

Оригинальная статья

УДК 502/504:631.67.03

DOI: 10.26897/1997-6011-2022-4-42-49

ОЦЕНКА ПРИГОДНОСТИ ОЧИЩЕННЫХ ХОЗЯЙСТВЕННО-БЫТОВЫХ СТОЧНЫХ ВОД КОС «КАДАМОВСКИЕ» ДЛЯ ОРОШЕНИЯ

СЛАБУНОВА АЛЕКСАНДРА ВАСИЛЬЕВНА [✉], канд. техн. наук, старший научный сотрудник
SlabunovaAV@yandex.ru

АРИСКИНА ЮЛИЯ ЮРЬЕВНА, младший научный сотрудник
yuliya.glushenko_61@mail.ru

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

Цели исследований – изучение химического состава очищенных хозяйственно-бытовых сточных вод и оценка потенциальной возможности их использования для целей орошения. Объектом исследований являются хозяйственно-бытовые сточные воды КОС «Кадамовские» г. Новочеркаска после механической и биологической очистки. Методы исследований включали в себя определение пригодности сточных вод по следующим показателям: концентрация токсичных солей, соотношение катионов, содержание основных биогенных элементов (NPK), ирригационный коэффициент по Стеблеру, коэффициент ионного обмена И.Н. Антипов-Каратаев и Г.М. Кадер, натриево-адсорбционное отношение (SAR), опасность магниевое осолонцевания почвы (Сабольч и Дараб). Для исследования химического состава очищенных хозяйственно-бытовых сточных вод осуществлен отбор проб сточной воды в КОС «Кадамовские» г. Новочеркаска и определен их химический состав в аккредитованной эколого-аналитической лаборатории ФГБНУ «РосНИИПМ». По результатам лабораторных исследований установлено, что сточные воды по степени минерализации относятся к слабоминерализованным (1,0...3,0 г/дм³). Сточные воды (после механической и биологической очистки) относятся к III классу по классификации С.Я. Бездновой и характеризуются как удовлетворительные. В соответствии с почвенно-мелиоративной классификацией их пригодность для орошения ограничена ввиду возможности развития процессов хлоридного засоления. Согласно расчетам на основании ирригационных коэффициентов, коэффициентов ионного обмена и натриевого адсорбционного отношения очищенные хозяйственно-бытовые сточные воды пригодны для орошения и не вызывают опасности засоления (осолонцевания) почв. Таким образом, очищенные хозяйственно-бытовые сточные КОС «Кадамовские» г. Новочеркаска рекомендуется рассматривать как альтернативный источник оросительной воды.

Ключевые слова: хозяйственно-бытовые сточные воды, оценка пригодности сточных вод для орошения, ирригационный коэффициент, коэффициент ионного обмена, натриево-адсорбционное отношение, магниевое осолонцевание почвы, оценка класса сточной воды

Формат цитирования: Слабунова А.В., Арискина Ю.Ю. Оценка пригодности очищенных хозяйственно-бытовых сточных вод КОС «Кадамовские» для орошения // Природообустройство. – 2022. – № 4. – С. 42-49. DOI: 10.26897/1997-6011-2022-4-42-49.

© Слабунова А.В., Арискина Ю.Ю., 2022

Original article

ASSESSMENT OF THE SUITABILITY OF TREATED HOUSEHOLD WASTEWATER OF THE «KADAMOVSKIE» WWTP FOR IRRIGATION

SLABUNOVA ALEXANDRA VASILJEVNA [✉], candidate of technical sciences, senior researcher
SlabunovaAV@yandex.ru

ARISKINA YULIYA YURJEVNA, junior researcher
yuliya.glushenko_61@mail.ru

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

The purpose of the research is to study the chemical composition of treated domestic wastewater and to assess the potential capability of their use for irrigation purposes. The object of the study

is domestic wastewater from the «Kadamovskie» WWTP, Novocherkassk, after mechanical and biological treatment. Research methods included the determination of the wastewater suitability according to the following indicators: the concentration of toxic salts, the ratio of cations, the content of the main biogenic elements (NPK), the irrigation coefficient according to Stebler, the ion exchange coefficient by I.N. Antipov-Karataev and G.M. Kader, sodium-adsorption ratio (SAR), risk of magnesium alkalization (Sabolch and Darab). For studying the chemical composition of treated domestic wastewater, wastewater samples were taken from the «Kadamovskie» WWTP in Novocherkassk and their chemical composition was determined in an accredited environmental analytical laboratory of the Federal State Budget Scientific Institution RosNIIPM. Based on laboratory results, wastewater is classified as low-mineralized ($1.0...3.0 \text{ g/dm}^3$), according to the degree of mineralization. Wastewater (after mechanical and biological treatment) belongs to class III and is characterized as satisfactory. In accordance with the soil-reclamation classification, its suitability for irrigation is limited due to the possibility of chloride salinization processes development. According to calculations based on irrigation coefficients, ion exchange coefficients and sodium adsorption ratio, treated domestic wastewater is suitable for irrigation and it doesn't cause soil salinity hazard (soil alkalization). Thus, it is recommended to consider treated domestic wastewater from the «Kadamovskie» WWTP in Novocherkassk as an alternative source of irrigation water.

Keywords: household domestic wastewater, assessment of the suitability of wastewater for irrigation, irrigation coefficient, ion exchange coefficient, sodium-adsorption ratio, magnesium alkalization of soil, assessment of wastewater class

Формат цитирования: Slabunova A.V., Ariskina Yu.Yu. Assessment of the suitability of treated household wastewater of the «Kadamovskie» WWTP for irrigation // Prirodoobustrojstvo. – 2022. – № 4. – S. 42-49. DOI: 10.26897/1997-6011-2022-4-42-49.

Введение. Подготовленные сточные воды являются наиболее доступным источником, пригодным для повторного использования в сельском хозяйстве, так как обеспечивают частичное решение проблемы дефицита водных ресурсов и экологической проблемы утилизации сточных вод, тем самым предотвращая загрязнение водных объектов. Обеспечение эффективного использования сточных вод в оросительных мелиорациях возможно при соблюдении требуемых значений качества сточных вод, а также при поддержании объемов на стабильном уровне.

Возможно повторное использование сточных вод различного происхождения – как городских, так и промышленных. Такое использование сточных вод должно обеспечивать полную экологическую безопасность компонентов окружающей среды в санитарно-гигиеническом отношении.

Таким образом, применение очищенных сточных вод возможно при строгом соблюдении агрономических и экологических требований, установленных действующими нормативными документами, в отношении охраны здоровья и безопасности населения, а также действующими отраслевыми нормами и правилами для сельского хозяйства.

Современный опыт использования очищенных сточных вод на орошение в России показывает положительные результаты, что отмечено многими авторами [1-6].

Цель исследований заключалась в изучении химического состава очищенных хозяй-

ственно-бытовых сточных вод КОС «Кадамовские» г. Новочеркаска и оценке потенциальной возможности их использования для орошения.

Объектом исследований являются хозяйственно-бытовые сточные воды КОС «Кадамовские» г. Новочеркаска после механической и биологической очистки. КОС «Кадамовские» – это очистные сооружения, на которые поступают стоки с промышленных предприятий г. Новочеркаска и НЗСП, а также хозяйственно-бытовые стоки. Их производительность составляет 55 тыс. м³/сут.

Материалы и методы исследований. Сточные воды для орошения, вернее их состав, должны отвечать агрономическим, санитарно-гигиеническим и ветеринарным требованиям. В соответствии с нормативным документом (НТП-АПЖ 1.30.03.02-06) агрономические требования включают в себя определение таких показателей, как концентрация токсичных солей, соотношение катионов и основных питательных веществ (NPK). На основании данных показателей проводилась оценка пригодности сточных вод для орошения.

Дополнительно при оценке пригодности сточных вод для орошения рассчитывались ирригационный коэффициент по Стеблеру, коэффициент ионного обмена И.Н. Антипов-Каратаев и Г.М. Кадер, натриево-адсорбционное отношение (SAR), опасность магниевое осолонцевания почвы (Сабольч и Дараб). Дополнительно проводилась оценка сточной воды

по почвенно-мелиоративной классификации оросительной воды.

Отбор проб хозяйственно-бытовых сточных вод производился на КОС «Кадамовские» (рис. 1). Сточные воды (хозяйственно-бытовые и промышленные) проходят раздельную очистку на сооружениях механической очистки, совместную полную биологическую очистку. Обеззараживание очищенных сточных вод производится газообразным хлором, производится доочистка на биологических прудах (рис. 2). В качестве материалов использованы данные лабораторных исследований хозяйственно-бытовых сточных вод КОС «Кадамовские» г. Новочеркаска после механической и биологической очистки.



Рис. 1. КОС «Кадамовские»
Fig. 1. WWTP «Kadamovskie»

Результаты и их обсуждение. При поливе сточными водами в первую очередь оценивают их пригодность для орошения. В наших исследованиях отбор проб сточной воды в КОС «Кадамовские» осуществлялся три раза в двух точках: после механической очистки

и после биологической очистки (рис. 2). Химический состав определяли для всех проб сточной воды в связи с его изменчивостью и непостоянством. Отобранные пробы очищенных сточных вод направлялись на химический анализ в аккредитованную эколого-аналитическую лабораторию ФГБНУ «РосНИИПМ». Лабораторные исследования проводились по общепринятым методикам.

Результаты лабораторных исследований представлены в таблице 1.



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

Fig. 2. Scheme of waste water treatment at the «Kadamovskie» WWTP

По результатам лабораторных исследований сточные воды по степени минерализации относятся к слабуминерализованным ($1,0 \dots 3,0 \text{ г/дм}^3$) [7]. Состав солей в отобранных образцах в среднем по вариантам можно классифицировать следующим образом (по Алейкину [8]):

- в 1 варианте (после механической очистки) – гидрокарбонатно-сульфатно-натриевый;
- во 2 варианте (после биологической очистки) – сульфатно-натриевый.

Химический состав очищенных хозяйственно-бытовых сточных вод

Таблица 1

Table 1

Chemical composition of treated household waste water

Дата отбора пробы <i>Data of sampling</i>	Вариант пробы <i>Sample variant</i>	Растворенные элементы, мг/дм ³ <i>Dissolved elements, mg / dm³</i>									Минерализация, г/дм ³ <i>Mineralization g / dm³</i>
		HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	PO ₄ ²⁻	NH ₄ ⁺	Na ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	K ⁺	
14.02.22	1	452,6	532,0	253,9	6,05	24,9	302,9	65,2	151,6	26,3	1,61
	2	211,8	566,2	288,1	4,44	0,48	243,8	63,5	148,7	21,2	1,70
08.04.22	1	497,3	486,7	226,9	6,56	48,6	220,3	55,4	142,1	19,6	1,47
	2	268,5	507,6	259,3	6,54	0,6	184,1	56,4	141,3	14,1	1,54
06.05.22	1	494,8	418,0	221,5	8,0	30,6	241,5	60,8	151,3	21,0	1,09
	2	214,3	329,0	252,1	5,34	0,94	116,6	56,5	137,8	10,1	1,38
Среднее значение <i>Average value</i>	1	481,6	478,9	234,1	6,8	34,7	254,9	60,5	148,3	22,3	1,39
	2	231,5	467,6	266,5	5,4	0,7	181,5	58,8	142,6	15,1	1,54

Примечание. * 1 – после механической очистки; 2 – после биологической очистки.

Note: * 1 – after mechanical treatment; 2 – after biological treatment.

Оценка пригодности хозяйственно-бытовых сточных вод для орошения осуществляется в соответствии с положениями нормативных документов [9-11].

Результаты оценки пригодности сточных вод для орошения по агромелиоративным требованиям приведены в таблице 2.

На основании проведенных расчетов, представленных в таблице 2, следует, что хозяйственно-бытовые сточные воды как после механической, так и после биологической очистки, по солевому составу являются пригодными для орошения и не должны вызывать процессы

осолонцевания и засоления. Хозяйственно-бытовые сточные воды в обоих случаях характеризуются низкой удобрительной ценностью (азот <50 г/дм³, фосфор <10 г/дм³, калий <30 г/дм³). В связи с этим требуется дополнительное внесение минеральных и органических удобрений в норму, рекомендуемой в зоне при обычном орошении. При этом в сточных водах после механической очистки в 50 раз больше, чем в сточных водах после биологической очистки, содержится азота, в 1,26 раза – фосфора, в 1,47 раза – калия. Сточные воды в обоих вариантах применимы для регулярного орошения и не требуют разбавления.

Таблица 2

Оценка пригодности сточных вод по агромелиоративным требованиям

Table 2

Assessment of wastewater suitability according to agro-melioration requirements

Показатели оценки пригодности <i>Indicators of suitability assessment</i>	Сточная вода / Waste water		Оценка пригодности <i>Assessment of suitability</i>
	1*	2*	
НТП-АПК 1.30.03.02-06 [9] – действует / NTP-APK 1.30.03.02-06 [9] – acts			
По суммарному содержанию токсичных солей ($C_T < C_{ДТ}$) <i>By total content of toxic salts ($C_T < C_{ДТ}$)</i>	16,667	16,667	Пригодна <i>Suitable</i>
По опасности натриевого осолонцевания почв ($SAR_y < SAR_{MB}$) <i>On the danger of sodium salinization of soils ($SAR_y < SAR_{MB}$)</i>	1,825	1,421	не вызывает процессы осолонцевания <i>does not cause processes of alkalization</i>
По содержанию основных питательных элементов НРК ($M_O \leq M_{ДС}$) <i>By content of essential nutrients NPK ($M_O \leq M_{ДС}$)</i>	$M_N = 4,2 \times 10^3$ $M_P = 1,3 \times 10^4$ $M_K = 1,4 \times 10^4$	$M_N = 7,8 \times 10^5$ $M_P = 1,7 \times 10^4$ $M_K = 2,1 \times 10^4$	Пригодна <i>Suitable</i>
Пособие к ВНТП 01-98 [10] – действует / Manual to VNTP 01-98 – acts			
По суммарному содержанию токсичных солей ($C_T \leq 1$) <i>By total content of toxic salts ($C_T \leq 1$)</i>	0,79	0,63	Пригодна <i>suitable</i>
По опасности осолонцевания почв ($SAR_y \leq 2$) <i>On the danger of alkalization of soils ($SAR_y \leq 2$)</i>	0,923	0,848	не вызывает процессы осолонцевания <i>does not cause processes of alkalization</i>
СанПиН 2.1.7.573-96 [11] – не действует / SanPiN .1.7.573-96 [11] – does not act			
По суммарному содержанию токсичных солей ($C_T < 1$) <i>On the total content of toxic salts ($C_T < 1$)</i>	0,793	0,627	Пригодна <i>Suitable</i>
По опасности осолонцевания почв <i>On the danger of soils alkalization</i> $\frac{Na^+}{\sqrt{Ca^{2+} + Mg^{2+}}} < 2K_1K_2$	3,158	2,279	не вызывает процессы осолонцевания <i>does not cause processes of alkalization</i>

Примечание. * 1 – после механической очистки; 2 – после биологической очистки

где: C_T – сумма токсичных солей, мг-экв/л, $C_{ДТ}$ – допустимое содержание суммы токсичных солей, мг-экв/л, SAR_y – натриевое осолонцевание почв, SAR_{MB} – малая солонцеватость, M_O – оросительная норма, необходимая для удовлетворения дефицита водопотребления растений, м³/га, $M_{ДС}$ – средневзвешенная по севообороту допустимая годовая оросительная норма сточных вод, м³/га, Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} – содержание катионов натрия, кальция, магния в поливной воде, мг-экв/л, K_1 – коэффициент, равный 2 для карбонатных и 1 для некарбонатных почв; K_2 – коэффициент, равный $K_2 = \sqrt{\frac{200}{HB_{50}}}$.

Note. * 1 – after mechanical treatment; 2 – after biological treatment

where – C_T amount of toxic salts, mg-eqv/l, $C_{ДТ}$ – permissible content of total toxic salts, mg-eqv/l, SAR_y – sodium alkalization of soils, SAR_{MB} – small alkalization, M_O – the irrigation rate necessary for satisfaction of the deficit of water consumption of plants, m³/ha, $M_{ДС}$ – weighted average permissible annual on crop rotation rate of wastewater, m³/ha, Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} – content of cations of sodium, calcium, magnesium in the irrigation water, mg-eqv/l, K_1 – coefficient equal to 2 for carbonate and 1 for noncarbonated soil; K_2 – coefficient equal $K_2 = \sqrt{\frac{200}{HB_{50}}}$.

Оценка пригодности отобранных проб сточной воды для орошения дополнительно осуществлялась по следующим показателям [12]:

♦ коэффициент ионного обмена (И.Н. Антипов-Каратаев и Г.М. Кадер [7, 13]);

♦ ирригационный коэффициент по Стеблеру [7, 14, 15];

♦ натриево-адсорбционное отношение (SAR) [15-17];

♦ классификация М.С. Буданова [18];

♦ опасность засоления почв [19];

♦ опасность магниевого осолонцевания почвы (Сабољч и Дараб) [19, 20].

Результаты расчетов сведены в таблицу 3.

Таблица 3

Оценка пригодности сточной воды для орошения

Table 3

Assessment of wastewater suitability to irrigation

Формула <i>Formula</i>	Критерии оценки <i>Criterion of assessment</i>	Значения <i>Values</i>	Оценка <i>Assessment</i>
Коэффициент ионного обмена И.Н. Антипов-Каратаев и Г.М. Кадер [7, 13] <i>Ion exchange coefficient by I.N. Antipov-Karataev and G.M. Kader</i>			
$K_{\text{ио}} = \frac{[Ca^{2+}] + [Mg^{2+}]}{0,23 \cdot C \cdot [Na^+]}$	$K_{\text{ио}} > 1$ – вода пригодна для орошения, $K_{\text{ио}} < 1$ – вода непригодна для орошения	1-3,482	Пригодна <i>Suitable</i>
	$K_{\text{ио}} > 1$ – <i>water is suitable for irrigation</i> $K_{\text{ио}} < 1$ – <i>water is not suitable for irrigation</i>	2-1,241	
Ирригационный коэффициент по Стеблеру [7, 14, 15] / Irrigation Coefficient by Stebler [7, 14, 15]			
$K_{\text{и}} = \frac{288}{[Na^+] + 4 \cdot [Cl^-]}$	$K_{\text{и}} > 18$ – хорошее / <i>good</i> , $K_{\text{и}} = 18...6$ – удовлетворительное / <i>satisfactory</i> , $K_{\text{и}} = 5,9...1,2$ – неудовлетворительное / <i>unsatisfactory</i> , $K_{\text{и}} < 1,2$ – плохое, т.е. вода является непригодной для орошения	1-7,681	Удовлетворительное <i>Satisfactory</i>
	$K_{\text{и}} < 1,2$ – <i>bad, that is water is not suitable for irrigation</i>	2-7,588	
Натриевое адсорбционное отношение (SAR) [15] / Sodium adsorption ratio (SAR) [15]			
$SAR = \frac{1,41[Na^+]}{\sqrt{[Ca^{2+}] + [Mg^{2+}]}}$	При минерализации 1...2 г/дм ³ : <i>At mineralization of 1...2 g/dm³:</i> $SAR = 6...8$ – низкая опасность / <i>low danger</i> , $SAR = 12...15$ – средняя опасность / <i>medium danger</i> , $SAR = 18...22$ – высокая опасность / <i>high danger</i> , $SAR > 22$ – очень высокая опасность / <i>very high danger</i>	1-4,453	Неопасна <i>Not dangerous</i>
		2-3,214	
Опасность вторичного осолонцевания по SAR [16, 17] / Danger of secondary SAR alkalization [16, 17]			
$SAR = \frac{[Na^+]}{\sqrt{\frac{[Ca^{2+}] + [Mg^{2+}]}{2}}}$	$SAR < 10$ – неопасна / <i>not dangerous</i> , $SAR = 10...18$ – средняя опасность / <i>medium danger</i> , $SAR = 18...26$ – высокая опасность / <i>high danger</i> , $SAR > 26$ – очень высокая / <i>very high danger</i>	1-4,465	Неопасна <i>Not dangerous</i>
		2-3,224	
Классификация М.С. Буданова [18] / Classification by M.S. Budanov [18]			
$K = \frac{[Ca^{2+}] + [Mg^{2+}]}{[Na^+]}$	$K > 1$ – можно применять / <i>possible to use</i> , $K < 1$ – опасно применять / <i>dangerous to use</i>	1-1,112	Можно применять <i>It is possible to use</i>
		2-1,520	
Опасность засоления почв [19] / Danger of soil salinization [19]			
$K_{\text{о.с.}} = \frac{0,03 \cdot C}{[Ca^{2+}] + [Mg^{2+}]}$	$K_{\text{о.с.}} > 4$, вода пригодна для орошения любых почв, $K_{\text{о.с.}} = 4...5$ вода пригодна для орошения супесчаных почв, $K_{\text{о.с.}} = 5...6$ вода пригодна для орошения песчаных почв.	1-0,20	Пригодна для орошения любых почв <i>Suitable for irrigation of any soil</i>
	$K_{\text{о.с.}} > 4$, <i>water is suitable for irrigation</i> , $K_{\text{о.с.}} = 4...5$ <i>water is suitable for irrigation of sandy loam soils</i> , $K_{\text{о.с.}} = 5...6$ <i>water is suitable for irrigation of sand soils</i>	2-0,23	
Опасность магниевого осолонцевания почвы (Сабољч и Дараб) [19, 20] <i>Danger of magnesium alkalization of soil (Sabolch and Darab) [19, 20]</i>			
$K_{\text{Mg}} = \frac{[Mg^{2+}] \cdot 100}{[Ca^{2+}] + [Mg^{2+}]}$	$K_{\text{Mg}} \geq 50$ – вредное воздействие магния на почву $K_{\text{Mg}} \geq 50$ – <i>harmful effects of magnesium on the soil</i>	1-29,10	Не оказывает вредного воздействия <i>It does not have a harmful effect</i>
		2-29,05	

Примечание. * I – после механической очистки, II – после биологической очистки, $[Ca^{2+}]$, $[Mg^{2+}]$, $[Na^+]$, $[Cl^-]$ – концентрации катионов и анионов, ммоль/дм³, C – минерализация воды, г/дм³.

Note. * I – after mechanical treatment, II – after biological treatment, $[Ca^{2+}]$, $[Mg^{2+}]$, $[Na^+]$, $[Cl^-]$ – concentrations of cations and anions, mmol/dm³, C – water mineralization, g/dm³.

Проведенный анализ (табл. 3) показал, что представленные сточные воды по солевому составу пригодны для целей орошения и могут быть использованы без дополнительной подготовки, так как рассчитанные по различным методикам коэффициенты указывают на то, что данные сточные воды не будут вызывать процессов засоления и осолонцевания почвы.

Определен также класс качества сточной воды для каждой пробы в соответствии с двумя классификациями оросительных вод по С.Я. Бездниной [14, 21-23]. Согласно первой классификации «Оценка качества воды по минерализации» оценка качества сточных вод проводилась по общей минерализации воды в зависимости от гранулометрического состава почв (среднесуглинистые) и величины их почвенно-поглощающего комплекса. Вторая классификация «Оценка качества оросительной воды по опасности развития негативных процессов» позволяет оценить качество воды с учетом солеустойчивости сельскохозяйственных культур. Итоговый класс сточной воды определяется по наихудшему показателю с целью предотвращения негативных процессов, которые могут возникнуть при орошении данной водой.

Характеристика класса сточных вод проводится по усредненным данным химического состава:

– по минерализации (г/дм^3) – сточная вода после механической и биологической очистки – III класс качества;

– по хлоридному засолению (Cl^- , мг-экв/дм^3) – сточная вода после механической и биологической очистки – III класс качества;

– по натриевому осолонцеванию ($\text{Ca}^{2+}/\text{Na}^+$) – сточная вода после механической и биологической очистки – II класс качества;

– по магниевому осолонцеванию ($\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$) – сточная вода после механической и биологической очистки – I класс качества.

Сточные воды (после механической и биологической очистки) являются удовлетворительными по качеству, так как в соответствии с почвенно-мелиоративной классификацией они относятся к III классу только по двум показателям: минерализации и содержанию Cl^- . Но в тоже время их пригодность для орошения ограничена ввиду возможности развития процессов хлоридного засоления.

В соответствии с почвенно-мелиоративной классификацией и с учетом изменчивости во времени химического состава хозяйственно-бытовых сточных вод приведены диаграммы (рис. 3) изменения качественных характеристик сточной воды, влияющих на развитие негативных процессов в почве [24].

Из диаграммы (рис. 3) следует, что резкие изменения химического состава сточных вод не наблюдаются (класс качества соответствует определенному III классу), за исключением показателя минерализации, который колеблется от II до IV классов, и отношения $\text{Ca}^{2+}/\text{Na}^+$ (от II до III классов).

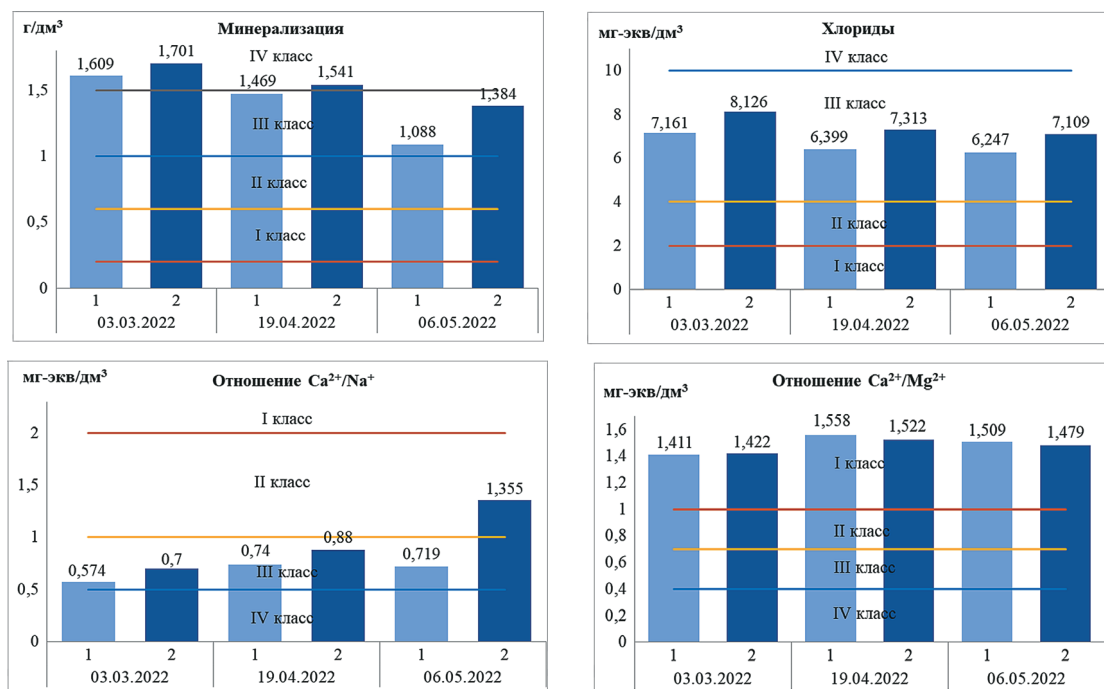


Рис. 3. Динамика изменения качественных характеристик хозяйственно-бытовых сточных вод: 1 – после механической очистки; 2 – после биологической очистки

Fig. 3. Dynamics of changes in the qualitative characteristics of household wastewater: 1 – after mechanical treatment; 2 – after biological treatment

Выводы

Исследуемые сточные воды (после механической и биологической очистки) в соответствии с почвенно-мелиоративной классификацией относятся к третьему классу качества и характеризуются как удовлетворительные, но в виду возможности развития хлоридного засоления сточная вода является ограниченно пригодной.

На основании расчетов ирригационных коэффициентов, коэффициентов ионного обмена и натриевого адсорбционного отношения установлено, что очищенные хозяйственно-бытовые сточные воды пригодны для орошения и не вызывают опасности засоления (осолонцевания) почв.

Библиографический список

1. **Кременской В.И., Вердыш М.В.** Сточные воды как перспективный ресурс повышения водообеспеченности Республики Крым // Природообустройство. – 2016. – № 5. – С. 72-77.
2. **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.
3. **Боровой Е.П.** Экологическая оценка полива очищенной сточной водой корнеплодов в Крыму / Е.П. Боровой, Е.А. Ходяков, В.И. Кременский, А.М. Джапарова // Известия ВолГАУ. – 2018. – № 4 (52).
4. **Давыдов А.С., Тиньяев А.В., Шепталов В.В.** Опыт применения сточных вод для орошения // Вестник Алтайского государственного университета. – 2008. – № 12 (50). – С. 43-45.
5. **Иванютин Н.М., Волкова Н.Е.** Использование сточных вод – экологическая безопасность Крыма // Вестник Воронежского государственного университета. – Серия «География. Геоэкология». – 2021. – № 4. – С. 69-76. DOI: <https://doi.org/10.17308/geo.2021.4/3752>.
6. **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.
7. **Заносова В.И., Молчанова Т.Я.** Оценка качества подземных вод и степени их пригодности для орошения // Вестник Алтайского ГАУ. – 2017. – № 6 (152). – С. 49-54.
8. **Алекин О.А.** Основы гидрохимии. – Л.: Гидрометеиздат, 1953. – 296 с.
9. 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.
10. Оросительные системы с использованием сточных вод и животноводческих стоков: Пособие к ВНТП 01-98 / Е.А. Ходяков, В.И. Кременской, А.М. Джапарова и др. – М., 1998. – 168 с.
11. Санитарные правила и нормы. 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. – URL: <https://base.garant.ru/4174947/>.

Таким образом, очищенные хозяйственно-бытовые сточные КОС «Кадамовские» г. Новочеркасска (как после механической, так и после биологической очистки) рекомендуются рассматривать в качестве альтернативного источника оросительной воды. Использование хозяйственно-бытовых сточных вод КОС «Кадамовские» в объеме около 15 тыс. м³/сут. позволит дополнительно орошать площадь около 1 тыс. га. При этом использование сточных вод после механической очистки, как показал анализ расчетных данных, также пригодно для орошения и обеззараживания и позволит сократить затраты на биологическую очистку.

References

1. **Kremenskoj V.I., Verdysh M.V.** Stochnye vody kak perspektivny resurs povysheniya vodoobespechenosti Respubliki Krym // Prirodoobustrojstvo. – 2016. – № 5. – S. 72-77.
2. **Gordin I.V., Chernichenko A.V.** Effektivnost utilizatsii stochnyh vod polivom lesonasazhdenij // Mezhdunarodny zhurnal gumanitarnyh i estestvennyh. – 2021. – № 5-2 (56). – S. 15-18.
3. **Borovoj E.P.** Ekologicheskaya otsenka poliva pochvy ochishchennoj stochnoj vodoj korneplodov v Krymu / Khodyakov E.A., Kremesky V.I., Dzhaparova A.M. // Izvestiya VolGAU. – 2018. – № 4 (52).
4. **Davydov A.S., Tinjgaev A.V., Sheptalov V.B.** Opyt primeneniya stochnyh vod dlya orosheniya // Vestnik Altajskogo gosudarstvennogo universiteta. – 2008. – № 12(50). – S. 43-45.
5. **Ivanyutin N.M., Volkova N.E.** Ispolzovanie stochnyh vod – ekologicheskaya bezopasnost Kryma // Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seria: Geografiya. Geoekologiya. – 2021. – № 4. – S. 69-76. DOI: <https://doi.org/10.17308/geo.2021.4/3752>.
6. **Volkova N.E., Zaharov R.Yu.** Ispolzovanie ochishchennyh stochnyh vod v Krymu: opyt proshlogo, realii nastoyashchego // Nauchny zhurnal Rossijskogo NII problem melioratsii. – 2017. – № 3 (27). – S. 144-159.
7. **Zanosova V.I., Morchanov T.Ya.** Otsenka kachestva podzemnyh vod i stepeni ih prigodnosti dlya orosheniya // Vestnik Altajskogo GAU. – 2017. – № 6 (152). – S. 49-54.
8. **Alekin O.A.** Osnovy gidrohimii. – L.: Gidrometeoizdat, 1953. – 296 s.
9. Normy tehnologicheskogo proektirovaniya orositelnyh sistem 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.
10. Posobie k VNTP 01-98 Orositelnye sistemy s ispolzovaniem stochnyh vod i zhivotnovodcheskih stokov / Khodyakov E.A., Kremenskoj V.I., Dzhaparova A.M. i dr. – M.: 1998. – 168 s.
11. Sanitarnye pravila i normy. SanPiN 2.1.7.573-96. Gigenicheskie trebovaniya k ispolzovaniyu stochnyh vod i ih osadkov dlya orosheniya i udobreniya. – M.: Informatsionno-izdatelsky tsentr Minzdrava Rosii, 1997. – 54 s. <https://base.garant.ru/4174947/>
12. **Borovoj E.P.** Ekologicheskaya otsenka poliva ochishchennoj stochnoj vodoj korneplodov

12. **Боровой Е.П.** Экологическая оценка полива очищенной сточной водой корнеплодов в Крыму / Е.П. Боровой, 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. **Антипов-Каратаев И.Н., Кадер Г.М.** К методике определения мелиоративной оценки оросительной воды // Почвоведение. – 1969. – № 5. – С. 69-101.

14. **Безднина С.Я.** Регламентирование и улучшение качества оросительной воды // Повышение качества оросительной воды. – М.: Агропромиздат, 1990. – С. 4-11.

15. Мелиоративное земледелие: Методические указания к лабораторным и практическим занятиям для бакалавров по направлениям «Агрономия» и «Садоводство» / В.П. Василько и др. – Краснодар: КубГАУ, 2014. – 95 с.

16. Методические рекомендации по контролю за мелиоративным состоянием орошаемых земель. – М.: ВНИИГиМ, 1978. – 107 с.

17. **Ковшов Ю.А., Комиссаров А.В.** Классификация оросительных вод Республики Башкортостан // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2013. – Т. 15, № 3 (4). – С. 1311-1314.

18. **Буданов М.Ф.** Система и состав контроля за качеством природных и сточных вод при использовании их для орошения. – Киев, 1970. – 48 с.

19. **Маматов С.А., Умаров Х.У., Мацура М.Е.** Критерии пригодности сточных вод на орошение сельскохозяйственных культур // Материалы Республиканской научно-практической конференции, г. Ташкент, 12 декабря 2011 г. – Ташкент, 2011. – С. 70-76.

20. **Саболец И., Дараб К.** Прогноз и предотвращение процессов вторичного засоления при орошении Венгерской низменности // Почвоведение. – 1972. – № 1.

21. **Заносова В.И., Макарычев С.В., Павлов С.А.** Оценка качества оросительных вод Южно-Приалейской степи Алтайского края // Природообустройство. – 2010. – № 1. – С. 28-33.

22. **Максименко В.П., Зайцев С.А.** Регулирование качества поливной воды на оросительных системах // Природообустройство. – 2011. – № 5. – С. 15-20.

23. **Безднина С.Я.** Принципы и методы оценки качества воды для орошения // Мелиорация и водное хозяйство. – 1989. – № 8. – С. 23-24.

24. **Иванютин Н.М., Подвалова 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.

Критерии авторства

Слабунова А.В., Арискина Ю.Ю. выполнили теоретические 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 18.07.2022

Одобрена после рецензирования 12.09.2022

Принята к публикации 19.09.2022

v Krymu / Khodyakov E.A., Kremenskoj V.I., Dzha-parova 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. **Antipov-Karataev I.N., Kader G.M.** K metodike opredeleniya meliorativnoj otsenki orositelnoj vody // Pochvovedenie. – 1969. – № 5. – S. 69-101.

14. **Bezdnina S.Ya.** Reglamentirovanie i uluchshenie kachestva orositelnoj vody // Povyshenie kachestva orositelnoj vody. – M.: Agropromizdat, 1990. – S. 4-11.

15. Мелиоративное земледелие: метод указания к лабораторным и практическим занятиям для бакалавров по направлениям «Агрономия» и «Садоводство» / V.P. Vasilko [i dr.]. – Krasnodar: KubGAU, 2014. – 95 s.

16. Metodicheskie rekomendatsii po kontrolyu za meliorativnym sostoyaniem oroshaemyh zemel. – M.: VNIIGiM, 1978. – 107 s.

17. **Kovshov Yu.A., Komissarov A.V.** Klassifikatsiya orositelnyh vod Respubliki Bashkortostan // Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossijskoj akademii nauk. – 2013. – T. 15, № 3 (4). – S. 1311-1314.

18. **Budanov M.F.** Sistema i sostav kontrolya za kachestvom prirodnyh i stochnyh vod pri ispolzovanii ih dlya orosheniya. – Kiev: 1970. – 48 s.

19. **Mamatov S.A., Umarov H.U., Matsura M.E.** Kriterii prigodnosti stochnyh vod na oroshenie sel'hozkul'tur // Materialy respublikanskoj nauch.-praktich. konf. 12 dekabrya 2011 goda. – Tashkent: 2011. – S. 70-76.

20. **Sabolch I., Darab K.** Prognoz i predotvraschenie protsessov vtorichnogo zasoleniya pri oroshenii Vengerskoj nizmennosti // Pochvovedenie. – 1972. – № 1.

21. **Zanosova V.I., Makarychev S.V., Pavlov S.A.** Otsenka kachestva orositelnyh vod Yuzhno-Prisialejskoj stepi Altajskogo kraja // Prirodoobustrojstvo. – 2010. – № 1. – S. 28-33.

22. **Maksimenko V.P., Zaitsev S.A.** Regulirovanie kachestva polivnoj vody na orositelnyh sistemah // Prirodoobustrojstvo. – 2011. – № 5. – S. 15-20.

23. **Bezdnina S.Ya.** Printsipy i metody otsenki kachestva vody dlya orosheniya // Melioratsiya i vodnoe hozyajstvo. – 1989. – № 8. – S. 23-24.

24. **Ivanyutin N.M., Podovalova S.V.** Otsenka mineralnogo sostava i toksichnosti ochischennyh stochnyh vod Kryma kak alternativnogo istochnika vody dlya orosheniya // Tavricheskij vestnik agrarnoj nauki. – 2018. – № 1 (13). – S. 53-64.

Criteria of authorship:

Slabunova A.V., Ariskina Yu.Yu. carried out theoretical studies, on the basis of which they generalized and wrote the manuscript. Slabunova A.V., Ariskina Yu.Yu. 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 18.07.2022

Approved after reviewing 12.09.2022

Accepted for publication 19.09.2022