

Оригинальная статья  
УДК 631.67.03:626.81  
<https://doi.org/10.26897/1997-6011-2023-5-13-19>



## КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА ПРИГОДНОСТИ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ ДЛЯ ОРОШЕНИЯ

*Подовалова Светлана Владимировна, младший научный сотрудник;*

ORCID: 0000-0002-2823-797X; podovalovas@list.ru

*Волкова Наталья Евгеньевна, старший научный сотрудник;*

ORCID: 0000-0002-3146-652X; volkova.natalya12@yandex.com,

*Иванютин Николай Михайлович, научный сотрудник;*

ORCID: 0000-0001-8009-3857, redkolya@mail.ru

ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»; 295043, г. Симферополь, ул. Киевская, 150, Россия

**Аннотация.** Цель исследований – оценка пригодности водных ресурсов для орошения с использованием различных подходов. Перекрытие системы Северо-Крымского канала привело к усилению водного дефицита в Республике Крым. В результате для орошения стали использоваться ограниченно пригодные водные ресурсы. Для комплексного понимания последствий данного вида антропогенной деятельности необходимо оценивать качество воды с точки зрения ее негативного воздействия на растения, почву, элементы оросительных систем и техники полива. В статье приведено краткое описание наиболее применяемых в мировой и отечественной практике подходов к анализу пригодности водных ресурсов в целях орошения. На их основе, на примере конкретных водохозяйственных объектов, ресурсы которых используют или планируют использовать для полива, проведена комплексная оценка качества воды. В результате исследований установлено, что анализ пригодности водных ресурсов в целях орошения, основанный только на оценке их химического состава, не всегда позволяет получить однозначный ответ на вопрос о том, стоит ли их использовать для полива, так как на это дополнительно влияет ряд факторов: количество осадков, объем оросительной нормы, способ полива, тип почвы и др. Однако его результаты способствуют обоснованию действий, направленных на снижение/предупреждение негативных последствий применения в сельском хозяйстве воды, несоответствующего требованиям качества.

**Ключевые слова:** водные ресурсы, орошение, пригодность воды для полива, ирригационные коэффициенты

**Формат цитирования:** Подовалова С.В., Волкова Н.Е., Иванютин Н.М. Комплексная оценка пригодности водных ресурсов для орошения // Природообустройство. 2023. № 5. С. 13-19. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2023-5-13-19>

© Подовалова С.В., Волкова Н.Е., Иванютин Н.М., 2023

Original article

## COMPREHENSIVE ASSESSMENT OF THE SUITABILITY OF WATER RESOURCES FOR IRRIGATION

*Podovalova Svetlana Vladimirovna, junior researcher,*

ORCID: 0000-0002-2823-797X; podovalovas@list.ru

*Volkova Natalya Evgenievna, senior researcher,*

ORCID: 0000-0002-3146-652X; volkova.natalya12@yandex.com

*Ivanyutin Nikolay Mihaylovich, researcher,*

ORCID: 0000-0001-8009-3857, redkolya@mail.ru

FGBUN “Research institute of agriculture” of Crimea, 295043, Simferopol, Kievskaya str., 150, Russia

**Abstract.** Assessment of the suitability of water resources for irrigation purposes using various approaches. The closure of the North Crimean Canal system has led to an increase in water scarcity in the Republic of Crimea. As a result, limited usable water resources have been used for irrigation purposes. For a comprehensive understanding of the consequences of this type of anthropogenic activity, it is necessary to assess the quality of water in terms of its negative impact on plants, soil, elements

of irrigation systems and irrigation techniques. The article provides a brief description of the most widely used approaches in world and domestic practice to analyze the suitability of water resources for irrigation purposes. Based on them, on the example of specific water management facilities whose resources are used or are planned to be used for irrigation, a comprehensive assessment of water quality was carried out. As a result of the study, it was found that the analysis of the suitability of water resources for irrigation purposes, based only on the assessment of their chemical composition, does not always allow us to get an unambiguous answer to the question whether they should be used for irrigation, since this is further influenced by a number of factors: the amount of precipitation, the volume of irrigation norms, the method of irrigation, the type of soil and others. However, its results contribute to the justification of actions aimed at reducing / preventing the negative consequences of the use of water in agriculture that does not meet the quality requirements.

**Key words:** water resources, water quality, irrigation, water suitability for irrigation, irrigation coefficients

**Format of citation:** Podovalova S.V., Volkova N.E., Ivanyutin N.M. Comprehensive assessment of the suitability of water resources for irrigation // Prirodoobustrojstvo. 2023. No 5. P. 13-19. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2023-5-13-19>

**Введение.** Для получения стабильных урожаев, особенно в аридных зонах, требуется орошение, что в свою очередь сдерживается наличием достаточного количества водных ресурсов хорошего качества. В результате для этих целей используют ограниченно пригодные воды. Однако их применение может нести урон сельскохозяйственной деятельности в виде снижения урожайности возделываемых культур, развития деградационных почвенных процессов, разрушения/закупорки элементов оросительной техники и оборудования. Поэтому для предотвращения негативных последствий необходимо проводить оценку качества оросительной воды и на ее основе разрабатывать и реализовывать мероприятия, направленные на их предупреждение/сглаживание.

На протяжении более 100 лет ученые создавали и совершенствовали подходы к оценке пригодности воды для проведения поливов. При этом особое внимание уделялось таким неблагоприятным последствиям использования воды плохого качества, как развитие процессов засоления и осолонцевания почвы, снижение урожайности сельскохозяйственных культур [1-5].

Следует отметить, что в настоящее время существует множество методов и подходов к оценке пригодности водных ресурсов для целей орошения, причем использовать их целесообразно в комплексе. В большинстве случаев они являются взаимодополняемыми и позволяют учесть несколько возможных негативных последствий, обусловленных применением ограниченно пригодных вод.

Исходя из вышеизложенного была сформулирована цель исследований, заключающаяся в проведении комплексной оценки пригодности ограниченно пригодных водных ресурсов для

целей орошения с использованием различных методов.

#### **Материалы и методы исследований.**

В качестве объектов исследований рассматривались скважины и колодцы, воды которых относятся к категории ограниченно пригодных, используются или находятся в плане использования в целях орошения. В ходе выполнения работ были проведены:

– анализ подходов и методов оценки качества водных ресурсов с точки зрения их воздействия на урожайность возделываемых культур, почву, элементы оросительных систем, средства и технику полива и выделение среди них наиболее часто используемых;

– отбор образцов подземных вод и проведение их расширенного химического анализа в сертифицированной лаборатории ФГБУН «НИИСХ Крыма»;

– комплексная оценка пригодности изучаемых водных ресурсов для целей орошения;

– разработка предложений по обеспечению экологической безопасности орошения с использованием ограниченно пригодных вод оцененного качества.

**Результаты и их обсуждение.** Прекращение поставок днепровской воды в Крым привело к более интенсивному использованию в целях орошения местных водоисточников включая подземные водозаборы. В результате за 2014-2021 гг. было пробурено более 100 скважин, в том числе в районах, подземные водные ресурсы которых в большинстве случаев классифицируются как ограниченно пригодные (Красноперекопское, Ленинское, Первомайское, Сакское, Раздольненское, Черноморское муниципальные образования) [6]. На перспективу нельзя допустить, чтобы их применение привело к деградации

почвенных ресурсов, поэтому в ходе текущего исследования была предпринята попытка на примере реальных водохозяйственных объектов, используемых или планируемых к использованию для орошения, оценить возможные негативные последствия данного вида антропогенной деятельности.

Образцы подземных вод были отобраны из скважин и колодцев на территории Красноперкопского, Ленинского, Сакского и Первомайского районов. В таблице 1 приведены результаты оценки их солевого состава.

Разработкой методов к оценке пригодности воды для целей орошения занимались А.Н. Костяков, С.Я. Безднина, И.Н. Антипов-Каратаев, Г.М. Кадер, А.М. Можейко, Т.К. Воротник, Т.А. Bauder, I. Szaboles, C. Darab, L.A. Richards, L.D. Doneen, J.W. Ryner, L.V. Wilcox и др. Одни из предложенных ими подходов дублируют друг друга, а другие дополняют [1-5, 7-10]. К примеру, классификации, предложенные А.Н. Костяковым и Т.А. Bauder и основанные на анализе таких показателей, как электропроводность и минерализация воды, направлены на оценку возможности развития процесса почвенного засоления [1, 3].

К наиболее широко используемым в зарубежной и отечественной практике подходам, отражающим все возможные виды негативного воздействия на почву, элементы оросительных систем, поливной техники и оборудования, относятся: классификация по электропроводности; коэффициенты поглощения магния, адсорбции натрия, остаточного карбоната натрия, коррозии; индексы потенциальной солености, проницаемости и дренажной способности почвы [11-20]. Кратко рассмотрим каждый из них.

1. *Классификация по электропроводности воды* является совместной разработкой Т.А. Bauder, R.M. Waskom, P.L. Sutherland, J.G. Davis. Использование данного подхода позволяет оценить

возможность как развития процесса почвенного засоления, так и угнетения растений. В соответствии с данной классификацией выделено 5 диапазонов, отражающих пригодность воды для орошения по электропроводности: < 0,25 (отличная); 0,25-0,75 (хорошая); 0,75-2,0 (допустимая); 2,0-3,0 (сомнительная); > 3,0 мСм/см (непригодная) [3]. Применение этого подхода получило широкое распространение благодаря своей простоте и возможности в полевых условиях дать заключение о качестве водных ресурсов.

2. *Коэффициент поглощения магния.* Данный метод был совместно разработан I. Szaboles и C. Darab в 1964 г. Коэффициент поглощения магния (МН) рассчитывается на основе уравнения (1):

$$MH = \frac{Mg^{2+}}{Ca^{2+} + Mg^{2+}} \times 100\%, \quad (1)$$

где  $Mg^{2+}$  – содержание катионов магния, мг-экв/л;  $Ca^{2+}$  – содержание катионов кальция, мг-экв/л.

I. Szaboles и C. Darab по величине коэффициента поглощения магния выделили два класса: при МН < 50% вода является пригодной для орошения, при МН > 50% – непригодной [9]. На практике использование данного метода позволяет оценить опасность развития магниевого осолонцевания почвы, особенно в степной, сухостепной, полупустынной и пустынной зонах.

3. *Коэффициент адсорбции натрия.* Данный метод был разработан в США в 1954 г. и предназначен для оценки возможности развития натриевого осолонцевания почвы. Коэффициент адсорбции натрия (SAR) рассчитывается следующим образом:

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

где  $Na^+$  – содержание катионов натрия, мг-экв/л.

Таблица 1. Солевой состав отобранных проб воды

Table 1. Salt composition of the selected water samples

№ пробы, место расположения <i>Sample number, location</i>	ЕС, мСм/см ЕС, mS/sm	Концентрация ионов, мг/дм <sup>3</sup> / Ion concentration, mg/dm <sup>3</sup>						
		анионы / anions			катионы / cations			
		HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>
1. Красноперкопский район с. Вишневка <i>Krasnoperekopsky district, village Vishnevka</i>	1,9	219,6	333,7	377,0	150,0	47,4	2,9	216,2
2. Ленинский районс. Чистополье <i>Leninsky district, village Chistopolye</i>	15,8	610,0	1502,8	3486,4	556,0	665,8	6,4	1621,0
3. Сакский район с. Червоное <i>Saksky district, village Chervonoye</i>	2,1	164,7	284,0	450,3	190,0	31,6	но*	184,0
4. Первомайский район с. Правда <i>Pervomaisky district, village Pravda</i>	5,5	189,1	1143,1	908,1	344,4	148,2	но	740,6

В соответствии с данным методом по величине SAR выделено 4 класса качества воды: < 10 (неопасная); 10-18 (опасность средняя); 18-26 (опасность высокая); > 26 (опасность очень высокая) [4].

4. *Остаточный карбонат натрия.* Данный коэффициент также был разработан американскими специалистами в 1954 г. [4] и используется для оценки избытка  $\text{CO}_3^-$  и  $\text{HCO}_3^-$  в отношении  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{Mg}^{2+}$ , что вызывает развитие процессов содообразования в почве. Остаточный карбонат натрия (RSC) рассчитывается на основе уравнения (3):

$$RSC = (\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^-) - (\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}), \quad (3)$$

где  $\text{HCO}_3^-$  и  $\text{CO}_3^-$  – содержание анионов гидрокарбонатов и карбонатов соответственно, мг-экв/л.

В соответствии с данным методом выделено 3 класса качества воды: < 1,25 (безопасная); 1,25-2,5 (не совсем подходящая); > 2,5 мг-экв/л (опасная).

5. *Индекс проницаемости и дренажной способности почвы.* Данный показатель был предложен L.D. Doneen в 1964 г. [5]. Его использование на практике позволяет комплексно учесть сочетание возможного негативного воздействия на почву таких факторов, как высокое содержание в воде ионов натрия, магния и гидрокарбонатов. Индекс проницаемости и дренажной способности почвы (PI) рассчитывается по формуле (4):

$$PI = \frac{\text{Na}^+ + \sqrt{\text{HCO}_3^-}}{\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{Na}^+} \times 100\%. \quad (4)$$

В соответствии с величиной данного коэффициента выделено 3 класса качества оросительной воды: > 75% (пригодная); 75-25% (хорошая); < 25% (непригодная).

6. *Индекс потенциальной солености (PS)* также был разработан L.D. Doneen [5]. Особенность данного коэффициента заключается в том,

что учитывается состав растворенных в воде солей. Расчет показателя производится по формуле (5):

$$PS = \text{Cl}^- + \frac{1}{2} \text{SO}_4^{2-}, \quad (5)$$

где  $\text{Cl}^-$  и  $\text{SO}_4^{2-}$  – содержание анионов хлоридов и сульфатов соответственно, мг-экв/л.

Применение на практике индекса потенциальной солености позволяет оценить возможность накопления в почве токсичных солей. В соответствии с данным методом по величине PS выделено 3 класса качества воды: < 3,0 мг-экв/дм<sup>3</sup> (хорошее); 3,0-5,0 (вредное); > 5 мг-экв/дм<sup>3</sup> (неудовлетворительное).

7. *Коэффициент коррозии (CR)* был предложен J.W. Ryner в 1944 г. [10]. С его помощью оценивается коррозионная активность воды по отношению к материалу, из которого изготовлены элементы оросительных сетей, поливной техники и оборудования. Коэффициент коррозии (CR) рассчитывается по формуле (6):

$$CR = \frac{\text{Cl}^-}{35,5} + 2 \times \left( \frac{\text{SO}_4^{2-}}{96} \right) \times \left( \frac{\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-}}{100} \right), \quad (6)$$

где  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$  и  $\text{CO}_3^{2-}$  – содержание анионов хлоридов, сульфатов, гидрокарбонатов и карбонатов соответственно, мг/л.

Согласно классификации по данному показателю выделено 2 категории вод: безопасные для транспортировки по трубам любого типа (CR < 1) и коррозионно активные (CR > 1).

Результаты оценки пригодности отобранных образцов воды в целях орошения по приведенным выше методикам представлены в таблице 2.

Из результатов произведенных расчетов следует, что вода, отобранная из колодца в Ленинском районе, однозначно не подходит для орошения. В отношении оставшихся трех

Таблица 2. Результаты оценки пригодности вод различного качества для целей орошения  
Table 2. Results of the assessment of the suitability of waters of various quality for irrigation purposes

№ пробы, место расположения Sample number, location	Коэффициенты / coefficients						
	ЕС, мСм/см EC, mS/cm	МН, %	SAR	RSC, мг-экв./л RSC, mg-eq./l	PI, %	PS, мг-экв./л PS, mg-eq./l	CR
1. Красноперекоский район с. Вишневка Krasnoperekopsky district, village Vishnevka	1,9	34,2	3,9	-7,9	54,2	13,3	3,9
2. Ленинский район с. Чистополе Leninsky district, village Chistopolye	15,8	66,4	11,0	-72,5	48,1	78,8	9,4
3. Сакский район с. Червоное Saksky district village Chervonoye	2,1	22,0	3,3	-9,4	48,0	12,7	10,3
4. Первомайский район с. Правда Pervomaisky district, village Pravda	5,5	41,5	6,7	-26,3	55,1	41,7	37,3

проб складывается неоднозначная ситуация. Их использование может с высокой долей вероятности привести к развитию общего засоления, накоплению токсичных солей, и как следствие – к снижению урожайности сельскохозяйственных культур. Особенно это касается пробы воды, отобранной в Первомайском районе. Следовательно, при применении данных водных ресурсов для целей орошения на эксплуатируемых участках необходимо вести регулярные мониторинговые наблюдения за состоянием почвы и в случае выявления развития негативных процессов разрабатывать и реализовывать мероприятия по их устранению. Кроме того, при обосновании выбора способа полива целесообразно отдавать предпочтение капельному орошению, что позволит: свести к минимуму контакт между поливной водой и поверхностью растений; сократить площадь поля, подвергающуюся интенсивному процессу засоления; уменьшить протяженность участков металлических водопроводящих труб, чувствительных к коррозионному воздействию.

Комплексная оценка пригодности воды для целей орошения не всегда позволяет получить однозначный ответ на вопрос о том, стоит ли ее использовать для полива, так как на это дополнительно влияет ряд факторов: количество осадков, объем оросительной нормы, способ полива, тип почвы и др. В качестве примера в таблице 3 приведены результаты оценки солевого состава образцов почвы, отобранных в 2022-2023 гг. с пилотного участка на территории Сакского района, поливаемого ограниченно пригодной водой (проба 3).

Из данных таблицы 3 следует, что в 2023 г. было зафиксировано существенное в сравнении с 2022 г. сокращение содержания токсичных солей в почве. Согласно результатам статистической обработки величина средней ошибки разности, составившей 5,93, больше граничного значения при 5%-ном уровне значимости, равного 2,31. Наиболее вероятной причиной этого может являться значительное количество осадков, выпавших с октября 2022 г. по июнь 2023 г. (305 мм), что превысило среднееголетнее значение за данный период в 1,2 раза.

**Таблица 3. Изменение содержания общих и токсичных солей в почве участка, поливаемого ограниченно пригодными водами, в 2022-2023 гг.**

**Table 3. Changes in the content of common and toxic salts in the soil of the site watered with suitable waters in 2022-2023**

Глубина отбора образцов, см <i>Sampling depth, cm</i>	Общее содержание солей, % <i>Total salt content, %</i>		Содержание токсичных солей, % <i>Content of toxic salts, %</i>	
	9.09.2022	11.06.2023	9.09.2022	11.06.2023
0-20	0,12	0,11	0,07	0,05
20-40	0,12	0,12	0,07	0,05
40-60	0,12	0,12	0,06	0,05
60-80	0,12	0,12	0,06	0,04
80-100	0,13	0,12	0,07	0,05

### Выводы

На основе проведенного исследования были сделаны следующие выводы.

При использовании для целей орошения ограниченно пригодных вод необходимо производить оценку их качественного состава. Для этого целесообразно использовать комплекс показателей, отражающий влияние данного вида антропогенной деятельности на почву, возделываемые сельскохозяйственные культуры, элементы водопроводящих оросительных систем, поливной техники и оборудования.

Несмотря на то, что анализ пригодности водных ресурсов для целей орошения, основанный только на оценке их химического состава, не всегда позволяет получить однозначный ответ на вопрос о том, стоит ли их использовать для полива, так как на это дополнительно влияет ряд факторов (количество осадков, объем оросительной нормы, способ полива, тип почвы и др.), его результаты способствуют обоснованию действий, направленных на снижение/предупреждение негативных последствий применения в сельском хозяйстве воды, несоответствующей требованиям качества.

**Исследование проведено в рамках государственной темы Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, рег. номер FNZW-2022-0002.**

*Information on the research work, the results of which are used to publish the article: the study 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.*

## Список использованных источников

1. **Костяков А.Н.** Основы мелиораций. М.: Книга по требованию, 2014. 746 с.
2. **Безднина С.Я.** Научные основы оценки качества воды для орошения: монография. Рязань: РГАТУ; Мещерский научно-технический центр, 2013. 171 с.
3. **Bauder T.A., Waskom R.M., Sutherland P.L., Davis J.G.** Irrigation water quality criteria. Colorado State University, USA // Irrigation paper of fact sheet. 2014. № 0.506. 4 p.
4. **Richards L.A.** Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils. Agriculture Handbook // United State Department of Agriculture: Washington, DC. USA, 1954. Vol. 78, № 60. 160 p.
5. **Doneen L.D.** Water quality for agriculture // Department of irrigation, University of California, Davis. 1964. 48 p.
6. **Волкова Н.Е., Подовалова С.В., Юнчик Ю.А., Манжос А.А.** Обоснование выбора источника оросительной воды в степной зоне Крыма // Мелиорация и гидротехника. 2013. Т. 13, № 2. С. 75-93. DOI: 10.31774/2712-9357-2023-13-2-75-93.
7. **Антипов-Каратаев И.Н., Кадер Г.М.** К мелиоративной оценке поливной воды, имеющей щелочную реакцию // Почвоведение. 1961. № 3. С. 60-65.
8. **Можейко А.М., Воротник Т.К.** Гипсование каштановых солонцеватых почв УССР, орошаемых минерализованными водами, как метод борьбы с солонцеванием этих почв // Труды Укр НИИП. 1958. № 3. С. 59.
9. **Szabolcs I., Darab C.** The influence of irrigation water of high sodium carbonate content on soils // Agrokemia es Talajtan. 1964. Vol. 13. Pp. 237-246.
10. **Ryner J.W.** A new index for determining amount of calcium carbonate scale formed by water // Journal American Water Association. 1944. Vol. 36. Pp. 472-486.
11. **Singh K.K., Tewari G., Kumar S.** Evaluation of groundwater quality for suitability of irrigation purposes: a case study in the Udham Singh Nagar, Uttarakhand // Hindawi journal of chemistry. 2020. Vol. 2. № 6924026.
12. **Naseem S., Hamza S., Bashir E.** Groundwater geochemistry of winder agricultural farms, Balochistan, Pakistan and assessment for irrigation water quality // European water. 2010. Iss. 31. Pp. 21-32.
13. **Guo H., Li M., Wang L., Wang Y., Zang X., Zhao X., Wang H., Zhu J.** Evaluation of groundwater suitability for irrigation and drinking purposes in an agricultural region of the north China Plain // Water. 2021. Vol. 13, № 3426. DOI: 10.3390/w13233426
14. **Новиков Д.А., Черных А.В., Дульцев Ф.Ф.** Особенности гидрогеологии верхнеюрских отложений юго-западных районов Крымского полуострова // Ученые записки Крымского федерального университета имени В.И. Вернадского. Серия «География. Геология». 2018. Т. 4 (70), № 4. С. 268-288.
15. **Baloch M.Y.J., Zhang W., Chai J., Li S., Alqurashi M., Rehman G., Tariq A., Talpur S.A., Iqbal J., Munir M.** Shallow groundwater quality assessment and its suitability analysis for drinking and irrigation purposes // Water. 2021. Vol. 13. № 3361.
16. **Subbarao M., Reddy M.R.** Groundwater quality assessment in Srikalahasthi Mandal, Chittoor district, Andhra Pradesh, South India // IOSR Journal of Engineering. 2018. Vol. 8, Iss. 8. Pp. 33-42.
17. **Sharma N., Vaid U., Sharma S.K.** Assessment of groundwater quality for drinking and irrigation purpose using hydrochemical studies in Dera Bassi town and its

## References

1. **Kostyakov A.N.** Fundamentals of land reclamation. Moscow, Book on Demand, 2014. 746 p.
2. **Bezdina S.Ya.** Scientific foundations of water quality assessment for irrigation: monograph. Ryazan: RGATU; Meshchersky scientific and technical center, 2013. 171 p.
3. **Bauder T.A., Waskom R.M., Sutherland P.L., Davis J.G.** Irrigation water quality criteria. Colorado State University, USA. Irrigation paper of fact sheet. 2014. № 0.506. 4 p.
4. **Richards L.A.** Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils. Agriculture Handbook. United State Department of Agriculture: Washington, DC. USA, 1954. Volume 78. № 60. 160 p.
5. **Doneen L.D.** Water quality for agriculture. Department of irrigation, University of California, Davis. 1964. 48 p.
6. **Volkova N.E., Podovalova S.V., Yunchik Yu.A., Manzhos A.A.** Substantiation of the choice of the source of irrigation water in the steppe zone of Crimea // Melioration and hydrotechnics. 2013. V. 13. № 2. S. 75-93. DOI: 10.31774/2712-9357-2023-13-2-75-93.
7. **Antipov-Karataev I.N., Kader G.M.** On the reclamation assessment of irrigation water with an alkaline reaction. Soil Science. 1961. No 3. P. 60-65.
8. **Mozhejko A.M., Vorotnik T.K.** Gypsum of chestnut saline soils of the Ukrainian SSR, irrigated by mineralized waters, as a method of combating salinization of these soils. 1958, № 3. P. 59.
9. **Szabolcs I., Darab C.** The influence of irrigation water of high sodium carbonate content on soils. Agrokemia es Talajtan. 1964. Volume 13. P. 237-246.
10. **Ryner J.W.** A new index for determining amount of calcium carbonate scale formed by water // Journal American Water Association. 1944. Volume 36. P. 472-486.
11. **Singh K.K., Tewari G., Kumar S.** Evaluation of groundwater quality for suitability of irrigation purposes: a case study in the Udham Singh Nagar, Uttarakhand. Hindawi journal of chemistry. 2020. Volume. 2. № 6924026.
12. **Naseem S., Hamza S., Bashir E.** Groundwater geochemistry of winder agricultural farms, Balochistan, Pakistan and assessment for irrigation water quality // European water. 2010. Issue 31. P. 21-32.
13. **Guo H., Li M., Wang L., Wang Y., Zang X., Zhao X., Wang H., Zhu J.** Evaluation of groundwater suitability for irrigation and drinking purposes in an agricultural region of the north China Plain. Water. 2021. Volume 13. No. 3426. DOI: 10.3390/w13233426
14. **Novikov D.A., Chernyh A.V., Dultsev F.F.** Features of hydrogeology of the Upper Jurassic deposits of the south-western regions of the Crimean peninsula // Scientific notes of the Crimean Federal University named after V.I. Vernadsky. Series: Geography. Geology. 2018, V. 4 (70). № 4. P. 268-288.
15. **Baloch M.Y.J., Zhang W., Chai J., Li S., Alqurashi M., Rehman G., Tariq A., Talpur S.A., Iqbal J., Munir M.** Shallow groundwater quality assessment and its suitability analysis for drinking and irrigation purposes. Water. 2021. Volume 13. № 3361.
16. **Subbarao M., Reddy, M.R.B.** Groundwater quality assessment in Srikalahasthi Mandal, Chittoor district, Andhra Pradesh, South India. IOSR Journal of Engineering. 2018. Volume 08. Issue 8. P. 33-42.
17. **Sharma N., Vaid U., Sharma S.K.** Assessment of groundwater quality for drinking and irrigation purpose using hydrochemical studies in Dera Bassi town and its

surrounding agricultural area of Dera Bassi Tehsil of Punjab, India // SN Applied Sciences. 2021. Vol. 3, № 245. DOI: 10.1007/s42452-021-04199-y

18. **Sarhat A.R.** Assessment of groundwater quality and its suitability for agricultural uses in Kifri // Journal of Garmian University. 2017. Vol. 4. Pp. 290-300. DOI: 10.24271/garmian.143

19. **Tripathi A.K., Mishra U.K., Mishra A., Tiwari S., Dubey P.** Studies of Hydrogeochemical in Groundwater Quality around Chakghat Area, Rewa District, Madhya Pradesh, India // International Journal of Modern Engineering Research. 2012. Vol. 2, Iss. 6. Pp. 405-4059.

20. **Edet A.E.** Hydrogeology and groundwater evaluation of a shallow coastal aquifer, southern Akwa Ibom State (Nigeria) // Applied Water Science. 2016. Vol. 7, Iss. 5. Pp. 2397-2412. DOI: 10.1007/s13201-016-0432-1.

#### **Критерии авторства / Authorship criteria**

Подвалова С.В., Волкова Н.Е., Иванютин Н.М. выполнили теоретические и экспериментальные исследования, на основании которых провели обобщение и написали рукопись. Подвалова С.В., Волкова Н.Е., Иванютин Н.М. имеют на статью авторское право и несут ответственность за плагиат.

Все авторы внесли равный вклад в подготовку публикации

#### **Конфликт интересов / Conflict of interest**

Авторы заявляют об отсутствии конфликтов интересов / The authors declare that there are no conflicts of interest

**Поступила в редакцию / Received** 12.04.2023

**Поступила после рецензирования / Received after peer review** 18.08.2023

**Принята к публикации / Accepted** 18.08.2023

surrounding agricultural area of Dera Bassi Tehsil of Punjab, India. SN Applied Sciences. 2021. Volume 3. No. 245. DOI: 10.1007/s42452-021-04199-y

18. **Sarhat A.R.** Assessment of groundwater quality and its suitability for agricultural uses in Kifri. Journal of Garmian University. 2017. Volume 4. P. 290-300. DOI: 10.24271/garmian.143

19. **Tripathi A.K., Mishra U.K., Mishra A., Tiwari S., Dubey P.** Studies of Hydrogeochemical in Groundwater Quality around Chakghat Area, Rewa District, Madhya Pradesh, India. International Journal of Modern Engineering Research. 2012. Volume 2, Issue 6. P. 4051-4059.

20. **Edet A.E.** Hydrogeology and groundwater evaluation of a shallow coastal aquifer, southern Akwa Ibom State (Nigeria). Applied Water Science. 2016. Volume 7, Issue 5. P. 2397-2412. DOI: 10.1007/s13201-016-0432-1.

Podovalova S.V., Volkova N.E., Ivanyutin N.M. carried out theoretical and experimental studies, on the basis of which they generalized and wrote the manuscript.

Podovalova S.V., Volkova N.E., Ivanyutin N.M. have a copyright on the article and are responsible for plagiarism.

All the authors made an equal contribution to the preparation of the publication