

МЕЛИОРАЦИЯ, ВОДНОЕ ХОЗЯЙСТВО И АГРОФИЗИКА

Обзорная статья

УДК 631.67.03:631.413.3

doi: 10.31774/2712-9357-2023-13-4-224-242

Подходы к снижению негативных последствий использования слабо- и маломинерализованных вод в орошаемом земледелии

Наталья Евгеньевна Волкова¹, Владимир Иванович Кременской²

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

¹volkova_n@niishk.site, <https://orcid.org/0000-0002-3146-652X>

²kvi19497@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7427-4747>

Аннотация. Цель: на основании анализа зарубежного и отечественного опыта по обеспечению экологической безопасности орошения ограниченно пригодными водами выделить наиболее подходящие для Республики Крым мероприятия, направленные на достижение рационального использования слабо- и маломинерализованных водных ресурсов. **Обсуждение.** В ходе исследования был проведен обзор зарубежных и отечественных разработок по снижению (предупреждению) негативного воздействия поливов ограниченно пригодными водными ресурсами на почву и возделываемые культуры и анализ реализуемых на территории Крымского региона подходов, направленных на обеспечение экологической безопасности применения слабо- и маломинерализованных вод в орошаемом земледелии. Установлено, что к основным технологическим решениям, направленным на снижение негативного воздействия использования ограниченно пригодных вод в земледелии, относятся: определение предельно допустимой с эколого-экономической точки зрения минерализации поливной воды, уменьшение оросительных норм, подбор эффективных агрономических приемов, обоснование способа полива и предварительной водоподготовки, проведение промывок пресной водой, прогнозирование и моделирование водно-солевого режима. Из них в Республике Крым в основном используются первые четыре подхода. В целом их применение позволяет предупредить значимое снижение урожайности сельскохозяйственных культур и интенсивное развитие деградационных почвенных процессов. **Выводы:** для обеспечения экологической безопасности орошения ограниченно пригодными водами подходы, включающие применение водных ресурсов с минерализацией до 3 г/л в сочетании с водосберегающими способами полива, сокращением оросительных норм и внесением химмелиорантов, целесообразно дополнить проведением ежегодных мониторинговых наблюдений за качеством воды и состоянием почвы, а также на перспективу предусмотреть прогнозирование солевого режима плодородного слоя.

Ключевые слова: орошение, экологическая безопасность, качество воды, почва, регулирование солевого режима, минерализованная вода

Сведения о научно-исследовательской работе, по результатам которой публикуется статья: исследование было проведено в рамках государственной темы Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, рег. номер: FNZW-2022-0002.

Для цитирования: Волкова Н. Е., Кременской В. И. Подходы к снижению негативных последствий использования слабо- и маломинерализованных вод в орошаемом земледелии // Мелиорация и гидротехника. 2023. Т. 13, № 4. С. 224–242. <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2023-13-4-224-242>.

LAND RECLAMATION, WATER MANAGEMENT AND AGROPHYSICS

Review article

Approaches to reducing the negative consequences of using brackish and low-mineralized waters in irrigated agriculture

Natalya E. Volkova¹, Vladimir I. Kremensko²

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

¹volkova_n@niishk.site, <https://orcid.org/0000-0002-3146-652X>

²kvi19497@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7427-4747>

Abstract. Purpose: to identify the most suitable measures aimed at achieving the rational use of brackish and low-mineralized water resources for the Republic of Crimea, based on an analysis of foreign and domestic experience in ensuring the environmental safety of irrigation with limitedly suitable waters. **Discussion:** during the study, a review of foreign and domestic developments to reduce (prevent) the negative impact of irrigation with limitedly suitable water resources on soil and crops and an analysis of approaches, implemented in the Crimean region, aimed at ensuring environmental safety of using brackish and low-mineralized waters in irrigated agriculture was carried out. It has been found that the main technological solutions aimed at reducing the negative impact of using limitedly suitable water in agriculture include: determining the maximum permissible mineralization of irrigation water from an ecological and economic point of view, reducing irrigation rates, selecting effective agronomic practices, justification the irrigation method and preliminary water treatment, carrying out washing with fresh water, forecasting and modeling of the water-salt regime. The first four approaches are mainly used in the Republic of Crimea. In general, their use makes it possible to prevent a significant decrease in crop yields and the intensive development of soil degradation processes. **Conclusions:** to ensure the environmental safety of irrigation with limitedly suitable waters, approaches that include the use of water resources with mineralization up to 3 g/l in combination with water-saving irrigation methods, reduction of irrigation rates and the application of chemical ameliorants, it is advisable to supplement with annual water quality and soil condition monitoring, as well as to provide for forecasting the salt regime of the fertile layer in the future.

Keywords: irrigation, environmental safety, water quality, soil, salt regulation

Information about the research work, on the results of which the article is published: the research was carried out within the framework of the state theme of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation, reg. number: FNZW-2022-0002.

For citation: Volkova N. E., Kremensko² V. I. Approaches to reducing the negative consequences of using brackish and low-mineralized waters in irrigated agriculture. *Land Reclamation and Hydraulic Engineering*. 2023;13(4):224–242. (In Russ.). <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2023-13-4-224-242>.

Введение. Постепенный рост численности населения на планете Земля (27 % только за последние 10 лет) повлек за собой усиление дефицита качественных водных ресурсов не только в коммунальной сфере, но и в сельскохозяйственной отрасли. При этом в аграрном секторе складывается более неблагоприятная обстановка, что обосновано приоритетом распре-

деления воды в зависимости от нужд. Предпочтение отдается обеспечению водными ресурсами коммунальной сферы и промышленности. Для решения данной проблемы используется ряд мер, таких как: снижение потерь при транспортировке, усовершенствование процессов водоподготовки и очистки, использование оборотного водоснабжения и т. п. Не все из них целесообразно использовать в сельскохозяйственной сфере. Например, дополнительная водоподготовка оросительной воды влечет за собой существенное снижение рентабельности производства, вплоть до убытков. Кроме того, внедрение водосберегающих технологий на маловодообеспеченных территориях в большинстве случаев позволяет сгладить, а не устранить негативные последствия недостатка водных ресурсов.

Для решения данной проблемы в сельскохозяйственной отрасли ряда стран и регионов используются слабо- и маломинерализованные воды. Научно доказано, что такой подход к повышению водообеспеченности аграрного сектора может повлечь за собой снижение урожайности возделываемых культур и ухудшение мелиоративной обстановки [1–8]. Для предупреждения (снижения) данных негативных последствий на протяжении нескольких десятилетий ведется разработка подходов, направленных на повышение уровня экологической безопасности орошения ограниченно пригодными водами. Однако эффективность их реализации на практике зависит от сочетания ряда факторов, учитывающих качество воды, природно-климатические особенности территории, направление развития сельскохозяйственной отрасли и т. п.

Исходя из вышеизложенного, была сформулирована цель данной работы: на основе анализа зарубежного и отечественного опыта по обеспечению экологической безопасности орошения ограниченно пригодными водами выделить наиболее подходящие для Республики Крым мероприятия, направленные на достижение рационального использования слабо- и маломинерализованных водных ресурсов.

Обсуждение. В ходе проведения исследований был сделан обзор зарубежных и отечественных разработок по снижению (предупреждению) негативного воздействия поливов ограниченно пригодными водными ресурсами на почву и возделываемые культуры и проанализированы реализуемые на территории Крымского региона подходы, направленные на обеспечение экологической безопасности применения слабо- и маломинерализованных вод в орошаемом земледелии.

Оценка качества оросительной воды выполнена на основе сочетания таких комплексных показателей, как: опасность развития общего засоления, магниевого осолонцевания, содообразования, индекс потенциальной солености, коэффициент адсорбции натрия, индекс Ланжелье, опасность воздействия на бетонные конструкции, а изменение солевого состава почв оценивалось по сумме токсичных солей [9–12].

К основным технологическим решениям, направленным на снижение негативного воздействия использования ограниченно пригодных вод в земледелии, относятся: определение предельно допустимой с эколого-экономической точки зрения минерализации оросительной воды, обоснование способа полива и предварительной водоподготовки, проведение промывок пресной водой, уменьшение оросительных норм, подбор эффективных агрономических приемов, прогнозирование и моделирование водно-солевого режима. Остановимся более подробно на каждом из них.

Определение предельно допустимой минерализации оросительной воды. Хотя данный показатель напрямую зависит от почвенных условий и перечня планируемых к возделыванию культур, в Российской Федерации безопасной с экологической точки зрения считается минерализация оросительной воды менее 1 г/л. При этом результаты исследований ряда ученых свидетельствуют о том, что и при более высоком содержании водорастворимых солей в поливной воде возможно получение высоких урожаев сельскохозяйственных культур без нанесения существенного

вреда почве [1, 6, 13–16]. Водоемники Республики Крым, используемые для полива сельскохозяйственных культур, в основном характеризуются минерализацией от 0,2 до 3,0 г/л с преобладающим содержанием ионов кальция, сульфатов или хлоридов [17]. В целом, по мнению ряда ученых (Х. У. Юлдашева, Н. Wang, D. Feng, D. Li, S. Wan и др.), применение воды с содержанием водорастворимых солей до 3 г/л не должно привести к существенному снижению урожайности правильно подобранных сельскохозяйственных культур и деградации почвы.

Обоснование способа полива. Уровень негативного воздействия использования слабо- и маломинерализованной оросительной воды на сельскохозяйственные культуры и почву напрямую зависит от того, как вода подается растениям. Довольно много исследований посвящено обоснованию выбора способа полива при использовании ограниченно пригодных вод. В данном направлении работали: N. Malash, T. J. Flowers, S. S. C. Praxedes, M. J. Da Silva Junior, C. M. Grieve, D. Wang, В. А. Шевченко, К. К. Ануарбеков и многие другие. В ходе проведенных ими работ не только сравнивалось негативное воздействие, оказываемое ограниченно пригодными оросительными водами на почву и растения при различных способах полива (наиболее целесообразным признано капельное и внутрипочвенное орошение), но и разрабатывались технологические решения, направленные на снижение данного влияния [18–22]. Например, В. А. Шевченко, В. К. Губин, Л. В. Кудрявцева рассмотрели возможность использования в Республике Крым систем внутрипочвенного орошения, соединенных с солнечными опреснителями [21]. Следует отметить, что в Крымском регионе на протяжении последних 10 лет отдается предпочтение капельному способу полива. В 2021 г. на его долю приходилось 67 % от площади политых земель.

Предварительная водоподготовка. Данный способ снижения негативного воздействия использования ограниченно пригодных вод в орошаемом земледелии получил широкое распространение в мировой и отече-

ственной практике. При этом используются различные технологические решения: разбавление пресной водой [22–25], намагничивание [26–28], очистка, основанная на использовании обратного осмоса [29, 30], биологических и механических способов [31–34] и т. п. Реализация данного подхода к снижению негативного воздействия поливов ограниченно пригодными водами не распространена в Крыму. Это обосновано сочетанием двух факторов: существенным дефицитом пресных водных ресурсов и значительным удорожанием оросительной воды, вследствие водоподготовки. Например, согласно результатам исследований D. Martinez-Granados, P. Marin-Membrive и J. Calatrava, использование технологии обратного осмоса для опреснения поливной воды с точки зрения окупаемости целесообразно только в тепличном хозяйстве. Проведение водоподготовки в комплексе с увеличением доз удобрений повысило объем общих затрат на 82 % [29].

Проведение промывок пресной водой является одним из самых простых и распространенных методов, направленных на снижение (устранение) негативных последствий орошения ограниченно пригодными водами. Оценка целесообразности использования данного метода для предупреждения засоления почвы нашла отражение в работах ряда ученых и специалистов, а именно: А. Н. Костякова, Н. Li, Y. Zhi, С. А. Манжиной, М. В. Власова, Е. Д. Жапаркуловой, М. С. Набиоллина и др. В проведенных ими исследованиях не только раскрывается эффективность осуществления промывок пресной водой, но также обосновываются их нормы и сроки проведения [13, 25, 35, 36]. Довольно интересные результаты были получены Н. Li, Y. Zhi, С. Lei, L. Zhao, S. An, Z. Deng, С. Zhou при возделывании злаковой культуры *Spartina anglica*. Исследователи пришли к выводу, что промывку пресной водой целесообразно проводить разово, так как частое чередование поливов соленой и пресной водой привело к снижению урожайности сельскохозяйственной культуры [35]. Следует отметить, что данный подход не получил распространения в Республике

Крым из-за недостаточной обеспеченности региона пресными водными ресурсами.

Уменьшение оросительных норм способствует снижению уровня негативного воздействия на почву и растения за счет сокращения поступающих с водой растворенных солей. В последнее десятилетие широкое распространение получила такая разновидность данного подхода, как метод водно-солевого регулирования, суть которого сводится к поддержанию потенциала почвенной влаги в корнеобитаемом слое выше 20 кПа, что позволяет применять воду минерализацией от 1,5 до 3 г/л для возделывания широкого ряда сельскохозяйственных культур [15, 37, 38]. Метод, основанный на уменьшении оросительных норм, нашел широкое распространение в Крыму. Средняя оросительная норма по региону в 2019–2021 гг., когда использовались только местные водоисточники, составила 1,2 тыс. м³/га. Для сравнения: в 2022 г., после возобновления поставок днепровской воды, данный показатель (без учета риса) увеличился до 2,4 тыс. м³/га.

Подбор эффективных агрономических приемов. К наиболее распространенным агрономическим приемам, используемым в совокупности с поливами минерализованной водой, относятся: внесение химмелиорантов, выращивание солеустойчивых культур, мульчирование, применение консервативной обработки почвы (на полях при уборке оставляют не менее 30 % растительных остатков), введение в севооборот галофитов [39–45] и др. Лучший эффект дает сочетание нескольких из них. Например, в ходе эксперимента, проведенного специалистами Центрального научно-исследовательского института засоленных почв Индии (Central Soil Salinity Research Institute), оценивалась эффективность использования различных агрономических приемов (обычная, уменьшенная и нулевая обработка почвы, мульчирование рисовой соломой) и их сочетаний при использовании соленых вод для целей орошения. Наилучший результат показало сочетание уменьшенной обработки почвы с мульчированием [43]. Среди перечисленных выше приемов в Крымском регионе при использовании для целей

орошения ограниченно пригодных вод в основном применяется внесение химвелиорантов (гипса, минеральных удобрений).

В последнее десятилетие в мировой практике для оценки водно-солевого режима почв начали использоваться агрогидрологические модели (HYDRUS, SWAP). Их применение позволяет не только моделировать процесс перемещения водорастворимых солей при орошении, но и с высокой точностью делать прогнозы по динамике их содержания, оценивать эффективность планируемых агрономических приемов [46–48]. Пока данное направление еще не внедрено широко в Российской Федерации и Крыму. Это обосновано разнообразием сочетаний почвенно-климатических условий, что обуславливает необходимость калибровки используемых моделей, а это возможно осуществить только при наличии детальных данных, характеризующих почвенные условия и их изменение под воздействием природных и антропогенных факторов.

В целом реализуемые на территории Республики Крым технологические решения, направленные на снижение негативного воздействия использования ограниченно пригодных вод в орошаемом земледелии, позволяют предупреждать значимое снижение урожайности сельскохозяйственных культур и интенсивное развитие деградиционных почвенных процессов. Например, анализ статистических данных, отражающих производство растениеводческой продукции на территории пилотного участка, расположенного в Первомайском районе, где более 5 лет используются ограниченно пригодные подземные воды, не показал существенного изменения уровня урожайности в сравнении с осредненными по орошаемым землям Республики Крым данными. Максимальное значение критерия Стьюдента составило 1,65, что не превысило критического значения, равного 2,45 [17].

Химический состав и свойства оросительной воды, использованной для целей орошения, приведены в таблице 1, а результаты оценки ее ирригационного качества – в таблице 2.

Таблица 1 – Солевой состав оросительной воды (апрель 2023 г.)
Table 1 – Salt composition of irrigation water (April 2023)

Показатель	Величина
pH	7,8
ЕС, mmS	4,6
Анионы, мг/л	
HCO_3^-	183,0
SO_4^{2-}	791,7
Cl^-	649,7
Катионы, мг/л	
Ca^{2+}	362,0
Mg^{2+}	160,4
K^+	не определялось
Na^+	420,9
Металлы, мг/л	
Pb	< 0,0040
Cu	< 0,0020
Cd	< 0,0005
Zn	< 0,0005
Fe	< 0,0020

Таблица 2 – Результаты комплексной оценки пригодности воды для целей орошения
Table 2 – Results of a comprehensive assessment of water suitability for irrigation

Вид негативного воздействия	Класс качества / идентификация уровня негативного воздействия
Общее засоление	IV / опасность развития общего засоления высокая
Накопление токсичных солей	III / опасность накопления токсичных солей высокая
Натриевое осолонцевание	III / опасность развития натриевого осолонцевания высокая
Магниевое осолонцевание	I / опасность развития магниевого осолонцевания отсутствует
Содообразование	I / опасность развития содообразования отсутствует
Угнетение развития сельскохозяйственных культур	Для очень сильносолеустойчивых – I / потеря урожайности 0 %; для сильносолеустойчивых – II / потеря урожайности 25 %; для среднесолеустойчивых – III / потеря урожайности 50 %; для слабосолеустойчивых – IV / потеря урожайности 100 %
Развитие коррозионных процессов и образование малорастворимых солей	III / опасность образования малорастворимых солей средняя
Разрушение бетонных конструкций	II / средняя агрессивность по отношению к бетонным конструкциям
Закупорка элементов систем капельного орошения	III / высокая опасность закупорки элементов систем капельного орошения

Результаты предварительной комплексной оценки пригодности воды для целей орошения свидетельствуют о высоком уровне опасности развития таких неблагоприятных процессов, как засоление, накопление токсичных солей, осолонцевание, а также снижение урожайности слабо- и среднесолеустойчивых культур. Следует отметить, что при этом средняя урожайность овощей по хозяйству за последние 5 лет составляла около 250 ц/га, это превышает осредненные показатели по орошаемым землям региона за 2013 г. (225 ц/га), когда полив осуществлялся преимущественно днепровской водой, подаваемой по системе Северо-Крымского канала.

Почвы орошаемого в течение 5 лет ограниченно пригодными водами пилотного участка относятся к темно-каштановым слабосолонцеватым. Для отбора почвенных образцов было сделано три шурфа на глубину 1 м. Пробы отбирались через каждые 20 см. Данные о солевом составе на апрель 2023 г. приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Солевой состав почвы пилотного участка в начале вегетационного периода 2023 г.

Table 3 – Salt composition of soil of the pilot plot at the beginning of the growing season of 2023

Глубина отбора образцов, см	Сумма солей, %	Содержание, мг/100 г почвы						
		HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺
1-й шурф								
0–20	0,12	45,8	24,0	7,1	7,0	3,0	4,6	26,5
20–40	0,19	33,6	85,3	12,4	22,0	10,3	8,1	17,8
40–60	0,18	36,6	78,8	12,4	24,0	10,9	8,1	13,3
60–80	0,19	36,6	82,0	12,4	26,0	11,5	8,1	11,0
80–100	0,18	39,7	77,3	10,6	24,0	12,8	6,9	12,5
2-й шурф								
0–20	0,11	45,8	15,0	10,7	7,0	1,8	6,9	23,5
20–40	0,15	36,6	24,0	24,9	18,0	12,8	16,1	20,1
40–60	0,14	39,7	22,8	22,2	19,0	7,9	14,4	18,1
60–80	0,13	42,7	23,4	15,9	17,0	6,7	10,4	12,4
80–100	0,12	42,7	22,8	15,9	13,0	7,3	10,4	12,4
3-й шурф								
0–20	0,11	64,1	10,8	3,6	7,0	1,8	2,3	22,7
20–40	0,13	36,6	31,4	7,9	17,0	10,9	5,2	17,9
40–60	0,15	36,6	41,9	15,9	21,0	11,5	10,4	15,2
60–80	0,15	39,7	33,2	18,6	25,0	6,7	12,1	12,0
80–100	0,15	42,7	33,2	16,9	22,0	10,9	10,9	13,5

Верхний слой почвы (0–40 см) в основном классифицируется как незасоленный, а нижний (40–100 см) – как незасоленный или слабозасоленный. В целом содержание водорастворимых солей в метровом слое не превышает справочных данных, согласно которым данный показатель для темно-каштановых слабосолонцеватых почв Крыма колеблется от 0,03 до 0,2 % [49]. Следует отметить, что, хотя орошение ограничено пригодными водами пилотного участка не оказало значимого влияния на урожайность выращиваемых сельскохозяйственных культур и мелиоративную обстановку, ситуация в дальнейшем может ухудшиться. Развитие деградационных почвенных процессов зависит от сочетания большого количества природных факторов, качество оросительной воды является только одним из них. Немаловажную роль также играют механический и химический состав почвы, количество выпадающих осадков и их интенсивность, глубина залегания и минерализация грунтовых вод, засоленность подстилающих пород и т. п. В связи с этим при организации поливов с использованием ограничено пригодных вод, кроме комплекса технологических решений, направленных на предупреждение (снижение) негативного воздействия данного вида хозяйственной деятельности, необходимо вести регулярные ежегодные мониторинговые наблюдения не только за водными ресурсами, но и за состоянием почвы. На перспективу это позволит не только отследить происходящие изменения, но и подготовить базу для калибровки агрогидрологических моделей, прогнозирования динамики водорастворимых солей.

Выводы. В результате проведенных исследований были сделаны следующие выводы:

- к основным технологическим решениям, получившим наибольшее распространение в отечественной и мировой практике и направленным на снижение негативного воздействия использования ограничено пригодных вод в земледелии, относятся: определение предельно допустимой с эколого-экономической точки зрения минерализации оросительной воды,

уменьшение оросительных норм, подбор эффективных агрономических приемов, обоснование способа полива и предварительной водоподготовки, проведение промывок пресной водой, прогнозирование и моделирование водно-солевого режима. Из них в Республике Крым в основном используются первые четыре подхода;

- хотя использование для целей орошения воды минерализацией до 3 г/л в сочетании с водосберегающими способами полива, сокращением оросительных норм и внесением химмелиорантов позволяет предупреждать значимое снижение урожайности сельскохозяйственных культур и интенсивное развитие деградиционных почвенных процессов, целесообразно перечень данных мероприятий дополнить проведением ежегодных мониторинговых наблюдений за качеством водных ресурсов и состоянием почвы, а также на перспективу предусмотреть прогнозирование солевого режима плодородного слоя.

Список источников

1. Effects of furrow irrigation with saline water on variation of soil water-salt, cotton growth and yield / C. Zheng, D. Feng, K. Li, J. Ma, H. Dang, C. Cao, J. Sun, J. Zhang // Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering. 2020. Vol. 36, iss. 13. P. 92–101. DOI: 10.11975/j.issn.1002-6819.2020.13.011.
2. Effects of sprinkling irrigation with brackish and fresh water mixing on yield of wheat and maize and movement of soil water and salt / Y. Jiao, H. Wang, S. Zhang, W. Chen, C. Zheng // Agricultural Research in the Arid Areas. 2021. Vol. 39, iss. 6. P. 87–94.
3. 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.
4. Оценка солевого состава чернозема обыкновенного после полива сточными водами различного качества в лабораторных условиях / Л. А. Митяева, М. А. Ляшков, Ю. Е. Домашенко, С. М. Васильев // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. 2019. № 3(75). С. 106–110.
5. Юлдашев Г. Ю., Дармонов Д. Е. Влияние поливов минерализованными водами на солевой баланс орошаемых луговых сазовых почв // Научное обозрение. Биологические науки. 2020. № 1. С. 26–30.
6. Абдрахманов Р. Ф., Хасанова Л. М. Орошение многолетних трав и овощных культур водами повышенной минерализации // Вестник Башкирского государственного аграрного университета. 2018. № 2(46). С. 7–16. DOI: 10.31563/1684-7628-2018-46-2-7-16.
7. Дармонов Е. Д., Юлдашев Г., Турдалиев А. Т. Влияние поливов минерализованными водами на агробиологические особенности и урожайность пшеницы // Научное обозрение. Биологические науки. 2021. № 4. С. 23–27. DOI: 10.17513/srbs.1239.

8. Экологическое обоснование применения дренажного стока при орошении сельскохозяйственных угодий / Д. Г. Васильев, В. Ц. Челахов, Ю. Е. Домашенко, С. М. Васильев // Экология и водное хозяйство. 2019. № 3(3). С. 1–13. DOI: 10.31774/2658-7890-2019-3-1-13.
9. Безднина С. Я. Научные основы оценки качества воды для орошения: монография. Рязань: Мещ. науч.-техн. центр, 2013. 171 с.
10. Doneen L. D. Water quality for agriculture. California: Department of Irrigation, 1964. 48 p.
11. Ayers R. S., Westcot D. W. Water quality for agriculture // FAO irrigation and drainage paper. 1976. Vol. 29. 107 p.
12. Шуравилин А. В., Можайский Ю. А. Практикум по мелиорации сельскохозяйственных земель: учеб. пособие. Рязань: Изд-во РГАТУ, 2011. 214 с.
13. Костяков А. Н. Основы мелиораций. М.: Сельхозгиз, 1960. 621 с.
14. Effects of saline water mulched drip irrigation on cotton yield and soil quality in the North China Plain / H. Wang, D. Feng, A. Zhang, C. Zheng, K. Li, S. Ning, J. Zhang, C. Sun // Agricultural Water Management. 2022. Vol. 262. № 107405. DOI: 10.1016/j.agwat.2021.107405.
15. Effect of water-salt regulation drip irrigation with saline water on tomato quality in an arid region / D. Li, S. Wan, X. Li, Y. Kang, X. Han // Agricultural Water Management. 2022. Vol. 261. № 107347. DOI: 10.1016/j.agwat.2021.107347.
16. Юлдашев Х. У. Качественная оценка химического состава оросительных вод и их гидрохимическая градация // Доклады Таджикской академии сельскохозяйственных наук. 2021. № 2(68). С. 34–39.
17. Обоснование выбора источника оросительной воды в степной зоне Крыма / Н. Е. Волкова, С. В. Подовалова, Ю. А. Юнчик, А. А. Манжос // Мелиорация и гидротехника [Электронный ресурс]. 2023. Т. 13, № 2. С. 75–93. URL: <http://www.rosniipm-sm.ru/article?n=1356> (дата обращения: 01.09.2023). DOI: 10.31774/2712-9357-2023-13-2-75-93.
18. Malash N., Flowers T. J., Ragab R. Effect of irrigation methods, management and salinity of irrigation water on tomato yield, soil moisture and salinity distribution // Irrigation Science. 2008. Vol. 26, iss. 4. P. 313–323. DOI: 10.1007/s00271-007-0095-7.
19. Performance of Tanzania grass irrigated with saline water applied via spray and drip- ping / S. S. C. Praxedes, M. J. Da Silva Junior, J. F. Medeiros, J. L. A. Silva, F. V. Da Silva, A. J. O. Targino // Irriga. 2019. Vol. 24, iss. 2. P. 236–253.
20. Grieve C. M., Wang D., Shannon M. C. Salinity and irrigation method affect mineral ion relations of soybean // Journal of Plant Nutrition. 2003. Vol. 26, iss. 4. P. 901–913. DOI: 10.1081/PLN-120018573.
21. Шевченко В. А., Губин В. К., Кудрявцева Л. В. Технология опреснения воды для орошения садов и виноградников Крыма // Сельский механизатор. 2021. № 5. С. 28–30. DOI: 10.47336/0131-7393-2021-5-28-29-30.
22. Игенбаев Н. Б., Ануарбеков К. К. Состояние плодородия почвы при поливе сточными водами на юге Казахстана // Инновационные идеи молодых исследователей: сб. ст. по материалам междунар. науч.-практ. конф. 2020. С. 55–63.
23. Liu X., Ding B., Bai Y. Effects of drip irrigation brackish water under film mulch on salinity, nutrients and quality of cotton plants // Agricultural Research in the Arid Areas. 2020. Vol. 38, iss. 4. P. 128–135.
24. Использование коллекторно-дренажных вод для орошения земель Сокулукского района Чуйской области / П. И. Белоконь, С. И. Белоконь, Ю. А. Титова, И. А. Юсупов // Известия КГТУ им. И. Раззакова. 2018. № 1(45). С. 266–275.
25. Манжина С. А., Власов М. В. Агроэкологическая оценка хозяйственно-бытовых сточных вод в целях их применения для орошения // Мелиорация и гидротехника [Электронный ресурс]. 2023. Т. 13, № 1. С. 132–149. URL: <http://www.rosniipm->

sm.ru/article?n=1345 (дата обращения: 01.09.2023). DOI: 10.31774/2712-9357-2023-13-1-132-149.

26. Interaction effect of water magnetization and water salinity on yield, water productivity and morpho-physiological of Balkiz bean (*Phaseolus vulgaris*) / M. Alsuvaïd, Y. Demir, M. S. Kiremit, H. Arlsan // *Gesunde Pflanzen*. 2022. Vol. 74, iss. 3. P. 259–274. DOI: 10.1007/s10343-021-00606-x.

27. Surendran U. P., Sandeep O., Joseph E. J. The impacts of magnetic treatment of irrigation water on plant, water and soil characteristics // *Agricultural Water Management*. 2016. Vol. 178. P. 21–29. DOI: 10.1016/j.agwat.2016.08.016.

28. Impacts of magnetic field treatment on water quality for irrigation, soil properties and maize yield / A. H. Hamza, M. A. Sbreif, A. El-Azeim, M. Mohamad, W. A. Mahamed // *Journal of Modern Research*. 2021. Vol. 3, iss. 1. P. 51–61.

29. Martinez-Granados D., Marin-Membrive P., Calatrava J. Economic assessment of irrigation with desalinated seawater in greenhouse tomato production in SE Spain // *Agronomy*. 2022. Vol. 12, iss. 6. № 1471. DOI: 10.3390/agronomy12061471.

30. Melgarejo-Moreno J., López-Ortiz M. I., Fernández-Aracil P. Water distribution management in South-East Spain: A guaranteed system in a context of scarce resources // *Science of the Total Environment*. 2019. Vol. 648. P. 1384–1393. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2018.08.263.

31. Хамидов М. Х., Жураев У. А. Снижение минерализации коллекторно-дренажных вод биологическим способом с использованием их в орошаемом земледелии // *Аграрная наука*. 2018. № 10. С. 52–54. DOI: 10.3263/0869-8155-2018-319-10-52-54.

32. Домашенко Ю. Е., Проценко Н. Н. Ретроспективный обзор технологий очистки и подготовки дренажных вод с оросительных систем // *Экология и водное хозяйство*. 2022. Т. 4, № 3. С. 58–72. DOI: 10.31774/2658-7890-2022-4-3-58-72.

33. Васильев Д. Г. Ретехнологизация способа подготовки дренажных и сбросных вод для оросительных мелиораций // *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. 2018. № 5(73). С. 157–160.

34. Методология повторного использования дренажно-сбросных вод в Казахстане / Ю. Г. Безбородов, Н. Н. Хожанов, М. С. Мирдадаев, Т. Ш. Устабаев // *Аграрный научный журнал*. 2022. № 11. С. 96–99. DOI: 10.28983/asj.y2022i11pp96-99.

35. Plant growth, reproduction and biomass allocation in response of clonal plant *Spartina anglica* to alternative irrigation of fresh and saline water / H. Li, Y. Zhi, C. Lei, L. Zhao, S. An, Z. Deng, C. Zhou // *Acta Ecologica Sinica*. 2010. Vol. 30, iss. 7. P. 1744–1750.

36. Жапаркулова Е. Д., Набиоллина М. С., Калиева К. Влияние минерализации коллекторно-дренажных вод на долю их участия в оросительной норме // *Наука и мир*. 2019. № 7-1(71). С. 51–55.

37. Effect of saline water on cucumber (*Cucumis sativus* L.) yield and water use under drip irrigation in the North China / S. Wan, Y. Kang, D. Wang, S. Liu // *Agricultural Water Management*. 2010. Vol. 98. P. 105–113. DOI: 10.1016/j.agwat.2010.08.003.

38. Effect of different water levels on cotton growth and water use through drip irrigation in an arid region with saline ground water of Northwest China / Y. Kang, R. Wang, S. Wan, W. Hu, S. Jiang, S. Liu // *Agricultural Water Management*. 2012. Vol. 109. P. 117–126. DOI: 10.1016/j.agwat.2012.02.013.

39. Дедова Э. Б. Технология использования минерализованной воды для полива кормовых культур // *Аграрная наука*. 2022. № 355(1). С. 114–117. DOI: 10.32634/0869-8155-2022-355-1-114-117.

40. Шалашова О. Ю., Пятницына Е. В., Рубцов И. П. Роль севооборотов в поддержании агрофизических свойств черноземов, орошаемых слабоминерализованной водой // *Мелиорация и гидротехника [Электронный ресурс]*. 2023. Т. 13, № 1. С. 150–164. URL: <http://www.rosniipm-sm.ru/article?n=1346> (дата обращения: 01.09.2023). DOI: 10.31774/2712-9357-2023-13-1-150-164.

41. Effects of straw returning to field on soil salinity content and maize yield under alternate irrigation of canal-well / E. Jifang, Y. Shuging, L. Shuai, L. Peng, J. Yohong // Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery. 2021. Vol. 52, iss. 12. P. 336–345.
42. Productivity and profitability of sorghum-wheat cropping system in saline soils as influenced by conservation agriculture practices / P. G. Sony, A. K. Rai, N. Basak, P. Kumar, P. Sundha // Range Management and Agroforestry. 2021. Vol. 42, iss. 2. P. 277–285.
43. Deficit saline water irrigation under reduced tillage and residue mulch improves soil health in sorghum-wheat cropping system in semi-arid region / P. G. Soni, N. Basak, A. K. Rai, P. Sundha, B. Narjary, P. Kumar, G. Yadav, S. Kumar, R. K. Yadav // Scientific Reports. 2021. Vol. 11, iss. 1. № 1880. DOI: 10.1038/s41598-020-80364-4.
44. Bioenergy sorghum as balancing feedback loop for intensification of cropping system in salt-affected soils of the semi-arid region: energetics, biomass quality and soil properties / A. K. Rai, N. Basak, P. G. Sony, S. Kumar, P. Sundha, B. Narjary, G. Yadav, S. Patel, H. Kaur, R. K. Yadav, P. C. Sharma // European Journal of Agronomy. 2022. Vol. 134. № 126452. DOI: 10.1016/j.eja.2021.126452.
45. Руководство по управлению засоленными почвами / под ред. Р. Варгаса, Е. И. Панковой, С. А. Балюка, П. В. Красильникова, Г. М. Хасанхановой. Рим: ФАО, 2017. 153 с.
46. Numerical simulation of water-salt distribution under brackish water film hole furrow irrigation based on HYDRUS-3D model / H. Ma, X. Wang, Z. Zhang, G. Feng, N. Lü // Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery. 2015. Vol. 46, iss. 2. P. 137–145. DOI: 10.6041/j.issn.1000-1298.2015.02.021.
47. Soil water/salt balance and water productivity of typical irrigation schedules for cotton under film mulched drip irrigation in Northern Xinjiang / S. R. Ning, B. B. Zhou, J. C. Shi, Q. J. Wang // Agricultural Water Management. 2021. Vol. 245. № 106651. DOI: 10.1016/j.agwat.2020.106651.
48. Modeling salinity risk response to irrigation practices for cotton production under film mulched drip irrigation in Xinjiang / S. Ning, A. Yan, B. Zhou, Q. Wang // Water Supply. 2022. Vol. 22, iss. 1. P. 321–334. DOI: 10.2166/ws.2021.270.
49. Половецкий И. Я., Гусев П. Г. Почвы Крыма и повышение их плодородия: справ. изд. Симферополь: Таврия, 1987. 152 с.

References

1. Zheng C., Feng D., Li K., Ma J., Dang H., Cao C., Sun J., Zhang J., 2020. Effects of furrow irrigation with saline water on variation of soil water-salt, cotton growth and yield. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, vol. 36, iss. 13, pp. 92-101, DOI: 10.11975/j.issn.1002-6819.2020.13.011.
2. Jiao Y., Wang H., Zhang S., Chen W., Zheng C., 2021. Effects of sprinkling irrigation with brackish and fresh water mixing on yield of wheat and maize and movement of soil water and salt. Agricultural Research in the Arid Areas, vol. 39, iss. 6, pp. 87-94.
3. 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. (In Russian).
4. Mityaeva L.A., Lyashkov M.A., Domashenko Yu.E., Vasiliev S.M., 2019. *Otsenka solevogo sostava chernozema obyknovennogo posle poliva stochnymi vodami razlichnogo kachestva v laboratornykh usloviyakh* [Evaluation of the salt composition of ordinary chernozem after irrigation with wastewater of various qualities in laboratory conditions]. *Puti povysheniya effektivnosti oroshaemogo zemledeliya* [Ways of Increasing the Efficiency of Irrigated Agriculture], no. 3(75), pp. 106-110. (In Russian).

5. Yuldashev G.Yu., Darmonov D.E., 2020. *Vliyanie polivov mineralizovannymi vodami na solevoy balans oroshaemykh lugovykh sazovykh pochv* [Influence of irrigation by mineralized waters on the salt balance of irrigated meadows sasa soil]. *Nauchnoe obozrenie. Biologicheskije nauki* [Scientific Review. Biological Sciences], no. 1, pp. 26-30. (In Russian).

6. Abdrakhmanov R.F., Khasanova L.M., 2018. *Oroshenie mnogoletnikh trav i ovoshchnykh kul'tur vodami povyshennoy mineralizatsii* [Irrigation of perennial grasses and vegetable crops with water of high mineralization]. *Vestnik Bashkirskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Bull. of Bashkir State Agrarian University], no. 2(46), pp. 7-16, DOI: 10.31563/1684-7628-2018-46-2-7-16. (In Russian).

7. Darmonov E.D., Yuldashev G., Turdaliev A.T., 2021. *Vliyanie polivov mineralizovannymi vodami na agrobiologicheskie osobennosti i urozhaynost' pshenitsy* [Influence of irrigation with mineralized water on agrobiological features and wheat yield]. *Nauchnoe obozrenie. Biologicheskije nauki* [Scientific Review. Biological Sciences], no. 4, pp. 23-27, DOI: 10.17513/srbs.1239. (In Russian).

8. Vasiliev D.G., Chelakhov V.Ts., Domashenko Yu.E., Vasiliev S.M., 2019. *Ekologicheskoe obosnovanie primeneniya drenazhnogo stoka pri oroshenii sel'skokhozyaystvennykh ugodiy* [Ecological justification of drainage flow use for irrigation of agricultural land]. *Ekologiya i vodnoe khozyaystvo* [Ecology and Water Management], no. 3(3), pp. 1-13, DOI: 10.31774/2658-7890-2019-3-1-13. (In Russian).

9. Bezdina S.Ya., 2013. *Nauchnye osnovy otsenki kachestva vody dlya orosheniya: monografiya* [Scientific Basis for Assessing the Quality of Water for Irrigation: monograph]. Ryazan, Mesherskiy Scientific-Technical Center, 171 p. (In Russian).

10. Doneen L.D., 1964. *Water Quality for Agriculture*. California, Department of Irrigation, 48 p.

11. Ayers R.S., Westcot D.W., 1976. *Water Quality for Agriculture*. FAO Irrigation and Drainage Paper, vol. 29, 107 p.

12. Shuravilin A.V., Mozhaisky Yu.A., 2011. *Praktikum po melioratsii sel'skokhozyaystvennykh zemel': uchebnoe posobie* [Workshop on Agricultural Land Reclamation: textbook]. Ryazan, RGATU Publ., 214 p. (In Russian).

13. Kostyakov A.N., 1960. *Osnovy melioratsiy* [Fundamentals of Land Reclamation]. Moscow, Selkhozgiz Publ., 621 p. (In Russian).

14. Wang H., Feng D., Zhang A., Zheng C., Li K., Ning S., Zhang J., Sun C., 2022. Effects of saline water mulched drip irrigation on cotton yield and soil quality in the North China Plain. *Agricultural Water Management*, vol. 262, no. 107405, DOI: 10.1016/j.agwat.107405.

15. Li D., Wan S., Li X., Kang Y., Han X., 2022. Effect of water-salt regulation drip irrigation with saline water on tomato quality in an arid region. *Agricultural Water Management*, vol. 261, no. 107347, DOI: 10.1016/j.agwat.2021.107347.

16. Yuldashev Kh.U., 2021. *Kachestvennaya otsenka khimicheskogo sostava orositel'nykh vod i ikh gidrokhimicheskaya gradatsiya* [Qualitative assessment of the chemical composition of irrigation water and their hydrochemical gradation]. *Doklady Tadjikskoy akademii sel'skokhozyaystvennykh nauk* [Reports of Tajik Academy of Agricultural Sciences], no. 2(68), pp. 34-39. (In Russian).

17. Volkova N.E., Podovalova S.V., Yunchik Yu.A., Manzhos A.A., 2023. [Justification for choosing irrigation water source in the steppe zone of Crimea]. *Melioratsiya i gidrotekhnika*, vol. 13, no. 2, pp. 75-93, available: <http://www.rosniipm-sm.ru/article?n=1356> [accessed 01.09.2023], DOI: 10.31774/2712-9357-2023-13-2-75-93. (In Russian).

18. Malash N., Flowers T.J., Ragab R., 2008. Effect of irrigation methods, management and salinity of irrigation water on tomato yield, soil moisture and salinity distribution. *Irrigation Science*, vol. 26, iss. 4, pp. 313-323, DOI: 10.1007/s00271-007-0095-7.

19. Praxedes S.S.C., Da Silva Junior M.J., Medeiros J.F., Silva J.L.A., Da Silva F.V., Targino A.J.O., 2019. Performance of Tanzania grass irrigated with saline water applied via spray and dripping. *Irriga*, vol. 24, iss. 2, pp. 236-253.

20. Grieve C.M., Wang D., Shannon M.C., 2003. Salinity and irrigation method affect mineral ion relations of soybean. *Journal of Plant Nutrition*, vol. 26, iss. 4, pp. 901-913, DOI: 10.1081/PLN-120018573.

21. Shevchenko V.A., Gubin V.K., Kudryavtseva L.V., 2021. *Tekhnologiya opresneniya vody dlya orosheniya sadov i vinogradnikov Kryma* [Technology of water desalination for irrigation of orchards and vineyards of the Crimea]. *Selskiy mekhanizator* [Rural Mechanizer], no. 5, pp. 28-30, DOI: 10.47336/0131-7393-2021-5-28-29-30. (In Russian).

22. Igenbaev N.B., Anuarbekov K.K., 2020. *Sostoyaniye plodorodiya pochvy pri polive stochnymi vodami na yuge Kazakhstana* [State of soil fertility when irrigated with wastewater in the south of Kazakhstan]. *Innovatsionnye idei molodykh issledovateley: sb. st. po materialam mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Innovative Ideas of Young Researchers: Proc. of the International Scientific-Practical Conference], pp. 55-63. (In Russian).

23. Liu X., Ding B., Bai Y., 2020. Effects of drip irrigation brackish water under film mulch on salinity, nutrients and quality of cotton plants. *Agricultural Research in the Arid Areas*, vol. 38, iss. 4, pp. 128-135.

24. Belokon P.I., Belokon S.I., Titova Yu.A., Yusupov I.A., 2018. *Ispol'zovanie kollektorno-drenaznykh vod dlya orosheniya zemel' Sokulukskogo rayona Chuyskoy oblasti* [Use of collector-drainage water for irrigation of lands in the Sokuluk district of the Chui region]. *Izvestiya KGTU im. I. Razzakova* [Bulletin of KSTU named after I. Razzakov], no. 1(45), pp. 266-275. (In Russian).

25. Manzhina S.A., Vlasov M.V., 2023. [Agroecological assessment of domestic wastewater for irrigation purposes]. *Melioratsiya i gidrotekhnika*, vol. 13, no. 1, pp. 132-149, available: <http://www.rosniipm-sm.ru/article?n=1345> [accessed 01.09.2023], DOI: 10.31774/2712-9357-2023-13-1-132-149. (In Russian).

26. Alsuvaid M., Demir Y., Kiremit M.S., Arlsan H., 2022. Interaction effect of water magnetization and water salinity on yield, water productivity and morpho-physiological of Balkiz bean (*Phaseolus vulgaris*). *Gesunde Pflanzen*, vol. 74, iss. 3, pp. 259-274, DOI: 10.1007/s10343-021-00606-x.

27. Surendran U.P., Sandeep O., Joseph E.J., 2016. The impacts of magnetic treatment of irrigation water on plant, water and soil characteristics. *Agricultural Water Management*, vol. 178, pp. 21-29, DOI: 10.1016/j.agwat.2016.08.016.

28. Hamza A.H., Sbreif M.A., El-Azeim A., Mohamad M., Mahamed W.A., 2021. Impacts of magnetic field treatment on water quality for irrigation, soil properties and maize yield. *Journal of Modern Research*, vol. 3, iss. 1, pp. 51-61.

29. Martinez-Granados D., Marin-Membrive P., Calatrava J., 2022. Economic assessment of irrigation with desalinated seawater in greenhouse tomato production in SE Spain. *Agronomy*, vol. 12, iss. 6, no. 1471, DOI: 10.3390/agronomy12061471.

30. Melgarejo-Moreno J., López-Ortiz M.I., Fernández-Aracil P., 2019. Water distribution management in South-East Spain: A guaranteed system in a context of scarce resources. *Science of the Total Environment*, vol. 648, pp. 1384-1393, DOI: 10.1016/j.scitotenv.2018.08.263.

31. Khamidov M.Kh., Zhuraev U.A., 2018. *Snizhenie mineralizatsii kollektorno-drenaznykh vod biologicheskim sposobom s ispol'zovaniem ikh v oroshaemom zemledelii* [The reduction of mineralization of collector and drainage waters by a biological method and their use in irrigated agriculture]. *Agrarnaya nauka* [Agrarian Science], no. 10, pp. 52-54, DOI: 10.3263/0869-8155-2018-319-10-52-54. (In Russian).

32. Domashenko Yu.E., Protsenko N.N., 2022. *Retrospektivnyy obzor tekhnologiy ochistki i podgotovki drenaznykh vod s orositel'nykh sistem* [Retrospective review of drain-

age water cleaning and treatment technologies from irrigation systems]. *Ekologiya i vodnoe khozyaystvo* [Ecology and Water Management], vol. 4, no. 3, pp. 58-72, DOI: 10.31774/2658-7890-2022-4-3-58-72. (In Russian).

33. Vasiliev D.G., 2018. *Retekhnologizatsiya sposoba podgotovki drenazhnykh i sbrosnykh vod dlya orositel'nykh melioratsiy* [Retechnologization of the method of preparing drainage and wastewater for irrigation reclamation]. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Bull. of Orenburg State Agrarian University], no. 5(73), pp. 157-160. (In Russian).

34. Bezborodov Yu.G., Khozhanov N.N., Mirdadaev M.S., Ustabaev T.Sh., 2022. *Metodologiya povtornogo ispol'zovaniya drenazhno-sbrosnykh vod v Kazakhstane* [Methodology of recycling of drainage and wastewater in Kazakhstan]. *Agrarnyy nauchnyy zhurnal* [Agricultural Scientific Journal], no. 11, pp. 96-99. DOI: 10.28983/asj.y2022i11pp96-99. (In Russian).

35. Li H., Zhi Y., Lei C., Zhao L., An S., Deng Z., Zhou C., 2010. Plant growth, reproduction and biomass allocation in response to clonal plant *Spartina anglica* to alternative irrigation of fresh and saline water. *Acta Ecologica Sinica*, vol. 30, iss. 7, pp. 1744-1750.

36. Zhaparkulova E.D., Nabiollina M.S., Kalieva K., 2019. *Vliyanie mineralizatsii kollektorno-drenazhnykh vod na dolyu ikh uchastiya v orositel'noy norme* [The effect of mineralization of collector-drainage waters on share of its participation in irrigation norm]. *Nauka i mir* [Science and World], no. 7-1(71), pp. 51-55. (In Russian).

37. Wan S., Kang Y., Wang D., Liu S., 2010. Effect of saline water on cucumber (*Cucumis sativus* L.) yield and water use under drip irrigation in the North China. *Agricultural Water Management*, vol. 98, pp. 105-113, DOI: 10.1016/j.agwat.2010.08.003.

38. Kang Y., Wang R., Wan S., Hu W., Jiang S., Liu S., 2012. Effect of different water levels on cotton growth and water use through drip irrigation in an arid region with saline ground water of Northwest China. *Agricultural Water Management*, vol. 109, pp. 117-126, DOI: 10.1016/j.agwat.2012.02.013.

39. Dedova E.B., 2022. *Tekhnologiya ispol'zovaniya mineralizovannoy vody dlya poliva kormovykh kul'tur* [Technology of using mineralized water for forage crops irrigation of]. *Agrarnaya nauka* [Agrarian Science], no. 355(1), pp. 114-117, DOI: 10.32634/0869-8155-2022-355-1-114-117. (In Russian).

40. Shalashova O.Yu., Pyatnitsyna E.V., Rubtsov I.P., 2023. [The role of crop rotation in maintaining agrophysical properties of chernozem irrigated with low-mineralized water]. *Melioratsiya i gidrotekhnika*, vol. 13, no. 1, pp. 150-164, available: <http://www.rosniipm-sm.ru/article?n=1346> [accessed 01.09.2023], DOI: 10.31774/2712-9357-2023-13-1-150-164. (In Russian).

41. Jifang E., Shuging Y., Shuai L., Peng L., Yohong J., 2021. Effects of straw returning to field on soil salinity content and maize yield under alternate irrigation of canal-well. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, vol. 52, iss. 12, pp. 336-345.

42. Sony P.G., Rai A.K., Basak N., Kumar P., Sundha P., 2021. Productivity and profitability of sorghum-wheat cropping system in saline soils as influenced by conservation agriculture practices. *Range Management and Agroforestry*, vol. 42, iss. 2, pp. 277-285.

43. Soni P.G., Basak N., Rai A.K., Sundha P., Narjary B., Kumar P., Yadav G., Kumar S., Yadav R.K., 2021. Deficit saline water irrigation under reduced tillage and residue mulch improves soil health in sorghum-wheat cropping system in semi-arid region. *Scientific Reports*, vol. 11, iss. 1, no. 1880, DOI: 10.1038/s41598-020-80364-4.

44. Rai A.K., Basak N., Sony P.G., Kumar S., Sundha P., Narjary B., Yadav G., Patel S., Kaur H., Yadav R.K., Sharma P.C., 2022. Bioenergy sorghum as balancing feedback loop for intensification of cropping system in salt-affected soils of the semi-arid region: energetics, biomass quality and soil properties. *European Journal of Agronomy*, vol. 134, no. 126452, DOI: 10.1016/j.eja.2021.126452.

45. Vargas R., Pankova E.I., Balyuk S.A., Krasilnikova P.V., Khasankhanova G.M. (eds), 2017. *Rukovodstvo po upravleniyu zasolennymi pochvami* [Handbook for the Saline Soils Management]. Rome, FAO, 153 p. (In Russian).

46. Ma H., Wang X., Zhang Z., Feng G., Lü N., 2015. Numerical simulation of water-salt distribution under brackish water film hole furrow irrigation based on HYDRUS-3D model. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, vol. 46, iss. 2, pp. 137-145, DOI: 10.6041/j.issn.1000-1298.2015.02.021.

47. Ning S.R., Zhou B.B., Shi J.C., Wang Q.J., 2021. Soil water/salt balance and water productivity of typical irrigation schedules for cotton under film mulched drip irrigation in Northern Xinjiang. *Agricultural Water Management*, vol. 245, no. 106651, DOI: 10.1016/j.agwat.2020.106651.

48. Ning S., Yan A., Zhou B., Wang Q., 2022. Modeling salinity risk response to irrigation practices for cotton production under film mulched drip irrigation in Xinjiang. *Water Supply*, vol. 22, iss. 1, pp. 321-334, DOI: 10.2166/ws.2021.270.

49. Polovetsky I.Ya., Gusev P.G., 1987. *Pochvy Kryma i povyshenie ikh plodorodiya: sprav. izd.* [Soils of Crimea and the Increasing of Their Fertility: reference book]. Simferopol', Tavria Publ., 152 p. (In Russian).

Информация об авторах

Н. Е. Волкова – старший научный сотрудник, Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма, Симферополь, Российская Федерация, volkova_n@niishk.site, <https://orcid.org/0000-0002-3146-652X>;

В. И. Кременской – научный сотрудник, Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма, Симферополь, Российская Федерация, kvi19497@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7427-4747>.

Information about the authors

N. E. Volkova – Senior Researcher, Research Institute of Agriculture of Crimea, Simferopol, Russian Federation, volkova_n@niishk.site, <https://orcid.org/0000-0002-3146-652X>;

V. I. Kremenskoy – Researcher, Research Institute of Agriculture of Crimea, Simferopol, Russian Federation, kvi19497@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7427-4747>.

*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 18.08.2023; одобрена после рецензирования 04.10.2023; принята к публикации 17.10.2023.

The article was submitted 18.08.2023; approved after reviewing 04.10.2023; accepted for publication 17.10.2023.