

МЕЛИОРАЦИЯ, ВОДНОЕ ХОЗЯЙСТВО И АГРОФИЗИКА

Научная статья

УДК 631.674:628.381:504.054

doi: 10.31774/2712-9357-2026-16-3-148-167

Влияние внутрипочвенного орошения очищенными сточными водами на солевой состав и физико-химические свойства южных черноземов

Владимир Иванович Кременской¹, Ольга Евгеньевна Клименко²,
Айше Музафаровна Джапарова³

^{1, 2, 3}Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма, Симферополь,
Российская Федерация

¹kvi19497@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7427-4747>

²olga.gnbs@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9142-521X>

³dja-ajj@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2671-7021>

Аннотация. Цель: изучить ирригационные показатели качества поливной воды и влияние внутрипочвенного орошения сточными водами на солевой состав и солонцеватость чернозема южного. **Материалы и методы.** Исследования проведены на опытно-производственной системе внутрипочвенного орошения площадью 50 га в Сакском районе Крыма. Анализ оросительной воды и почвы проводили общепринятыми методами. По результатам анализа оценивали качество оросительной воды различными методами, определяли степень и характер засоления и осолонцевания почв. **Результаты.** Минерализация вод варьировала от 1,34 до 2,18 г/куб. дм. Воды были слабосолоноватыми сульфатно-гидрокарбонатно-хлоридными магниевыми-кальциевыми-натриевыми. Коэффициент Стеблера находился в пределах 2,5–4,4, коэффициент ионного обмена составлял 0,6–1,0, что указывает на неудовлетворительное качество воды, которая непригодна для орошения. SAR (натриевое адсорбционное отношение) составляло 7,4–8,5, уточненное SAR_{adj.} – 12,5–21,5. Опасность осолонцевания почв по SAR низкая, по SAR_{adj.} и почвенно-мелиоративной классификации – высокая. При орошении почва засолялась до слабой и средней степени, тип засоления сульфатно-хлоридный и хлоридный магниевый-натриевый и натриевый. Содержание токсичных солей находилось в пределах 0,12–0,50 % с максимумом в слое 100–200 см. Орошение привело к вторичному слабому и среднему осолонцеванию черноземов южных с содержанием обменного натрия 5,8–14,0 % от ЕКО. **Выводы.** Отмеченные неблагоприятные явления при орошении минерализованными сточными водами не вызывали угнетения растений ячменя и люцерны и снижения их продуктивности в годы исследований. В связи с негативным влиянием орошения такими водами на почву необходим постоянный мониторинг ее солевого состояния. Для повышения качества очищенных сточных вод необходимо усовершенствовать систему их очистки для уменьшения содержания токсичных солей. Для снижения солонцеватости почвы и предотвращения процесса осолонцевания следует использовать химические мелиоранты.

Ключевые слова: внутрипочвенное орошение, сточные воды, чернозем южный, солевой состав воды и почвы, засоление, осолонцевание, минерализация вод, урожайность

Источник финансирования: субсидии на выполнение государственного задания № FNZW-2022-0002 за счет средств федерального бюджета.

Для цитирования: Кременской В. И., Клименко О. Е., Джапарова А. М. Влияние внутрипочвенного орошения очищенными сточными водами на солевой состав и

физико-химические свойства южных черноземов // Мелиорация и гидротехника. 2026. Т. 16, № 3. С. 148–167. <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2026-16-3-148-167>.

LAND RECLAMATION, WATER MANAGEMENT AND AGROPHYSICS

Original article

The influence of subsurface irrigation with treated wastewater on the salt composition and physicochemical properties of southern chernozems

Vladimir I. Kremenskoy¹, Olga E. Klimenko², Ayshe M. Dzhaparova³

^{1, 2, 3}Research Institute of Agriculture of Crimea, Simferopol, Russian Federation

¹kvi19497@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7427-4747>

²olga.gnbs@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9142-521X>

³dja-ajj@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2671-7021>

Abstract. Purpose: to study irrigation water quality parameters and the influence of subsurface irrigation with wastewater on salt composition and solonetzic content of southern chernozem. **Materials and methods.** The study was conducted on a 50-hectare pilot production subsurface irrigation system in the Saksy district of Crimea. Irrigation water and soil were analyzed using conventional methods. Based on the analysis results, irrigation water quality was assessed using various methods and the degree and nature of soil salinization and alkalization were determined. **Results.** Water mineralization ranged from 1.34 to 2.18 g/cub. dm. The waters were slightly brackish, sulfate-hydrocarbonate-chloride, magnesium-calcium-sodium. The Staebler coefficient ranged from 2.5 to 4.4, and the ion exchange coefficient was 0.6 to 1.0, indicating poor water quality and unsuitable for irrigation. The SAR (sodium adsorption ratio) was 7.4 to 8.5, and the adjusted SAR_{adj.} was 12.5 to 21.5. The risk of soil alkalization according to SAR is low, while according to the SAR_{adj.} and soil-reclamation classification, it is high. During irrigation, the soil salinized to a low to moderate degree; the salinization types were sulfate-chloride and chloride-magnesium-sodium and sodium. The toxic salt content ranged from 0.12 to 0.50 %, with a maximum in the 100–200 cm layer. Irrigation resulted in secondary mild to moderate alkalization of southern chernozems with exchangeable sodium content of 5.8–14.0 % of the CEC. **Conclusions.** The observed adverse effects of irrigation with mineralized wastewater did not cause inhibition of barley and alfalfa plants or a decrease in their productivity during the study years. Due to the negative impact of irrigation with such water on the soil, constant monitoring of its salt status is necessary. To improve the quality of treated wastewater, it is necessary to improve its treatment system to reduce the toxic salt content. Chemical ameliorants should be used to reduce the alkalinity of the soil and prevent alkalization.

Keywords: subsurface irrigation, wastewater, southern chernozem, water and soil salt composition, salinization, alkalization, water mineralization, crop yield

Funding source: subsidies for the implementation of State Assignment No. FNZW-2022-0002 from the federal budget.

For citation: Kremenskoy V. I., Klimenko O. E., Dzhaparova A. M. The influence of subsurface irrigation with treated wastewater on the salt composition and physicochemical properties of southern chernozems. *Land Reclamation and Hydraulic Engineering*. 2026; 16(3):148–167. (In Russ.). <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2026-16-3-148-167>.

Введение. Крым – уникальный природно-производственный комплекс, где охрана окружающей среды приобретает все большее значение.

Решение вопросов обеспечения населения Крыма продукцией сельского хозяйства, включая курортные зоны, требует интенсификации сельскохозяйственного производства, что может быть реализовано только путем эффективного орошения. Однако Крымский регион характеризуется острым дефицитом пресных вод. Поэтому одним из наиболее перспективных решений, учитывающих интересы как водного и сельского хозяйства, так и охраны природы, является использование городских сточных вод для орошения [1].

В период работы Северо-Крымского канала ежегодно сбрасывалось более 300 млн м³ биологически очищенных сточных вод в Черное море, залив Сиваш и р. Салгир. По информации Государственного комитета по водному хозяйству и мелиорации Республики Крым, годовой объем сточных вод в 2022 г. составил 120,7 млн м³, из которых 15–20 % использовались для орошения сельскохозяйственных культур [2].

Утилизация сточных вод в Крымском регионе путем использования их в целях орошения кроме прямого народно-хозяйственного эффекта (повышение урожайности) имеет и водоохраный эффект, так как сточные воды, поданные на поля орошения, проходят естественную доочистку путем фильтрации через толщу почвогрунтов зоны аэрации, что уменьшает опасность загрязнения окружающей среды [3].

Специфика использования сточных вод для орошения обуславливает преимущества строительства закрытых оросительных систем. Таким системам соответствуют орошение дождеванием с забором воды из закрытой оросительной сети и внутрипочвенное орошение. Последнее основано на том, что поливные сточные воды по системе увлажнителей, заложенных на определенной глубине, подаются непосредственно в корнеобитаемый слой и под действием всасывающей силы почвы равномерно распределяются в корнеобитаемом слое растений, это позволяет эффективно регулировать водно-воздушный режим почвы.

Российский и зарубежный многолетний опыт использования очи-

щенных сточных вод для полива свидетельствует, что внутрпочвенное и капельное подземное орошение наиболее полно обеспечивает соблюдение санитарно-гигиенических и агромелиоративных норм, а также правил техники безопасности и охраны труда, которые существуют при работе со сточными водами и реализации технологии полива, чтобы достигать максимального объема механизации и автоматизации и сводить к минимуму контакты обслуживающего персонала со сточной водой при выращивании сельскохозяйственной продукции¹ [4, 5].

В США очищенные сточные воды используются для полива: 1) площадок для гольфа, футбольных полей; 2) ландшафтных зон (лужаек, парков, придорожных зеленых полос); 3) кормовых культур, пастбищ; 4) сельскохозяйственных культур при получении продуктов питания, употребляемых в свежем виде (овощей, фруктов и др.) [5].

В засушливых регионах многих стран мира: Израиля, Туниса, Индии, Ирана, Китая и др. – в условиях дефицита пресных вод и поиска альтернативных источников воды для орошения используют очищенные сточные воды для выращивания овощных, цитрусовых и других культур при внутрпочвенно-капельном и подземно-капельном орошении [6–10].

В Крыму очищенные сточные воды г. Керчи и Евпатории интенсивно использовались при орошении овощных культур и винограда в 80–90-е гг. прошлого столетия [11]. В настоящее время в Крыму сточные воды для орошения не применяются, хотя существует острый дефицит пресных оросительных вод. Для увеличения водных запасов Крыма необходимо использовать очищенные сточные воды. Однако нередко они бывают засолены и неблагоприятно воздействуют на почву. В связи с этим целью исследования была оценка ирригационных показателей качества поливной воды

¹Сельскохозяйственное использование сточных вод: справочник / Л. П. Овцов [и др.]. М.: Росагропромиздат, 1989. 223 с.

и влияния внутрипочвенного орошения (ВПО) сточными водами на солевой состав и солонцеватость чернозема южного.

Материалы и методы. Исследования проводили в Сакском районе Республики Крым (с. Уютное) на участке внутрипочвенного орошения очищенными сточными водами Евпаторийских канализационных очистных сооружений производительностью 63 тыс. м³/сут. Отбор воды для ВПО осуществлялся из вторичного отстойника очистных сооружений, из которого очищенная вода на участок орошения подавалась по хозяйственному трубопроводу из асбестоцементных труб диаметром 300 мм насосной станцией (дополнительно поливалось еще 500 га виноградника дождеванием). Большая часть очищенной сточной воды сбрасывалась в Черное море. Опытно-производственная система ВПО площадью 50 га состояла из пяти модулей площадью по 10 га. Каждый модуль включал 10 поливных участков по 1 га.

Увлажнители были изготовлены из полиэтиленовых труб с одновременной перфорацией длиной 100 м и диаметром 25 мм, уложенных на глубину 50 см. Перфорация продольно-щелевая в нижней части трубы с длиной щелей 50 мм через каждые 50 см. Расстояние между увлажнителями – 1,25 м. До момента исследований полив различных сельскохозяйственных культур на данной системе орошения проводился на протяжении 6 лет. Минерализация воды в большинстве проб за эти годы, по данным лаборатории Евпаторийских очистных сооружений, колебалась в пределах 1,65–2,17 г/дм³, рН – на уровне 7,6–8,3. При этом урожайность кормовой свеклы достигала 84 т/га, кукурузы на зеленый корм – 48 т/га, люцерны на семена – 0,6 т/га, кукурузы на зеленую массу – 40 т/га.

В таблице 1 представлены поливные и оросительные нормы при выращивании озимого ячменя и люцерны на зеленую массу на фоне внутрипочвенного полива очищенными сточными водами в годы исследований.

Климатические и почвенные условия. Климат района теплый с мягкой зимой, засушливый. Среднегодовая температура воздуха колеблется

от 10,4 до 11,4 °С. Средняя температура января составляет 1–2 °С выше нуля, июня – 20–22 °С. Годовая сумма осадков варьирует в пределах 292–400 мм. В первый год исследований при выращивании озимого ячменя с апреля по июнь выпало 54,8 мм осадков. Во второй год при выращивании люцерны на зеленый корм с мая по сентябрь выпало 149,2 мм осадков, что ниже многолетних значений.

Таблица 1 – Поливные и оросительные нормы при поливе очищенными сточными водами, с. Уютное Сакского района

Table 1 – Irrigation and watering rates for irrigation with treated wastewater, Uyutnoe village, Saksky district

№ полива	Дата проведения полива	Поливная норма, м ³ /га	Средняя поливная норма, м ³ /га
Первый год исследований, озимый ячмень			
1-й полив	12 апреля – 7 мая	480–640	544
2-й полив	12–30 мая	320–480	352
3-й полив	1–17 июня	320–640	444
Оросительная норма			1340
Второй год исследований, люцерна на зеленый корм			
1-й полив	11–25 мая	320–380	332
2-й полив	26 мая – 10 июня	320–480	356
3-й полив	21 июня – 9 июля	320–480	358
4-й полив	13–29 июля	320–380	332
5-й полив	25 августа – 30 сентября	320–480	372
Оросительная норма			1750

Почвенный покров представлен черноземами южными слабосолонцеватыми слабогумусированными глубокозасоленными тяжелосуглинистыми, сформировавшимися на желтовато-бурых и палево-бурых лессовидных глинах и суглинках. Грунтовые воды залегали глубоко и не принимали участия в почвообразовании. Плотность почвы в метровом слое составляла 1,28–1,48 г/см³, плотность твердой фазы почвы – 2,58–2,67 г/см³. Наименьшая влагоемкость (НВ) изменялась от 23,3 до 27,4 %. Содержание гумуса в гумусовом горизонте составляло 2,6–2,7 %. Карбонаты обнаружены с глубины 25–30 см. Горизонт белоглазки располагался в слое 70–130 см, гипс обнаружен с глубины 150–200 см. Почвенный поглощаю-

щий комплекс (ППК) этих почв на 93–96 % насыщен кальцием и магнием, содержание поглощенного натрия 4–7 %.

Пробы очищенной сточной воды отбирали ежедекадно на выходе из вторичного отстойника очистных сооружений. Химический анализ воды проводили стандартными методами. Группу вод по минерализации и химический тип воды определяли по ОСТ 41-05-263-86².

Для установления ирригационных показателей качества поливной воды использовали ирригационный коэффициент Стеблера (K_b), показывающий щелочную характеристику воды. Так как в нашем случае оросительная вода имела содержание ионов Na^+ меньше, чем ионов Cl^- , K_b рассчитывали по формуле:

$$K_b = \frac{288}{5rCl^-}, \quad (1)$$

где rCl^- – концентрация ионов Cl^- , мг-экв/дм³.

При $K_b > 18$ качество воды хорошее, при $K_b = 6–18$ – удовлетворительное, при $K_b = 5,9–1,2$ – неудовлетворительное, при $K_b < 1,2$ качество оросительной воды плохое, она практически непригодна для орошения.

В качестве критерия пригодности воды для орошения в отношении ее способности к осолонцеванию почв И. Н. Антипов-Каратаев и Г. А. Кадер³ предложили использовать коэффициент ионного обмена (K), рассчитанный по формуле:

$$K = \frac{rCa + rMg}{rNa + 0,238S}, \quad (2)$$

где K – коэффициент ионного обмена;

rCa , rMg , rNa – эквивалентное содержание химических элементов в воде, мг-экв/дм³;

²ОСТ 41-05-263-86. Воды подземные. Классификация по химическому составу и температуре. Введ. 1986-07-01. М.: ВСЕГИНГЕО, 1986. 12 с.

³Антипов-Каратаев М. Н., Кадер Г. М. К методике определения мелиоративной оценки оросительной воды // Почвоведение. 1969. № 5. С. 96–101.

S – минерализация воды, г/дм³.

Воду считают непригодной для орошения при $K < 1$ и пригодной при $K > 1$.

Качество воды по опасности осолонцевания оценивали также по величине SAR (натриевое адсорбционное отношение), которое определяется по уравнению:

$$SAR = \frac{Na^+}{\sqrt{0,5(Ca^{2+} + Mg^{2+})}}, \quad (3)$$

где Na^+ , Ca^{2+} и Mg^{2+} – концентрации ионов в воде, мг-экв/дм³.

По шкале, разработанной в лаборатории засоленных почв США⁴, если $SAR < 10$, опасность осолонцевания почв низкая (оросительные воды считаются безопасными), при $SAR = 10–18$ – средняя, при $SAR = 18–26$ – высокая, при $SAR > 26$ – очень высокая, вода для орошения непригодна.

Однако при взаимодействии оросительной воды с почвой может происходить процесс осаждения карбонатов. Это приводит к увеличению в растворе процентного содержания натрия и возрастанию величины SAR⁵. Эта тенденция учитывается при расчете так называемого уточненного SAR_{adj.}, который рассчитывается по формуле:

$$SAR_{adj.} = \frac{Na^+}{\sqrt{0,5(Ca^{2+} + Mg^{2+})}} \cdot (1 + (8,4 - pH_c)), \quad (4)$$

где $pH_c = (Ca^{2+} + Mg^{2+} + Na^+) + (Ca^{2+} + Mg^{2+}) + (HCO_3^-)$ – концентрации ионов в воде, мг-экв/дм³.

Для почв среднего гранулометрического состава и иллит-вермикулитового минералогического состава, к которым принадлежат изуча-

⁴Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils / ed. by L. A. Richards; US Department of Agriculture. Agriculture Handbook № 60. Washington, 1954. 160 p. DOI: 10.1097/00010694-195408000-00012.

⁵Soil Survey Investigations for Irrigation. FAO soils bulletin № 42. Rome, 1979. 190 p.

емые нами почвы, вода с $SAR_{adj.} < 6$ имеет низкую, 6–9 – среднюю и > 9 высокую опасность осолонцевания почвы.

С. Я. Бездниной [12] разработана почвенно-мелиоративная классификация оросительных вод, учитывающая свойства орошаемых почв различного гранулометрического состава и опасность хлоридного засоления, натриевого и магниевого осолонцевания, содообразования, оценивающая пригодность воды по четырем классам (I – опасный, II – слабоопасный, III – умеренно опасный и IV – опасный), которая представлена в таблице 2.

Таблица 2 – Почвенно-мелиоративная классификация оросительных вод (по С. Я. Бездниной [12])

Table 2 – Soil-reclamation classification of irrigation water (according to S. Ya. Bezdina [12])

Параметр		Класс качества воды			
		I	II	III	IV
Минерализация воды для орошения почв	С тяжелым механическим составом и ППК > 30	0,2–0,5	0,5–0,8	0,8–1,2	$> 1,2$
	Со средним механическим составом и ППК $= 15–30$	0,2–0,6	0,6–1,0	1,0–1,5	$> 1,5$
	С легким механическим составом и ППК < 15	0,2–0,7	0,7–1,2	1,2–2,0	$> 2,0$
Степень опасности развития процессов	Хлоридного засоления Cl^-	$< 2,0$	2,0–4,0	4,0–10,0	$> 10,0$
	Натриевого осолонцевания Na^+/Ca^{2+}	$< 0,5$	0,5–1,0	1,0–2,0	$> 2,0$
	Магниевого осолонцевания Mg^{2+}/Ca^{2+}	$< 1,0$	1,0–1,5	1,5–2,5	$> 2,5$
	Содообразования $(CO_3^{2-} + HCO_3^-) - (Ca^{2+} + Mg^{2+})$	$< 1,0$	1,0–1,25	1,25–2,5	$> 2,5$

Для оценки степени солонцеватости почвы по обменному натрию (процент от емкости катионного обмена (ЕКО)) пользовались следующей шкалой: $< 5\%$ – несолонцеватые, 5–10 % – слабо-, 10–15 % – средне-, 15–20 % – сильно солонцеватые, более 20 % – солонцы⁶.

Для определения характера и степени влияния внутрипочвенного орошения очищенными сточными водами на почву изучали ее солевой ре-

⁶Методическое руководство по оценке засоления почв / Е. И. Панкова, Н. Б. Хитров, Л. А. Воробьева, О. Е. Клименко, И. А. Ямнова, И. Н. Горохова; под ред. А. Л. Иванова. М.: Почв. ин-т им. В. В. Докучаева, 2025. 162 с. EDN: KFBWJP.

жим. Отбор образцов производился до 200 см через 20 см в трехкратной повторности весной перед началом поливного сезона и осенью после его окончания. Содержание в почве водорастворимых солей определяли методом водной вытяжки, поглощенных оснований – согласно ГОСТ 17.4.4.01-84⁷ для карбонатных почв. По результатам анализа определена степень засоления и осолонцевания почв. Для наглядной картины изменений анионно-катионного состава почвы результаты анализа обобщили по горизонтам почвы 0–100 и 100–200 см. Химизм и степень засоления почвы определяли по классификации Н. И. Базилевич, Е. И. Панковой [13].

Данные обработаны статистически с помощью пакета программ Statistica 12 и Excel. Были вычислены средние арифметические (M) и стандартные ошибки (S_x) по вариантам. Различия средних оценивались по критерию Стьюдента при уровне вероятности 95 %.

Результаты и обсуждение. При орошении вода одновременно подавалась на все пять модульных участков системы. Из мокрого колодца вода поступала в участковый распределительный трубопровод, от которого питались 10 поливных участков. Переключая задвижки на трубопроводе, поочередно проводили полив одного участка площадью 1 га. Поливы проводились по возможности круглосуточно с поддержанием влажности на уровне 75 % от НВ. Продолжительность полива составляла от 24 до 36 ч. Поливная и оросительная нормы зависели от культуры, фазы вегетации растений и погодных условий (см. таблицу 1).

Результаты лабораторных испытаний поливной воды свидетельствуют, что ее минерализация колебалась от 1,34 до 2,18 г/дм³ (таблица 3). В первый год исследований минерализация воды значительно снижалась от апреля к июлю на 0,59 г/л, во второй год также снижалась, но не столь существенно с некоторым увеличением в июле.

⁷ГОСТ 17.4.4.01-84. Охрана природы. Почвы. Методы определения емкости катионного обмена. Введ. 1985-04-01. М.: Стандартинформ, 2008. 7 с.

**Таблица 3 – Химический состав очищенных сточных вод г. Евпатории
(среднее за месяц)**

В мг-экв/дм³

**Table 3 – Chemical composition of treated wastewater in Yevpatoriya
(monthly average)**

In mg-eq/dm³

Дата	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺ + K ⁺	Минерализация, г/дм ³
Первый год исследований							
Апрель	7,00	17,18	5,62	7,02	5,16	17,62	1,93
Май	6,80	15,38	4,95	7,02	5,43	14,69	1,77
Июнь	5,60	13,65	4,80	6,72	4,90	12,43	1,50
Июль	5,60	13,65	3,40	6,70	4,54	11,41	1,34
Второй год исследований							
Апрель	5,59	23,03	5,53	8,42	4,60	21,14	2,18
Май	6,82	19,31	5,67	7,52	4,00	20,29	2,08
Июнь	6,00	17,81	2,88	7,21	5,00	14,48	1,93
Июль	7,00	18,54	6,03	7,02	6,39	18,16	2,05
Август	6,00	17,10	5,73	7,22	5,20	16,42	1,87
Сентябрь	6,40	18,05	5,40	7,02	5,00	17,83	1,94
Октябрь	6,40	16,86	5,33	6,82	5,60	16,18	1,85

По химическому составу воды относились к группе солоноватых, подгруппам весьма слабосолоноватых (1,0–1,5 г/дм³) и слабосолоноватых (1,5–3,0 г/дм³). Из анионов в водах преобладал хлор, из катионов – натрий. Химический тип воды был стабилен во времени и являлся сульфатно-гидрокарбонатно-хлоридным магниевое-кальциево-натриевым.

Оценка качества оросительной воды для орошения по ее влиянию на почву была проведена по пяти вышеприведенным шкалам. Установление качества поливной воды по K_b показало, что он находился в пределах 2,5–4,4, это соответствует неудовлетворительному качеству воды (таблица 4).

Рассчитанный коэффициент ионного обмена находился в пределах 0,55–0,98 ($K < 1$), т. е. поливная вода считается непригодной для орошения.

Величина SAR всех проб воды была ниже 10, т. е. по этому показателю опасность осолонцевания была низкой. Оценка исследуемых вод по SAR_{adj.} показала его значения, в 2–3 раза превышающие SAR, во всех про-

бах воды, что определяет высокую опасность осолонцевания почвы при орошении и хорошо согласуется с коэффициентом ионного обмена.

Таблица 4 – Оценка качества очищенных сточных вод г. Евпатории, используемых для орошения

В мг-экв/дм³

Table 4 – Assessment of the quality of treated wastewater of the Yevpatoriya used for irrigation

In mg-eq/dm³

Дата отбора проб	К _в Стеблера	Качество воды	Коэффициент ионного обмена	Пригодность поливной воды	SAR	Опасность осолонцевания	SAR _{adj.}	Опасность осолонцевания
Первый год исследований								
Апрель	3,4	Неудовлетв.	0,8	Непригодна	7,1	Низкая	19,3	Высокая
Май	3,8	То же	0,8	То же	5,9	То же	15,9	То же
Июнь	4,4	»	1,0	»	4,8	»	13,4	»
Июль	4,2	»	1,0	»	4,8	»	12,5	»
Второй год исследований								
Апрель	2,5	»	0,6	Непригодна	8,3	Низкая	21,5	Высокая
Май	3,0	»	0,6	То же	8,5	То же	21,1	То же
Июнь	3,2	»	0,8	»	5,9	»	15,2	»
Июль	3,1	»	0,7	»	7,0	»	18,9	»
Август	3,4	»	0,7	»	6,6	»	17,1	»
Сентябрь	3,2	»	0,7	»	7,3	»	18,9	»
Октябрь	3,4	»	0,8	»	6,5	»	16,9	»

Оценка качества поливной воды по почвенно-мелиоративной классификации С. Я. Бездниной для орошения почв со средним гранулометрическим составом и ЕКО 28–30 мг-экв/100 г почвы показала, что вода относится к IV классу опасности – она непригодна для орошения без предварительного изменения ее качественного состава или без проведения специальных исследований влияния ее на плодородие почв и состояние сельскохозяйственных растений.

По степени опасности развития процессов хлоридного засоления при содержании ионов хлора в пределах 13,65–23,03 мг-экв/дм³ вода соответствовала IV классу опасности. По опасности натриевого осолонцевания воды в большинстве случаев относились к IV классу (2,1–2,7) и только в

июне и июле первого года исследований – к III классу опасности (1,7–1,8). По опасности развития процессов магниевое осолонцевания и содообразования все показатели были меньше 1 – I класс – поливная вода благоприятна. Несмотря на различия в оценке воды по опасности осолонцевания по разным методикам, протекание процесса осолонцевания при орошении в данных условиях, что будет показано ниже, вынуждает отдавать предпочтение оценке воды по SAR_{adj} и почвенно-мелиоративной классификации.

Несмотря на низкое качество оросительной воды по приведенным оценкам, она не оказывала неблагоприятного влияния на урожайность сельхозкультур. Урожайность ячменя в первый год исследований составила 4,1 т/га, урожайность люцерны во второй год достигала 36 т/га за два укоса, что соответствовало уровню урожайности передовых хозяйств.

Содержание и состав водорастворимых солей в почве при орошении сточными водами. Установлено, что в составе водной вытяжки из почвы среди катионов преобладал натрий, среди анионов в слое 0–100 см в основном хлориды, в слое 100–200 см – сульфаты (таблица 5).

В первый год исследования в слое 0–100 см содержание хлоридов, сульфатов и гидрокарбонатов было невысоким и лишь незначительно увеличивалось от весны к осени. В слое 100–200 см весной содержание сульфатов и хлоридов было выше в 2–5 раз относительно верхнего слоя. К осени эта разница значительно сокращалась за счет привноса солей с оросительной водой в слой 0–100 см, а сумма натрия и калия в этом слое была даже выше, чем в нижележащем.

Засоление почвы в первый год исследований весной было слабым, сульфатно-хлоридным, с участием соды, натриевым в слое 0–100 см и хлоридно-сульфатным натриевым в слое 100–200 см. К осени засоление почвы усилилось до средней степени, химизм изменялся только в слое 100–200 см в сторону сульфатно-хлоридного магниевое-натриевого за счет привнесения с оросительными водами ионов хлора и натрия. Таким образом, почва засолялась во всем слое 200 см за счет орошения.

Таблица 5 – Анионно-катионный состав почвы на участке внутрпочвенного орошения

В мг-экв/100 г почвы

Table 5 – Anion-cation composition of soil in the subsurface irrigation area

In mg-eq/100 g of soil

Слой почвы, см	HCO_3^-	Cl^-	SO_4^{2-}	Ca^{2+}	Mg^{2+}	$\text{Na}^+ + \text{K}^+$	Сумма токсичных солей, %	Степень и химизм засоления
Первый год исследований (весна)								
0–100	$0,96 \pm 0,05$	$0,76 \pm 0,23$	$0,39 \pm 0,12$	$0,30 \pm 0,02$	$0,19 \pm 0,03$	$1,62 \pm 0,32$	$0,13 \pm 0,02$	Сл., $\text{SO}_4\text{-Cl}$, с уча- стием соды, Na
100–200	$0,79 \pm 0,06$	$1,61 \pm 0,14^{***}$	$2,06 \pm 1,39$	$1,01 \pm 0,55$	$0,64 \pm 0,11$	$2,76 \pm 0,39^{***}$	$0,22 \pm 0,03$	Сл., Cl-SO_4 , Na
Первый год исследований (осень)								
0–100	$0,91 \pm 0,08$	$0,83 \pm 0,27$	$0,75 \pm 0,08$	$0,38 \pm 0,04$	$0,16 \pm 0,04$	$1,95 \pm 0,23$	$0,15 \pm 0,02$	Ср., $\text{SO}_4\text{-Cl}$, с уча- стием соды, Na
100–200	$0,83 \pm 0,05$	$1,42 \pm 0,16$	$1,10 \pm 0,30$	$1,35 \pm 0,03$	$0,41 \pm 0,06$	$1,59 \pm 0,33$	$0,20 \pm 0,03$	Ср., $\text{SO}_4\text{-Cl}$, Mg-Na
Второй год исследований (весна)								
0–100	$0,61 \pm 0,03^*$	$0,74 \pm 0,19$	$0,84 \pm 0,17$	$0,21 \pm 0,01$	$0,19 \pm 0,02$	$1,79 \pm 0,32$	$0,14 \pm 0,02$	Ср., $\text{SO}_4\text{-Cl}$, Na
100–200	$0,42 \pm 0,04^*$	$1,54 \pm 0,10^{***}$	$1,44 \pm 2,21$	$1,50 \pm 1,53$	$0,65 \pm 0,51$	$1,25 \pm 0,24$	$0,25 \pm 0,04$	Ср., Cl, Mg-Na
Второй год исследований (осень)								
0–100	$0,70 \pm 0,05$	$0,74 \pm 0,27$	$0,54 \pm 0,09$	$0,23 \pm 0,03$	$0,20 \pm 0,03$	$1,55 \pm 0,25$	$0,12 \pm 0,02$	Ср., $\text{SO}_4\text{-Cl}$, Na
100–200	$0,49 \pm 0,07^{**}$	$1,30 \pm 0,20$	$8,07 \pm 4,11^{***, **}$	$4,96 \pm 2,86$	$1,68 \pm 0,76^{***}$	$3,42 \pm 0,46^{***}$	$0,32 \pm 0,07^{***}$	Ср., Cl- SO_4 , Mg-Na
Примечания *Разница с весной первого года исследований в соответствующем слое существенна. **Разница с осенью первого года исследований в соответствующем слое существенна. ***Разница со слоем 0–100 см существенна ($p \leq 0,05$ во всех случаях). Сл. – слабая. Ср. – средняя степень засоления почвы. $X_{\text{ср}} \pm S_x$.								

Во второй год исследований общая щелочность почвы существенно снизилась весной по сравнению с первым годом в слое 0–200 см. Концентрация других ионов весной существенно не изменялась по сравнению с весной первого года исследований. К осени произошло увеличение концентрации всех ионов относительно весны в слое 100–200 см в 1,6–2,0 раза и в 4–14 раз по сравнению с осенью предыдущего года. В этом слое существенно увеличилось содержание токсичных солей в 1,6 раза, что может свидетельствовать о накоплении их под действием орошения минерализованными водами, этот рост зависел от выращиваемой культуры (люцерны), которую поливали в течение всего лета и части осени. Почвы оставались среднезасоленными, засоление сульфатно-хлоридное и хлоридно-сульфатное магниевое-натриевое и натриевое, что отражает тип засоления оросительной воды. Это хорошо согласуется с данными, полученными нами для темно-каштановых почв, орошаемых подземными водами с минерализацией 2–3 г/л подобного химического состава [14].

Состав и содержание поглощенных оснований в почве участка ВПО. Наряду с засоленностью почвы, к отрицательным ее свойствам, снижающим плодородие, относится и солонцеватость, которая ухудшает водно-физические свойства почвы, что резко снижает урожай. Состав обменных катионов представлен в таблице 6.

**Таблица 6 – Состав обменных катионов в почве на участке системы
внутрипочвенного орошения**

В мг-экв/100 г почвы

**Table 6 – Composition of exchangeable cations in soil of the subsurface
irrigation system area**

In mg-eq/100 g of soil

Глубина взятия образцов	Поглощенный катион			Сумма обменных катионов	% Na от ЕКО
	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺		
1	2	3	4	5	6
Первый год орошения (весна)					
0–20	24,05	6,07	1,15	31,27	3,68
20–40	23,36	6,86	2,85	33,07	8,62
40–60	19,84	6,67	3,20	29,71	10,77

Продолжение таблицы 6

Table 6 continued

1	2	3	4	5	6
60–80	18,28	5,68	2,85	26,81	10,63
80–100	16,54	10,40	3,30	30,24	10,91
100–120	13,90	11,18	2,90	27,98	10,36
120–140	13,48	10,00	3,00	26,48	11,33
140–160	13,32	11,57	3,50	28,39	12,33
160–180	13,32	14,70	4,05	32,07	12,63
Первый год орошения (осень)					
0–20	23,69	5,77	1,80	31,26	5,76
20–40	21,73	4,23	3,00	28,96	10,36
40–60	20,12	3,84	3,55	27,51	12,90
60–80	18,42	6,35	3,20	27,97	11,44
80–100	16,11	7,12	3,15	26,38	11,94
100–120	17,23	7,50	2,95	27,68	10,66
120–140	14,42	9,03	3,10	26,55	11,67
140–160	13,84	10,19	3,50	27,53	12,71
160–180	15,50	10,00	4,05	29,55	13,71
Второй год орошения (весна)					
0–20	24,51	6,76	1,48	32,72	4,52
20–40	23,93	5,52	3,18	32,63	9,75
40–60	18,98	6,03	4,06	29,07	13,97
60–80	17,12	5,68	3,57	26,37	13,54
80–100	14,48	9,01	3,02	26,51	11,39
100–120	14,54	9,94	3,36	27,84	12,07
120–140	14,83	7,10	3,05	24,98	12,21
140–160	15,70	10,34	3,47	29,51	11,76
160–180	16,13	9,73	3,36	29,22	11,50
Второй год орошения (осень)					
0–20	23,72	7,65	2,25	32,62	6,69
20–40	22,94	7,65	2,51	31,10	7,58
40–60	20,34	4,76	3,80	28,31	11,34
60–80	17,65	7,58	3,07	28,30	10,85
80–100	17,37	7,99	2,70	28,06	9,64
100–120	14,65	10,95	2,73	28,33	9,62
120–140	14,29	11,67	2,92	28,88	10,11
140–160	14,17	12,70	2,86	29,75	9,62
160–180	53,62	8,69	1,44	63,75	2,26

Среди обменных катионов кальций превалировал над магнием и натрием. Количество натрия в процентах от ЕКО находилось в пределах 3,68–13,97 %. Верхний 40-сантиметровый слой в большинстве случаев был несолонцеватым, в более глубоких слоях до 180 см почва слабо- и средне-солонцеватая.

За поливной период первого года исследований происходило накопление обменного натрия в количестве 0,30–2,13 % от ЕКО, максимально в слое 0–60 см. Содержание обменных кальция и магния изменялось незначительно.

Во второй год исследований от весны к осени содержание обменного натрия увеличивалось только в слое 0–20 см, в более глубоких слоях снижалось, но оставалось на уровне слабой и средней степени солонцеватости, что не характерно для неорошаемых южных черноземов Крыма.

Выводы

1 Установлено, что очищенные сточные воды г. Евпатории являются солоноватыми с переменной минерализацией в пределах 1,3–2,2 г/дм³. Химический тип воды сульфатно-гидрокарбонатно-хлоридный магниевое-кальциево-натриевый. По существующим критериям оценки орошение такой водой может привести к общему и хлоридному засолению, а также натриевому осолонцеванию почв среднего механического состава.

2 Орошение солоноватыми водами черноземов южных тяжелосуглинистых на протяжении восьми лет привело к слабому и среднему вторичному засолению почвы с поверхности, более значительному в конце оросительного сезона и на глубине 100–200 см с содержанием токсичных солей 0,12–0,32 %. Тип засоления почвы сульфатно-хлоридный и хлоридный магниевое-натриевый и натриевый, что отражает тип засоления оросительной воды.

3 Орошение слабосолоноватыми водами с высоким содержанием натрия вызвало слабое и среднее вторичное осолонцевание почвы с количеством обменного натрия 5,8–14,0 % от ЕКО.

4 Отмеченные неблагоприятные явления при орошении не вызывали снижения продуктивности растений ячменя и люцерны в годы исследований, однако в связи с негативным влиянием орошения такими водами на почву необходим постоянный мониторинг солевого состояния оросительной воды и почвы. Для повышения качества очищенных сточных вод

для орошения необходимо усовершенствовать систему их очистки с целью уменьшения содержания токсичных солей. Для снижения солонцеватости и предотвращения дальнейшего процесса осолонцевания следует использовать химические мелиоранты.

Список источников

- 1 Рациональное водопользование в Республике Крым: значение, ограничения, подходы к достижению / Н. Е. Волкова, Н. М. Иванютин, В. С. Тарасенко, В. С. Паштецкий, С. В. Подовалова // Водные ресурсы. 2022. Т. 49, № 4. С. 372–381. DOI: 10.31857/S0321059622040198. EDN: LGRTNA.
2. Водные ресурсы – основа устойчивого развития Крыма: коллектив. моногр. / И. В. Вайль, Н. Е. Волкова, В. Н. Гусева, А. М. Джапарова, Е. А. Дунаева, Р. Ю. Захаров, А. А. Зубоченко, Н. М. Иванютин, Н. И. Ковалев, В. И. Кременской, В. С. Паштецкий, С. В. Подовалова, В. В. Попович, В. С. Тарасенко, Л. Р. Умерова, Ю. А. Юнчик; под ред. В. С. Паштецкого; Науч.-исслед. ин-т сел. хоз-ва Крыма. Симферополь: Ариал, 2022. 216 с. EDN: ZSUXIV.
3. 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. EDN: ZCQAQF.
4. Манжина С. А., Власов М. В. Агроэкологическая оценка хозяйственно-бытовых сточных вод в целях их применения для орошения // Мелиорация и гидротехника. 2023. Т. 13, № 1. С. 132–149. DOI: 10.31774/2712-9357-202313-1-132-149. EDN: VCPZED.
5. Ляшков М. А., Арискина Ю. Ю. Зарубежный опыт применения хозяйственно-бытовых сточных вод для целей орошения // Экология и водное хозяйство. 2022. Т. 4, № 2. С. 15–31. DOI: 10.31774/2658-7890-2022-4-2-15-31. EDN: ZZVSYA.
6. Jaramillo M. F., Restrepo I. Wastewater reuse in agriculture: A review about its limitations and benefits // Sustainability. 2017. Vol. 9(10). 1734. DOI: 10.3390/su9101734.
7. Effect of surface and subsurface drip irrigation with treated wastewater on soil and water productivity of okra (*Abmoschus esculentus*) crop in semi-arid region of Tunisia / M. Mahmoudi, M. N. Khelil, S. Hechmi, B. Latrech, R. Ghrib, A. Boujlben, S. Yacoubi // Agriculture. 2022. Vol. 12. 2048. DOI: 10.3390/agriculture12122048. EDN: DWQLLV.
8. Effect of using reclaimed water via furrow and subsurface drip systems under alternate partial root zone irrigation mechanism on crops growth and soil properties / S. H. Mahmoud, G. Wei, X. B. Qi, P. Li, Y. J. She, J. Cui // Irrigation Science. 2024. Iss. 42. P. 919–936. DOI: 10.1007/s00271-023-00883-6. EDN: EFYLIO.
9. Production of subsurface drip-irrigated okra under different lateral spacings and irrigation frequencies / N. Kumar, S. Kumar, D. Duhan, A. Singh, M. S. Sidhpuria, S. K. Antil // Water S.A. 2023. Vol. 49, iss. 2. P. 164–178. DOI: 10.17159/wsa/2023.v49.i2.3990. EDN: PRSZXI.
10. Soltani-Gerdefamarzi S., Alemzadeh A., Yarami N. Effect of subsurface leaky irrigation using wastewater on the growth and nutrient content of Osage orange (*Maclura pomifera*) // Applied Fruit Science. 2024. Vol. 66, iss. 1. P. 145–154. DOI: 10.1007/s10341-023-00977-7. EDN: DJCBWW.
11. Кременской В. И., Горюнов А. Н. Экологизация технологии орошения сельскохозяйственных культур сточными водами // Строительство и техногенная безопасность. Симферополь, 1998. С. 154–164.
12. Безднина С. Я. Научные основы оценки качества воды для орошения: монография. Рязань: Мещ. науч.-техн. центр. 2013. 171 с.

13. Базилевич Н. И., Панкова Е. И. Опыт классификации почв по засолению // Почвоведение. 1968. № 11. С. 3–16. EDN: XMKFVB.

14. Клименко О. Е., Евтушенко А. П., Клименко Н. И. Изменение солевого состава почв при орошении солоноватыми водами в степном Крыму // Почвоведение. 2022. № 12. С. 1557–1570. DOI: 10.31857/S0032180X22100471. EDN: VTBMGDG.

References

1. Volkova N.E., Ivanyutin N.M., Tarasenko V.S., Pashtetsky V.S., Podovalova S.V., 2022. *Ratsional'noe vodopol'zovanie v Respublike Krym: znachenie, ogranicheniya, podkhody k dostizheniyu* [Rational water use in the Republic of Crimea: significance, limitations, approaches to achievement]. *Vodnye resursy* [Water Resources], vol. 49, no. 4, pp. 372-381, DOI: 10.31857/S0321059622040198, EDN: LGRTHA. (In Russian).

2. Weil I.V., Volkova N.E., Guseva V.N., Dzhaparova A.M., Dunaeva E.A., Zakharov R.Yu., Zubochenko A.A., Ivanyutin N.M., Kovalev N.I., Kremenskoy V.I., Pashtetsky V.S., Podovalova S.V., Popovich V.V., Tarasenko V.S., Umerova L.R., Yunchik Yu.A., 2022. *Vodnye resursy – osnova ustoychivogo razvitiya Kryma: kollektiv. monogr.* [Water Resources – the Basis for Sustainable Development of Crimea: collective monograph]. Research Institute of Agriculture of Crimea, Simferopol, Arial Publ., 216 p., EDN: ZSUXIV. (In Russian).

3. Volkova N.E., Zakharov R.Yu., 2017. *Ispol'zovaniye ochishchennykh stochnykh vod v Krymu: opyt proshlogo, realii nastoyashchego* [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], no. 3(27), pp. 144-159, EDN: ZCQAQF. (In Russian).

4. Manzhina S.A., Vlasov M.V., 2023. *Agroekologicheskaya otsenka khozyaystvenno-bytovykh stochnykh vod v tselyakh ikh primeneniya dlya orosheniya* [Agro-ecological assessment of domestic wastewater for irrigation purposes]. *Melioratsiya i gidrotekhnika* [Land Reclamation and Hydraulic Engineering], vol. 13, no. 1, pp. 132-149, DOI: 10.31774/2712-9357-202313-1-132-149, EDN: VCPZED. (In Russian).

5. Lyashkov M. A., Ariskina Yu. Yu., 2022. *Zarubezhnyy opyt primeneniya khozyaystvenno-bytovykh stochnykh vod dlya tseley orosheniya* [Foreign practices in using household wastewater for irrigation]. *Ekologiya i vodnoe khozyaystvo* [Ecology and Water Management], vol. 4, no. 2, pp. 15-31, DOI: 10.31774/2658-7890-2022-4-2-15-31, EDN: ZZVSYA. (In Russian).

6. Jaramillo M.F., Restrepo I., 2017. Wastewater reuse in agriculture: A review about its limitations and benefits. *Sustainability*, vol. 9(10), 1734, DOI: 10.3390/su9101734.

7. Mahmoudi M., Khelil M.N., Hechmi S., Latrech B., Ghrib R., Boujlben A., Yacoubi S., 2022. Effect of surface and subsurface drip irrigation with treated wastewater on soil and water productivity of okra (*Abmoschus esculentus*) crop in semi-arid region of Tunisia. *Agriculture*, vol. 12, 2048, DOI: 10.3390/agriculture12122048, EDN: DWQLLV.

8. Mahmoud S.H., Wei G., Qi X.B., Li P., She Y.J., Cui J., 2024. Effect of using reclaimed water via furrow and subsurface drip systems under alternate partial root zone irrigation mechanism on crops growth and soil properties. *Irrigation Science*, iss. 42, pp. 919-936, DOI: 10.1007/s00271-023-00883-6, EDN: EFYLIO.

9. Kumar N., Kumar S., Duhan D., Singh A., Sidhpuria M.S., Antil S.K., 2023. Production of subsurface drip-irrigated okra under different lateral spacings and irrigation frequencies. *Water S.A.*, vol. 49, iss. 2, pp. 164-178, DOI: 10.17159/wsa/2023.v49.i2.3990, EDN: PRSZXI.

10. Soltani-Gerdefaramarzi S., Alemzadeh A., Yarami N., 2024. Effect of subsurface leaky irrigation using wastewater on the growth and nutrient content of Osage orange (*Maclura pomifera*). *Applied Fruit Science*, vol. 66, iss. 1, pp. 145-154, DOI: 10.1007/s10341-023-00977-7, EDN: DJCBWW.

11. Kremenskoy V.I., Goryunov A.N., 1998. *Ekologizatsiya tekhnologii orosheniya*

sel'skokhozyaystvennykh kul'tur stochnymi vodami [The greening technology of irrigation of agricultural crops with wastewater]. *Stroitel'stvo i tekhnogennaya bezopasnost'* [Construction and Industrial Safety]. Simferopol, pp. 154-164. (In Russian).

12. Bezdina S.Ya., 2013. *Nauchnye osnovy otsenki kachestva vody dlya orosheniya: monografiya* [Scientific Foundations of Water Quality Assessment for Irrigation: monograph]. Ryazan, International Scientific and Technical Center, 171 p. (In Russian).

13. Bazilevich N.I., Pankova E.I., 1968. *Opyt klassifikatsii pochv po zasoleniyu* [Experience of soil classification by salinity]. *Pochvovedenie* [Eurasian Soil Science]. no. 11, pp. 3-16. EDN: XMKFVB. (In Russian).

14. Klimenko O.E., Evtushenko A.P., Klimenko N.I., 2022. *Izmenenie solevogo sostava pochv pri oroshenii solonovatyimi vodami v stepnom Krymu* [Changes in salt composition of soils under irrigation with brackish water in the steppe Crimea]. *Pochvovedenie* [Eurasian Soil Science], no. 12, pp. 1557-1570, DOI: 10.31857/S0032180X22100471, EDN: VTBMGD. (In Russian).

Информация об авторах

В. И. Кременской – научный сотрудник, Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма (295034, Республика Крым, г. Симферополь, ул. Киевская, д. 150), kvi19497@rambler.ru, AuthorID: 848851, ORCID: 0000-0002-7427-4747;

О. Е. Клименко – главный научный сотрудник, доктор биологических наук, Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма (295034, Республика Крым, г. Симферополь, ул. Киевская, д. 150), olga.gnbs@mail.ru, AuthorID: 343840, ORCID: 0000-0002-9142-521X;

А. М. Джапарова – младший научный сотрудник, Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма (295034, Республика Крым, г. Симферополь, ул. Киевская, д. 150), dja-ajj@rambler.ru, AuthorID: 847974, Scopus ID: 57778856500, ORCID: 0000-0002-2671-7021.

Information about the authors

V. I. Kremenskoy – Researcher, Research Institute of Agriculture of Crimea (295034, Republic of Crimea, Simferopol, Kievskaya st., 150), kvi19497@rambler.ru, AuthorID: 848851, ORCID: 0000-0002-7427-4747;

O. E. Klimenko – Chief Researcher, Doctor of Biological Sciences, Research Institute of Agriculture of Crimea (295034, Republic of Crimea, Simferopol, Kievskaya st., 150), olga.gnbs@mail.ru, AuthorID: 343840, ORCID: 0000-0002-9142-521X;

A. M. Dzhaparova – Junior Researcher, Research Institute of Agriculture of Crimea (295034, Republic of Crimea, Simferopol, Kievskaya st., 150), dja-ajj@rambler.ru, AuthorID: 847974, Scopus ID: 57778856500, ORCID: 0000-0002-2671-7021.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Все авторы в равной степени несут ответственность за нарушения в сфере этики научных публикаций.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

All authors are equally responsible for ethical violations in scientific publications.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 27.04.2026; одобрена после рецензирования 21.08.2026; принята к публикации 10.09.2026.

The article was submitted 27.04.2026; approved after reviewing 21.08.2026; accepted for publication 10.09.2026.