

Оригинальная статья

УДК 502/504: 631.67.03:626.8

DOI: 10.26897/1997-6011-2022-4-31-36

ОЦЕНКА ТОКСИЧНОСТИ ОЧИЩЕННЫХ ХОЗЯЙСТВЕННО-БЫТОВЫХ СТОЧНЫХ ВОД С ЦЕЛЬЮ ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДЛЯ ОРОШЕНИЯ

ДОМАШЕНКО ЮЛИЯ ЕВГЕНЬЕВНА , д-р техн. наук, ведущий научный сотрудник
domachenko_u@list.ru

СУРОВИКИНА АНАСТАСИЯ ПЕТРОВНА, младший научный сотрудник, аспирант
nastenka35sur1997@yandex.ru

ЛЯШКОВ МАКСИМ АНАТОЛЬЕВИЧ, научный сотрудник
layshkov@mail.ru

Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации (ФГБНУ «РосНИИПМ»); 346421, Ростовская область, г. Новочеркасск, пр. Баклановский, 190, Россия

*Цель исследований – определение токсичности хозяйственно-бытовых сточных вод после механической и биологической очистки и потенциальной возможности их использования для целей орошения. Проведена оценка токсичности подготовленных сточных вод канализационных очистных сооружений (КОС «Кадамовские») г. Новочеркаска по методике биотестирования на разных тест-объектах: инфузории (*Paramecium caudatum*), зеленые протококковые водоросли хлорелла (*Chlorella vulgaris* Beijer), семена белой горчицы (*Sinapis alba*). Лабораторные исследования проводились в аккредитованной эколого-аналитической лаборатории ФГБНУ «РосНИИПМ». Результаты биотестирования на тест-объекте хлореллы показали, что подготовленные хозяйственно-бытовые сточные воды не оказывают токсического действия. Биотестирование на тест-объекте инфузории определило токсическое действие только сточной воды после биологической очистки. Длина корней семян белой горчицы в сточной воде после механической и биологической очистки по сравнению с контролем выше на 120%, что доказывает стимулирующий эффект указанных вод. Следовательно, хозяйственно-бытовые сточные воды после механической очистки с КОС «Кадамовские» г. Новочеркаска по результатам биотестирования потенциально можно использовать для целей орошения. По результатам исследований установлено, что сточные воды после биологической очистки «оказывают токсическое действие», что обуславливает их применение для орошения только после дополнительной подготовки.*

Ключевые слова: орошение, хозяйственно-бытовые сточные воды, сточные воды, биотестирование, токсичность

Формат цитирования: Домашенко Ю.Д., Суровикина А.П., Ляшков М.А. Оценка токсичности очищенных хозяйственно-бытовых сточных вод с целью их использования для орошения // Природообустройство. – 2022. – № 4. – С. 31-36. DOI: 10.26897/1997-6011-2022-4-31-36.

© Домашенко Ю.Д., Суровикина А.П., Ляшков М.А., 2022

Original article

ASSESSMENT OF TOXICITY OF TREATED DOMESTIC WASTEWATER FOR THE PURPOSE OF IRRIGATION USE

DOMASHENKO YULIYA EVGENJEVNA , doctor of technical sciences, leading researcher
domachenko_u@list.ru

SUROVIKINA ANASTASIYA PETROVNA, junior researcher, post graduate student
nastenka35sur1997@yandex.ru

LYASHKOV MAXIM ANATOLJEVICH, researcher
layshkov@mail.ru

Russian research institute of land reclamation problems (FGBNU «RosNIIPM»); 346421, Rostovskaya region, Novocherkassk, pr. Baklanovsky, 190, Russia

The purpose of the research is to determine the toxicity of domestic wastewater after mechanical and biological treatment and the potential possibility of their use for irrigation. The toxicity of treated

wastewater from wastewater treatment plants (Kadamovskiye WWTP) in Novocherkassk by the method of biotesting on different test objects – infusoria (*Paramecium caudatum*), green protococcal algae chlorella (*Chlorella vulgaris* Beijer), white mustard seeds (*Sinapis alba*) is evaluated. Laboratory studies were carried out in the accredited ecological and analytical laboratory of the Federal State Budgetary Institution «RosNIIPM». The results of biotesting at the chlorella test object showed that the treated household wastewater does not have a toxic impact. Biotesting at the infusoria test object determined only the toxic impact of wastewater after biological treatment. The length of the white mustard seed roots in wastewater after mechanical and biological treatment is above 120%, compared with the control, which proves the stimulant effect of these waters. So, according to the results of biotesting domestic wastewater after mechanical treatment from the Kadamovskiye WWTP in Novocherkassk can be potentially used for irrigation. According to the research results, wastewater after biological treatment «has a toxic impact», which causes their use for irrigation only after additional treatment.

Keywords: irrigation, household wastewater, wastewater, biotesting, toxicity

Format of citation: Domahsenko Yu.D., Surovikina A.P., Lyashkov M.A. Assessment of toxicity of treated domestic wastewater for the purpose of irrigation use // *Prirodoobustroystvo*. – 2022. – № 4. – S. 31-36. DOI: 10.26897/1997-6011-2022-4-31-36.

Введение. В условиях дефицита водных ресурсов одним из приоритетных направлений решения кризисных ситуаций может быть повторное использование сточных вод после соответствующей обработки для нужд сельского хозяйства [1, 2].

Повторное использование сточных вод – это оптимальное решение многих проблем – например, таких, как экологическая безопасность региона, сохранение водных объектов, рациональное природопользование, дефицит водных ресурсов и др. [3, 4].

Основная проблема, которая лимитирует повторное использование очищенных сточных вод, – качество очищенных сточных вод, что ограничивает их пригодность для целей орошения [5-13].

Целью исследований стало определение токсичности хозяйственно-бытовых сточных вод после механической и биологической очистки и потенциальной возможности их использования для целей орошения.

Материалы и методы исследований. Для оценки пригодности сточных вод для орошения нами были проведены лабораторные исследования по определению токсичности очищенных хозяйственно-бытовых сточных вод по методике биотестирования в аккредитованной эколого-аналитической лаборатории ФГБНУ «РосНИИПМ» по общепринятым методикам [13, 17]. Выбор данного метода обоснован положениями НТП-АПК 1.30.03.02-06 «Нормы технологического проектирования оросительных систем с использованием сточных вод».

При проведении исследований отбор проб сточной воды осуществлялся на КОС «Кадамовские» г. Новочеркаска (рис. 1).

Поступающие на КОС «Кадамовские» хозяйственно-бытовые сточные воды проходят

раздельную очистку (рис. 2) на сооружениях механической очистки, совместную полную биологическую очистку. Обеззараживание очищенных сточных вод производится газообразным хлором, доочистка – на биологических прудах. Отбор проб хозяйственно-бытовых сточных вод производится три раза в двух точках: после механической очистки и после биологической очистки.



Рис. 1. КОС «Кадамовские»

Fig. 1. WWTP «Kadamovskiye»

Лабораторные опыты с использованием метода биотестирования проводились двумя способами:

* лабораторные исследования на тест-объектах – инфузории (*Paramecium caudatum*) и зеленая протококковая водоросль хлорелла (*Chlorella vulgaris* Beijer [17];

* проращивание семян белой горчицы [13].

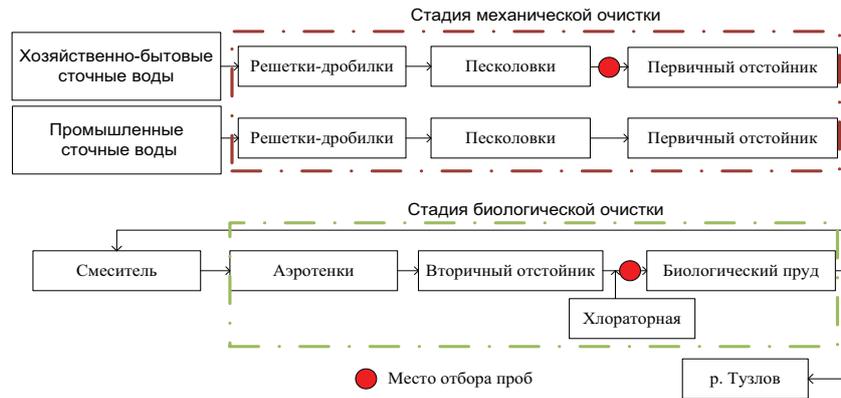


Рис. 2. Схема очистки сточных вод на КОС «Кадамовские»

Fig. 2. Scheme of wastewater treatment at WWTP «Kadamovskie»

Лабораторные испытания включали в себя три серии опытов с пробами сточной воды после механической и биологической очистки, для контрольного образца использовалась дистиллированная вода. Результаты биотестирования определялись как среднее арифметическое значение параллельных определений прироста (убыли) биомассы тест-объектов.

Тест на проращивание семян белой горчицы включал в себя три серии опытов с пробами подготовленной сточной воды:

- * образец № 1 – хозяйственно-бытовые сточные воды после механической очистки;
- * образец № 2 – хозяйственно-бытовые сточные воды после биологической очистки;
- * контрольный образец – дистиллированная вода.

Все серии опытов проводились в 5-кратной повторности. За расчетные принимались осредненные показатели.

Биотестирование семян белой горчицы проводилось согласно НТП-АПК 1.30.03.02-06 [13]. Семена белой горчицы (30 шт.) укладывались равномерно на фильтровальную бумагу в стерилизованные и маркированные (с указанием номера образца) чашки Петри диаметром 10 см.

В каждый образец приливали по 5 мл подготовленных сточных вод ООО КОС «Кадамовские» (после механической и биологической

очистки соответственно), а для контрольной пробы использовалась дистиллированная вода. Влажность среды обеспечивалась за счет неполного покрытия семян жидкостью. Подготовленные образцы на 72 ч. помещались в термостат при температуре 20°C.

По истечении времени производились измерения длины корней и подсчет количества проросших семян.

Эталоном сравнения образцов с подготовленными хозяйственно-бытовыми сточными водами был контрольный образец с дистиллированной водой ввиду отсутствия примесей и загрязняющих веществ, способных выступать ингибиторами или катализаторами роста.

Результаты и их обсуждение. Согласно результатам биотестирования на тест-объекте «Зеленая протококковая водоросль хлорелла (*Chlorella vulgaris* Beijer)» хозяйственно-бытовые сточные воды после механической и биологической очистки имеют допустимую степень токсичности ($0,00 < T \leq 0,40$), что говорит об отсутствии токсического действия.

Результаты биотестирования на тест-объекте инфузории (*Paramecium caudatum*) показали, что сточная вода после механической очистки не оказывает токсического действия, а сточная вода после биологической очистки является токсичной.

Таблица 1

Определение токсичности сточной воды на инфузориях и хлореллах

Table 1

Determination of toxicity of wastewater on infusoria and chlorella

Тест-объект <i>Test-object</i>	Сточная вода после механической очистки <i>Waste water after mechanical treatment</i>	Сточная вода после биологической очистки <i>Waste water after biological treatment</i>
Инфузории (<i>Paramecium caudatum</i>) <i>Infuziria</i>	Не оказывает токсическое действие <i>Does not have a toxic effect It</i>	Оказывает токсическое действие <i>Has a toxic effect</i>
Зеленая протококковая водоросль хлорелла (<i>Chlorella vulgaris</i> Beijer) <i>Green protococcal alga</i>	Допустимая степень токсичности <i>Permissible degree of toxicity</i>	Допустимая степень токсичности <i>Permissible degree of toxicity</i>

На рисунке 3 представлены фотоматериалы результатов теста на проращивание семян белой горчицы.

Показатели, полученные в результате биотестирования (теста на проращивание семян), приведены в таблице 2.

По результатам биотестирования можно сделать вывод о том, что сточная вода после механической и биологической очистки оказывала стимулирующее действие на интенсивность роста корней семян белой горчицы и превысила соответствующее значение контрольного образца почти в два раза (рис. 4).

По результатам биотестирования процент длины проросших семян в исследуемых образцах сточных вод (после механической и биологической очистки) выше 70% в сравнении с контрольным образцом, что обуславливает пригодность использования образцов для орошения.

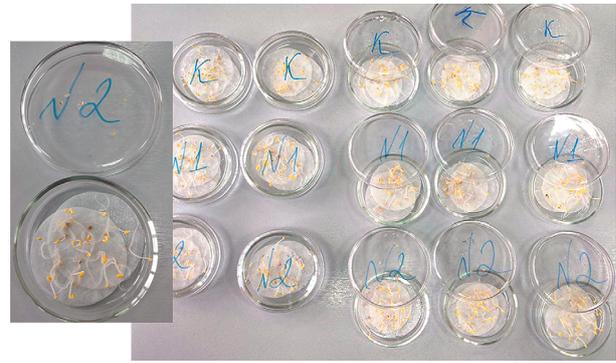


Рис. 3. Результаты биотестирования: К – контроль; № 1 – хозяйственно-бытовые сточные воды после механической очистки; № 2 – хозяйственно-бытовые сточные воды после биологической очистки

Fig. 3. Results of biotesting: K – control, No. 1 – domestic wastewater after mechanical treatment, No. 2 – domestic wastewater after biological treatment

Таблица 2

Результаты измерения длины проросших корней

Table 2

Results of measuring the length of sprouted roots

Показатель Indicator	Контроль Control	Механическая очистка Mechanical treatment	Биологическая очистка Biological treatment
Количество проросших семян, шт. Quantity of sprouted seeds, pcs	132	131	136
Среднее количество проросших семян, шт. Average quantity of sprouted seeds, pcs	26	26	27
Среднее значение длины корня, мм Average value of the root length, mm	23,97	42,15	41,09
Максимальная длина корней, мм Maximal length of roots, mm	62	84	88
Минимальная длина корней, мм Minimal length of roots, mm	6	8	15
% к длине корней контроля % to the length of the control roots	100	175,8	171,4

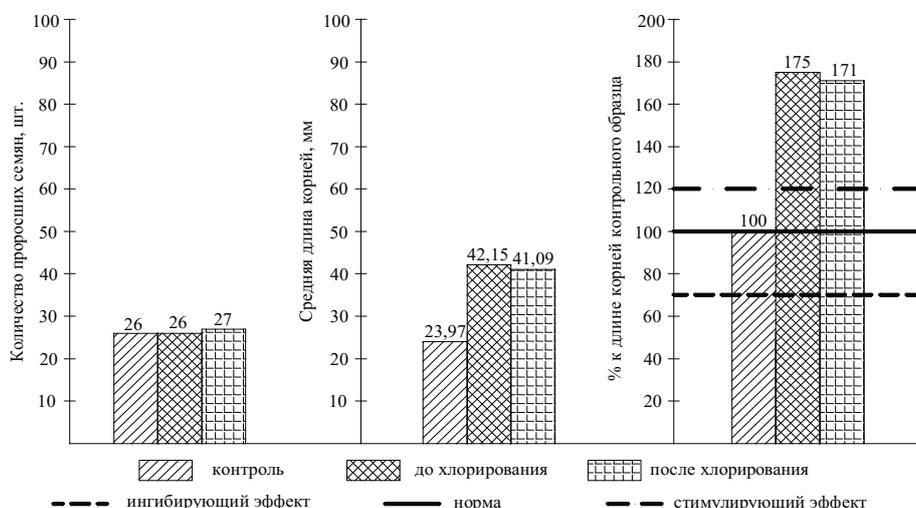


Рис. 4. Результаты биотестирования по проращиванию семян белой горчицы (sinapis alba)

Fig. 4. Results of biotesting on germination of seeds of white mustard (sinapis alba)

Поскольку длина корней семян белой горчицы превышает порог в 120% от контрольного образца, помимо пригодности для орошения, сточные воды обладают еще и стимулирующими свойствами благодаря снижению ингибирующего действия исследуемых образцов, обусловленного сорбционной способностью почв.

Выводы

1. Результаты биотестирования с помощью тест-объекта «Зеленая протококковая водоросль хлорелла (*Chlorella vulgaris* Beijer)» показали, что хозяйственно-бытовые сточные воды после механической и биологической очистки имеют допустимую степень токсичности.

2. Результаты биотестирования на тест-объекте инфузории (*Paramecium caudatum*) показали, что сточная вода после механической очистки не оказывает токсического действия, а сточная вода после биологической очистки является токсичной. Данный факт обусловлен присутствием хлора в хозяйственно-бытовых сточных водах, поступившего в результате

проведения хлорирования после биологической очистки.

3. Биотестирование на семенах белой горчицы показало, что оба образца воды обладают стимулирующим эффектом, что позволяет определить их пригодными для орошения сельскохозяйственных культур.

4. Оценка пригодности хозяйственно-бытовых сточных вод после механической очистки по методике биотестирования показала, что данные воды потенциально можно использовать в целях орошения. Сточные воды после биологической очистки по результатам биотестирования оказывают токсическое действие, что обуславливает их применение для орошения только после дополнительной подготовки.

5. Очищенные хозяйственно-бытовые сточные КОС «Кадамовские» рекомендуется рассматривать как альтернативный источник оросительной воды. Использование очищенных хозяйственно-бытовых сточных вод КОС «Кадамовские» в объеме около 15 тыс. м³/сут. позволит дополнительно орошать площадь около 1 тыс. га сельскохозяйственных угодий.

Библиографический список

1. Игнатенко О.В. Оценка антропогенной нагрузки на водные объекты в результате сброса хозяйственно-бытовых сточных вод г. Братска // Труды Братского государственного университета. – 2014. – Т. 1. – С. 371-374.
2. Иванютин Н.М., Подовалова С.В. Оценка минерального состава и токсичности очищенных сточных вод Крыма как альтернативного источника воды для орошения // Таврический вестник аграрной науки. – 2018. – № 1 (13). – С. 53-64.
3. Оросительные системы с использованием сточных вод и животноводческих стоков: Пособие к ВНТП 01-98. – М., 1998. – 168 с.
4. СанПиН 2.1.7.573-96. Гигиенические требования к использованию сточных вод и их осадков для орошения и удобрения. – М.: Информационно-издательский центр Минздрава России, 1997. – 54 с.
5. Drip fertigation with treated municipal wastewater and soil amendment with composted sewage sludge for sustainable protein-rich rice cultivation / N. Ouoba et al. // Environmental Technology and Innovation. – 2022. – Т. 28, № 102569. DOI 10.1016/j.eti.2022.102569.
6. Гордин И.В., Чередниченко А.В. Эффективность утилизации сточных вод поливом лесонасаждений // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. – 2021. – № 5-2 (56). – С. 15-18. DOI: 10.24412/2500-1000-2021-5-2-15-18.
7. Боровой Е.П. Экологическая оценка полива очищенной сточной водой корнеплодов в Крыму / Е.А. Ходяков, В.И. Кременский, А.М. Джапарова // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. – 2018. – № 4 (52). – С. 49-57. DOI: 10.32786/2071-9485-2018-04-6.
8. Wang H. – J., Wang J., Yu X. Wastewater irrigation and crop yield: A meta-analysis // Journal of Integrative Agriculture. – 2022. – № 21 (4). – P. 1215-1224. DOI 10.1016/S2095-3119(21)63853-4.

References

1. Ignatenko O.V. Otsenka antropogennoj nagruzki na vodnye objekty v rezultate sbrosa hozyajstvenno-bytovykh stochnykh vod g. Batska. // Trudy Bratskogo gosudarstvennogo universiteta. – 2014. – Т. 1. – S. 371-374.
2. Ivanyutin N.M., Podovalova S.V. Otsenka mineralnogo sostava i toxichnosti ochischnykh stochnykh vod Kryma kak alternativnogo istochnika vody dlya orosheniya // Tavrichesky vestnik agrarnoj nauki. – 2018. – № 1 (13). – S. 53-64.
3. Posobie k VNTP 01-98 Orositelnye sistemy s ispolzovaniem stochnykh vod i zhivotnovodcheskih stokov. – M.: 1998. – 168 s.
4. SanPin 2.1.7.573-96. Gigienicheskie trebovaniya k ispolzovaniyu stochnykh vod i ih osadkov dlya orosheniya i udobreniya. – M.: Informatsionno-izdatelsky stentr Minzdrava Rossii, 1997. – 54 s.
5. Drip fertigation with treated municipal wastewater and soil amendment with composted sewage sludge for sustainable protein-rich rice cultivation / N. Ouoba [at all] // Environmental Technology and Innovation. 2022. T. 28. № 102569. DOI 10.1016/j.eti.2022.102569.
6. Gordin I.V., Cherednichenko A.V. Effectivnost utilizatsii stochnykh vod polivom lesonasazhdenij // Mezhdunarodny zhurnal gumanitarnykh i estestvennykh nauk. – 2021. – № 5-2(56). – S. 15-18. DOI: 10.24412/2500-1000-2021-5-2-15-18.
7. Ekologicheskaya otsenka poliva ochischnennoj stochnoj vodoj korneplodov v Krymu / E.P. Borovoj, E.A. Khodyakov, V.I. Kremensky, A.M. Dzhaporova // Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vysshee professionalnoe obrazovanie. – 2018. – № 4(52). – S. 49-57. DOI: 10.32786/2071-9485-2018-04-6.
8. Wang H. – J., Wang J., Yu X. Wastewater irrigation and crop yield: A meta-analysis // Journal of Integrative Agriculture. 2022. № 21(4). P. 1215-1224. DOI: 10.1016/S2095-3119(21)63853-4.

9. Wastewater and sludge reuse: selected case studies across the globe / P. Kokkinos, J.R. Comia, S. Cauci, H. Hettiarachchi, F.C. Ballesteros, G. Oron, M. Salgot, I.K. Kalavrouziotis // *Desalination and Water Treatment*. – 2022. – Vol. 250. – P. 65-79. – URL: <https://doi.org/10.5004/dwt.2022.28183>.

10. Wastewater conservation and reuse in quality vegetable cultivation: Overview, challenges and future prospects / A.A. Inyinbor, O.S. Bello, A.P. Oluyori, H.E. Inyinbor, A.E. Fadiji // *Food Control*. – 2019. – № 98. – P. 489-500. DOI 10.1016/j.foodcont.2018.12.008.

11. **Shilev S., Dirimanova V., Danailova A.** The water reuse – A tool for overcoming the scarcity in agriculture // *Journal of Environmental Protection and Ecology*. – 2022. – № 23 (1). – P. 142-151.

12. **Боровой Е.П.** Экологическая оценка полива очищенной сточной водой корнеплодов в Крыму / Е.А. Ходяков, В.И. Кременской, А.М. Джапарова // *Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование*. – 2018. – № 4 (52). – С. 49-57. DOI 10.32786/2071-9485-2018-04-7.

13. Нормы технологического проектирования оросительных систем с использованием сточных вод: НТП-АПК 1.30.03.02-06: утв. Министерством сельского хозяйства и продовольствия Российской Федерации от 1 января 2007 г.: введ. в действие 1 января 2007 г. – М.: Росинформагротех, 2007. – 53 с.

14. **Матвиенко А.О.** Экспериментальные исследования оценки качества подготовленных сточных вод для орошения сельскохозяйственных культур / Л.А. Митяева, Ю.Е. Домашенко, С.М. Васильев // *Вестник Алтайского государственного аграрного университета*. – 2019. – № 7 (177). – С. 33-38.

15. Impact of wastewater treatment plants on microbiological contamination for evaluating the risks of wastewater reuse / S. Bonetta et al. // *Environmental Sciences Europe*. – 2022. – Т. 34, № 20. – Vol. 1. DOI 10.1186/s12302-022-00597-0.

16. **Суровикина А.П., Слабунова А.В.** Отечественный опыт использования хозяйственно-бытовых сточных вод // *Экология и водное хозяйство*. – 2022. – Т. 4, № 2. – С. 32-48. DOI 10.31774/2658-7890-2022-4-2-32-48.

17. Методика определения токсичности проб природных, питьевых, хозяйственно-питьевых, хозяйственно-бытовых сточных, очищенных сточных, сточных, талых, технологических вод экспресс-методом с применением прибора серии «Биотестер». ПНД Ф Т 14.1:2:3:4.2-98. – URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293758/4293758204.htm>.

Критерии авторства

Домашенко Ю.Д., Суровикина А.П., Ляшков М.А. выполнили теоретические и практические исследования, на основании которых провели обобщение и написали рукопись. Имеют на статью авторское право и несут ответственность за плагиат.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликтов интересов.

Статья поступила в редакцию 07.07.2022

Одобрена после рецензирования 12.09.2022

Принята к публикации 19.09.2022

9. Wastewater and sludge reuse: selected case studies across the globe / P. Kokkinos, J.R. Comia, S. Cauci, H. Hettiarachchi, F.C. Ballesteros, G. Oron, M. Salgot, I.K. Kalavrouziotis // *Desalination and Water Treatment*. 2022. Vol. 250. P. 65-79. <https://doi.org/10.5004/dwt.2022.28183>.

10. Wastewater conservation and reuse in quality vegetable cultivation: Overview, challenges and future prospects / A.A. Inyinbor, O.S. Bello, A.P. Oluyori, H.E. Inyinbor, A.E. Fadiji // *Food Control*. 2019. № 98. P. 489-500. DOI: 10.1016/j.foodcont.2018.12.008.

11. **Shilev S., Dirimanova V., Danailova A.** The water reuse – A tool for overcoming the scarcity in agriculture // *Journal of Environmental Protection and Ecology*. 2022. № 23(1). P. 142-151

12. **Borovoj E.P.** Ekologicheskaya otsenka poliva ochischennoj stochnoj vodoj korneplodov v Krymu / Khodyakov E.A., Kremenskoj V.I., Dzhaparova A.M. // *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vysshee professionalnoe obrazovanie*. – 2018. – № 4 (52). – S. 49-57. DOI 10.32786/2071-9485-2018-04-7

13. Normy tehnologicheskogo proektirovaniya orositelnyh system s ispolzovaniem stochnyh vod: NTP-APK 1.30.03.02-06: utv. M-vom selskogo hoz'yajstva i prodovol'stviya Ros. Federatsii 01.01.07: vved. v dejstvie 01.01.07. – M.: Rosinformagroteh, 2007. – 53 s.

14. **Matvienko A.O.** Experimentalnye issledovaniya otsenki kachestva podgotovlennyh stochnyh vod dlya orosheniya selskogohoz'yajstvennyh kultur / L.A. Mityaeva Yu.E. Domashenko, S.M. Vasiljev // *Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. – 2019. – № 7(177). – S. 33-38.

15. Impact of wastewater treatment plants on microbiological contamination for evaluating the risks of wastewater reuse / S. Bonetta [at all] // *Environmental Sciences Europe*. 2022. T. 34, Vol. 1. № 20 DOI 10.1186/s12302-022-00597-0.

16. **Surovikina A.P., Slabunova A.V.** Otechestvenny opyt ispolzovaniya hoz'yajstvenno-bytovykh stochnyh vod // *Ekologiya i vonoe hoz'yajstvo*. – 2022. – Т. 4, № 2. – S. 32-48. DOI 10.31774/2658-7890-2022-4-2-32-48.

17. Metodika opredeleniya toksichnosti prob prirodnyh, pitjevyh, hoz'yajstvenno-pitjevyh, hoz'yajstvenno-bytovykh stochnyh, ocheschennyh stochnyh, stochnyh, talyh, tehnologicheskikh vod express-metodom s primeneniem pribora serii «Biotesterp». PND Ф Т 14.1:2:3:4.2-98. <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293758/4293758204.htm>

Criteria of authorship:

Domashenko Yu.D., Surovikina A.P., Lyashkov M.A. carried out theoretical studies, on the basis of which they generalized and wrote the manuscript. Domashenko Yu.D., Surovikina A.P., Lyashkov M.A. have a copyright on the article and are responsible for plagiarism.

Conflict of interests

The authors state that there are no conflicts of interests

The article was submitted to the editorial office 07.07.2022

Approved after reviewing 12.09.2022

Accepted for publication 19.09.2022