

## ОЦЕНКА МИНЕРАЛЬНОГО СОСТАВА И ТОКСИЧНОСТИ ОЧИЩЕННЫХ СТОЧНЫХ ВОД КРЫМА КАК АЛЬТЕРНАТИВНОГО ИСТОЧНИКА ВОДЫ ДЛЯ ОРОШЕНИЯ

ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»

**Аннотация.** Цель исследований – изучение возможности использования очищенных сточных вод Республики Крым для целей орошения. Исследования включали: отбор проб очищенных сточных вод канализационно-очистных сооружений (КОС) г. Симферополя, пгт. Гвардейского, пгт. Советского, с. Вилино для определения их химического состава с целью расчета основных ирригационных коэффициентов, по принятым в РФ методикам, присвоения класса пригодности согласно почвенно-мелиоративной классификации и изучение их токсичности с использованием метода биотестирования на семенах кресс-салата и пшеницы. Результаты показали, что данную категорию вод не всегда можно использовать для целей орошения без дополнительной доочистки, так как в отдельных случаях это может привести к развитию негативных процессов в почвах – хлоридного засоления, натриевого и магниевого осолонцевания, содообразования. Среди рассмотренных очистных сооружений наиболее перспективны для целей орошения – стоки г. Симферополя и с. Вилино, так как по результатам химического анализа они относятся ко II и III классу качества, а также не оказали на тест-растения ингибирующего эффекта. Очищенные сточные воды КОС пгт. Советского и пгт. Гвардейского не рекомендуется использовать для орошения без доведения их состава до нормативных показателей. В водodefицитных условиях, которые сложились в Крыму, нецелесообразно сбрасывать очищенные сточные воды в водные объекты, их возможно утилизировать на полях орошения, однако перед этим необходимо проводить комплексную оценку по каждому очистным сооружениям, так как солевой состав стоков сильно различается. Использование очищенных сточных вод для полива не только позволит увеличить площади орошаемых земель, но и поможет в несколько раз уменьшить антропогенную нагрузку на все водные объекты Крымского полуострова.

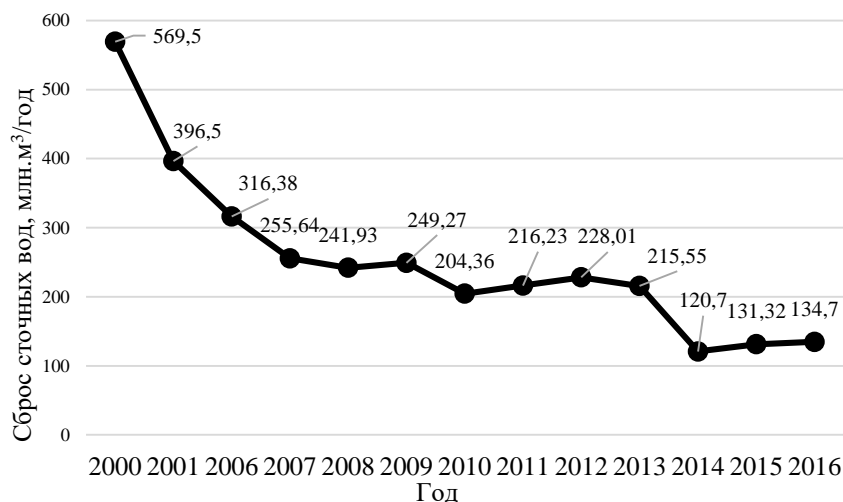
**Ключевые слова:** очищенные сточные воды, Крым, загрязнение, орошение, биотестирование, качество вод, река Салгир.

### Введение

Прекращение поставок воды по Северо-Крымскому каналу отразилось на водообеспечении подотрасли сельского хозяйства – орошаемом земледелии. В результате произошло сокращение площадей под выращивание влаголюбивых культур, недобор урожая, простаивание дорогостоящей дождевальной техники, ухудшение технического состояния оросительной сети, сокращение рабочих мест. Одним из возможных путей решения сложившихся водных проблем, по мнению некоторых ученых [1-4], является использование альтернативных источников воды, наиболее перспективным из которых являются очищенные городские сточные воды. В Республике Крым централизованными системами водоотведения в настоящее время обеспечено 16 городов (100%), 24 поселка городского типа (96%), 724 сельских населенных пункта (93%) [5]. Образующиеся от деятельности всех сфер экономики сточные воды поступают на очистные сооружения, и, после очистки, сбрасываются в водные объекты. В сложившихся условиях эти воды целесообразно перенаправлять для повторного использования для нужд сельского хозяйства. Для

этого необходимо, чтобы их объемы не сокращались, а качество соответствовало требуемым значениям, предъявляемым для данного вида водопользования.

На рисунке 1 приведена динамика суммарного объема сточных вод, ежегодно сбрасываемых с очистных сооружений Крыма [5].



**Рисунок 1 – Динамика суммарного объема сточных вод, сбрасываемых в водные объекты полуострова, млн м³/год**

Следует отметить, что с 2000 г. объем сточных вод, сбрасываемый в водные объекты полуострова, сократился к 2014 г. более чем в 4 раза (с 569,5 млн м<sup>3</sup> до 120,7 млн м<sup>3</sup>), однако начиная с 2014 г. произошло увеличение сброса очищенных сточных вод на 11,6 %, что может быть связано с увеличением количества отдыхающих, приехавших на полуостров (2014 год – 3 млн отдыхающих, 2015 г. – 4,6 млн, 2016 г. – 5,6 млн) [6].

Рассматривая динамику сброса сточных вод основными отраслями экономики Крыма в % от общего сброса, их можно поставить по убыванию в следующем порядке – коммунальное хозяйство (2013 г. – 50%, 2014 г. – 83%), сельское хозяйство (2013 г. – 47%, 2014 г. – 15%) и промышленность (2013 г. – 3%, 2014 г. – 2%) [5].

Основными критериями, определяющими перспективы использования очищенных сточных вод для целей орошения, является их количество и качество. Объемы поливной воды должны быть постоянны и не зависеть от погодных условий, для обеспечения проведения поливов в вегетационный период. Так, суммарный объем сточных вод за вегетационный период по перспективным для возможности использования стоков канализационно-очистных сооружений (КОС) Крыма составляет около 65 млн м<sup>3</sup> [3]. Это может дать возможность расширения орошаемых площадей на 19 тыс. га (в 2017 г. полито 12,7 тыс. га), однако, исходя из научно-обоснованной [3] оросительной нормы 2,2 тыс м<sup>3</sup>/га, данных объемов может хватить на орошение 25-30 тыс. га садов, виноградников, технических и кормовых культур, с использованием капельного внутрипочвенного орошения, что позволит до 2020 г. увеличить орошаемые площади до 59 тыс. га.

Однако, при выборе источника орошения следует учитывать, что водные ресурсы, применяемые для полива сельскохозяйственных культур, способны оказывать существенное воздействие на компоненты природной среды и эффективность функционирования технических сооружений.

Учитывая рост численности населения и увеличивающиеся темпы урбанизации, следует выделить главную отрасль, сбросы от которой будут

постоянно возрастать – коммунальное хозяйство. Ориентируясь на это, необходимо рассматривать очищенные сточные воды канализационно-очистных сооружений населенных пунктов, как альтернативный водный ресурс, который может быть использован для целей орошения кормовых, технических и древесно-кустарниковых культур.

**Цель исследований** – изучение химического состава (содержание основных ионов и катионов), а также токсичности очищенных сточных вод, сбрасываемых с КОС, расположенных в разных населенных пунктах Крыма, и потенциальной возможности их использования для целей орошения.

#### **Материалы и методы исследований**

Экспериментальная часть исследований проведена в 2017 г. Объекты исследований – очищенные сточные воды КОС пгт. Советского, пгт. Гвардейского, г. Симферополя и с. Вилино. Данные очистные сооружения выбраны в связи с тем, что КОС в пгт. Советском введены в эксплуатацию в 2017 г., КОС в пгт. Гвардейском – полностью реконструированы и модернизированы в 2017 г., КОС г. Симферополя, расположенные в с. Укромное, являются самыми крупными на полуострове (расчетная производительность 179,0 тыс м<sup>3</sup>/сут. [5]), а очищенные стоки КОС с. Вилино используются для целей орошения виноградников. Карта-схема исследуемых КОС представлена на рисунке 2.



**Рисунок 2 – Карта-схема расположения исследуемых КОС полуострова**

Исследования по оценке химических параметров очищенных сточных вод для целей орошения включали: отбор проб стоков для определения их химического состава с целью расчета основных ирригационных коэффициентов, присвоение класса качества, согласно почвенно-мелиоративной классификации [7] (теоретическая часть), а также изучение их токсичности на основании лабораторных опытов с использованием метода биотестирования (практическая часть) [9].

Для определения качества очищенных сточных вод проведены анализы по следующему перечню показателей: минерализация,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ , pH. Оценка качества сточных вод проведена по используемой в РФ почвенно-мелиоративной классификации, а также с помощью оценочных показателей, учитывающих уровень общей минерализации оросительной воды, в зависимости от механического состава почв, концентрацию ионов хлора, а также соотношений  $\text{Na}^+/\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{Mg}^{2+}/\text{Ca}^{2+}$ , повышенные значения которых могут привести к развитию негативных процессов в почвах – хлоридному засолению, натриевому и магниевому осолонцеванию, содообразованию [8 (приложение 4-6)].

Согласно почвенно-мелиоративной классификации существует 4 класса оросительной воды:

Класс I – оросительная вода не оказывает неблагоприятного влияния на плодородие почв, урожайность и качество сельскохозяйственной продукции, поверхностные и подземные воды. Не требуется ограничения состава сельскохозяйственных культур.

Класс II – оросительная вода не оказывает неблагоприятного влияния на качество сельскохозяйственной продукции, поверхностные и подземные воды. При недостаточной дренированности возможно засоление почв, снижение урожайности культур слабой солеустойчивости на 5-10%. Для удаления лишних солей требуется умеренный промывной режим орошения при обеспеченной дренированности, специальный комплекс мелиоративных мероприятий.

Класс III – оросительная вода оказывает неблагоприятное влияние на плодородие почв и урожайность сельскохозяйственных культур. Урожайность культур слабой и средней солеустойчивости снижается на 10-25%. Без предварительной мелиорации почв неизбежно развитие процессов засоления, натриевого и магниевого осолонцевания и содообразования. Необходимо регулирование pH оросительной воды, обогащение ее кальцием. Требуется промывной режим орошения при обеспеченной дренированности, интенсивность которого должна быть увязана со свойствами почв, а также ограничения состава сельскохозяйственных культур и специальный комплекс мелиоративных мероприятий.

Класс IV – оросительная вода оказывает неблагоприятное влияние на плодородие почв, урожайность и качество сельскохозяйственной продукции. Урожайность культур слабой и средней солеустойчивости снижается на 25-50%. Требуется мелиорация почв. Вода непригодна без предварительного изменения ее качественного состава или без проведения специальных исследований влияния ее на качество сельскохозяйственной продукции, на плодородие почв и другие природные факторы.

Следующий этап исследований – проведение лабораторных опытов с использованием метода биотестирования. Этот метод выбран на основании того, что биотестирование предусмотрено СанПиН 2.1.7.573-96 [9 (приложение 10)] для оценки сточных вод, используемых для орошения.

В работах [10-12] приведены результаты биотестирования вод реки Салгир и ее притоков с использованием в качестве тест-объектов лука репчатого (*Allium cepa*), семян редиса (*Radicula*) и кресс-салата (*Lepidium sativum*), полученные ответные реакции показали результативность данного метода исследований. Наиболее отзывчивыми к наличию токсического загрязнения оказались семена *L. sativum* и *A. cepa*, именно поэтому одним из тест-объектов в наших исследованиях выбран *L. sativum*. В соответствии с ISO 11269-02 биотестирование необходимо проводить не менее, чем на двух видах растений, при этом одно из них должно относиться к двудольным (*L. sativum*), а второе – к однодольным, поэтому вторым тест-объектом стали семена пшеницы (*Triticum*) [13].

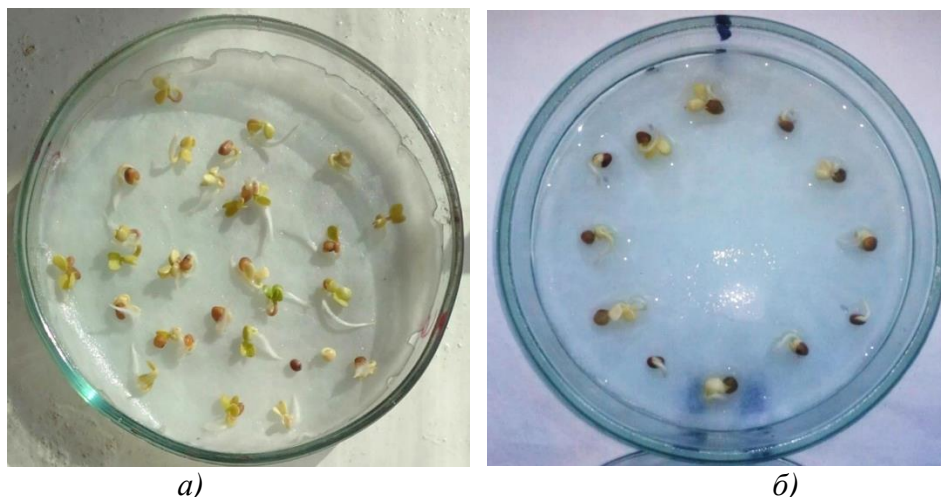
Кресс-салат – однолетнее двудольное растение, обладающее повышенной чувствительностью к загрязнению природных объектов, сточных вод, отличается быстрым прорастанием семян и почти 100% всхожестью, которая значительно уменьшается в присутствии загрязнителей. Кроме того, побеги и корни этого растения под действием загрязнителей подвергаются заметным морфологическим изменениям (задержка роста и искривление побегов, уменьшение длины корней).

Пшеница – однодольное растение. Проращивание ее семян на водах разного химического состава при проведении биотестирования хорошо себя зарекомендовало, так как результаты влияния токсических веществ на образование и рост корней можно фиксировать уже через несколько суток.

Данный вид биотестирования относится к кратковременному (проращивание семян сельскохозяйственных культур в течение 72 часов) и позволяет определить острое токсическое действие исследуемых вод на развитие проростков растений. Показателем является средняя длина развития корневой системы в тестируемой воде по сравнению с контролем. Критерием токсичности является достоверное отличие измеряемых показателей по сравнению с контролем на дистиллированной воде.

«Фитотест» основан на способности семян адекватно реагировать на экзогенное химическое воздействие путем изменения интенсивности отрастания корней, что позволяет длину последних принять за показатель тест-функции. Критерием вредного действия считается ингибирование роста корней семян.

Перед закладкой опыта по проращиванию семян на различных категориях вод были проведены пробные испытания, основанные на стандартной методике, изложенной в СанПиН 2.1.7.573-96 [9, приложение 10], с хаотичной закладкой 30-50 семян в чашку Петри и усовершенствованным вариантом данной методики, изложенной в Патенте 2492473 РФ (схематическая укладка 12 семян в одной чашке Петри) [14]. Пример укладки семян приведен на рисунке 3.



**Рисунок 3 – Схема размещения семян в чашке Петри:  
а) по СанПиН 2.1.7.573-96; б) по Патенту № 2492473**

В результате пробных испытаний выбрана схема укладки по Патенту 2492473 РФ, с целью снижения трудоемкости при проведении измерений и повышения точности результатов тестирования семян растений (предотвращение переплетения корней).

Опыт проводился в четырехкратной повторности, по 4 чашки Петри на один исследуемый образец воды. В чашки Петри раскладывали диски фильтровальной бумаги диаметром 9 см. Далее в каждую чашку укладывали равномерно по 12 семян, затем наливали по 5 мл исследуемых вод. В качестве контроля использовали дистиллированную воду. Чашки закрывали стеклянной крышкой и процесс проращивания проводили при дневном освещении в лаборатории при температуре 21-23 °С.

В конце эксперимента (на 3 сутки) проростки извлекли из чашек Петри и провели измерения длин их корней. Если, по сравнению с контролем, семена в

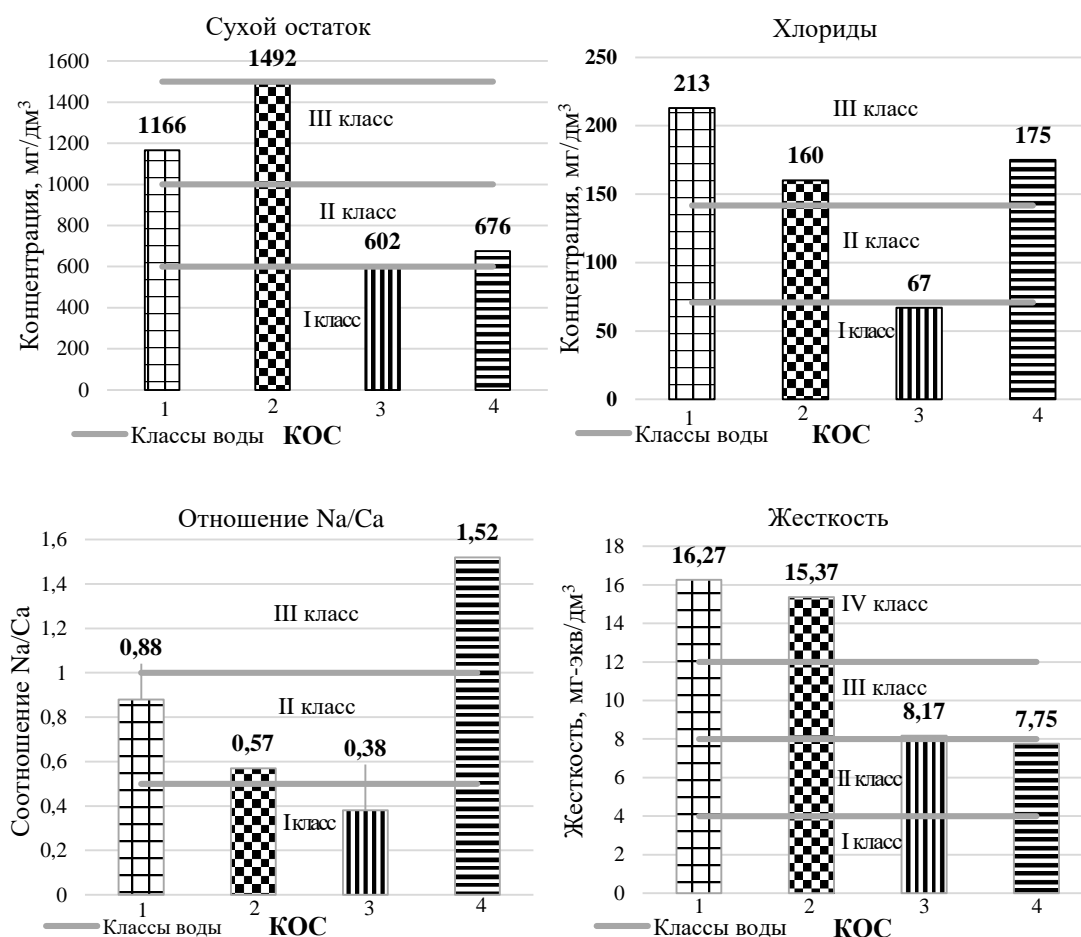


исследуемой воде не проросли, или же длина корней ниже 70% от контроля, то вода токсична и не может быть использована для орошения. Порог в 70% обосновыван тем, что почва, благодаря сорбционной способности, снижает ингибирующее воздействие исследуемой воды. При длине корней в опыте выше 120% от контроля предполагается, что вода оказывает стимулирующий эффект на рост культур [9].

### Результаты и их обсуждение

На основании полученных данных химического состава очищенных сточных вод проведена оценка их качества по используемой в РФ почвенно-мелиоративной классификации [7], а также с помощью оценочных показателей [8 (приложение 4-6)].

Содержание основных веществ (сухого остатка, хлоридов) и расчетных показателей (отношение Na/Ca, жесткость) в очищенных сточных водах, которые влияют на развитие процессов засоления, осолонцевания почв, уменьшение урожайности сельскохозяйственных культур и ухудшение качества получаемой продукции, снижение эффективности работы оросительной сети, поливного оборудования и техники, приведены на рисунке 4 и в таблицах 1, 2.



**Рисунок 4 – Значения качественных характеристик очищенных сточных вод КОС Крыма**

*Примечание: 1 – пгт. Советский, 2 – пгт. Гвардейский, 3 – г. Симферополь, 4 – с. Вилино.*

Представленные на рисунке 4 диаграммы свидетельствуют о том, что солевой состав очищенных сточных вод по разным очистным сооружениям полуострова различается, поэтому оценка качества, бактериологических свойств и

токсичности, по каждому КОС является необходимым условием для принятия решения о потенциальной возможности их использования на цели орошения.

При оценке потенциала использования сточных вод для целей орошения использована почвенно-мелиоративная классификация, которая позволила каждой исследуемой пробе присвоить определенный класс качества. Итоговый уровень качества поливной воды (класса) определялся по наихудшему из показателей. Данный подход необходим для разработки мероприятий с целью предотвращения негативных процессов, которые могут возникнуть при орошении водой данного химического состава. В результате обработки полученных результатов химического состава проб воды были определены ее классы, которые представлены в таблице 1.

**Таблица 1 – Оценка пригодности очищенных сточных вод для целей орошения согласно почвенно-мелиоративной классификации (2017 г.)**

Процесс	Месторасположение КОС			
	пгт. Советский	пгт. Гвардейский	г. Симферополь	с. Вилино
Общее засоление (по величине минерализации) *	III	III	II	II
Хлоридное засоление (по содержанию Cl <sup>-</sup> )	III	III	I	III
Натриевое осолонцевание (соотношение Na <sup>+</sup> /Ca <sup>2+</sup> )	II	II	I	III
Магниевое осолонцевание (соотношение Mg <sup>2+</sup> /Ca <sup>2+</sup> )	I	I	I	I
Содообразование (CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> +HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ) – (Ca <sup>2+</sup> +Mg <sup>2+</sup> )	I	I	I	I
Итоговый класс воды	III	III	II	III

*Примечание:* \* – принято для почв среднего механического состава.

Для оценки возможности использования вод на цели орошения дополнительно рассчитаны основные ирригационные коэффициенты (таблица 2).

**Таблица 2 – Оценка пригодности очищенных сточных вод для целей орошения, согласно оценочных показателей**

Местоположение КОС	Ирригационный коэффициент Стеблера	Коэффициент ионного обмена	Натриево-адсорбционное соотношение
пгт. Советский	9,11	2,06	2,67
пгт. Гвардейский	12,07	2,48	2,10
г. Симферополь	29,84	3,66	1,03
с. Вилино	11,16	1,24	3,09

*Примечание: нормы коэффициентов оценочных показателей:*

1. Ирригационный коэффициент Стеблера:  $K > 18,0$  – воды хорошие;  $K = 18,0 - 6,0$  – удовлетворительные;  $K = 5,0 - 1,2$  – неудовлетворительные;  $K < 1,2$  – плохие.

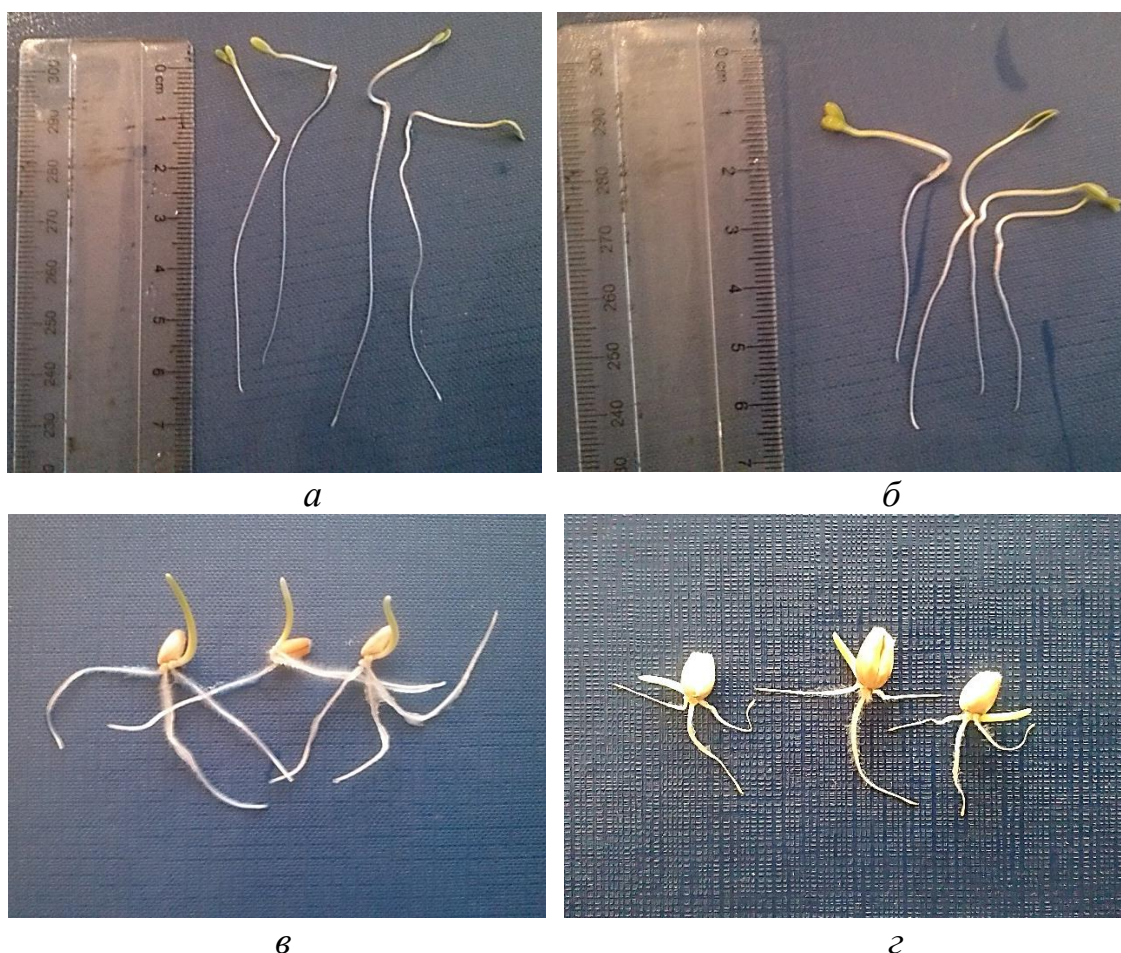
2. Коэффициент ионного обмена:  $K \leq 1$  – вода не пригодна для орошения;  $K \geq 1$  – вода пригодна для орошения.

3. Натриево-адсорбционное соотношение:  $K < 10$  – опасность осолонцевания почв низкая;  $K = 8 - 18$  – средняя;  $K = 18 - 26$  – высокая;  $K > 26$  – вода непригодна для орошения.

На основе проведенного анализа перспективными для использования являются очищенные сточные воды II класса качества КОС г. Симферополя. Стоки КОС с. Вилино – удовлетворительные, так как согласно используемой почвенно-мелиоративной классификации они относятся к III классу только по двум показателям: содержанию Cl<sup>-</sup> и соотношения Na<sup>+</sup>/Ca<sup>2+</sup>.

Оценивая потенциал и возможность использования очищенных сточных вод для орошения в пгт. Советском и Гвардейском следует отметить, что данные воды без дополнительной подготовки использовать нельзя, так как рассчитанные коэффициенты указывают на то, что, полив этими водами через несколько лет может привести к накоплению солей в почве и возможному выходу орошаемого участка из сельскохозяйственного оборота.

Второй этап исследований – лабораторные опыты с использованием метода биотестирования. Пример полученных результатов представлен на рисунке 5.



**Рисунок 5 – Пример проведения опытов по биотестированию с использованием семян кресс-салата и пшеницы**

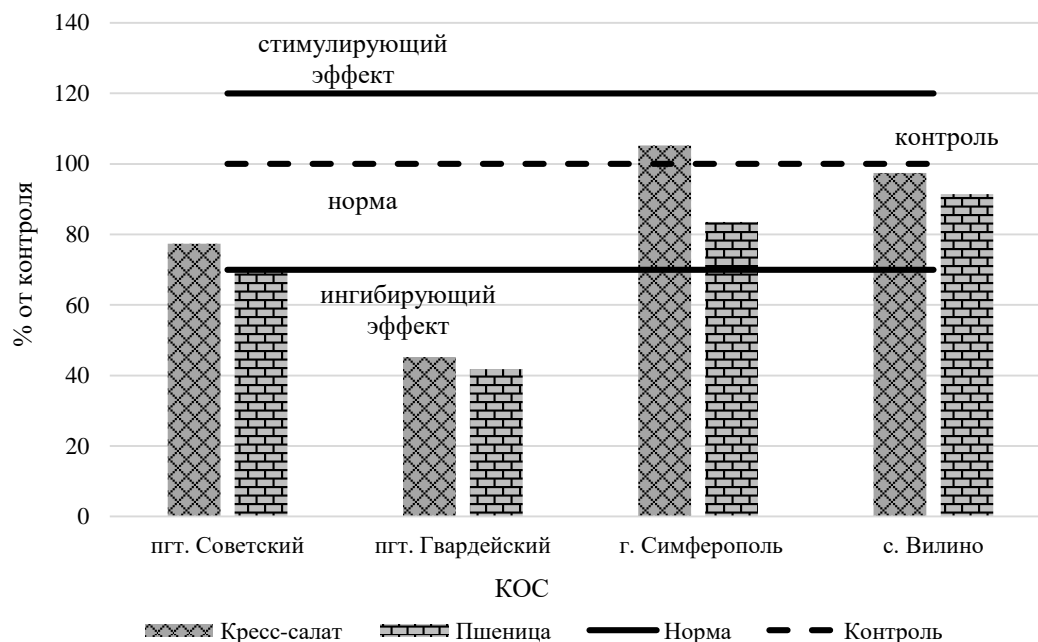
*Примечание: а, в – дистиллированная вода, б, г – стоки КОС, пгт. Гвардейский.*

Корневая система тест-растений по-разному отреагировала на содержание избыточных ионов и токсических веществ в составе очищенных сточных вод.

Результаты определения степени токсичности очищенных сточных вод с помощью метода биотестирования представлены на рисунке 6.

Анализируя результаты опытов по биотестированию можно отметить, что очищенные сточные воды КОС пгт. Гвардейского и пгт. Советского оказали ингибирующий эффект на развитие корневой системы тест-растений, что не позволяет рассматривать их стоки как перспективный водный ресурс.





**Рисунок 6 – Результаты биотестирования очищенных сточных вод КОС Крыма**

Развитие корневой системы тест-культур в контакте с исследуемыми стоками КОС г. Симферополя и с. Вилино находилось в пределах нормы (70-120%), что свидетельствует о возможности применения этих стоков для целей орошения при получении соответствующих разрешений.

В сложившихся на полуострове вододефицитных условиях следует рассматривать очищенные сточные воды как альтернативный источник водообеспечения сельскохозяйственной отрасли. Их можно использовать для полива технических, кормовых и древесно-кустарниковых культур, это не только позволит увеличить площади орошаемых земель, но и поможет в несколько раз уменьшить антропогенную нагрузку на водные объекты полуострова.

Наиболее эффективными, с точки зрения санитарно-экологической безопасности, являются оросительные системы с закрытой сетью, с применением внутрипочвенного способа полива с подачей воды через систему трубок-увлажнителей, заложенных на глубину 0,25-0,35 м. Внутрипочвенное внесение сточных вод исключает поверхностное загрязнение почвы патогенными микроорганизмами, а при правильном режиме орошения глубина промачивания не превышает 1 м, что исключает возможность загрязнения грунтовых вод [3].

Наиболее перспективными являются КОС крупных городов – таких как г. Симферополь, годовые объемы сбросов сточных вод с которых ежегодно составляют около 45 млн м<sup>3</sup>/год [15], а проведенная оценка солевого состава показала, что их можно использовать для орошения без дополнительной подготовки. Несмотря на это, использование сточных вод для целей орошения должно согласовываться с агрохимической службой, органами санитарно-эпидемиологических и ветеринарных служб.

#### Выводы

Полученные расчетные значения и экспериментальные данные свидетельствуют о том, что исследуемые пробы очищенных сточных вод имеют различный химический состав и относятся к разному классу качества, это зависит от качества воды, изначально подаваемой потребителям, а также от технического

состояния и оснащения станций очистки. Так стоки КОС пгт. Гвардейского, пгт. Советского, относятся к III классу качества, на основании чего не могут использоваться для орошения, а КОС г. Симферополя – ко II и являются перспективными для использования. Стоки КОС с. Вилино только по двум показателям: содержанию  $Cl^-$  и соотношения  $Na^+/Ca^{2+}$  относятся к III классу и могут использоваться в орошении при создании дополнительного комплекса агротехнических и мелиоративных мер, направленных на снижение химической нагрузки на почву.

Очищенные сточные воды КОС пгт. Гвардейского и пгт. Советского оказали ингибирующий эффект на развитие корневой системы тест-растений, что не позволяет рассматривать их стоки как перспективный водный ресурс. Развитие корневой системы тест-культур в контакте с исследуемыми стоками КОС г. Симферополя и с. Вилино находилось в пределах нормы (70-120%), что свидетельствует о возможности применения этих стоков для целей орошения при получении соответствующих разрешений.

Наиболее перспективными для использования с целью орошения (при получении соответствующих разрешений), как по солевому составу, так и по результатам опытов с использованием метода биотестирования являются стоки очистных сооружений г. Симферополя и с. Вилино. Очищенные сточные воды КОС пгт. Советский и пгт. Гвардейский не рекомендуется использовать для целей орошения.

### Литература

1. Волкова Н.Е., Захаров Р.Ю. Использование очищенных сточных вод в Крыму: опыт прошлого, реалии настоящего // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. 2017. № 3 (27). С. 144–159.
2. Захаров Р.Ю., Волкова Н.Е. Динамика качественных показателей очищенных сточных вод в Крымском регионе // Строительство и техногенная безопасность. 2017. № 7(59). С. 141–145.
3. Кременской В.И., Вердыш М.В. Сточные воды как перспективный ресурс повышения водообеспеченности Республики Крым // Природообустройство. 2016. №5. С. 72–77.
4. Сейтумеров Э.Э. Перспективы использования очищенных канализационных стоков и коллекторно-дренажных вод для орошения на территории Крыма // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. 2016. № 2 (62). С. 166–170.
5. Доклад о состоянии и охране окружающей среды на территории Республики Крым в 2016 году. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://meco.rk.gov.ru/rus/file/doklad-o-sostoyanii-i-okhrane-okruzhayushhej-sredu-respubliki-krum-v-2016-godu.pdf> (дата обращения 02.02.2018).
6. Иванютин Н.М., Подовалова С.В. Развитие рекреации-путь к благополучию Крыма // Молодая наука сборник научных трудов научно-практической конференции для студентов и молодых ученых. 2016. С. 212–213.
7. Мелиорация и водное хозяйство. Т.6. Орошение: справочник / под ред. Б.Б. Шумакова. М.: Агропромиздат, 1990. 415 с.
8. СНиП 2.06.03-85. Мелиоративные системы и сооружения / Госстрой СССР. М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1986. 47 с.
9. СанПиН 2.1.7.573-96. Гигиенические требования к использованию сточных вод и их осадков для орошения и удобрения. Москва: Информационно-издательский центр Минздрава России, 1997. 54 с.
10. Подовалова С.В., Иванютин Н.М. Оценка качества вод реки Салгир с использованием метода биотестирования // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. 2017. № 3 (27). С. 127–143.
11. Иванютин Н.М., Подовалова С.В. Использование растительных тест-систем в мониторинге экологического состояния водных объектов реки Салгир // Экология и строительство. 2017. № 3. С. 17–23.
12. Иванютин Н.М., Подовалова С.В. Результаты комплексного экологического мониторинга реки Славянка // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. 2018. № 1 (69). С. 34–42.
13. ISO 11269-2. Международный стандарт. Качество почвы. Определение воздействия загрязняющих веществ на флору почвы. Часть 2. Воздействие химикатов на всхожесть и рост высших растений. М.: Стандартинформ, 2009. 28 с.

14. Пат. 2492 473 Российская Федерация, МПК G 01N 33/18 (2006.01). Способ биотестирования по проращиванию семян / Мазуркин П.М., Евдокимова О.Ю.; заявитель и патентообладатель Марийск. гос. тех. ун-т. №2011123406/15; заявл. 08.06.11; опубл. 10.09.13, Бюл. № 25. 22 с.
15. Иванютин Н.М., Подошвалова С.В., Кременской В.И. Водоборот и антропогенная нагрузка в бассейне реки Салгир // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. 2016. № 4 (24). С. 174–188.

### References

1. Volkova N.E., Zakharov R.Yu. Treated sewage waters usage in Crimea: experience of the past, reality of the present // Nauchnyy Zhurnal Rossiyskogo NII Problem Melioratsii // Scientific Journal of Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems. 2017. No. 3 (27). P.144–159.
2. Zakharov R.Yu., Volkova N.E. Dynamics of quality indicators of the purified sewage in the Crimean region // Construction and industrial safety. 2017. No. 7 (59). P. 141–145.
3. Kremenskoj V.I., Verdysh M.V. Waste water as a perspective resource of increasing water availability of the Republic of Crimea // Prirodoobustrojstvo. 2016. No. 5. P. 72 –77.
4. Seytumerov E.E. Prospects for the use of treated sewage and collector-drainage water for irrigation on the territory of the Crimea // Puti povysheniya effektivnosti oroshaemogo zemledeliya. 2016. No. 2 (62). P. 166–170.
5. Report on the state and protection of the environment on the territory of the Republic of Crimea in 2016. [Electronic resource]. Access point: <https://meco.rk.gov.ru/rus/file/doklad-o-sostoyanii-i-okhrane-okruzhayushhej-sredy-respubliki-krym-v-2016-godu.pdf> (reference's date 02.02.2018).
6. Ivanyutin N.M., Podovalova S.V. Development of recreation-the way to the welfare of the Crimea// Young science collection of scientific papers of the scientific and practical conference for students and young scientists. 2016. P. 212 –213.
7. Reclamation and water management. Vol. 6. Irrigation: handbook/ ed. by Shumakov B.B. Moscow: Agropromizdat, 1990. 415 p.
8. SNiP (Construction Norms and Rules) 2.06.03-85. Drainage systems and facilities/ Gosstroj (Construction Department) of the USSR. Moscow: Central Institute of Standard Projects (TsITP) of Gosstroj of the USSR. 1986. 47 p.
9. SanPiN 2.1.7.573-96. Hygienic requirements to wastewater and sewage sludge use for land irrigation and fertilization. Moscow: Information and Publishing Centre of the Russian Ministry of Health, 1997. 54 p.
10. Podovalova S.V., Ivanyutin N.M. Estimation of water quality of the Salgir river by biotesting method// Nauchnyy Zhurnal Rossiyskogo NII Problem Melioratsii // Scientific Journal of Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems. 2017. No. 3 (27). P. 127–143.
11. Ivanyutin N.M., Podovalova S.V. Use of vegetative test systems in monitoring of the ecological status of water bodies of the Salgir river // Ecologiya i stroitelstvo. 2017. No. 3. P. 17–23.
12. Ivanyutin N.M., Podovalova S.V. Results of integrated ecological monitoring of the Slavyanka River// Puti povysheniya effektivnosti oroshaemogo zemledeliya. 2018. No. 1 (69). P. 34–42.
13. ISO 11269-2. Soil quality – Determination of the effects of pollutants on soil flora. Part 2: Effects of contaminated soil on the emergence and early growth of higher plants. Moscow: Standartinform, 2009. 28 p.
14. Patent 2492 473 Russian Federation, IPC G 01 N 33/18 (2006.01). Method of biotesting for seed germination/ Mazurkin P.M., Evdokimova O.Yu.; applicant and patent owner is Mari State Technical University №2011123406/15; appl. 08/06/11; publ. 10.09.13, Bul. No. 25.
15. Ivanyutin N.M., Podovalova S.V., Kremenskoj V.I. Water rotation and anthropogenic pressures in the basin of the river Salgir// Nauchnyy Zhurnal Rossiyskogo NII Problem Melioratsii // Scientific Journal of Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems. 2016. No. 4 (24). P. 174–188.

UDC 556.5: 628.1: 628.3

Ivanyutin N.M., Podovalova S.V.

### EVALUATION OF MINERAL COMPOSITION AND TOXICITY OF TREATED WASTEWATER IN THE CRIMEA AS ALTERNATIVE WATER SOURCE FOR IRRIGATION

*Summary.* The aim of the research is to study the possibility to use treated wastewater of the Republic of Crimea for irrigation purposes. The studies included: sampling of treated wastewater from sewage treatment plants (STP) in the city of Simferopol, Gvardeyskoye rural

settlement, Sovetskoye rural settlement, and village Vilino to determining chemical composition for the purpose of calculating the main irrigation coefficients, according to the methods adopted in the Russian Federation, assigning a suitability class according to soil-meliorative classification, and studying their toxicity using the method of biotests on cress and wheat seeds. The results showed that this kind of water cannot always be used for irrigation purposes without additional treatment, as in some cases it can lead to the development of negative processes in soils - chloride salinity, sodium and magnesium alkalization, soda formation. Drains of Simferopol and village of Vilino considered to be the most promising for irrigation purposes among the treatment plants, because according to the results of the chemical analysis they belong to the 2<sup>nd</sup> and 3<sup>rd</sup> quality classes, and also did not have an inhibitory effect on the test plants. Purified wastewater of STP in the Sovetskoye rural settlement and Gvardeyskoye rural settlement cannot be used for irrigation without bringing their composition to the normative indicators. It is inappropriate to discharge treated wastewater into water bodies because there is water shortage in the Crimea. They can be used for irrigation purposes in agriculture. However, before doing this, it is necessary to assess every treatment plant comprehensively since the salt composition of the effluents varies widely. The use of treated wastewater for irrigation will not only increase the area of irrigated land, but also help reduce the anthropogenic impact on all water bodies of the Crimean Peninsula.

**Keywords:** treated wastewater, Crimea, pollution, irrigation, biotesting, water quality, river Salgir.

Иванютин Николай Михайлович, младший научный сотрудник отдела водосбережения, мониторинга и альтернативного водообеспечения ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»; 295493, Россия, Республика Крым, г. Симферополь, ул. Киевская, 150; e-mail: redkolya@mail.ru.

Подолова Светлана Владимировна, младший научный сотрудник отдела водосбережения, мониторинга и альтернативного водообеспечения ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»; 295493, Россия, Республика Крым, г. Симферополь, ул. Киевская, 150; e-mail: podovalovas@list.ru.

Ivanyutin Nikolay Mikhaylovich, junior scientist of the Department of Water Conservation, Monitoring and Alternative Water Supply, Federal State Budget Scientific Institution “Research Institute of Agriculture of Crimea”; 150 Kievskaya str., Simferopol, Republic of Crimea, Russia; e-mail: redkolya@mail.ru.

Podovalova Svetlana Vladimirovna, junior scientist of the Department of Water Conservation, Monitoring and Alternative Water Supply, Federal State Budget Scientific Institution “Research Institute of Agriculture of Crimea”; 150 Kievskaya str., Simferopol, Republic of Crimea, Russia; e-mail: podovalovas@list.ru.

*Дата поступления в редакцию – 01.04.2018.*

*Дата принятия к печати – 10.04.2018.*