являются коммунальные и бытовые стоки, доля которых составляет более 80 % сброса сточных вод в поверхностные источники.

Самые большие объемы сточных вод формируются в Симферополе (44,16 млн м<sup>3</sup>), Ялте (20,54 млн м<sup>3</sup>), Евпатории (9,49 млн м<sup>3</sup>), а также в Красноперекопском районе (13,51 млн м<sup>3</sup>). До 68...85 % объема сточных вод сбрасывается в Черное и Азовское моря, озеро Сиваш, реку Салгир, что негативно отражается на их экологическом состоянии. В 2019 г. объем сброшенных сточных вод в поверхностные водные источники составил около 170 млн м<sup>3</sup> [6]. Наибольшую минерализацию имеет сбросная вода в Азовское море (1,97 г/л) и в озеро Сиваш (1,38 г/л) с повышенным содержанием хлоридов и фосфатов [4].

К негативным последствиям сброса сточных вод в водные объекты относится развитие процесса их эвтрофирования, который связан с избыточным поступле-

нием азота и фосфора, способствующих интенсивному размножению сине-зеленых водорослей (цианобактерий) и других видов фитопланктона. Это приводит к цветению воды, ухудшению прозрачности водоемов, снижению концентрации кислорода, обеднению видового состава, утрате биоразнообразия и в целом к нарушению баланса и снижению устойчивости водных экосистем. Загрязнение водоемов имеет социальные и экономические последствия, поскольку загрязненная вода становится источником инфекций и заболеваний, страдает рыболовство и туризм, снижается привлекательность курортных зон и ухудшаются условия жизни местного населения. Развитие этих процессов требует значительных финансовых вложений на восстановление экологической ситуации: увеличиваются расходы на очистку воды, лечение заболеваний, связанных с отравлением токсинами, ремонт инфраструктуры.

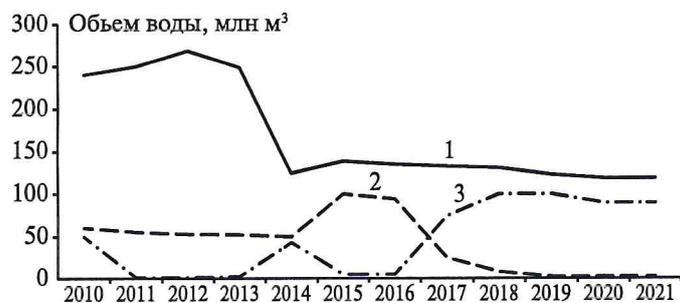
Складывается парадоксальная ситуация, при которой Крымский полуостров испытывает дефицит пресной воды и одновременно сбрасываются огромные объемы загрязненных сточных вод в море (рисунок).

Такое положение вещей обусловлено рядом факторов. В настоящее время в Крыму отсутствует инженерная инфраструктура, обеспечивающая полноценный цикл приема, очистки, накопления и транспортировки сточных вод до мест повторного использования [1, 4]. Отсутствие инфраструктуры вынуждает сбрасывать стоки непосредственно в природные водоемы, включая моря. На территории полуострова в 2014 г. функционировало 116 канализационно-очистных сооружений общей мощностью 280,26 млн м<sup>3</sup> в год, крупнейшие из них по производительности находятся в Симферополе (170 тыс. м<sup>3</sup>/сут), Ялте (80 тыс. м<sup>3</sup>/сут) и Евпатории (78 тыс. м<sup>3</sup>/сут) [2].

Но существующая схема водоотведения не обеспечивает очистку сточных вод до нормативно очищенной. Практически все существующие очистные сооружения на территории республики Крым находятся в аварийном состоянии и подлежат реконструкции с использованием современных доступных технологий очистки сточных вод согласно требованиям нормативных документов, а степень очистки должна определяться принципом «соответствия назначению» в зависимости от потребностей конечных пользователей согласно законодательным требованиям [4].

К проблемам системы водоотведения в Крыму относится также низкий уровень охвата централизованными системами водоотведения и отсутствие в канализационной системе разделения бытовых и производственных сточных вод, что является необходимым условием для корректной очистки стоков. Недостаточная автоматизация процессов управления системами водоотведения снижает надежность функционирования этих объектов [4, с. 24]. Существуют и другие препятствия: отсутствие четких нормативных законов и механизмов контроля, что также способствует бесконтрольному сбросу сточных вод.

Проектирование, строительство, эксплуатация оросительных систем с применением сточных вод и земель сельскохозяйственных полей орошения, а также каче-



Динамика объемов сбросных вод в Республике Крым:  
1 — всего сбросных вод; 2 — нормативно очищенных;  
3 — недостаточно очищенных

ственный состав сточных вод, инженерно-технические мероприятия по охране водных ресурсов и почвы должны осуществляться с учетом требований СанПиН 2.1.7.573–96, ГОСТ 17.1.2.03–90, НТП-АПК 1.30.03.02–06, СНИП 2.06.03–85 [2].

Длительное время при использовании очищенных сточных вод для орошения руководствовались требованиями нормативного документа СанПиН 2.1.7.573–96, где детально была прописана организация орошения данной категорией воды, в том числе контроль качества полученной продукции, а также мониторинг состояния земель, но этот нормативный документ устарел и требует актуализации. В настоящее время требования к качеству очищенных сточных вод частично прописаны в СанПиН 1.2.3685–21. В документе указано, что для орошения почвы в области питания подземных вод допускается применение очищенных сточных вод, которые соответствуют установленным санитарно-гигиеническим требованиям, включая микробиологические и паразитологические показатели, причем только после лабораторного подтверждения соответствия вышеуказанным критериям в рамках производственного контроля. Однако в нем отсутствуют четкие регламенты относительно солевого состава и питательной ценности данной категории воды [1]. Поэтому для оценки качества стоков целесообразно пользоваться общими требованиями, применяемыми в орошаемом земледелии. Рекомендуется [7] оценивать качество воды для орошения по величине pH, температуре, уровню минерализации, химическому составу, содержанию микроэлементов и токсических веществ. Для оценки химического состава и минерализации оросительной воды рекомендуется также использовать нормативы классов качества в зависимости от гранулометрического состава и типа засоления почв [8].

Среди международных стандартов, регламентирующих качество сбросных вод для повторного использования на орошение сельскохозяйственных культур, следует отметить их большое количество и разнообразие в соответствии с разными странами и даже штатами, которые датируются 2004–2012 гг. Анализ и сравнение показателей требований различных стран и организаций к качеству сбросных вод для повторного использования выявил различные критерии [9]. К основным контролируемым параметрам в большинстве стран, прежде всего, относятся биохимическая и хи-

мическая потребность кислорода, растворенный кислород, анионные поверхностно-активные вещества, а также азот и фосфор. Базовыми параметрами для контроля экологических рисков и здоровья человека считаются следующие показатели: биологическая потребность кислорода (*BOD*), кислотность (рН), бор (В), а также остаточный хлор (Cl), общее количество взвешенных веществ (*TSS*) и кишечная палочка (*E coli*). В табл. 1 представлены базовые контролируемые параметры качества сбросных вод, используемых при орошении для различных групп культур [9].

В табл. 2 представлены параметры по контролю качества воды в целях предотвращения засоления и загрязнения почвы тяжелыми металлами [9].

Повторное использование очищенных стоков является сложной задачей, требующей междисциплинарного подхода и координации усилий различных заинтересованных сторон, создания управленческой структуры с представителями регионального правительства, ученых, предпринимателей и общественных организаций для разработки комплексной, научно обоснованной программы для рационального использования водных ресурсов Крыма.

Таблица 1

Базовые параметры при контроле качества воды для орошения очищенными сбросными водами

Параметры	Требования к качеству воды		
	A	B	C
<i>BOD</i> , мг/л	≤10	≤30	≤80
рН	6,0...9,0	6,0...9,0	6,0...9,0
Cl, мг/л	≥1,5	≥1,0	≥0,4
<i>TSS</i> , мг/л	≤30	≤60	≤90
В, мг/л	≤0,75	≤0,75	≤0,75
<i>E coli</i> , КУФ/100 мл	≤10	≤0	≤10 <sup>4</sup>

Примечание. А – все культуры, используемые в пищу в необработанном виде; В – культуры, используемые в пищу в обработанном виде, а также кормовые культуры, многолетние травы и культуры для парков, спортивных площадок и лесополос; С – непищевые культуры, локальные площадки газонов и лесополос.

Таблица 2

Контролируемые параметры к качеству воды для орошения очищенными сбросными водами

Параметры	A, B, C
Коэффициент адсорбции Na (SAR), ммоль/л	≤10
Электропроводимость, См/м	≤0,7
As, Cr, V, Be, мг/л	≤0,1
Hg, мг/л	≤0,001
Ni, Pb, Cu, мг/л	≤0,2
Cd, Mo, мг/л	≤0,01
Zn, Fe, мг/л	≤2,0
Mn, мг/л	≤0,3
Co, мг/л	≤0,05
Li, мг/л	≤2,5
Al, мг/л	≤5,0
Se, мг/л	≤0,02

При оценке целесообразности использования очищенных сточных вод в орошаемом земледелии следует проанализировать множество факторов: удаленность источника от потребителей, места аккумуляции стоков, организация подачи воды на поля, наличие оросительной инфраструктуры, цена водоподготовки, качественный состав воды, наличие профессионального кадрового состава, объемы стоков. Для организации систематического орошения очищенными сточными водами необходим достаточный объем воды для полива участков от 500 до 1000 га. Для небольшой площади орошения нецелесообразно прокладывать подающую сеть на большое расстояние. Производительность очистных сооружений должна соответствовать существующим и перспективным потребностям с дальнейшим использованием очищенных сточных вод на орошение [10].

Наиболее перспективными районами внедрения орошения сточными водами являются пригородные зоны Симферополя и приморских городов Ялты, Евпатории, Керчи, Феодосии, Алушты, а также некоторые районы степной части Крыма. В горной части Крыма и на Южном берегу сточные воды при строгом соблюдении всех санитарно-экологических норм могут использоваться для полива технических культур и декоративных насаждений вне зон рекреации. В степной и предгорной частях Крыма сточные воды могут использоваться для полива силосных культур, однолетних и многолетних трав, бобовых культур для обеспечения кормовой базы для животноводства. Наряду с бытовыми сточными водами населенных пунктов, перспективным источником являются также индивидуальные очистные сооружения санаториев, пансионатов и домов отдыха в приморской зоне. Положительный опыт утилизации хозяйственно-бытовых сточных вод пансионатов методом внутрипочвенного полива имеется в Черноморском, Симферопольском и Ленинском районах, а также на южном побережье Крыма [2, с. 75].

Что касается использования на орошение очищенных дренажных вод, следует отметить, что в настоящее время дренаж практически не функционирует из-за плохого технического состояния и небольшого количества поливаемых площадей. По экспертным оценкам в зависимости от водности года объем дренажного стока может достигать 15...20 млн м<sup>3</sup>, поэтому в перспективе очищенные дренажные стоки можно использовать для оросительных мелиораций. Однако, для экологически безопасного использования на орошение нормативно-очищенных и коллекторно-дренажного стока требуется доочистка и специальная водоподготовка на инженерных сооружениях [4, с. 45–46].

При орошении сточными водами необходимо учитывать такие факторы, как почвенно-климатические условия, условия защищенности подземных вод. Рельеф местности влияет на распространение поверхностных стоков и накопление солей, что требует специальных мер защиты почвенного покрова. Длительное использование очищенных сточных вод может привести к накоплению вредных веществ в почве, таких как хлориды, сульфаты, нитраты. Негативное воздействие проявляется также в изменении ключевых

характеристик почвы и подземных вод: изменение количества водоудерживающих агрегатов; порозности и водопроницаемости; ухудшение качества химического состава грунтовых вод. При поверхностном орошении возможно цветение воды в водоаккумулирующих сооружениях, при подпочвенном орошении возможно загнивание воды в закрытой оросительной сети и кольматация распределительных систем. Возможно также засоление и осолонцевание почв [3, 10].

Чтобы избежать негативных последствий для растений и почвы при использовании очищенных сточных вод, важно определиться с возможным перечнем сельскохозяйственных культур и структурой севооборота. При подборе культур для орошения сточными водами учитывают устойчивость конкретных культур к специфическим загрязнениям и компонентам стоков. Согласно устаревшему нормативному документу СанПиН 2.1.7.573–96, на полях орошения, где используются очищенные сточные воды, запрещается выращивать лекарственные травы, овощные, в том числе картофель, ягодные, фруктовые, бахчевые и салатные культуры. Недопустимо использование очищенных стоков в тепличном земледелии в связи с закрытостью помещений и высоким уровнем влажности, что способствует быстрому размножению патогенов. Разрешается возделывать технические, кормовые культуры, зерновые на фураж, многолетние травы и древесно-кустарниковые насаждения. Очищенными сточными водами можно орошать лесополосы, лесопарки, лесопитомники, питомники по выращиванию декоративных культур.

Опыт применения орошения сточными водами в Крыму показывает, что для выращивания на сельскохозяйственных полях орошения желательны культуры с высоким водопотреблением, выносом солей и биогенных веществ с урожаем, а также возможностью максимальной механизации работ по уходу и уборке урожая [2, с. 74]. Перед сбором урожая обязательно выдерживается интервал между последним поливом и уборкой продукции, который для условий Крыма составляет не менее 10 дней. Этот период необходим для снижения риска заражения бактериальной инфекцией и токсичными веществами.

При использовании очищенных сточных вод необходимы мониторинг количественных и качественных показателей состояния почв и получаемой продукции. Необходимо вовремя выявлять влияние сбросов на формирование речного стока, проводить научно-производственные и фитосанитарные работы с целью контроля за состоянием почв и сельскохозяйственной продукции. Очищенные стоки подлежат постоянному лабораторному контролю на предмет микробиологических показателей, содержания тяжелых металлов, пестицидов и радионуклидов. Подходящий выбор культур и строгий контроль позволяют минимизировать возможные негативные последствия, однако в каждом конкретном случае необходимо руководствоваться рекомендациями специалистов и нормативными актами, действующими в регионе ведения хозяйственной деятельности. Правильное управление процессом утилизации и использования очищен-

ных сточных вод позволит эффективно поддерживать устойчивое развитие сельского хозяйства, одновременно обеспечивая безопасность продуктов питания и сохранность окружающей среды.

Для решения водной проблемы Крыма в аграрном секторе, в том числе с привлечением очищенных сточных вод, предложены следующие меры [1, 4]:

- проведение комплексных научно-исследовательских работ по оценке возможности использования очищенных сточных вод крупных канализационных очистных сооружений Крыма для целей орошения;
  - разработка нормативных документов, отражающих требования по качеству очищенных сточных вод по принципу «соответствия назначению» в зависимости от потребностей конечных пользователей с учетом ранее действующих нормативов;
  - разработка единой программы по реконструкции существующих очистных сооружений;
  - создание инженерной инфраструктуры, обеспечивающий полноценный цикл приема, очистки, накопления и транспортировки очищенных сточных вод до места использования; восстановление дренажной системы;
  - создание централизованной системы водоотведения в каждом муниципальном округе; разделение канализационной системы на бытовую и промышленную канализацию;
  - внедрение инновационных проектов повторного использования очищенных стоков;
  - усовершенствование процесса очистки сточных вод или их дополнительная водоподготовка; привлечение международного опыта и технологий в области очистки и рационального использования водных ресурсов;
  - увеличение количества отслеживаемых показателей, характеризующих качественный состав очищенных сточных вод (содержание ионов кальция, магния, натрия, более широкий спектр тяжелых металлов и др.);
  - применение в сельском хозяйстве малообъемных способов орошения; создание замкнутых циклов водоснабжения;
  - контроль за соблюдением нормативных требований к использованию данной категории воды (выбор возделываемых культур, мест расположения планируемых участков полива, организация мониторинговых наблюдений за состоянием почвы и качеством выращенной продукции и т. п.) и др.
  - внедрение «умных» систем управления процессами очистки сточных вод на основе искусственного интеллекта с возможностью мониторинга, прогнозирования и предиктивного обслуживания; внедрение «облачных решений» – масштабируемой платформы для хранения, обработки и анализа данных;
- Применение очищенных сточных вод наиболее распространено в регионах с аридным климатом, где ограничены ресурсы пресной воды, таких как Израиль, Калифорния в США и Объединенные Арабские Эмираты (ОАЭ), поэтому привлечение их опыта и технологий в области очистки и рационального использова-

ния водных ресурсов может быть очень полезным при решении проблемы дефицита воды в Крыму.

Так, в Израиле развитие технологий очистки и повторное использование сточных вод стало приоритетом национальной политики, а законодательство стимулирует использование переработанных сточных вод путем субсидий и регулирования качества питьевой воды специальными органами контроля по строгим нормам и стандартам. Около 87 % всех очищенных городских сточных вод используются повторно, главным образом для орошения сельскохозяйственных культур и зеленых зон. Такая высокая степень повторного использования сточных вод объясняется высокими многоступенчатыми технологиями очистки, успешные примеры которых осуществлены в проектах по очистке сточных вод Тель-Авива и Хайфы, которые снабжают водой сельскохозяйственные регионы Негев и Арава.

В Калифорнии крупные системы водоочистки в Лос-Анджелесе и Сан-Франциско позволяют перерабатывать воду для полива парков и спортивных полей. Наиболее известным проектом является система Water Factory 21 в городе Ориндж-Каунти, где применяется многоступенчатая очистка, после чего вода используется как для пополнения подземных резервуаров, так и для сельского хозяйства. Для стран Персидского залива, таких как ОАЭ, проблема дефицита воды еще острее ввиду крайне засушливого климата. Большинство муниципальных сточных вод подвергается глубокой очистке перед использованием. Один из крупнейших проектов — станция Al Ain Wastewater Treatment Plant, где реализованы современные методы фильтрации и обеззараживания. Повторно используемая вода применяется для промышленных целей, так и для орошения ландшафта и садов.

Несмотря на различия между этими странами и регионами, общим остается акцент на инновационные подходы к управлению водными ресурсами, основанные на высоких технологиях очистки и строгих стандартах контроля качества воды. К инновационным методам очистки сточных вод, обеспечивающим высокую эффективность очистки с целью повторного их использования и позволяющим странам с аридным климатом справляться с проблемой водного кризиса, поддерживая баланс между потребностью в ресурсах и необходимостью защиты окружающей среды, относятся:

- мембранные биореакторы (MBR), сочетающие биологическую обработку сточных вод с мембранной фильтрацией, использующие специальные полупроницаемые мембраны и позволяющие отделять твердые частицы и бактерии;
- обратный осмос, обеспечивающий глубокую очистку воды путем пропускания ее через специальные мембраны, удаляя соли, тяжелые металлы и микробы;
- микрофильтрация и нанофильтрация, благодаря использованию различных типов фильтров, удается достичь высокой степени чистоты воды перед дальнейшими этапами обработки;
- ультрафиолетовая дезинфекция;
- водородные и кислородные реакции (озонирование), представляющие собой эффективные способы стерилизации сточных вод;

- автоматизированные системы мониторинга и управления качеством воды, позволяющие отслеживать качество воды в режиме реального времени, что дает возможность оперативно реагировать на изменения состава сточной воды и обеспечивать постоянное соблюдение стандартов безопасности;

- применение технологий возвратного использования обработанной воды для ирригационных целей, восполнения грунтовых вод и промышленных нужд существенно снижает нагрузку на традиционные источники водоснабжения.

Перечисленные технологии демонстрируют широкий спектр возможностей для эффективной и экологически безопасной очистки сточных вод.

Многие инновационные методы очистки сточных вод отличаются высокой энергоемкостью и стоимостью реализации, однако необходимость решать проблемы дефицита водных ресурсов заставляет страны инвестировать значительные средства в развитие соответствующих технологий. Несмотря на высокие начальные вложения и постоянные операционные расходы, инновационные методы очистки сточных вод необходимы для устойчивого развития регионов с дефицитом водных ресурсов. Для снижения затрат и оптимизации процессов очистки стоков проводятся исследования по международным программам по созданию более эффективных и менее энергозависимых технологий. Широко применяется автоматизация и цифровизация, позволяющие контролировать работу очистных сооружений, минимизируя человеческий фактор и сокращая потери энергии и реагентов. Внедряется использование возобновляемых источников энергии: солнечные панели, ветровые турбины и гидроэнергетика, снижающие зависимость от традиционных энергетических источников и уменьшающие стоимость эксплуатации установок.

Наряду с использованием зарубежного опыта, для решения водной проблемы Крыма следует внедрять разработанные перспективные технологии по очистке сточных вод для оросительных мелиораций, предложенные в отечественных патентах на изобретения и направленные на повышение эффективности процесса очистки и сокращение негативного воздействия на окружающую среду. Среди большого количества разработок технологий и сооружений по очистке сточных вод необходимо обратить внимание на те изобретения, использование которых наиболее приемлемы для природно-хозяйственных условий Крыма.

Для очистки сточных вод наиболее эффективна комплексная очистка, сочетающая несколько методов обработки стоков с минимизацией экологического ущерба. Синергизм достигается благодаря взаимному усилению различных технологий.

Примером синергетического подхода по очистке стоков является способ очистки сточных вод, защищенный патентом РФ 2 755 988 [11], который обеспечивает комплексную очистку смешанных сложных стоков широкого спектра загрязнений, в том числе растворенных, сложных неорганических и органических веществ и солей тяжелых металлов в обширном диапа-

зоне и с критическими показателями концентраций. Способ осуществляется в проточном режиме и обеспечивает безреагентную обработку, всесезонное обезвреживание и очистку воды в системах очистки различных отраслей промышленности, канализационных стоков, дренажных и сточных вод. Сюда включены стадии полиэлектродной седиментации и разделения сточных вод и растворенных в ней элементов, ультрафильтрации и макрокапиллярной мембранной фильтрации, обработка воды тонкими акустическими полями крайне высоких частот, электромагнитным полем малых токов с подстраиваемыми частотами, высоконасыщенными ионными фазами холодно-плазменных протуберанцев, а также промежуточное фильтрование в блоках суперфильтрации и финишное фильтрование в фильтроэлементах из сплава борной керамической решетки и диоксида титана в проточном режиме. Технический результат изобретения заключается в повышении эффективности и качества очистки, снижении энергетических и эксплуатационных затрат за счет применения оборудования с низким коэффициентом энергопотребления, а также снижении экологической нагрузки на окружающую среду.

Очистка и повторное использование дренажно-сбросных вод для полива сельскохозяйственных культур решают не только экологическую проблему, но и экономическую задачу, обеспечивая экономию водных ресурсов, снижение энергопотребления и внесения удобрений, так как часто имеют высокое содержание питательных веществ. В стоках могут содержаться вредные компоненты, такие как бактерии, тяжелые металлы, органические загрязнители, поэтому дренажно-сбросные воды требуют очистки и подготовки для орошения.

Основные тенденции совершенствования технологий и схем очистки должны основываться преимущественно на разработке рациональных конструктивных и технологических приемов, компоновке отдельных элементов очистных сооружений с возможностью их модернизации, на снижении эксплуатационных расходов, а также на простоте и надежности конструкций, доступности и многофункциональности используемых материалов. Технологические схемы и приемы обработки дренажного стока перед использованием для полива должны корректироваться в зависимости от конкретных условий, учитывающих объем воды, степень загрязнения воды с определением приоритетных загрязняющих компонентов, динамику химического состава, требования, предъявляемые к качеству воды.

Способ подготовки дренажных и сбросных вод для орошения сельскохозяйственных культур, защищенный патентом РФ 2 401 804 [12], включает удаление механических примесей, избытка солей, органических веществ и ионов тяжелых металлов. На первой стадии обработка в сепараторе способствует удалению грубых механических примесей и органических веществ до 70...80 %. На второй стадии удаляют ионы тяжелых металлов и избыток солей в фильтрующем колодце, где используют фильтрующие элементы на основе отходов угольного производства. Фильтрующие элемен-

ты имеют форму цилиндра с полостью внутри, которую заполняют сорбентом на основе рисовой шелухи (засыпают в мешочки из базальтовой ткани). Эффект очистки по тяжелым металлам и солям жесткости может достигать 85...95 %.

В сорбционно-фильтрующих сооружениях для очистки дренажного стока с целью его повторного использования для полива предлагается использовать следующие композиции сорбционного материала за счет использования местного природного сырья:

- фильтрующая матрица с последовательно расположенными сорбентами: ракушечник – 50 %, глауконитовый песок – 30 %, керамзит – 20 %. При прохождении дренажного стока через фильтрующую матрицу происходит сорбция примесей, т. е. поглощение тяжелых металлов и коррекция ионного состава (патент РФ № 2 401 804, 2010 г.);

- сорбционный блок, включающий три слоя: С-ВЕРАД, цеолит, кварц в равном соотношении, помещенные в сетку фильтрующей кассеты. Перед подачей на фильтрующие кассеты дренажный сток подвергают очистке на коалесцентных модулях, где удаляются 80 % взвешенных веществ. Эффект очистки по тяжелым металлам, органическим веществам и солям может достигать 85...90 % (патент РФ № 2 654 763, 2018 г.);

- фильтрационно-сорбционная загрузка напорного фильтра высотой 0,5...0,7 м, представляющая собой смесь кварцевого песка фракции 0,8...2 мм и активированного угля на каменноугольной основе фракции 1,5...2,8 мм в соотношении компонентов 3:1. Фильтрация воды со скоростью 3,7 м/ч через загрузку в сочетании с окислением кислородом и дезинфекцией воды ультрафиолетовым излучением позволяет снизить мутность до 96 %, содержание железа общего до 99 %, марганца до 96 %, солей жесткости до 95 % (патент РФ № 2 717 522, 2020 г.).

С точки зрения санитарно-экологической безопасности наиболее эффективным при орошении очищенными стоками является внутриводное орошение, при котором подача воды производится непосредственно в толщу плодородного слоя почвы посредством специальных каналов, пористых труб или капельниц, расположенных на глубине залегания корневой системы растений в пределах 20...60 см. Такой метод обеспечивает оптимальное распределение влаги и удобрений, формирует оптимальный водно-воздушный режим, минимизирует потери воды на испарение, уменьшая расход поливной воды. Благодаря равномерному распределению влаги внутри слоя почвы исключается образование луж и избыточного накопления солей на поверхности, сохраняется структура почвы, что обеспечивает ее полноценную аэрацию без дополнительного рыхления верхнего слоя почвы после полива. Внутриводное орошение обеспечивает безопасную доставку удобрений к корням растений, исключая их попадание в поверхностные стоки, например, во время дождей, и снижая химическое загрязнение почвы. При внутриводном поливе можно использовать воду низкой степени очистки (хозяйственно-бытовую или отстаивные животноводческие

стоки), так как почвенный слой обеспечивает их обеззараживание за счет естественной фильтрации и жизнедеятельности почвенных микроорганизмов.

Однако перед внедрением систем внутрипочвенного орошения необходимо учитывать определенные ограничения: эффективность работы системы зависит от типа почвы и глубины залегания корней растений, невозможность использования на легких (возможны значительные потери воды на глубинную фильтрацию), просадочных и засоленных почвах. Существует опасность заиления увлажнителей при орошении водой, содержащей илистые частицы, возникает необходимость периодической очистки фильтров и труб. Сложность обслуживания, контроля и ремонта: поломки или засорения элементов системы трудно обнаружить и устранить, а из-за потерь напора по длине внутрипочвенных увлажнителей возможно неравномерное увлажнение.

При анализе патентов по применению внутрипочвенного орошения выявлено, что наиболее эффективно совмещение этого способа и капельной подачи воды. Синергия достигается путем объединения и усиления преимуществ каждого метода, компенсируя возможные недостатки и формируя оптимальные гидрофизические свойства почвы, поддерживая благоприятный баланс влажности и аэрации, что положительно влияет на рост и развитие культурных растений. Комплексная система позволяет рациональнее использовать ресурсы, уменьшить расходы на воду и удобрения, сократить затраты на техническое обслуживание оборудования и повысить общую рентабельность сельхозпроизводства.

Примером синергетического решения является система локально-внутрипочвенного орошения многолетних насаждений, разработанная Волгоградским ГАУ, защищенная патентом РФ 2 764 266 [13], суть работы которой состоит в сочетании дозированной капельной подачи воды с безнапорным внутрипочвенным капиллярным распределением ее в корнеобитаемом слое почвы. Это позволяет сократить время на полив и исключить потерю воды на испарение, следовательно, снизить энергетические и экономические затраты при орошении. По всей длине поливных трубопроводов вмонтированы гибкие микротрубки с шагом 3000...4000 мм, соединенные с внутрипочвенными увлажнителями, которые выполнены гофрированными с внешней односторонней перфорацией в диаметре до 3,5 мм с шагом 150 мм по всей длине и уложены по кругу посадочной лунки на глубину 40...50 см. Система имеет дополнительное устройство для подготовки поливной воды, включающее гидроциклон, блок дисковых и сетчатых фильтров.

Для улучшения распределения поливной воды в горизонтальной и вертикальной плоскостях и повышения эффективности ее использования, предложена система капельно-инъекционного орошения согласно патенту РФ 2 773 959 [14], сочетающая в себе поверхностное расположение трубопровода с капельницами и подземную подачу воды. Каждый водовыпуск снабжен инжектором, выполненным в виде заполненной гидрофильным пористым материалом воронки, сопря-

женной с иглой длиной 15...20 см в зависимости от глубины пахотного горизонта и внутренним каналом диаметром от 5 до 15 мм в зависимости от гранулометрического состава почвы. Воронка инжектора снабжена дополнительными иглами, присоединенными к ней с помощью гибких шлангов. Основная игла выполнена телескопической с возможностью подачи воды на различную глубину корнеобитаемого слоя почвы. Новизна технического решения заключается в сочетании дозированной капельной подачи воды с ее внутрипочвенным распределением. Это позволяет исключить образование смоченного пятна на поверхности почвы и испарения с него влаги при одновременном увлажнении корнеобитаемого слоя.

**Выводы.** Повторное использование очищенных сточных вод дает возможность экономить водные ресурсы и снижать загрязнение окружающей среды. В сельском хозяйстве очищенные сточные воды можно использовать для орошения сельскохозяйственных культур, рекультивации деградированных земель и восстановления плодородия почв. Эффективное использование сточных вод в сельском хозяйстве возможно при условии проведения масштабных инвестиционных проектов и внедрения современных технологий очистки и распределения воды с привлечением международного и отечественного опыта, а также технологий в области очистки и рационального использования водных ресурсов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Водные ресурсы — основа устойчивого развития Крыма: коллективная монография / Под ред. В.С. Паштецкого. Симферополь: ИТ «АРИАЛ», 2022. 216 с.
2. Кременской В.И., Вердыш М.В. Сточные воды как перспективный ресурс повышения водообеспеченности республики Крым // Природообустройство. 2016. № 5. С. 72–76.
3. Захаров Р.Ю., Волкова Н.Е. Орошение как способ утилизации очищенных сточных вод в республике Крым // Экономика строительства и природопользования. 2016. № 1. С. 54–61.
4. Кирейчева Л.В., Ангольд Е.В. Методические рекомендации по использованию на орошение сточных вод в республике Крым / Под ред. д.т.н., проф. Л.В. Кирейчевой. М.: ФГБНУ «ФНИЦ ВНИИ-ГиМ им. А.Н. Костякова», 2023. 58 с.
5. Кирейчева Л.В., Максимов С.А. Оценка возможности использования очищенных сточных вод на орошение в республике Крым // Экология и промышленность России. 2024. Т. 28, № 2. С. 54–59.
6. Юрченко И.Ф. Водообеспеченность орошения республики Крым // International agricultural journal. 2022. № 6. С. 1334–1352.
7. Нормативно-методическое обеспечение системы государственного контроля и надзора в мелиорации / Сост.: В.Н. Щедрин, Г.Г. Гулюк, В.Я. Бочкарев, Г.Л. Балакай. М.: ФПНУ ЦНТИ «Мелиоводинформ». 2003. 437 с.
8. Безднина С.Я. Экологические основы водопользования. М.: ВНИИА, 2005. 224 с.
9. Guidelines for Irrigation with Reclaimed Water/ International Commission on Irrigation and Drainage (ICID) // August 2025. 65 p.
10. Волкова Н.Е., Захаров Р.Ю. Использование очищенных сточных вод в Крыму: опыт прошлого, реалии настоящего // Научный журнал НИИ проблем мелиорации. 2017. № 3(27). С. 144–159.
11. Патент № 2 755 988 Российская Федерация, МПК C02F 9/00 (2006.01), C02F 9/12 (2006.01), C02F 1/463 (2006.01), C02F 1/32 (2006.01), C02F 1/48 (2006.01), B01D 61/14 (2006.01). Способ очистки сточных вод: № 2021106095: заявл. 10.03.2021; опубл. 23.09.2021 / Сапега С.И., Дигин В.Н. 19 с.
12. Патент № 2 551 504 Российская Федерация, МПК C02F 9/02 (2006.01), C02F 1/28 (2006.01), B01D 36/00 (2006.01). Способ подготовки дренажных и сбросных вод для орошения сельскохо-

зайственных культур: № 2013144559/05: заявл. 03.10.2013: опубл. 27.05.2015 / Шедрин В.Н., Васильев С.М., Домашенко Ю.Е., Антонова Н.А. 7 с.

13. Патент № 2 764 266 Российская Федерация, МПК А01G 25/06. Система локально-внутрипочвенного орошения многолетних насаждений: № 2021116788: заявл. 08.06.2021: опубл. 14.01.2022 / Мещеряков М.П., Несмиянов И.А., Бочарников В.С., Майер А.В., Мещерякова Е.Г., Бочарникова О.В., Мартынова А.А., Хавронина В.Н., Воробьева Н.С. 9 с.

14. Патент № 2773959 Российская Федерация, МПК А01G 25/02 (2006.01), А01G 29/00 (2006.01). Система капельно-инъекционного орошения: № 2021131629: заявл. 28.10.2022: опубл. 14.06.2022 / Храбров М.Ю., Губин В.К. 6 с.

## REFERENCES

1. Water resources – the basis of sustainable development of Crimea: a collective monograph / Ed. by V.S. Pashetskiy. Simferopol: IT «ARIAL», 2022. 216 p.

2. Kremenskiy V.I., Verdysh M.V. Wastewater as a promising resource for increasing water availability in the Republic of Crimea // Environmental Management. 2016. No. 5. Pp. 72–76.

3. Zakharov R.Yu., Volkova N.E. Irrigation as a method of disposal of treated wastewater in the Republic of Crimea // Economics of Construction and Environmental Management. 2016. No. 1. Pp. 54–61.

4. Kireicheva L.V., Angold E.V. Methodological recommendations for the use of wastewater for irrigation in the Republic of Crimea / Ed. by Doctor of Technical Sciences, Professor L.V. Kireicheva. Moscow: Federal State Budgetary Institution «FNTS VNIIGiM named after A.N. Kostyakov», 2023. 58 p.

5. Kireicheva L.V., Maksimov S.A. Assessment of the possibility of using treated wastewater for irrigation in the Republic of Crimea // Ecology and industry of Russia. 2024. Vol. 28, No. 2. Pp. 54–59.

6. Yurchenko I.F. Water availability of irrigation in the Republic of Crimea // International agricultural journal. 2022. No. 6. Pp. 1334–1352.

7. Normative and methodological support of the system of state control and supervision in land reclamation / Compiled by V.N. Shchedrin,

G.G. Gulyuk, V.Ya. Bochkarev, G.L. Balakai (FSUE «RosNIIPM»). Moscow: FPUE TsNTI «Meliovodinform». 2003. 437 p.

8. Bezdina S.Ya. Ecological foundations of water use. Moscow: VNIIA, 2005. 224 p.

9. Guidelines for Irrigation with Reclaimed Water/ International Commission on Irrigation and Drainage (ICID) // August 2025. 65 p.

10. Volkova N.E., Zakharov R.Y. The use of treated wastewater in the Crimea: the experience of the past, the realities of the present // Scientific Journal of the Research Institute of Land Reclamation Problems, 2017. № 3(27). Pp. 144–159.

11. Patent No. 2,755,988 Russian Federation, IPC C02F 9/00 (2006.01), C02F 9/12 (2006.01), C02F 1/463 (2006.01), C02F 1/32 (2006.01), C02F 1/48 (2006.01), B01D 61/14 (2006.01). Wastewater treatment method: No. 2021106095: application 10.032021: published 09/23/2021 / Sapega S.I., Digin V.N. 19 p.

12. Patent No. 2,551,504 Russian Federation, IPC C02F 9/02 (2006.01), C02F 1/28 (2006.01), B01D 36/00 (2006.01). Method of preparing drainage and discharge waters for irrigation of crops: No. 2013144559/05: application 03.10.2013: published 27.05.2015 / Shchedrin V.N., Vasiliev S.M., Domashenko Yu.E., Antonova N.A. 7 p.

13. Patent No. 2,764,266 Russian Federation, IPC A01G 25/06. The system of local-intra-soil irrigation of perennial plantings: application. 06/08/2021: № 2021116788: publ.14.01.2022 / Meshcheryakov M.P., Nesmiyanov I.A., Bocharnikov V.S., Mayer A.V., Meshcheryakova E.G., Bocharnikova O.V., Martynova A.A., Khavronina V.N., Vorobyeva N.S. (C. and application number). 9 p.

14. Patent No. 2773959 Russian Federation, IPC A01G 25/02 (2006.01), А01G 29/00 (2006.01). Drip irrigation system: No. 2021131629: application No. 10/28/2022: published 06/14/2022 / Храбров М.Ю., Губин В.К. 6 с.

**Колесова Наталья Георгиевна**, ст. науч. сотрудник, natalia.kolesova.g@gmail.com; **Стрельбицкая Елена Брониславовна**, канд. биол. наук, вед. науч. сотрудник, strelbitskaya.elena@mail.ru; **Шумакова Ксения Борисовна**, канд. с.-х. наук, доцент, ст. науч. сотрудник, kshut@bk.ru (ФНЦ гидротехники и мелиорации имени А. Н. Костякова», г. Москва, Россия).

УДК 502/504; 626.80:626.81

DOI: 10.32962/0235-2524-2025-6-25-30

## ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ РЕКИ НИГЕР В ПРЕДЕЛАХ ГВИНЕЙСКОЙ РЕСПУБЛИКИ

А. СИЛЛА, Т.И. МАТВЕЕВА, С.О. ВЛАДИМИРОВ, А.В. ПЕРМИНОВ

**Ключевые слова:** водные ресурсы, река Нигер, Гвинея, Западная Африка, осадки, речной сток.

**Keywords:** water resources, Niger River, Guinea, West Africa, precipitation, river runoff.

**Аннотация.** В исследовании анализируются перспективы использования водных ресурсов бассейна реки Нигер в Гвинейской Республике. Водные ресурсы Нигера обладают большим водно-энергетическим потенциалом, но зависят от изменений климата. Учитывая эти особенности региона (Западная Африка), авторами проанализированы метеорологические и гидрологические данные с шести метеорологических станций и гидрографических постов. Представлены данные наблюдений за 28 лет с 1990 по 2018 г. Выявлены периоды засух и наводнений, влияющие на экономику страны. Таким образом, высокая изменчивость требует строгого и адаптивного управления водными ресурсами для сохранения сельского хозяйства, экосистем и местного населения.

**Abstract.** The study analyzes the prospects for the use of water resources in the Niger River basin in the Republic of Guinea. Niger's water resources have large water and energy potential, but are dependent on climate change. Taking into account these characteristics of the region (West Africa), the authors analyzed meteorological and hydrological data from six meteorological stations and hydrographic posts. Observation data is presented for 28 years from 1990 to 2018. Periods of drought and flooding that affect the national economy are identified. Therefore, high variability requires rigorous and adaptive water management to preserve agriculture, ecosystems and local populations.

**Введение.** Перспективы использования водных ресурсов реки Нигер в Гвинейской Республике должны учитывать недавние проблемы, с которыми сталкивается река. В 2024–2025 гг. Гвинея столкнулась с критической ситуацией, характеризующейся вызывающим тревогу загрязнением реки, особенно в районе Фарана, где вода приобрела красноватый и мутный оттенок в результате незаконной или плохо контролируемой деятельности по добыче песка и золота. Это загрязнение серьезно влияет на качество воды, угрожая здоровью населения, проживающего на берегу реки, рыболовству и водоснабжению [1]. В то же время борьба с наводнениями остается серьезной проблемой, поскольку с 2024 г. наблюдаются значительные наводнения, затрагивающие население, проживающее ниже по течению, особенно в Нигере, и требующие укрепления регионального сотрудничества через Управление по бассейну реки Нигер (АВН) [2]. Эти явления подчеркивают уязвимость реки перед лицом антропогенных и климатических воздействий, а также напоминают о ее фундаментальной роли в социально-эконо-