

МЕЛИОРАЦИЯ, ВОДНОЕ ХОЗЯЙСТВО И АГРОФИЗИКА

Научная статья

УДК 631.67.03

doi: 10.31774/2712-9357-2023-13-2-75-93

Обоснование выбора источника оросительной воды в степной зоне Крыма

Наталья Евгеньевна Волкова¹, Светлана Владимировна Подовалова²,
Юлия Александровна Юнчик³, Анна Александровна Манжос⁴

^{1, 2, 3, 4}Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма, Симферополь,
Российская Федерация

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

²podovalovas@list.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2823-797X>

³yunchik99@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5542-6613>

⁴liiff@list.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9103-8802>

Аннотация. Цель: охарактеризовать основные источники оросительной воды степной зоны Крыма и оценить перспективы их дальнейшего использования. **Материалы и методы.** Рассмотрена статистическая информация об использовании водных ресурсов в орошаемом земледелии Крыма и результаты мониторинговых наблюдений за составом ресурсов основных водоисточников степной части полуострова. Для оценки целесообразности применения ограниченно пригодных вод в сельском хозяйстве было проведено фитотестирование на семенах редиса и кукурузы. **Результаты.** Основные источники воды в степной зоне Крыма – система Северо-Крымского канала (использовано для орошения в 2022 г. более 30 млн куб. м воды) и скважины. Однако ресурсы последних в ряде случаев относятся к категории ограниченно пригодных, использование их в сельскохозяйственной отрасли может привести к ухудшению мелиоративной обстановки и снижению урожайности сельскохозяйственных культур. Анализ статистических данных о производстве растениеводческой продукции на территории одного из хозяйств Первомайского района, где более 5 лет используются ограниченно пригодные подземные воды, не показал существенного изменения уровня урожайности в сравнении с осредненными данными по орошаемым землям республики. Результаты фитотестирования подтвердили, что увеличение минерализации поливной воды до 3 г/л не формировало ингибирующий эффект при прорастании семян редиса и кукурузы. **Выводы.** При обосновании выбора источника поливной воды в степной зоне Крыма кроме результатов фитотестирования и анализа статистической информации об урожайности, предварительной оценки пригодности водных ресурсов для орошения необходимо учитывать климатические и почвенные условия, дренируемость территории, водность источника, предполагаемые способы полива и перечень культур. В случае использования ограниченно пригодных вод необходимо вести обязательные мониторинговые наблюдения за состоянием почвы с целью своевременного выявления и предупреждения ухудшения мелиоративной обстановки.

Ключевые слова: сельское хозяйство, источники воды, водотоки, Северо-Крымский канал, подземные водозаборы, ограниченно пригодные воды, орошение, урожайность

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

Для цитирования: Обоснование выбора источника оросительной воды в степной зоне Крыма / Н. Е. Волкова, С. В. Подовалова, Ю. А. Юнчик, А. А. Манжос // Мелиорация и гидротехника. 2023. Т. 13, № 2. С. 75–93. <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2023-13-2-75-93>.

LAND RECLAMATION, WATER MANAGEMENT AND AGROPHYSICS

Original article

Justification for choosing irrigation water source in the steppe zone of Crimea

Natalya E. Volkova¹, Svetlana V. Podovalova², Julia A. Yunchik³,
Anna A. Manjos⁴

^{1, 2, 3, 4}Research Institute of Agriculture of Crimea, Simferopol, Russian Federation

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

²podovalovas@list.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2823-797X>

³yunchik99@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5542-6613>

⁴liiffee@list.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9103-8802>

Abstract. Purpose: to characterize the main sources of irrigation water in the steppe zone of the Crimea and to assess the prospects for their further use. **Materials and methods.** Statistical information on water resources use in the irrigated agriculture of the Crimea and the results of monitoring observations over the resource composition of main water sources of the steppe part of the peninsula are considered. To assess the feasibility of using limitedly suitable waters in agriculture, phytotesting on radish and corn seeds conducted. **Results.** The main sources of water in the steppe zone of Crimea are the system of the North Crimean Canal (more than 30 million cubic meters of water were used for irrigation in 2022) and the wells. However, the resources of the wells in some cases belong to the category of limited use, as their use in the agricultural sector can lead to a deterioration in the reclamation situation and a decrease in crop yields. An analysis of statistical data on crop production on the territory of one of the farms in Pervomaysky district, where limited suitable groundwater has been used for more than 5 years, did not show a significant change in the level of productivity in comparison with the average data for irrigated lands of the republic. The results of phytotesting confirmed that an increase in the irrigation water mineralization to 3 g/l did not form an inhibitory effect on the radish and corn seeds germination. **Conclusions.** When justifying the choice of a source of irrigation water in the steppe zone of Crimea, besides the results of phytotesting and analysis of statistical information on yields, a preliminary assessment of the suitability of water resources for irrigation, it is necessary to take into account climatic and soil conditions, drainability of the territory, water content of the source, proposed irrigation methods and a list of crops. In the case of using the limited suitable waters, it is necessary to conduct mandatory monitoring observations of soil condition in order to identify and prevent timely the deterioration of the reclamation situation.

Keywords: agriculture, water sources, watercourses, the North Crimean Canal, groundwater intakes, restricted waters, irrigation, crop yield

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

For citation: Volkova N. E., Podovalova S. V., Yunchik Ju. A., Manjos A. A. Justification for choosing irrigation water source in the steppe zone of Crimea. *Land Reclamation and Hydraulic Engineering*. 2023;13(2):75–93. (In Russ.). <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2023-13-2-75-93>.

Введение. Большая часть Крымского региона, на которой сосредоточены ценные с агрономической точки зрения типы почв (наиболее распространенные: черноземы южные, темно-каштановые), характеризуется недостаточной естественной водообеспеченностью. Гидротермический коэффициент Селянинова для данной территории колеблется от 0,5 до 0,9. Для эффективной сельскохозяйственной деятельности в степной зоне Крыма необходимо применение орошения. Отсутствие поставок воды от внешнего водоемисточника в период с 2014 по 2022 г. привело к существенному сокращению площади поливных земель и, как следствие, снижению производства ценных сельскохозяйственных культур (рисунок 1).

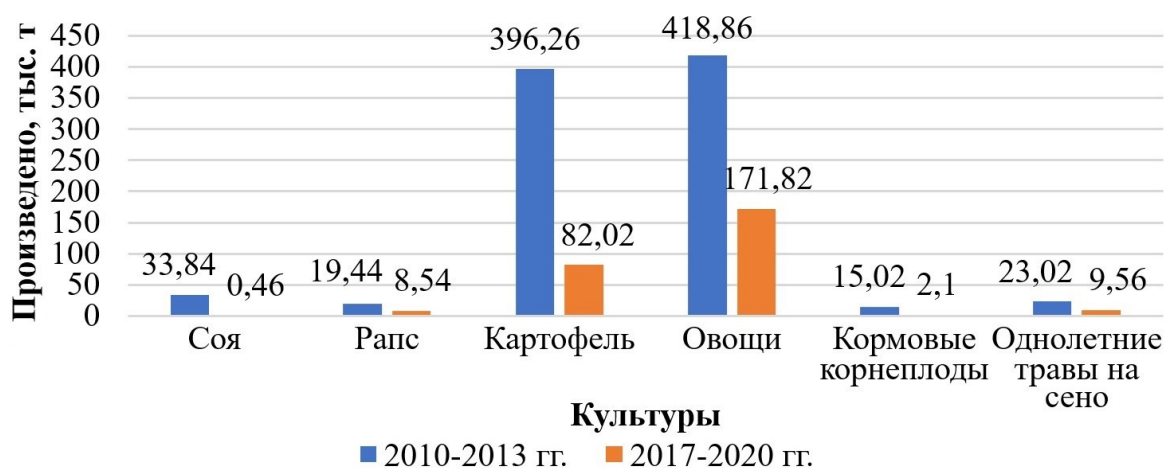


Рисунок 1 – Производство сельскохозяйственных культур в Крыму (составлено на основе статистической информации [13–15])

Figure 1 – Agricultural crops production in Crimea (compiled on the basis of statistical information [13–15])

Для решения данной проблемы в регионе стали применять ограниченно пригодные водные ресурсы с минерализацией около 1 г/л и более. По мнению ряда отечественных и зарубежных ученых, реализация данного подхода в вододефицитных регионах является перспективной альтернативой использованию пресной воды [1–11]. Результаты ранее проведенных в Крыму в данном направлении исследований показали, что использование ограниченно пригодных вод допустимо в регионе. Целесообразность данного вида деятельности определяется сочетанием ряда факторов (климати-

ческими и почвенными условиями, дренируемостью территории, качеством оросительной воды, способом полива и др.) [12].

Возобновление поставок водных ресурсов р. Днепр позволило повысить водообеспеченность сельскохозяйственной отрасли, но при этом встал вопрос, что необходимо делать с введенными в эксплуатацию водными источниками, ресурсы которых относятся к категории ограниченно пригодных. С одной стороны, устройство водозаборных сооружений, водонакопительных емкостей, оросительных сетей, получение лицензий и разрешений потребовало от аграриев значительных капитальных затрат, с другой стороны, использование воды с минерализацией более 1 г/л может оказать негативное воздействие на рост и развитие сельскохозяйственных растений, а также привести к ухудшению мелиоративной обстановки.

Исходя из вышеизложенного, цель данного исследования – охарактеризовать основные источники оросительной воды степной зоны Крыма и оценить перспективы их дальнейшего использования.

Материалы и методы. В ходе исследования был выполнен анализ статистической информации, отражающей использование водных ресурсов в орошаемом земледелии Республики Крым, а также результатов наблюдений государственной мониторинговой сети за качественным составом водных ресурсов основных водисточников степной части полуострова, проведенных специалистами ГАУ РК «Центр лабораторного анализа и технических измерений» (отслеживается 18 показателей) и ГБУ РК «Крымская гидрогеолого-мелиоративная экспедиция» (отслеживается более 30 показателей).

Для оценки целесообразности использования ограниченно пригодных вод в целях орошения:

- выполнен сравнительный анализ статистической информации, отражающей урожайность сельскохозяйственных культур за 2018–2021 гг. на фоне орошения в целом по Крыму и в хозяйстве, использующем для полива ограниченно пригодные воды;

- отобраны пробы воды из системы Северо-Крымского канала (СКК) и подземных водозаборных сооружений Краснопереконского, Ленинского, Первомайского и Сакского районов и проведен их химический анализ по показателям: рН, электропроводность, содержание гидрокарбонатов, хлоридов, нитратов, кальция, магния, натрия, свинца, меди, кадмия, цинка и железа;

- произведена оценка пригодности отобранных образцов воды для целей орошения на основе сопоставления фактических значений с предельными допустимыми концентрациями (ПДК) согласно СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания» [16] и использования почвенно-мелиоративной классификации, предложенной С. Я. Бездониной [17];

- в лабораторных условиях в соответствии с патентом 2492473 «Способ биотестирования по проращиванию семян» [18] проведены опыты по определению токсического воздействия водных ресурсов различной минерализации (от 0,3 до 8,0 г/л) на развитие сельскохозяйственных культур. Исследования выполнялись в четырехкратной повторности на семенах редиса и кукурузы. В качестве контроля была использована дистиллированная вода.

Результаты исследования. К источникам, используемым для целей орошения в степной зоне Республики Крым, относятся: система СКК, водотоки и подземные воды. Рассмотрим каждый из них по отдельности.

Система СКК представляет собой сложное гидротехническое сооружение, берущее начало на территории Украины. Его общая протяженность составляет 400,5 км, пропускная способность на границе Республики Крым – 225 м³/с. Источником наполнения данного гидротехнического сооружения является сток р. Днепр. В период с 2014 по 2022 г. на территории Республики Крым система СКК использовалась для переброски стока р. Биюк-

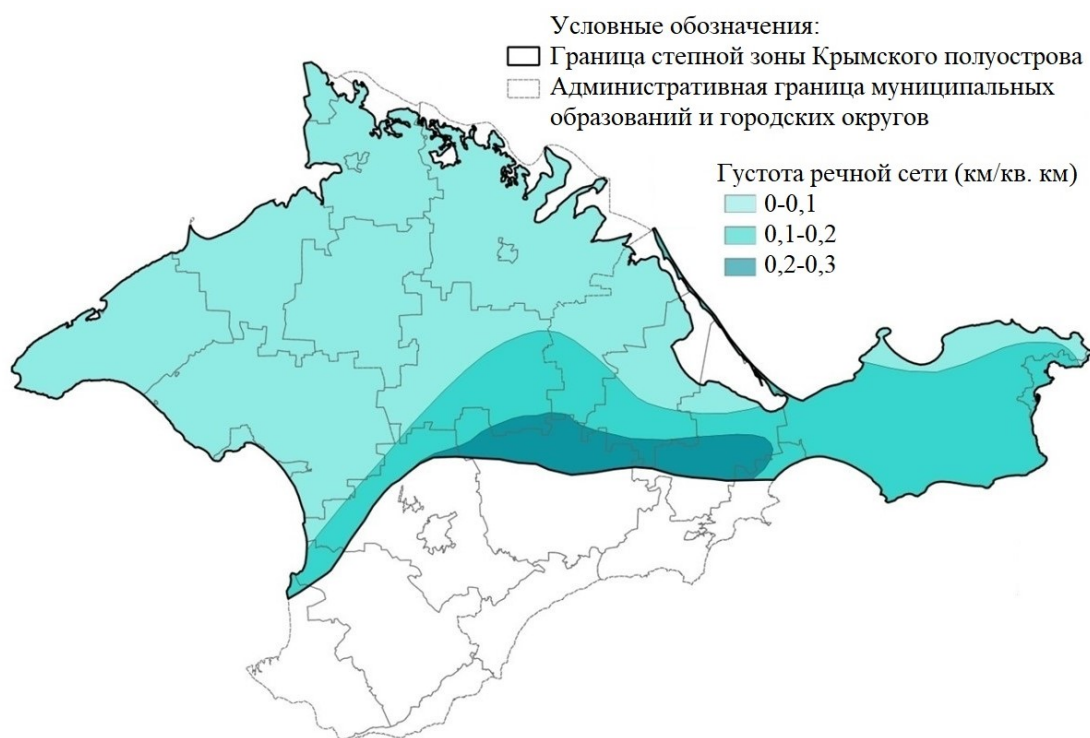
Карасу и подземных вод Нежинского, Просторненского и Новогригорьевского водозаборов с целью водоснабжения восточной части полуострова. Это было обосновано перекрытием внешнего водоисточника. Только весной 2022 г. возобновилась подача днепровской воды.

Система СКК играет важную роль в обеспечении стабильного функционирования аграрной отрасли Республики Крым. До перекрытия внешнего водоисточника для полива земель, расположенных в степной зоне региона, на данное гидротехническое сооружение приходилось почти 100 % объема забранной на орошение воды (в 2011–2013 гг. около 900 млн м³), в 2019–2021 гг. данный показатель сократился до 5 % (0,8 млн м³). Возобновление поставок днепровской воды в 2022 г. способствовало тому, что в ходе поливного сезона данного года для целей орошения было использовано более 30 млн м³ воды из СКК.

Согласно данным специалистов ГБУ РК «Крымская гидрогеолого-мелиоративная экспедиция», в 2020 и 2021 гг. вода СКК по показателю минерализации (от 0,5 до 1,0 г/л) в соответствии с почвенно-мелиоративной классификацией относилась ко II и III классам качества по пригодности для целей орошения, т. е. ее использование в большинстве случаев не должно было привести к развитию процессов общего засоления в почве. В 2022 г., после возобновления поставок воды от внешнего водоисточника, в пробах, отобранных из системы СКК, содержание водорастворимых солей не превышало 0,5 г/л. Хотя днепровская вода по солевому составу была классифицирована как пригодная для орошения без ограничений (I класс), следует отметить, что качественные показатели речного стока являются динамическими характеристиками, которые зависят от сочетания большого количества факторов (водность года, временное распределение осадков, объемы сбросов сточных вод, их качественный состав и др.). Это, а также необходимость проведения эксплуатационных и ремонтных работ, направленных на улучшение технического состояния не использовавшихся на про-

тяжении 9 лет веток СКК, насосно-силового оборудования, запорно-регулирующей арматуры, необходимо учитывать при разработке стратегии развития орошаемого земледелия в Республике Крым.

Речная сеть в степной зоне Крыма развита неравномерно (рисунок 2). Средний годовой сток для большей части территории не превышает $0,5 \text{ л/(с}\cdot\text{км}^2)$. Большинство водотоков степной зоны Крыма не используется для целей орошения. Исключение составляют р. Салгир и ряд водотоков, берущих начало на северо-восточных склонах Крымских гор (Суджилка, Субаш, Мокрый и Сухой Индол и др.).



**Рисунок 2 – Густота речной сети в степной зоне Крыма
(составлено на основе «Климатического атласа Крыма» [19])**

**Figure 2 – The density of the river network in the steppe zone of Crimea
(compiled on the basis of the Crimean Climate Atlas [19])**

Это обосновано следующими факторами:

- незначительной водностью. Большинство водотоков, берущих начало в степной зоне Крыма и на Керченском полуострове, теряются в степи, не донося воды до Сиваша, побережья Черного или Азовского морей;

- качеством водных ресурсов. Часть водотоков Степного Крыма выступает водоприемниками коллекторно-дренажных вод, что в свою очередь отражается на качественном составе речного стока. Например, согласно осредненным за 2019–2020 гг. мониторинговым данным, полученным специалистами ГАУ РК «Центр лабораторного анализа и технических измерений», минерализация стока р. Победной по течению реки изменяется от 2,5 до 6,0 г/л, причем содержание сульфатов колеблется от 1,5 до 2 ПДК, а хлоридов – от 3,4 до 6,6 ПДК. Использование данной воды без предварительной водоподготовки с высокой долей вероятности приведет к накоплению в почве токсичных солей и окажет негативное воздействие на развитие сельскохозяйственных культур.

Среди водотоков Крымского региона в качестве источника оросительной воды чаще всего используется р. Салгир. На ее долю приходится около 40 % разрешений, полученных на право пользования водными объектами, расположенными в степной зоне Крыма, для мелиорации земель. Минерализация воды данного водотока изменяется по течению реки от 0,2 до 0,8 г/л. По солевому составу она относится к I и II классу качества, т. е. при ее использовании для целей орошения риск развития почвенного засоления отсутствует или очень незначительный.

В период с 2019 по 2021 г. из водотоков и наполняемых за счет поверхностного и речного стока прудов, расположенных в степной зоне Крыма, для полива сельскохозяйственных культур отбиралось около 4,1 млн м³ воды (25 % от общего водозабора на орошение), до перекрытия внешнего водоисточника (2011–2013 гг.) данный показатель не превышал 0,5 млн м³ воды.

На перспективу следует отметить, что интенсивное восстановление поливных земель за счет днепровской воды будет способствовать формированию на территории Красногвардейского, Нижнегорского и Советского районов коллекторно-дренажного стока, водоприемником которого высту-

пает р. Салгир, а это в свою очередь приведет к повышению минерализации водных ресурсов данного водотока. Кроме того, необходимо учесть тот факт, что в речном стоке вследствие существенной антропогенной нагрузки, оказываемой на данные водные объекты, периодически фиксируется высокое содержание неспецифических веществ (тяжелых металлов, нефтепродуктов и т. п.), которые могут привести к загрязнению почв и накапливаться в возделываемых культурах.

Подземные воды представляют собой важнейший природный ресурс региона. Их значимость для устойчивого развития сельскохозяйственной отрасли степной зоны Крыма в период с 2014 по 2021 г. значительно возросла. В среднем за последние 3 года на данный вид водоисточника приходилось около 70 % от общего забора воды для целей орошения. В период с 2014 по 2020 г. в эксплуатацию было введено более 100 скважин, в т. ч. в районах, где ранее подземные воды не использовались для полива сельскохозяйственных культур, так как в большинстве случаев имели минерализацию выше 1 г/л (таблица 1).

Таблица 1 – Наличие на территории степной зоны Крыма скважин, используемых для орошения

В шт.

Table 1 – Availability of wells used for irrigation on the territory of the steppe zone of Crimea

In pcs

Район	Наличие скважин	
	2013 г.	2021 г.
Джанкойский	15	33
Кировский	0	1
Красногвардейский	1	47
Красноперекоский	0	8
Ленинский	2	1
Нижнегорский	62	23
Первомайский	0	33
Раздольненский	0	14
Сакский	22	20
Советский	6	1
Черноморский	24	10

По осредненным за последние 3 года данным, наибольшее количество земель, орошаемых из подземных водоисточников, сосредоточено на территории Красногвардейского (2492 га), Сакского (2015 га) и Первомайского (1410 га) районов. Следует отметить, что по ряду скважин этих территориальных образований вода характеризуется как слабо- и маломинерализованная. Рассмотрим данную проблему на примере трех обозначенных выше районов. На рисунке 3 представлена градация территорий данных административных образований по осредненному содержанию солей в подземных водах водозаборов сельских поселений, составленная на основе анализа открытых информационных данных, которые представлены на сайтах муниципальных образований и организаций, осуществляющих эксплуатацию скважин.

Наиболее неблагоприятная обстановка складывается в Первомайском районе. На территории данного административного образования согласно результатам проведенной в ходе исследования оценки по почвенно-мелиоративной классификации подземные воды относятся в основном к IV классу качества по возможности развития общего засоления. В целом использование данной категории вод согласно предварительным результатам оценки их химического состава может привести к развитию неблагоприятных почвенных процессов и негативно повлиять на рост и формирование сельскохозяйственных культур.

Следует отметить, что анализ статистических данных, отражающих производство растениеводческой продукции на территории одного из хозяйств Первомайского района, 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 (таблица 2).

Содержание водорастворимых солей в оросительной воде, используемой на территории данного хозяйства на момент обследования, колебалось от 1 до 2,8 г/л. Более детальная информация о химическом составе водных ресурсов приведена в таблице 3.

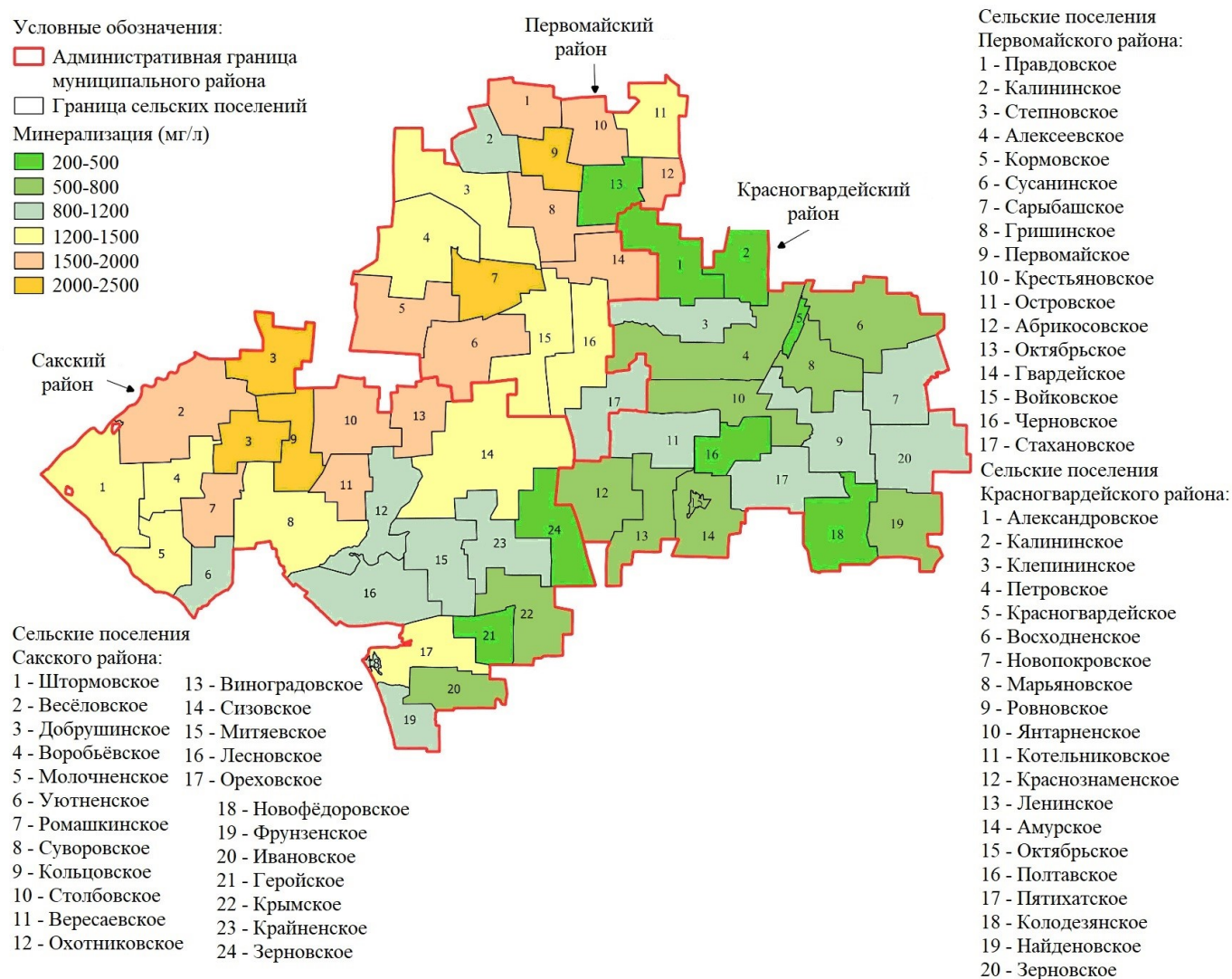


Рисунок 3 – Картосхема градации территории Красногвардейского, Первомайского и Сакского районов по содержанию солей в эксплуатируемых подземных водозаборах
Figure 3 – Schematic map of the gradation of the territory of Krasnogvardeysky, Pervomaysky and Saki districts in terms of salt content in operated groundwater intakes

**Таблица 2 – Урожайность сельскохозяйственных культур
на орошаемых землях Республики Крым**

**Table 2 – Agricultural crop yields on irrigated lands of the Republic
of Crimea**

Культура	Территориальный уровень	Урожайность, ц/га				Критерий Стьюдента	
		2018	2019	2020	2021	t	$t_{0,05}$
Кукуруза на зерно	Хозяйство	70,0	66,8	60,0	102,0	0,82	2,45
	Республика Крым	61,8	71,6	64,1	61,5		
Кукуруза молочно-восковой спелости	Хозяйство	88,7	250,0	306,8	198,5	–0,24	2,45
	Республика Крым	120,7	240,0	263,6	293,7		
Овощи	Хозяйство	200,7	212,3	299,7	279,8	0,78	2,45
	Республика Крым	197,4	235,0	243,8	221,3		
Картофель	Хозяйство	95,7	130,0	109,8	112,0	–1,65	2,45
	Республика Крым	274,4	140,0	142,9	147,0		
Рапс озимый	Хозяйство	51,3	41,9	40,2	41,2	0,75	2,45
	Республика Крым	51,3	37,1	34,3	34,8		

Таблица 3 – Результаты анализов проб воды

Table 3 – Sampling data analyzes

Показатель	СКК (дневная вода)	Подземные водозаборы по районам					ПДК
		Красно-перекосский	Первомайский		Сакский	Ленинский	
pH	7,6	6,9	8,4	8,2	7,1	7,8	6,0–9,0
ЕС, мСм/см	0,5	1,8	1,9	5,5	2,2	15,8	н/н
Солевой состав, мг/л:							
HCO_3^-	195,2	219,6	195,2	189,1	251,0	610,0	н/н
Cl^-	33,7	333,7	372,8	1143,1	284,0	2502,8	350,0
NO_3^-	7,5	19,0	20,4	46,5	н/о	н/о	45,0
Ca^{2+}	54,0	150,0	136,0	344,4	218,0	556,0	н/н
Mg^{2+}	12,5	47,4	130,0	148,2	31,6	665,8	50,0
Na^+	21,9	216,2	241,5	740,6	184,0	1621,0	200,0
Тяжелые металлы, мг/л:							
Pb	< 0,004	< 0,004	< 0,004	< 0,004	< 0,004	< 0,004	0,010
Cu	0,003	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	0,004	1,000
Cd	< 0,0005	< 0,0005	< 0,0005	< 0,0005	< 0,0005	< 0,0005	0,001
Zn	< 0,001	0,011	0,020	0,006	0,042	0,003	5,000
Fe	0,023	0,095	0,020	0,026	0,052	< 0,002	0,300
Примечание – Н/н – не нормируется; н/о – не определялось.							

В пользу использования ограниченно пригодных вод для целей орошения свидетельствуют и результаты фитотестирования, проведенного на семе-

нах редиса и кукурузы – культур, которые в соответствии с классификацией В. А. Ковды относятся к группам соленеустойчивых и среднесоленеустойчивых соответственно [20]. Для его проведения были отобраны воды различной минерализации из системы СКК, скважин, используемых для полива сельскохозяйственных культур на территории Красноперекского, Первомайского и Сакского районов, и колодца в Ленинском районе, ранее применявшегося для полива приусадебного участка. Результаты проведенных химических анализов приведены в таблице 3.

Согласно СанПиН 1.2.3685-21 в днепровской воде не было зафиксировано превышения ПДК загрязняющих веществ. В подземных водах к основным показателям, не соответствующим нормативным требованиям, относятся содержание хлоридов, магния и натрия. По тяжелым металлам ни в одной пробе не было зафиксировано превышение ПДК загрязняющих веществ.

Ниже в таблице 4 приведены результаты оценки пригодности воды по солевому составу.

Таблица 4 – Оценка ирригационного качества воды по почвенно-мелиоративной классификации

Table 4 – Evaluation of irrigation water quality according to soil-reclamation classification

Источник воды	Класс воды по опасности развития процессов				
	общего засоления	хлоридного засоления	натриевого осолонцевания	магниевое осолонцевания	содообразования
СКК	I	I	I	I	I
Скважина в Красноперекском районе	III	III	III	I	I
Скважины в Первомайском районе	III	VI	III	III	I
	VI	VI	III	II	I
Скважина в Сакском районе	III	III	II	I	I
Колодец в Ленинском районе	VI	VI	VI	III	I

Согласно результатам предварительной оценки пробы воды, отобранные из подземных водоисточников, по солевому составу относятся

к III и VI классам качества, т. е. их использование в перспективе может привести к ухудшению мелиоративной обстановки на поливных участках и снижению урожайности сельскохозяйственных растений.

Ниже на рисунке 4 приведены результаты лабораторных опытов по оценке токсичности воды для развития семян редиса и кукурузы. Полученные результаты фитотестирования показали, что использование вод с содержанием солей до 2,8 г/л (5,5 мСм/см) не привело к формированию ингибирующего эффекта на семенах редиса и кукурузы. Наоборот, длина проросших корней превышала контроль (только по одной пробе данный показатель был получен менее 100 %, что, вероятнее всего, обосновано содержанием в воде не определявшихся в ходе исследования поллютантов). Это обосновано тем, что для развития растений необходимы питательные вещества, которые отсутствуют в дистиллированной воде. По мнению ряда ведущих ученых (А. Н. Костякова, С. Я. Бездниной и др.), минимальная минерализация оросительной воды должна составлять 0,2 г/л [17, 21].

Хотя результаты проведенного фитотестирования свидетельствуют о целесообразности использования ограниченно пригодных вод (содержание водорастворимых солей до 3 г/л) для целей орошения некоторых видов среднесоленеустойчивых и соленеустойчивых культур, статистическая обработка с использованием критерия Стьюдента (таблица 5) на примере опытного хозяйства Первомайского района показала, что при возделывании редиса целесообразно в качестве источника воды использовать СКК, а для кукурузы – скважины.

Обоснование выбора источника поливной воды в Крымском регионе после возобновления поставок водных ресурсов р. Днепр является комплексной задачей. При ее решении, кроме результатов фитотестирования и анализа статистической информации об урожайности сельскохозяйственных культур, предварительной оценки пригодности воды для полива, необходимо учесть климатические и почвенные условия, дренируемость

территории, водность источника, предполагаемые способ полива и перечень культур. Кроме того, в случае использования ограниченно пригодных вод необходимо вести обязательные мониторинговые наблюдения за состоянием почвы с целью своевременного выявления и предупреждения дальнейшего развития таких неблагоприятных процессов, как засоление, осолонцевание, содообразование.

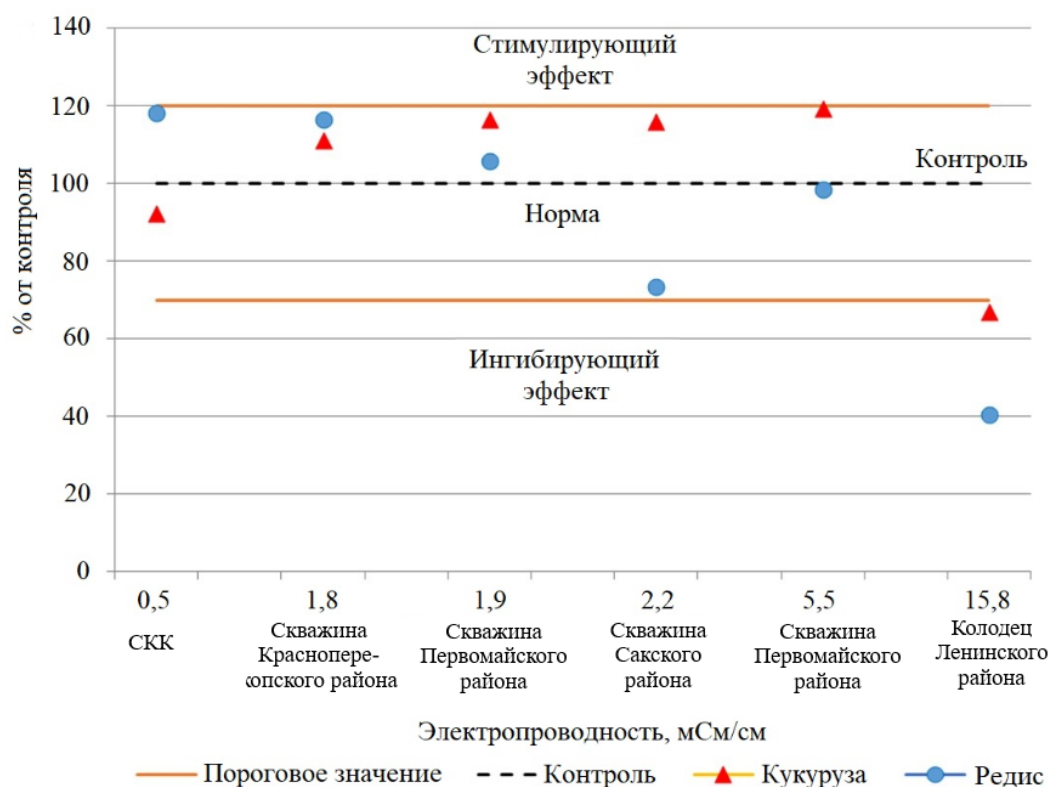


Рисунок 4 – Результаты фитотестирования семян редиса и кукурузы с использованием вод различной минерализации

Figure 4 – Results of phytotesting of radish and corn seeds using water of different salinity

Таблица 5 – Результаты статистической обработки опытных данных по оценке токсичности воды для семян редиса и кукурузы

Table 5 – Results of statistical processing of experimental data on water toxicity assessment for radish and corn seeds

Куль- тура	Источник воды	Длина корней, мм			Количе- ство об- разцов	Критерий Стьюдента	
		средняя	максимальная	минимальная		t	$t_{0,05}$
Редис	СКК	35	63	5	48	-2,42	2,01
	скважина	28	60	3	48		
Куку- руза	СКК	30	57	5	33	2,87	2,00
	скважина	37	62	8	34		

Выводы. В ходе проведения исследования были сделаны следующие выводы:

- в настоящее время наиболее перспективным с точки зрения качества и количества водных ресурсов источником воды является система СКК. Однако ее эффективное использование сдерживается техническим состоянием водотранспортирующих, распределяющих веток, насосно-силового оборудования, запорно-регулирующей арматуры;

- исходя из анализа статистической информации об урожайности сельскохозяйственных культур и результатов фитотестирования ограниченно пригодные воды можно использовать для целей орошения в Крыму, однако при этом необходимо вести обязательные мониторинговые наблюдения за состоянием почвы с целью своевременного выявления и предупреждения ухудшения мелиоративной обстановки.

Список источников

1. 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.
2. 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.
3. 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.
4. Mojid M. A., Acharjee T. K. Efficacy of monsoon rainfall in salt leaching through a field soil after wheat cultivation under saline water irrigation // *Environmental Control in Biology*. 2013. Vol. 51, iss. 1. P. 35–39. DOI: 10.2525/ecb.51.35.
5. Interaction effect of water magnetization and water salinity on yield, water productivity and morpho-physiological of Balkiz bean (*Phaseolus vulgaris*) / M. Alsuvaid, Y. Demir, M. S. Kiremit, H. Arslan // *Gesunde Pflanzen*. 2022. Vol. 74, iss. 3. 00606. DOI: 10.1007/s10343-021-00606-x.
6. Mahmood S., Usman M. Consequences of magnetized water application on maize seed emergence in sand culture // *Journal of Agricultural Science and Technology*. 2014. Vol. 16, iss. 1. P. 47–55.
7. 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.
8. Слабунова А. В., Арискина Ю. Ю. Оценка пригодности очищенных хозяй-

ственно-бытовых сточных вод КОС «Кадамовские» для орошения // Природообустройство. 2022. № 4. С. 42–49. DOI: 10.26897/1997-6011-2022-4-42-49.

9. Сурувикина А. П., Слабунова А. В. Отечественный опыт использования хозяйственно-бытовых сточных вод // Экология и водное хозяйство [Электронный ресурс]. 2022. Т. 4, № 2. С. 32–48. URL: <http://www.rosniipm-sm1.ru/article?n=139> (дата обращения: 01.03.2023). DOI: 10.31774/2658-7890-2022-4-2-32-48.

10. Ляшков М. А., Арискина Ю. Ю. Зарубежный опыт применения хозяйственно-бытовых сточных вод для целей орошения // Экология и водное хозяйство [Электронный ресурс]. 2022. Т. 4, № 2. С. 15–31. URL: <http://www.rosniipm-sm1.ru/article?n=138> (дата обращения: 01.03.2023). DOI: 10.31774/2658-7890-2022-4-2-15-31.

11. Иванютин Н. М., Волкова Н. Е. Использование сточных вод – экологическая безопасность Крыма // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология. 2021. № 4. С. 69–76. DOI: 10.17308/geo.2021.4/3752.

12. Водные ресурсы – основа устойчивого развития Крыма: коллективная монография / 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. Симферополь: Ариал, 2022. 216 с.

13. Республика Крым в цифрах. 2013. Симферополь: Крымстат, 2014. 200 с.

14. Статистический ежегодник. Республика Крым. 2021. Симферополь: Крымстат, 2022. 379 с.

15. Попович В. В., Дунаева Е. А., Вечерков В. В. Цифровые подходы к мониторингу развития сельских территорий на уровне районов Крыма // Таврический вестник аграрной науки. 2022. № 4(32). С. 181–192.

16. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания [Электронный ресурс]: СанПиН 1.2.3685-21. URL: <https://docs.cntd.ru/document/573500115> (дата обращения: 16.02.2023).

17. Безднина С. Я. Научные основы оценки качества воды для орошения: монография. Рязань: РГАТУ; Мещ. науч.-техн. центр, 2013. 171 с.

18. Пат. 2492473 Российская Федерация, МПК G 01 N 33/18. Способ биотестирования по проращиванию семян / Мазуркин П. М., Евдокимова О. Ю.; заявитель и патентообладатель Мар. гос. техн. ун-т. № 2011123406/15; заявл. 08.06.11; опубл. 10.09.13, Бюл. № 25. 22 с.

19. Климатический атлас Крыма. Приложение к научно-практическому дискуссионно-аналитическому сборнику «Вопросы развития Крыма». Симферополь: Таврия-Плюс, 2000. 120 с.

20. Классификация почв по степени и качеству засоления в связи с солеустойчивостью растений / В. А. Ковда, В. В. Егоров, В. С. Муратова, Б. П. Строганов // Ботанический журнал. 1960. Т. 45, № 8. С. 1123–1131.

21. Костяков А. Н. Основы мелиораций. М.: Кн. по требованию, 2014. 746 с.

References

1. 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, 107405, DOI: 10.1016/j.ag-wat.2021.107405.

2. 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, 107347, DOI: 10.1016/j.agwat.2021.107347.

3. 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.

4. Mojid M.A., Acharjee T.K., 2013. Efficacy of monsoon rainfall in salt leaching through a field soil after wheat cultivation under saline water irrigation. Environmental Control in Biology, vol. 51, iss. 1, pp. 35-39, DOI: 10.2525/ecb.51.35.

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

6. Mahmood S., Usman M., 2014. Consequences of magnetized water application on maize seed emergence in sand culture. Journal of Agricultural Science and Technology, vol. 16, iss. 1, pp. 47-55.

7. 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.

8. Slabunova A.V., Ariskina Yu.Yu., 2022. *Otsenka prigodnosti ochishchennykh khozyaystvenno-bytovykh stochnykh vod KOS "Kadamovskie" dlya orosheniya* [Assessment of the suitability of treated domestic wastewater of the Kadamovskie WWTP for irrigation]. *Prirodoobustroystvo* [Environment Engineering], no. 4, pp. 42-49, DOI: 10.26897/1997-6011-2022-4-42-49. (In Russian).

9. Surovikina A.P., Slabunova A.V., 2022. [Domestic practices in using household wastewater]. *Ekologiya i vodnoe khozyaystvo*, vol. 4, no. 2, pp. 32-48, available: <http://www.rosniipm-sm1.ru/article?n=139> [accessed 01.03.2023], DOI: 10.31774/2658-7890-2022-4-2-32-48. (In Russian).

10. Lyashkov M.A., Ariskina Yu.Yu., 2022. [Foreign practices in using domestic wastewater for irrigation]. *Ekologiya i vodnoe khozyaystvo*, vol. 4, no. 2, pp. 15-31, available: <http://www.rosniipm-sm1.ru/article?n=138> [accessed 01.03.2023], DOI: 10.31774/2658-7890-2022-4-2-15-31. (In Russian).

11. Ivanyutin N.M., Volkova N.E., 2021. *Ispol'zovanie stochnykh vod – ekologicheskaya bezopasnost' Kryma* [The use of wastewater - the environmental safety of Crimea]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geografiya. Geoekologiya* [Proceedings of Voronezh State University. Series: Geography. Geoecology], no. 4, pp. 69-76, DOI: 10.17308/geo.2021.4/3752. (In Russian).

12. Vail 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., Kremensky V.I., Pashetsky V.S., Podovalova S.V., Popovich V.V., Tarasenko V.S., Umerova L.R., Yunchik Yu.A., 2022. *Vodnye resursy – osnova ustoychivogo razvitiya Kryma: kollektivnaya monografiya* [Water Resources – the Basis for the Sustainable Development of the Crimea: collective monograph]. Simferopol, Arial Publ., 216 p. (In Russian).

13. *Respublika Krym v tsifrakh. 2013* [The Republic of Crimea in Numbers. 2013]. Simferopol, Krymstat Publ., 2014, 200 p. (In Russian).

14. *Statisticheskii ezhegodnik. Respublika Krym. 2021* [Statistical Yearbook. The Republic of Crimea. 2021]. Simferopol, Krymstat, 2022, 379 p. (In Russian).

15. Popovich V.V., Dunaeva E.A., Veчерkov V.V., 2022. *Tsifrovyye podkhody k monitoringu razvitiya sel'skikh territoriy na urovne rayonov Kryma* [Digital approaches to monitoring the rural areas development at the regional level of Crimea]. *Tavricheskiy vestnik agrarnoy nauki* [Tauride Bulletin of Agrarian Science], no. 4(32), pp. 181-192. (In Russian).

16. *Gigiyenicheskie normativy i trebovaniya k obespecheniyu bezopasnosti i (ili) bezvrednosti dlya cheloveka faktorov sredy obitaniya* [Hygienic standards and requirements for

ensuring the safety and (or) harmlessness of environmental factors for humans]. Sanitary Rules and Normatives 1.2.3685-21, available: <https://docs.cntd.ru/document/573500115> [accessed 16.02.2023]. (In Russian).

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

18. Mazurkin P.M., Evdokimova O.Yu., 2013. *Sposob biotestirovaniya po prorashchivaniyu semyan* [The Method of Biotesting on Seed Germination]. Patent RF, no. 2492473. (In Russian).

19. *Klimaticheskiy atlas Kryma. Prilozhenie k nauchno-prakticheskomu diskussionno-analiticheskomu sborniku "Voprosy razvitiya Kryma"* [Climatic Atlas of Crimea. Supplement to the Scientific and Practical Discussion and Analytical Collection "Issues of the Development of the Crimea"]. Simferopol, Tavria-Plus Publ., 2000, 120 p. (In Russian).

20. Kovda V.A., Egorov V.V., Muratova V.S., Stroganov B.P., 1960. *Klassifikatsiya pochv po stepeni i kachestvu zasoleniya v svyazi s soleustoychivost'yu rasteniy* [Soil classification by the degree and quality of salinity as related to salt tolerance of plants]. *Botanicheskii zhurnal* [Botanical Journal], vol. 45, no. 8, pp. 1123-1131. (In Russian).

21. Kostyakov A.N., 2014. *Osnovy melioratsiy* [Fundamentals of Land Reclamation]. Moscow, Book on Demand Publ., 746 p. (In Russian).

Информация об авторах

Н. Е. Волкова – старший научный сотрудник;

С. В. Подовалова – младший научный сотрудник;

Ю. А. Юнчик – младший научный сотрудник;

А. А. Манжос – младший научный сотрудник.

Information about the authors

N. E. Volkova –Researcher;

S. V. Podovalova – Junior Researcher;

Ju. A. Yunchik – Junior Researcher;

A. A. Manjos – Junior Researcher.

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

Все авторы в равной степени несут ответственность при обнаружении плагиата, самоплагиата и других нарушений в сфере этики научных публикаций.

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

All authors are equally responsible for detecting plagiarism, self-plagiarism and other ethical violations in scientific publications.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 27.02.2023; одобрена после рецензирования 02.05.2023; принята к публикации 11.05.2023.

The article was submitted 27.02.2023; approved after reviewing 02.05.2023; accepted for publication 11.05.2023.