

МЕЛИОРАЦИЯ, ВОДНОЕ ХОЗЯЙСТВО И АГРОФИЗИКА

Научная статья

УДК 631.67.03:631.674.6:631.412

doi: 10.31774/2712-9357-2024-14-4-81-97

Влияние капельного орошения ограниченно пригодными водами на солевой состав темно-каштановой почвы

Наталья Евгеньевна Волкова¹, Светлана Владимировна Подовалова²

^{1,2}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>

Аннотация. Цель: оценить влияние капельного орошения ограниченно пригодными водами на солевой состав темно-каштановой почвы. **Материалы и методы.** Исследования выполнялись в 2022–2024 гг. на пилотном участке в Крымском регионе. Изучалось влияние на распределение водорастворимых солей в почве расстояния до капельной ленты, изменение содержания общих и токсичных солей, степень засоления и химизма почвенной вытяжки при поливах ограниченно пригодными водами. Оценка качества оросительной воды осуществлялась по почвенно-мелиоративной классификации. **Результаты.** При капельном орошении с закладкой ленты через каждые 160 см зафиксировано значительное варьирование в верхнем 20-сантиметровом слое почвы содержания водорастворимых солей. Разница между минимальным и максимальным значениями в 2023 г. составила 0,6 %. Наиболее интенсивно процесс засоления протекал на расстоянии 0–30 см от капельной ленты. Ближе к середине междурядья в метровом слое почвы при использовании для полива вод минерализацией 2,6–3,1 г/л, в сравнении с богарными условиями, фиксировалось накопление общих и токсичных солей, часть из которых затем вымывалась осенне-зимними осадками в нижерасположенные горизонты. Применение в 2024 г. водных ресурсов лучшего качества (минерализация 1,1–1,4 г/л) способствовало снижению уровня негативного воздействия на почву, в сравнении с 2023 г., но при этом в течение вегетационного периода отмечено увеличение содержания ионов хлора и натрия, в результате изменилась степень засоления (с незасоленной на слабозасоленную) и тип химизма (с хлоридно-сульфатного на сульфатно-хлоридный). **Выводы:** реализуемых на пилотном участке в 2022–2024 гг. технологических решений, представленных использованием капельного способа полива и переходом в 2024 г. к применению для целей орошения ограниченно пригодных вод лучшего качества, в целом недостаточно для предупреждения дальнейшего развития засоления почвы.

Ключевые слова: качество воды, капельное орошение, почва, солевой режим, степень засоления, тип химизма

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., Подовалова С. В. Влияние капельного орошения ограниченно пригодными водами на солевой состав темно-каштановой почвы // Мелиорация и гидротехника. 2024. Т. 14, № 4. С. 81–97. <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2024-14-4-81-97>.

LAND RECLAMATION, WATER MANAGEMENT AND AGROPHYSICS

Original article

The influence of drip irrigation with limitedly available waters on the salt composition of dark chestnut soil

Natalya E. Volkova¹, Svetlana V. Podovalova²

^{1,2}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>

Abstract. Purpose: to assess the effect of drip irrigation with limitedly available waters on the salt composition of dark chestnut soil. **Materials and methods.** The studies were carried out in 2022–2024 on a pilot site in the Crimean region. The influence of the distance to the drip tape on the distribution of water-soluble salts in the soil, the change in the content of total and toxic salts, the degree of salinization and the chemistry of the soil extract during irrigation with limitedly available waters were studied. The quality of irrigation water was assessed according to the soil-ameliorative classification. **Results.** Significant variation in the content of water-soluble salts in the upper 20-cm soil layer was recorded with drip irrigation when laying a tape every 160 cm. The difference between the minimum and maximum values in 2023 was 0.6 %. The salinization process was most intense at a distance of 0–30 cm from the drip tape. In comparison with rainfed conditions, an accumulation of total and toxic salts was recorded closer to the middle of the row spacing, in a meter-thick soil layer, when using water with a mineralization of 2.6–3.1 g/l for irrigation; some of these salts were then washed out by autumn-winter precipitation into the underlying horizons. The use of better quality water resources in 2024 (mineralization of 1.1–1.4 g/l) contributed to a decrease in the level of negative impact on the soil, in comparison with 2023, but at the same time, an increase in the content of chlorine and sodium ions was noted during the growing season, as a result of which the degree of salinization changed (from non-saline to slightly saline) and the type of chemism (from chloride-sulfate to sulfate-chloride). **Conclusions:** the technological solutions implemented on the pilot site in 2022–2024 and represented by the use of drip irrigation and the transition to the use of limitedly available waters of better quality for irrigation purposes in 2024 are generally insufficient to prevent further development of soil salinization.

Keywords: water quality, drip irrigation, soil, salt regime, degree of salinization, type of chemism

Information on the research work, based on the results of which the article is published: the study was conducted 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., Podovalova S. V. The influence of drip irrigation with limitedly available waters on the salt composition of dark chestnut soil. *Land Reclamation and Hydraulic Engineering*. 2024;14(4):81–97. (In Russ.). <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2024-14-4-81-97>.

Введение. Засоленность почвы является одним из основных показателей, учитываемых при оценке ее плодородия. Для сельскохозяйственных угодий, характеризующихся оптимальными или близкими к ним условиями, считается недопустимым содержание водорастворимых токсичных солей более 0,05 % при хлоридном типе химизма, 0,1 % – при сульфатно-

хлоридном, 0,2 % – при сульфатно- и хлоридно-гидрокарбонатном, 0,3 % – при сульфатном¹.

На развитие засоления почвы влияет большое количество природных и антропогенных факторов. Применение для целей орошения слабо- и маломинерализованных вод выступает одной из основных обусловленных деятельностью человека причин данного процесса [1–3]. В современных условиях, характеризующихся усилением дефицита качественных водных ресурсов, применение в сельскохозяйственном производстве ограниченно пригодных вод способствует решению проблемы обеспечения населения достаточным количеством продуктов питания [4–8]. Так как это может повлечь за собой развитие засоления почвы, особую актуальность приобретают вопросы обеспечения экологической безопасности орошения слабо- и маломинерализованными водами. Уровень влияния, оказываемого поливами ограниченно пригодными водными ресурсами на состояние сельскохозяйственных угодий, обусловлен не только качеством оросительной воды, но и сочетанием ряда факторов, включающих: природно-климатические и почвенные условия, уровни залегания грунтовых вод и их химический состав, перечень реализуемых на полях агрономических и технологических приемов [9–18] и многие другие. Понимание происходящих изменений, обусловленных данным видом антропогенной деятельности, позволит оценить эффективность реализуемых мероприятий, направленных на снижение (предупреждение) оказываемого негативного воздействия.

Цель данной работы – оценить влияние капельного орошения ограниченно пригодными водами на солевой состав темно-каштановой почвы.

Материалы и методы. Исследовательские работы выполнялись в 2022–2024 гг. на примере орошаемого пилотного участка, расположенного в Первомайском районе Республики Крым (рисунок 1).

¹ГОСТ Р 70613-2022. Мелиорация земель. Методика определения бонитета почв мелиорированных земель. Общие требования [Электронный ресурс]. Введ. 2023-07-01. Доступ из справ. правовой системы «Гарант».

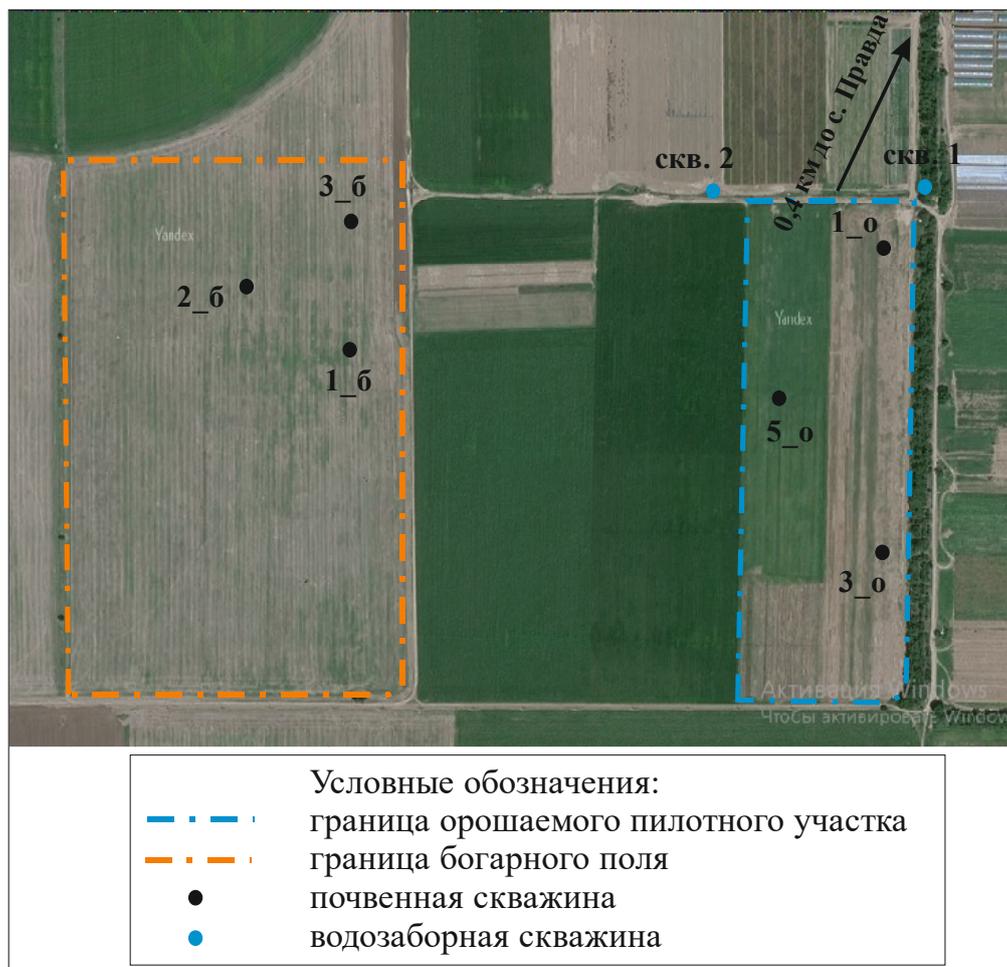


Рисунок 1 – Схема размещения пилотного участка

Figure 1 – Pilot plot layout

При проведении исследования были выполнены следующие работы:

- отбор проб поливной воды, определение и анализ их компонентного состава;

- изучение влияния на распределение водорастворимых солей в почве расстояния до капельной ленты. Данный вид работ проводился в 2023 г. Ширина междурядья составляла 160 см. Почвенные образцы отбирались на расстоянии 10, 30, 50 и 80 см от капельной ленты на глубину 0,6 м через каждые 20 см;

- анализ изменения содержания общих и токсичных солей, степени засоления и химизма почвенной вытяжки, обусловленных проведением вегетационных поливов ограниченно пригодными водами и осадками, выпадаю-

щими в осенне-зимний период за 2022–2024 гг. Отбор почвенных образцов выполнялся в трехкратной повторности на глубину 1 м через каждые 20 см.

Определение компонентного состава проб оросительной воды и почвы осуществлялось в сертифицированной лаборатории ФГБУН «НИИСХ Крыма».

Комплексная оценка качества поливной воды выполнялась на основе почвенно-мелиоративной классификации, разработанной С. Я. Бездниной [19].

Результаты исследования. Почва пилотного участка была идентифицирована как темно-каштановая. Горизонты А и В имеют темно-серую с коричневым оттенком окраску, а С – желто-бурую. Согласно справочным данным для данного типа почв в слое 0–120 см характерно незначительное содержание водорастворимых солей (не более 0,2 %), которое затем резко начинает увеличиваться с глубиной до 1,5 % и более. При этом в зоне остаточного засоления преобладают сульфаты.

Для пилотных участков характерно глубокое залегание грунтовых вод, что в свою очередь исключает их воздействие на формирование солевого режима почвы.

В 2022–2023 гг. для целей орошения использовалась подземная вода из скважины 1, а в 2024 г. – из скважины 2. Состав отобранных в период проведения исследования проб приведен в таблице 1.

Из анализа данных таблицы 1 следует, что превышение предельно допустимых концентраций загрязняющих веществ было зафиксировано по содержанию сульфатов, хлоридов, магния и натрия. Водозаборная скважина 2 характеризуется лучшим компонентным составом воды. В отобранных из нее пробах зафиксировано незначительное превышение предельно допустимых концентраций по содержанию хлоридов (до 1,2 ПДК), магния (до 1,4 ПДК) и натрия (до 1,3 ПДК). Следует отметить, что в течение вегетационного периода наблюдается ухудшение качества воды в обе-

их скважинах за счет увеличения количества ионов хлора, сульфатов и натрия. Результаты комплексной оценки пригодности ресурсов данных водоисточников для целей орошения приведены в таблицах 2 и 3.

Таблица 1 – Состав и свойства проб оросительной воды, отобранных в 2022–2024 гг.

Table 1 – Composition and properties of irrigation water samples collected in 2022–2024

Показатель	Значение показателя				Предельно допустимая концентрация (ПДК) ²
	Водозаборная скважина 1		Водозаборная скважина 2		
	3 августа 2022 г.	10 апреля 2023 г.	9 апреля 2024 г.	18 июля 2024 г.	
pH	8,2	7,8	7,3	7,5	6,0–9,0
ЕС, mmS	5,5	4,6	1,7	2,3	не нормируется
Ионный состав, мг/л					
- гидрокарбонаты	189,1	183,0	231,8	244,0	не нормируется
- сульфаты	908,1	791,7	177,3	264,7	500
- хлориды	1143,1	649,7	315,9	415,4	350
- кальций	344,4	362,0	110,0	136,0	не нормируется
- магний	148,2	160,4	61,9	69,3	50
- натрий	740,6	420,9	204,7	269,1	200
Тяжелые металлы, мг/л					
- свинец	< 0,0040	< 0,0040	0,0045	0,0055	0,0100
- медь	< 0,0020	< 0,0020	< 0,0020	< 0,0020	1,0000
- кадмий	< 0,0005	< 0,0005	< 0,0009	< 0,0009	0,0010
- цинк	0,0060	< 0,0005	0,0054	0,0021	5,0000
- железо	0,0260	< 0,0020	< 0,0020	< 0,0020	0,3000

Таблица 2 – Результаты оценки качества оросительной воды по риску развития засоления почвы в 2022–2024 гг.

Table 2 – Results of the irrigation water quality assessment for the risk of soil salinization development in 2022–2024

Дата отбора образца	Показатель, характеризующий возможность развития засоления			
	общего		хлоридного	
	Сухой остаток, г/л	Класс качества	Содержание хлоридов, мг-экв/л	Класс качества
3 августа 2022 г.	3,1	IV	32,2	IV
10 апреля 2023 г.	2,6	IV	18,3	IV
9 апреля 2024 г.	1,1	III	8,9	III
18 июля 2024 г.	1,4	IV	11,7	IV

²Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания [Электронный ресурс]: СанПиН 1.2.3685-21: утв. Гл. гос. санитар. врачом Рос. Федерации 28.01.21: введ. в действие с 01.03.21. Доступ из справ. правовой системы «Гарант».

Таблица 3 – Результаты оценки качества оросительной воды по риску развития осолонцевания почвы и содообразования в 2022–2024 гг.

Table 3 – Results of irrigation water quality assessment for the risk of soil alkalization and soda formation in 2022–2024

Дата отбора образца	Показатель, характеризующий возможность развития неблагоприятных почвенных процессов					
	натриевого осолонцевания		магниевого осолонцевания		содообразования	
	$\text{Na}^+/\text{Ca}^{2+}$, мг-экв/л	класс качества	$\text{Mg}^{2+}/\text{Ca}^{2+}$, мг-экв/л	класс качества	$[(\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^-) - (\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})]$, мг-экв/л	класс качества
3 августа 2022 г.	1,9	III	0,7	I	< 1	I
10 апреля 2023 г.	1,0	III	0,7	I	< 1	I
9 апреля 2024 г.	1,6	III	0,9	I	< 1	I
18 июля 2024 г.	1,7	III	0,8	I	< 1	I

Согласно результатам комплексной оценки вода скважины 1 относится к IV классу качества, скважины 2 в начале вегетационного периода 2024 г. – к III, а в его середине – к IV классу. В целом использование ресурсов данных водоисточников для целей орошения влечет за собой высокий риск развития засоления и натриевого осолонцевания почвы.

Согласно анализу фактической обстановки проведение поливов водами, отобранными из скважины 1, повлекло за собой развитие неблагоприятных почвенных процессов. Ниже на рисунке 2 показано содержание водорастворимых солей в почве в зависимости от удаленности точек отбора образцов от капельной ленты по состоянию на 5 октября 2023 г.

Из анализа данных рисунка 2 видно, что содержание водорастворимых солей в верхнем 20-сантиметровом слое почвы значительно варьирует. Разница между зафиксированными минимальным и максимальным значениями составляет 0,6 %. Наибольшее содержание водорастворимых солей отмечается на расстоянии 0–30 см от капельной ленты. Зафиксированная разница характерна для верхнего слоя почвы (0–20 см), затем различия постепенно сглаживаются и достигают своих минимальных значе-

ний на глубине более 60 см. Таким образом, в 2023 г. использование системы капельного орошения на примере пилотного участка позволило примерно в 2 раза уменьшить площадь сельскохозяйственных угодий, подвергающихся интенсивному развитию процесса засоления, обусловленного проведением поливов ограниченно пригодными водами.

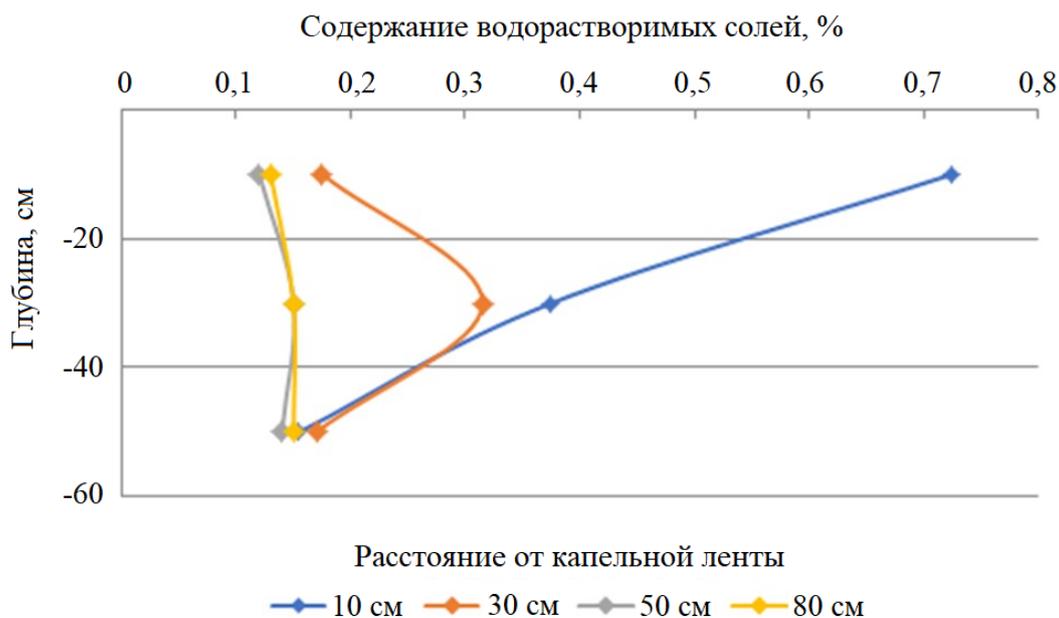


Рисунок 2 – Содержание водорастворимых солей в почве при использовании для целей орошения ограниченно пригодных вод в зависимости от расстояния до капельной ленты

Figure 2 – Content of water-soluble salts in soil when using limitedly available waters for irrigation purposes, depending on the distance to the drip tape

Рассмотрим более детально, как изменялось содержание водорастворимых солей на участках, менее всего подвергающихся негативному воздействию орошения водами с повышенной минерализацией (ближе к середине междурядья), в период с 2022 по 2024 г. (таблицы 4, 5).

Несмотря на использование системы капельного орошения, применение ограниченно пригодных вод повлекло за собой более высокое содержание общих и токсичных солей в середине междурядья в сравнении с богарными условиями. Осенне-зимние осадки 2022–2023 и 2023–2024 гг. способствовали уменьшению величин данных показателей в метровом

слое почвы, однако они не устранили полностью негативный эффект поливов водами минерализацией более 2,5 г/л. Ниже в таблице 6 приведены результаты статистической обработки данных о содержании общих и токсических солей на орошаемом (середина междурядья) и богарном участке по состоянию на 9 апреля 2024 г. По этим двум показателям средняя разница между сравниваемыми вариантами превысила НСР при 5 % уровне значимости в 1,7 и 2,1 раза соответственно.

Таблица 4 – Изменение осредненных по пилотному участку данных, характеризующих общее содержание в почве водорастворимых солей, в 2022–2024 гг.

B %

Table 4 – Change in averaged data for the pilot site characterizing the total content of water-soluble salts in soil in 2022–2024

In %

Глубина отбора почвы, см	Общее содержание солей					
	на орошении					на богаре
	3 августа 2022 г.	10 апреля 2023 г.	5 октября 2023 г.	9 апреля 2024 г.	18 июля 2024 г.	9 апреля 2024 г.
0–20	0,14	0,11	0,14	0,11	0,12	0,08
20–40	0,17	0,13	0,15	0,11	0,14	0,08
40–60	0,15	0,14	0,16	0,13	0,14	0,09
60–80	0,16	0,14	0,15	0,14	0,15	0,09
80–100	0,18	0,14	0,15	0,15	0,15	0,11

Таблица 5 – Изменение осредненных по пилотному участку данных, характеризующих содержание в почве токсичных солей, в 2022–2024 гг.

B %

Table 5 – Changes in averaged data for the pilot site characterizing the content of toxic salts in soil in 2022–2024

In %

Глубина отбора почвы, см	Содержание токсичных солей					
	на орошении					на богаре
	3 августа 2022 г.	10 апреля 2023 г.	5 октября 2023 г.	9 апреля 2024 г.	18 июля 2024 г.	9 апреля 2024 г.
0–20	0,08	0,08	0,08	0,05	0,06	0,03
20–40	0,11	0,06	0,09	0,05	0,08	0,02
40–60	0,09	0,06	0,10	0,06	0,07	0,03
60–80	0,09	0,06	0,09	0,06	0,07	0,02
80–100	0,10	0,07	0,08	0,08	0,08	0,04

Таблица 6 – Статистический анализ данных о содержании общих и токсичных солей в метровом слое почвы пилотных участков по состоянию на 9 апреля 2024 г.

В %

Table 6 – Statistical analysis of data on the content of total and toxic salts in the meter-thick soil layer of pilot sites as of April 9, 2024

In %

Показатель	Общее содержание солей		Содержание токсичных солей	
	Орошение	Богара	Орошение	Богара
Среднее арифметическое	0,1280	0,0900	0,0600	0,0280
Дисперсия	0,0003	0,0002	0,0002	0,0001
Стандартное отклонение	0,0179	0,0122	0,0122	0,0084
Ошибка выборки	0,0080	0,0055	0,0055	0,0037
Ошибка разности	0,0097		0,0066	
НСР ₀₅	0,0224		0,0153	

Рассмотрим более детально, как изменялся солевой состав водной вытяжки (таблица 7), степень засоления и тип почвенного химизма (таблица 8) в 2023–2024 гг. на орошаемом (в середине междурядья) пилотном участке.

Таблица 7 – Осредненные по орошаемому и богарному участкам сведения об ионном составе почвенной вытяжки

В мг-экв/100 г почвы

Table 7 – Averaged data on the ionic composition of soil extract for irrigated and dryland areas

In mg-eq/100 g of soil

Глубина отбора почвы, см	Содержание					
	анионов			катионов		
	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺
1	2	3	4	5	6	7
10 апреля 2023 г.						
0–20	0,90	0,27	0,20	0,35	0,15	0,20
20–40	0,60	0,58	0,29	0,87	0,97	0,46
40–60	0,63	0,67	0,40	1,00	0,80	0,54
60–80	0,68	0,59	0,49	1,05	0,55	0,49
80–100	0,70	0,58	0,46	0,87	0,75	0,46
5 октября 2023 г.						
0–20	0,50	0,42	0,73	0,75	0,50	0,73
20–40	0,53	0,60	0,85	0,75	0,50	0,85
40–60	0,70	0,55	0,90	0,77	0,50	0,90
60–80	0,70	0,61	0,85	0,80	0,30	0,85
80–100	0,70	0,59	0,80	0,85	0,33	0,80

Продолжение таблицы 7

Table 7 continued

1	2	3	4	5	6	7
9 апреля 2024 г.						
0–20	0,75	0,19	0,08	0,65	0,23	0,08
20–40	0,72	0,35	0,10	0,63	0,23	0,10
40–60	0,81	0,55	0,17	0,73	0,25	0,17
60–80	0,75	0,82	0,25	0,85	0,21	0,25
80–100	0,71	0,87	0,45	0,96	0,33	0,45
18 июля 2024 г.						
0–20	0,70	0,26	0,28	0,62	0,21	0,28
20–40	0,88	0,41	0,32	0,62	0,21	0,32
40–60	0,78	0,47	0,50	0,70	0,23	0,50
60–80	0,72	0,56	0,72	0,86	0,20	0,72
80–100	0,70	0,63	0,78	0,85	0,32	0,78

Таблица 8 – Степень засоления и тип химизма почвы орошаемого пилотного участка в 2023 и 2024 гг.

Table 8 – Degree of salinization and type of soil chemism of the irrigated pilot site in 2023 and 2024

Показатель	Данные, характеризующие степень засоления и тип химизма				
	0–20	20–40	40–60	60–80	80–100
1	2	3	4	5	6
10 апреля 2023 г.					
Степень засоления	незасоленная	незасоленная	слабая	слабая	слабая
Тип почвенного химизма	сульфатно-содовый магниевонатриевый	хлоридно-сульфатный магниевый	сульфатно-хлоридный натриево-магниевый	сульфатно-хлоридный натриево-магниевый	сульфатно-хлоридный магниевый
5 октября 2023 г.					
Степень засоления	слабая	слабая	слабая	слабая	слабая
Тип почвенного химизма	хлоридный магниевонатриевый	сульфатно-хлоридный магниевонатриевый	сульфатно-хлоридный магниевонатриевый	сульфатно-хлоридный магниевонатриевый	сульфатно-хлоридный магниевонатриевый
9 апреля 2024 г.					
Степень засоления	незасоленная	незасоленная	незасоленная	незасоленная	незасоленная
Тип почвенного химизма	содово-сульфатный магниевый	хлоридно-сульфатный с участием соды магниевый	хлоридно-сульфатный с участием соды магниевонатриевый	хлоридно-сульфатный магниевонатриевый	хлоридно-сульфатный магниевонатриевый

Продолжение таблицы 8

Table 8 continued

1	2	3	4	5	6
18 июля 2024 г.					
Степень засоления	слабая	незасоленная	слабая	слабая	слабая
Тип почвенного химизма	сульфатно-хлоридный с участием соды магниево-натриевый	содово-сульфатный магниево-натриевый	сульфатно-хлоридный с участием соды магниево-натриевый	сульфатно-хлоридный магниево-натриевый	сульфатно-хлоридный магниево-натриевый

Использование для целей орошения ограниченно пригодных вод повлекло за собой не только увеличение содержания общих и токсичных солей в почве, но также изменение степени ее засоления и типа химизма. Так, в начале вегетационного периода 2023 и 2024 гг. 40-сантиметровый слой почвы орошаемого участка (в середине междурядья) в основном классифицировался как незасоленный, а в конце – как слабозасоленный. Тип химизма в основном изменялся с сульфатного, хлоридно-сульфатного на хлоридный, сульфатно-хлоридный.

Несмотря на использование в 2024 г. для целей орошения воды лучшего качества (минерализация 1,1–1,4 г/л), в почве орошаемого участка (середина междурядья) наблюдается увеличение содержания анионов хлора и катионов натрия (см. таблицу 7). Фиксируемые изменения не столь значительны, если их сравнивать с данными за предыдущий год. Например, в 2023 г. содержание ионов хлора в слое почвы 0–20 см увеличилось на 0,53 мг-экв/100 г, а в 2024 г. – на 0,2 мг-экв/100 г. Следует отметить, что за данные вегетационные периоды до момента обследования было подано примерно одинаковое количество оросительной воды (около 2000 м³/га). То есть использование для полива водных ресурсов лучшего качества способствовало снижению уровня негативного воздействия на почву, но этого в целом недостаточно для предупреждения ее деградации.

Выводы

1 Использование в 2023 г. системы капельного орошения на примере пилотного участка позволило примерно в 2 раза уменьшить площадь поля, подвергающуюся интенсивному развитию процесса засоления, обусловленного проведением поливов ограниченно пригодными водами.

2 Несмотря на использование системы капельного орошения, применение ограниченно пригодных вод повлекло за собой более высокое содержание общих и токсичных солей в середине междурядья в сравнении с богарными условиями. Средняя разница между сравниваемыми вариантами по этим двум показателям превысила НСР при 5 % уровне значимости в 1,7 и 2,1 раза соответственно.

3 Применение в 2024 г. водных ресурсов лучшего качества (минерализация 1,1–1,4 г/л) способствовало снижению уровня негативного воздействия на почву в сравнении с предыдущим годом, но при этом в течение вегетационного периода фиксировалось увеличение содержания ионов хлора и натрия, в результате которого изменилась степень засоления (с незасоленной на слабозасоленную) и тип химизма (с хлоридно-сульфатного на сульфатно-хлоридный).

4 Реализуемых на пилотном участке в 2022–2024 гг. технологических решений, представленных использованием капельного способа полива и переходом в 2024 г. к применению для целей орошения ограниченно пригодных вод лучшего качества, в целом недостаточно для предупреждения дальнейшего развития засоления почвы. В условиях отсутствия источника пресной воды целесообразно временно отказаться от проведения поливов и продолжить наблюдения за изменением солевого состава темно-каштановой почвы.

Список источников

1. Хитров Н. Б. Почвенный покров орошаемых агроландшафтов: современное состояние, пути и причины трансформации, тренды эволюции // Современные пробле-

мы изучения почвенных и земельных ресурсов: сб. докл. Четвертой Всерос. открытой конф. М., 2022. С. 332–339. EDN: QDQUWU.

2. Научные основы предотвращения деградации почв (земель) сельскохозяйственных угодий России и формирования систем воспроизводства их плодородия в адаптивно-ландшафтном земледелии. Т. 1. Теоретические и методические основы предотвращения деградации почв (земель) сельскохозяйственных угодий: коллектив. моногр. / ред.: Л. Ф. Назарова; отв. ред.: Э. Н. Молчанов, Н. Б. Хитров, А. С. Фрид; науч. ред.: А. Л. Иванов. М.: Почв. ин-т им. В. В. Докучаева Россельхозакадемии, 2013. 756 с. EDN: RXZICJ.

3. Бабичев А. Н., Докучаева Л. М., Юркова Р. Е. Оценка агропроизводительной способности длительно орошаемых почв // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. 2020. № 3(39). С. 83–105. URL: <https://rosniipm-sm.ru/article?n=1140> (дата обращения: 22.05.2024). DOI: 10.31774/2222-1816-2020-3-83-105. EDN: DUHYNA.

4. Волкова Н. Е., Подовалова С. В., Джапарова А. М. Комплексная оценка состава и свойств чернозема южного мицеллярно-карбонатного, орошаемого ограниченно пригодными водами // Мелиорация и гидротехника [Электронный ресурс]. 2024. Т. 14, № 2. С. 139–155. URL: <https://rosniipm-sm.ru/article?n=1444> (дата обращения: 22.05.2024). DOI: 10.31774/2712-9357-2024-14-2-139-155. EDN: FWWJQB.

5. Impact of long-term recycled water irrigation on crop yield and soil chemical properties / V. Phogat, D. Mallants, J. W. Cox, J. Simunek, D. P. Oliver, T. Pitt, P. R. Petrie // *Agricultural Water Management*. 2020. Vol. 237. 106167. DOI: 10.1016/j.agwat.2020.106167.

6. Evaluating soil salt dynamics in a field drip-irrigated with brackish water and leached with freshwater during different crop growth stages / Y. Zhang, X. Li, J. Simunek, H. Shi, N. Chen, Q. Hu, T. Tian // *Agricultural Water Management*. 2021. Vol. 244. 106601. DOI: 10.1016/j.agwat.2020.106601. EDN: CJVSXM.

7. Sheferia B., Alem M., Seid A. Effects of saline water and irrigation interval on soil physicochemical properties // *Advances in Applied Science Research*. 2021. Vol. 12. № 10:13.

8. 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. EDN: KMCGBW.

9. Волкова Н. Е., Кременской В. И. Подходы к снижению негативных последствий использования слабо- и маломинерализованных вод в орошаемом земледелии // Мелиорация и гидротехника [Электронный ресурс]. 2023. Т. 13, № 4. С. 224–242. URL: <https://rosniipm-sm.ru/article?n=1407> (дата обращения: 22.05.2024). DOI: 10.31774/2712-9357-2023-13-4-224-242. EDN: AYDCWT.

10. Шалашова О. Ю., Рубцов И. П. Трансформация чернозема обыкновенного при длительном орошении слабоминерализованной водой сульфатно-натриевого состава // Мелиорация и гидротехника [Электронный ресурс]. 2022. Т. 12, № 3. С. 1–14. URL: <https://rosniipm-sm.ru/article?n=1289> (дата обращения: 22.05.2024). DOI: 10.31774/2712-9357-2022-12-3-1-14. EDN: WEGGOF.

11. 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: <https://rosniipm-sm.ru/article?n=1346> (дата обращения: 22.05.2024). DOI: 10.31774/2712-9357-2023-13-1-150-164. EDN: XCUHMQ.

12. Васильченко Н. И., Звягин Г. А., Юманкулов Р. В. Изменение водно-физических свойств черноземов обыкновенных Северного Казахстана при орошении // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2020. № 1. С. 13–20. EDN: KTXOAD.

13. Орошение кормовых культур слабоминерализованной водой из артезианских скважин в Северо-Западном Прикаспии / Г. П. Гасанов, М. Р. Мусафаев, К. М. Гаджиев, Р. З. Усманов, А. А. Магомедова // Известия Дагестанского ГАУ. 2023. № 3(19). С. 7–11. DOI: 10.52671/26867591_2023_3_7. EDN: MCIMLX.

14. 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. EDN: TAUZH.

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

16. Копытовский В. В. Влияние агромелиоративных мероприятий на плотность и водоотдачу дерново-подзолистой почвы при орошении животноводческими стоками // Мелиорация и водное хозяйство. 2020. № 1. С. 27–32. EDN: ZLPDCO.

17. Оруджева Р. Н., Мустафаева М. Г., Гурбанова З. Р. Оценка влияния орошения на экологическое состояние северо-коричневых почв Гянджа-Казахского массива // Природные системы и ресурсы. 2022. Т. 12, № 2. С. 29–35. DOI: 10.15688/nr.jvolsu.2022.2.4. EDN: TSPVOU.

18. Джуманазарова А. Т., Генжемуратов А. С. Использование минерализованных грунтовых вод при поливе сельскохозяйственных культур на засоленных землях // Евразийское научное объединение. 2020. № 6-6(64). С. 492–494. EDN: WMWAOC.

19. Безднина С. Я. Научные основы оценки качества воды для орошения: монография. Рязань: РГАТУ; МНТЦ, 2013. 171 с.

References

1. Khitrov N.B., 2022. *Pochvennyy pokrov oroshaemykh agrolandshaftov: sovremennoe sostoyanie, puti i prichiny transformatsii, trendy evolyutsii* [Soil cover pattern of irrigated agrolandscapes: modern status, ways and reasons of transformation, evolution trends]. *Sovremennyye problemy izucheniya pochvennykh i zemel'nykh resursov: sb. dokl. Chetvertoy Vseoros. otkrytoy konferentsii* [Actual Issues of Studying Soil and Land Resources: Proc. of the Fourth All-Russian Open Conference]. Moscow, pp. 332-339, EDN: QDQUWU. (In Russian).

2. Nazarova L.F. (ed.), Molchanov E.N., Khitrov N.B., Frid A.S. (execut. ed.), Ivanov A.L. (sci. ed.), 2013. *Nauchnye osnovy predotvrashcheniya degradatsii pochv (zemel') sel'skokhozyaystvennykh ugodiy Rossii i formirovaniya sistem vosproizvodstva ikh plodorodiy v adaptivno-landshaftnom zemledelii. T. 1. Teoreticheskie i metodicheskie osnovy predotvrashcheniya degradatsii pochv (zemel') sel'skokhozyaystvennykh ugodiy: kollektiv. monogr.* [Scientific Basis for Prevention of Soil (Land) Degradation of Russian Agricultural Lands and Formation of Their Fertility Reproduction Systems in Adaptive-Landscape Farming. Vol. 1. Theoretical and Methodological Foundations for Preventing Degradation of Soils (Lands) of Agricultural Lands: collective. monograph]. Moscow, V.V. Dokuchaev Soil Science Institute of the Russian Agricultural Academy, 756 p., EDN: RXZICJ. (In Russian).

3. Babichev A.N., Dokuchaeva L.M., Yurkova R.E., 2020. [Assessment of agricultural productivity of soils irrigated for a long time]. *Nauchnyy zhurnal Rossiyskogo NII problem melioratsii*, no. 3(39), pp. 83-105, available: <https://rosniipm-sm.ru/article?n=1140> [accessed 22.05.2024], DOI: 10.31774/2222-1816-2020-3-83-105, EDN: DUHYNA. (In Russian).

4. Volkova N.E., Podovalova S.V., Dzhaparova A.M., 2024. [Comprehensive assessment of the composition and properties of southern micellar-carbonate chernozem irrigated with limitedly available waters]. *Melioratsiya i gidrotekhnika*, vol. 14, no. 2, pp. 139-155, available: <https://rosniipm-sm.ru/article?n=1444> [accessed 22.05.2024], DOI: 10.31774/2712-9357-2024-14-2-139-155, EDN: FWWJQB. (In Russian).

5. Phogat V., Mallants D., Cox J.W., Simunek J., Oliver D.P., Pitt T., Petrie P.R.,

2020. Impact of long-term recycled water irrigation on crop yield and soil chemical properties. *Agricultural Water Management*, vol. 237, 106167, DOI: 10.1016/j.agwat.2020.106167.

6. Zhang Y., Li X., Simunek J., Shi H., Chen N., Hu Q., Tian T., 2021. Evaluating soil salt dynamics in a field drip-irrigated with brackish water and leached with freshwater during different crop growth stages. *Agricultural Water Management*, vol. 244, 106601, DOI: 10.1016/j.agwat.2020.106601, EDN: CJVSXM.

7. Sheferia B., Alem M., Seid A., 2021. Effects of saline water and irrigation interval on soil physicochemical properties. *Advances in Applied Science Research*, vol. 12, no. 10:13.

8. 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.agwat.2021.107405, EDN: KMCGBW.

9. Volkova N.E., Kremenskiy V.I., 2023. [Approaches to reducing the negative consequences of using brackish and low-mineralized waters in irrigated agriculture]. *Melioratsiya i gidrotekhnika*, vol. 13, no. 4, pp. 224-242, available: <https://rosniipm-sm.ru/article?n=1407> [accessed 22.05.2024], DOI: 10.31774/2712-9357-2023-13-4-224-242, EDN: AYDCWT. (In Russian).

10. Shalashova O.Yu., Rubtsov I.P., 2022. [Transformation of ordinary chernozem during long-term irrigation with low-mineralized sulfate-sodium water]. *Melioratsiya i gidrotekhnika*, vol. 12, no. 3, pp. 1-14, available: <https://rosniipm-sm.ru/article?n=1289> [accessed 22.05.2024], DOI: 10.31774/2712-9357-2022-12-3-1-14, EDN: WEGGOF. (In Russian).

11. Shalashova O.Yu., Pyatnitsyna E.V., Rubtsov I.P., 2023. [The role of crop rotations in maintaining agrophysical properties of chernozems irrigated with low-mineralized water]. *Melioratsiya i gidrotekhnika*, vol. 13, no. 1, pp. 150-164, available: <https://rosniipm-sm.ru/article?n=1346> [accessed 22.05.2024], DOI: 10.31774/2712-9357-2023-13-1-150-164, EDN: XCUHMQ. (In Russian).

12. Vasilchenko N.I., Zvyagin G.A., Yumankulov R.V., 2020. *Izmenenie vodno-fizicheskikh svoystv chernozemov obyknovennykh Severnogo Kazakhstana pri oroshenii* [Changes in water-physical properties of ordinary chernozems of Northern Kazakhstan under irrigation]. *Vestnik Kurskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii* [Bulletin of Kursk State Agricultural Academy], no. 1, pp. 13-20, EDN: KTXOAD. (In Russian).

13. Gasanov G.P., Musafayev M.R., Gadzhiev K.M., Usmanov R.Z., Magomedova A.A., 2023. *Oroshenie kormovykh kul'tur slabomineralizovannoy vodoy iz artezianskikh skvazhin v Severo-Zapadnom Prikaspii* [Irrigation of forage crops with slightly mineralized water from artesian wells in the North-Western Caspian region]. *Izvestiya Dagestanskogo GAU* [Bulletin of Dagestan State Agrarian University], no. 3(19), pp. 7-11, DOI: 10.52671/26867591_2023_3_7, EDN: MCIMLX. (In Russian).

14. Yuldashev G.Yu., Darmonov D.E., 2020. *Vliyanie polivov mineralizovannymi vodami na solevoy balans oroshaemykh lugovykh sazovykh pochv* [Influence of irrigation with mineralized waters on the salt balance of irrigated meadow saz soils]. *Nauchnoe obozrenie. Biologicheskie nauki* [Scientific Review. Biological Sciences], no. 1, pp. 26-30, EDN: TAUZH. (In Russian).

15. 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* [Soil Science], no. 12, pp. 1557-1570, DOI: 10.31857/S0032180X22100471, EDN: VTBMDG. (In Russian).

16. Kopytovskiy V.V., 2020. *Vliyanie agromeliorativnykh meropriyatiy na plotnost' i vodootdachu dernovo-podzolistoy pochvy pri oroshenii zhivotnovodcheskimi stokami* [Influence of agro-reclamation measures on the density and water yield of sod-podzolic soil under irrigation with livestock wastewater]. *Melioratsiya i vodnoe khozyaystvo* [Land Reclamation and Water Management], no. 1, pp. 27-32, EDN: ZLPDCO. (In Russian).

17. Orudzheva R.N., Mustafayeva M.G., Gurbanova Z.R., 2022. *Otsenka vliyaniya orosheniya na ekologicheskoe sostoyanie severo-korichnevykh pochv Gyandzha-Kazakhskogo massiva* [Assessing the impact of irrigation on the ecological state of north-brown soils of the Ganja-Kazakh massif]. *Prirodnye sistemy i resursy* [Natural Systems and Resources], vol. 12, no. 2, pp. 29-35, DOI: 10.15688/nsr.jvolsu.2022.2.4, EDN: TSPVOU. (In Russian).

18. Dzhumanazarova A.T., Genjemuratov A.S., 2020. *Ispol'zovanie mineralizovannykh gruntovykh vod pri polive sel'skokhozyaystvennykh kul'tur na zasolennykh zemlyakh* [Use of mineralized groundwater for irrigation of agricultural crops on saline lands]. *Yevraziyskoe nauchnoe ob"edinenie* [Eurasian Scientific Association], no. 6-6(64), pp. 492-494, EDN: WMWAOC. (In Russian).

19. Bezdina S.Ya., 2013. *Nauchnye osnovy otsenki kachestva vody dlya orosheniya: monografiya* [Scientific Foundations of Water Quality Assessment for Irrigation: monograph]. Ryazan, RSATU, ISTC, 171 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, AuthorID: 818451, Scopus AuthorID: 57211502794, ORCID: 0000-0002-3146-652X;

С. В. Подовалова – младший научный сотрудник, Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма, Симферополь, Российская Федерация, podovalovas@list.ru, AuthorID: 848970, Scopus AuthorID: 57205643683, ORCID: 0000-0002-2823-797X.

Information about the authors

N. E. Volkova – Senior Researcher, Research Institute of Agriculture of Crimea, Simferopol, Russian Federation, volkova_n@niishk.site, AuthorID: 818451, Scopus AuthorID: 57211502794, ORCID: 0000-0002-3146-652X;

S. V. Podovalova – Junior Researcher, Research Institute of Agriculture of Crimea, Simferopol, Russian Federation, podovalovas@list.ru, AuthorID: 848970, Scopus AuthorID: 57205643683, ORCID: 0000-0002-2823-797X.

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 16.08.2024; одобрена после рецензирования 09.09.2024; принята к публикации 01.10.2024.

The article was submitted 16.08.2024; approved after reviewing 09.09.2024; accepted for publication 01.10.2024.