

МЕЛИОРАЦИЯ, ВОДНОЕ ХОЗЯЙСТВО И АГРОФИЗИКА

Научная статья

УДК 631.67.03:631.434.1

doi: 10.31774/2712-9357-2025-15-3-131-148

Оценка гранулометрического и агрегатного состава темно-каштановой почвы, орошаемой ограниченно пригодными водами

Айше Музафаровна Джапарова¹, Алексей Сергеевич Волков²,
Светлана Владимировна Подовалова³

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

² Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского, Симферополь,
Российская Федерация

¹dja-ajj@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2671-7021>

²wolfalex.and.2006@gmail.com

³podovalovas@list.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2823-797X>

Аннотация. **Цель:** оценка влияния поливов ограниченно пригодными водами на гранулометрический и агрегатный состав темно-каштановой почвы. **Материалы и методы.** Исследования проводились в 2023–2024 гг. на двух орошаемых пилотных участках (первый – на капельном орошении, второй – на дождевании) и богарном поле, расположенных на территории Первомайского района. Источниками поливной воды для первого пилотного участка были скважины № 1 (2023 г.) и № 2 (2024 г.), а для второго – система Северо-Крымского канала (СКК) (I декада 2023 г.) и р. Воронцовка (II–IV декады 2023 и 2024 гг.). В ходе выполнения работ был определен химический состав оросительной воды и выполнена оценка ее качества на основе расчета натриевого адсорбционного отношения; установлен и проанализирован гранулометрический (пипеточным методом) и агрегатный состав почвы (на основе мокрого просеивания) в поливных и богарных условиях. **Результаты.** Согласно данным, полученным в ходе химического анализа отобранных проб воды, было зафиксировано превышение предельно допустимых концентраций (ПДК) загрязняющих веществ в воде по источникам: скважины № 1 (сульфаты, хлориды, магний, натрий) и № 2 (натрий), р. Воронцовка (хлориды, магний, натрий). Система Северо-Крымского канала и водозаборная скважина № 2 характеризуются лучшим компонентным составом воды. На момент обследования в верхнем слое почвы фракций крупностью 0,001 мм (ил) на капельном орошении и дождевании содержалось соответственно в 1,5 и 1,8 раза больше, чем в богарных условиях. По агрегатному составу в слое почвы 0–20 см осредненное по участку содержание водопрочных агрегатов размером более 0,25 мм в орошаемых условиях составило 57,7 %, а в богарных – 49,8 %. **Выводы.** Использование для орошения темно-каштановой почвы ограниченно пригодных вод в сочетании с другими природно-климатическими и антропогенными факторами повлекло за собой изменение гранулометрического состава верхнего 40-сантиметрового слоя почвы и не оказало негативного воздействия на содержание водопрочных агрегатов.

Ключевые слова: качество поливной воды, капельное орошение, дождевание, почва, гранулометрический и агрегатный состав

Финансирование: работа выполнена и финансировалась в рамках Государственной темы Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, регистрационный номер: FNZW-2022-0002.

Для цитирования: Джапарова А. М., Волков А. С., Подовалова С. В. Оценка гра-

нулометрического и агрегатного состава темно-каштановой почвы, орошаемой ограниченно пригодными водами // Мелиорация и гидротехника. 2025. Т. 15, № 3. С. 131–148.
<https://doi.org/10.31774/2712-9357-2025-15-3-131-148>.

LAND RECLAMATION, WATER MANAGEMENT AND AGROPHYSICS

Original article

Evaluation of granulometric and aggregate composition of dark chestnut soil irrigated with limitedly available water

Svetlana V. Podovalova¹, Alexey S. Volkov², Ayshe M. Dzhaparova³

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

²V. I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, Russian Federation

¹dja-ajj@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2671-7021>

²wolfalex.and.2006@gmail.com

³podovalovas@list.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2823-797X>

Abstract. Purpose: to assess the impact of irrigation with limitedly available water on the granulometric and aggregate composition of dark chestnut soil. **Materials and methods.** The studies were conducted in 2023–2024 on two irrigated pilot plots (the first with drip irrigation, the second with sprinkling irrigation) and a rainfed field located in the Pervomaysky district. The sources of irrigation water for the first pilot plot were wells no. 1 (2023) and no. 2 (2024), and for the second, the North Crimean Canal (NCC) system (first ten-day period of 2023) and the Vorontsovka River (second – fourth ten-day periods of 2023 and 2024). During the studies, the chemical composition of the irrigation water was determined and its quality was assessed based on the calculation of the sodium adsorption ratio. The granulometric composition of soil was determined and analyzed by pipette method and aggregate composition of soil was determined and analyzed by wet sieving under irrigated and rainfed conditions. **Results.** According to the data obtained during the chemical analysis of the selected water samples, excess of maximum allowable concentrations (MAC) of pollutants in water was recorded at the following sources: wells no. 1 (sulfates, chlorides, magnesium, sodium) and no. 2 (sodium), the Vorontsovka river (chlorides, magnesium, sodium). The North Crimean Canal system and water intake well no. 2 are characterized by the best water component composition. At the time of the survey, the upper soil layer contained 0.001 mm fractions (silt) under drip irrigation and sprinkling, respectively, than under rainfed conditions, by 1.5 and 1.8 times. According to the aggregate composition in the 0–20 cm soil layer, the average content of water-stable aggregates larger than 0.25 mm in irrigated conditions was 57.7 %, while in rainfed conditions it was 49.8 %. **Conclusions.** The use of limitedly available water for irrigation of dark chestnut soil in combination with other natural, climatic and anthropogenic factors led to a change in the granulometric composition of the upper 40-cm soil layer and did not have a negative impact on the content of water-stable aggregates.

Keywords: irrigation water quality, drip irrigation, sprinkling, soil, granulometric and aggregate composition

Funding: the work has been carried out and financed within the framework of the state theme of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation, registration number: FNZW-2022-0002.

For citation: Podovalova S. V., Volkov A. S., Dzhaparova A. M. Evaluation of granulometric and aggregate composition of dark chestnut soil irrigated with limitedly available water. *Land Reclamation and Hydraulic Engineering*. 2025;15(3):131–148. (In Russ.). <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2025-15-3-131-148>.

Введение. Важную роль в обеспечении устойчивого развития сельскохозяйственной отрасли в вододефицитных регионах, к которым относится и Республика Крым, играет орошение. Однако данный вид регулирования водного режима почвы, направленный на создание благоприятных для развития растений условий, также оказывает воздействие на ее химический состав и водно-физические свойства. В Российской Федерации и за рубежом проведено множество исследований, направленных на выявление негативных последствий ведения орошения и разработку предложений по улучшению мелиоративной обстановки. В данном направлении работали А. Н. Костяков, Н. Б. Хитров, А. И. Кузин, С. Я. Безднина, Л. М. Докучаева, I Szabolcs, C. Darab, V. Phogatabs, J. Simunek и др. Полученные ими результаты нашли отражение в ряде публикаций [1–12], в которых авторы подчеркивают значимость проведения наблюдений не только за мелиоративной обстановкой, но и за изменением состава, свойств, а также структуры почвы. Особую актуальность реализация данных действий приобретает при использовании для полива ограниченно пригодных вод [2, 6, 10–15].

К основным морфогенетическим признакам, применяемым для диагностики состояния почвы, относятся ее гранулометрический и агрегатный состав. От этих двух показателей зависят все водно-физические свойства почвы, ее водный, воздушный и тепловой режимы.

На агрегатный состав воздействует большое количество факторов природного и антропогенного характера. Оказываемый эффект зависит от их сочетания. Гранулометрический состав, в отличие от агрегатного, является более статической характеристикой почвы. Однако, как показали результаты исследований, проведенных О. Ю. Шалашовой, Е. В. Пятницыной, И. П. Рубцовым, М. П. Бабаевым, Ф. М. Рамазановой, Э. А. Гурбановым, В. Л. Захаровым, В. Н. Пугачевым и др., поливы оказывают влияние и на данный показатель [14, 16–21]. Например, в ходе выполнения исследовательских работ по оценке влияния капельного орошения яблонево-

го сада на гранулометрический состав лугово-черноземной почвы, проведенных В. Л. Захаровым, Г. Н. Пугачевым в Тамбовской области, на поливных участках было зафиксировано вымывание илистых частиц в ниже-расположенные горизонты [18]. Следует отметить, что уровень оказываемого воздействия в значительной мере зависит от способа, интенсивности, норм подачи воды и крупности капель дождя. Так в ходе исследований, проведенных С. А. Тешевой, А. В. Осиповым, Т. В. Швеца, А. А. Надеждиной на рисовом агроценозе в Республике Адыгея, было установлено, что полив затоплением привел к увеличению содержания илистой фракции по всему обследованному профилю в сравнении с целинным участком [21].

Разрушение почвенных агрегатов может быть вызвано не только механическим воздействием, но и развитием процессов осолонцевания, обусловленного, в том числе, качеством поливной воды [2, 12].

Оценке воздействия орошения ограниченно пригодными водами на гранулометрический и агрегатный состав почвы посвящены работы О. Ю. Шалашовой, Е. В. Пятницыной, И. П. Рубцова, Н. И. Васильченко, Г. А. Звягина, Р. В. Юманкулова, Н. Wang, D. Feng, A. Zhang, C. Zheng, K. Li, S. Ning, J. Zhang, C. Sun и др. В своих работах авторы подчеркивают необходимость отслеживания последствий влияния поливов слабо- и маломинерализованными водами на структурное состояние почвы с целью оценки, предупреждения или снижения возможного негативного эффекта данного мелиоративного приема [14, 22–24]. Так в ходе десятого года исследований, проведенных в 2006–2015 гг. A. Zhang, K. Li, J. Sun, H. Dang, C. Sun, A. E. Rahma, G. Wang, J. Zhang, D. Feng на полях Хэншуйской экспериментальной станции (Китай, провинция Хэбэй), было установлено, что содержание почвенных частиц крупностью менее 0,53 мм составило 15,80; 16,77 и 28,12 % соответственно при использовании для полива вод минерализацией 0,7; 1,7 и 7,1 г/л [24].

Исходя из вышеизложенного была сформулирована цель данной ра-

боты: оценка влияния поливов ограниченно пригодными водами на гранулометрический и агрегатный состав темно-каштановой почвы.

Материалы и методы. Исследования проводились в 2023–2024 гг. на двух орошаемых пилотных участках (первый – на капельном орошении, второй – на дождевании) и богарном поле, расположенных на территории Первомайского района, и включали в себя:

- отбор проб поливной воды (2023–2024 гг.), определение в сертифицированной лаборатории ФГБУН «НИИСХ Крыма» их солевого состава;
- оценку опасности развития процесса осолонцевания почвы, обусловленного использованием ограниченно пригодных вод для орошения;
- отбор почвенных образцов для определения их гранулометрического и агрегатного состава (I декада 2024 г.).

На рисунке 1 представлена схема размещения орошаемых пилотных участков и богарного поля.

Оценка качественного состава оросительной воды проводилась на основе расчета натриевого адсорбционного отношения (SAR) согласно методике, разработанной L. A. Richards [12].

Отбор почвенных образцов для оценки гранулометрического и агрегатного состава осуществлялся в трехкратной повторности на глубину 1 и 0,2 м соответственно.

Гранулометрический состав определялся пипеточным методом¹, а агрегатный – по методу Н. И. Савинова².

Для оценки влияния орошения ограниченно пригодными водами на агрегатный состав почвенные образцы отбирались с пилотного участка, орошаемого дождеванием (скважины 1о, 2о, 3о), и богарного поля (сква-

¹ГОСТ 12536-2014. Грунты. Методы лабораторного определения гранулометрического (зернового) и микроагрегатного состава. Введ. 2015-07-01. М.: Стандартинформ, 2015. 22 с.

²Практикум по почвоведению: учеб. пособие. 3-е изд., перераб. и доп. / под ред. И. С. Кауричева. М.: Колос, 1980. 272 с.

жины 1б, 2б, 3б), характеризующихся схожей агротехникой возделывания сельскохозяйственных культур (периоды и глубина обработки почвы, нормы и сроки внесения удобрений и др.).



Условные обозначения:

- граница орошаемого пилотного участка
- граница богарного поля
- 1_с • почвенная скважина
- сква_1 • водозаборная скважина

Рисунок 1 – Схема расположения пилотных участков и богарного поля на территории Первомайского района
Figure 1 – Layout of pilot plots and rainfed fields in the Pervomaysky District

Результаты исследования. Для пилотных участков характерно глубокое залегание грунтовых вод, что в свою очередь исключает их воздействие на развитие процесса осолонцевания почвы.

Источниками оросительной воды для первого пилотного участка Первомайского района были скважины № 1 (2023 г.) и № 2 (2024 г.), а для второго – система Северо-Крымского канала (СКК) (I декада 2023 г.) и р. Воронцовка (II–IV декады 2023–2024 гг.). Результаты исследования проб поливной воды приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Солевой состав проб оросительной воды, отобранных в 2023–2024 гг.

Table 1 – Salt composition of irrigation water samples collected in 2023–2024

Ионы	Значение показателя, мг/л				ПДК ³
	скв_1 (10.04.23)	скв_2 (09.04.24)	СКК (10.04.23)	р. Воронцовка (09.04.24)	
Гидрокарбонаты	183,0	231,8	237,9	207,4	не нормируется
Сульфаты	591,7	177,3	88,6	98,1	500
Хлориды	649,7	315,9	35,5	1057,9	350
Кальций	352,0	110,0	48,0	298,0	не нормируется
Магний	150,4	61,9	41,3	131,2	50
Натрий	410,9	204,7	23,0	685,4	200

Согласно данным таблицы 1, превышение предельно допустимых концентраций загрязняющих веществ в воде было зафиксировано по источникам: скважины № 1 (SO_4^{2-} , Cl^- , Mg^{2+} , Na^+) и № 2 (Na^+), р. Воронцовка (Cl^- , Mg^{2+} , Na^+). Система Северо-Крымского канала и водозаборная скважина № 2 характеризуются лучшим компонентным составом воды. Это в свою очередь отразилось и на результатах оценки пригодности воды для целей орошения с точки зрения опасности развития процесса осолонцевания почвы. Результаты расчета натриевого адсорбционного отношения приведены в таблице 2.

³Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания: СанПиН 1.2.3685-21 [Электронный ресурс]: Постановление Гл. гос. санитар. врача РФ от 28 янв. 2021 г. № 2 (с изм. на 30 дек. 2022 г.). Доступ из справ. правовой системы «Гарант».

Таблица 2 – Результаты оценки качества оросительной воды по SAR
Table 2 – Results of the irrigation water quality assessment according to SAR

Показатель	Значение показателя			
	скв_1 (10.04.23)	скв_2 (09.04.24)	СКК (10.04.23)	р. Воронцовка (09.04.24)
SAR	4,62	3,87	0,59	8,33
Опасность развития осолонцевания почвы	низкая			средняя

Согласно результатам расчета натриевого адсорбционного отношения при использовании для полива вод источников скважин № 1 и № 2, системы Северо-Крымского канала опасность осолонцевания почвы низкая, а р. Воронцовка – средняя.

Оценим фактическую обстановку с точки зрения воздействия поливов ограниченно пригодными водами различной минерализации на гранулометрический состав почвы. В таблице 3 приведены осредненные по участкам результаты оценки гранулометрического состава темно-каштановой почвы в орошаемых и богарных условиях, а в таблице 4 – итоги статистической обработки в целом по метровому слою.

Таблица 3 – Гранулометрический состав темно-каштановой почвы в орошаемых ограниченно пригодной водой и богарных условиях

Table 3 – Granulometric composition of dark chestnut soil under irrigation with limitedly available water and rainfed land

Глубина отбора, см	Содержание, %		Основное название почвы по двухчленной гранулометрии	Дополнительное наименование по преобладающим фракциям
	физический песок	физическая глина		
1	2	3	4	5
Первый пилотный участок (капельный способ полива)				
0–20	38,81	61,19	глина легкая	мелко-крупнопылеватая
20–40	39,84	60,16	глина легкая	
40–60	40,27	59,73	суглинок тяжелый	
60–80	34,62	65,38	глина легкая	
80–100	34,83	65,17	глина легкая	илловато-крупнопылеватая
Второй пилотный участок (дождевание)				
0–20	34,09	65,91	глина легкая	мелко-крупнопылеватая
20–40	35,79	64,21	глина легкая	
40–60	30,67	69,33	глина легкая	

Продолжение таблицы 3

Table 3 continued

1	2	3	4	5
60–80	30,55	69,45	глина легкая	иловато- крупнопылеватая
80–100	32,13	67,87	глина легкая	
Богарное поле				
0–20	51,08	48,92	суглинок тяжелый	мелко- крупнопылеватая
20–40	44,86	55,14	суглинок тяжелый	
40–60	32,69	67,31	глина легкая	иловато- крупнопылеватая
60–80	30,80	69,20	глина легкая	крупнопылевато- иловатая
80–100	31,73	68,27	глина легкая	

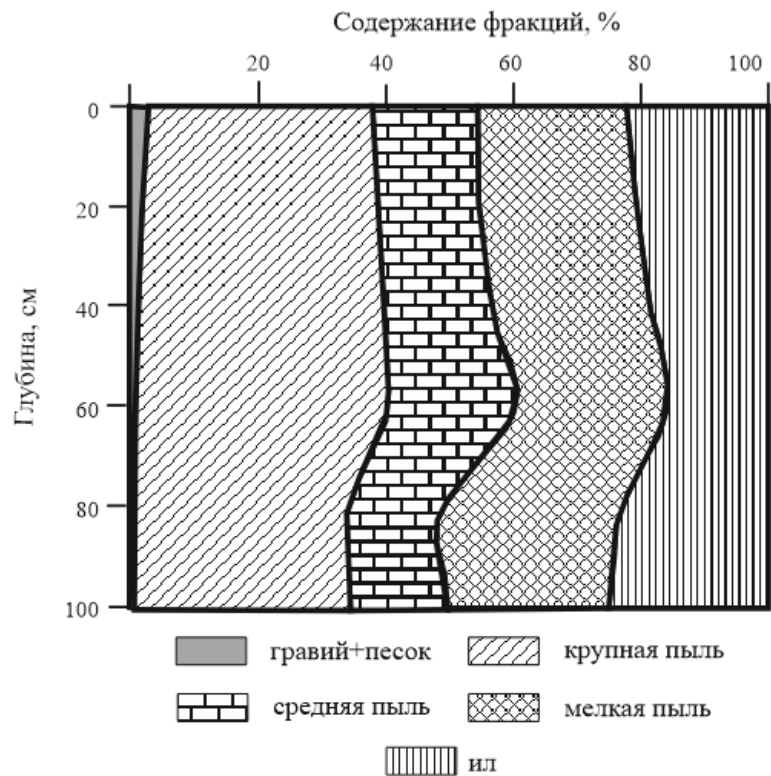
Таблица 4 – Результаты статистической обработки данных по содержанию физической глины в метровом слое темно-каштановой почвы в орошаемых и богарных условиях

Table 4 – Results of statistical data processing on the content of physical clay in a meter-thick layer of dark chestnut soil under irrigation and rainfed land

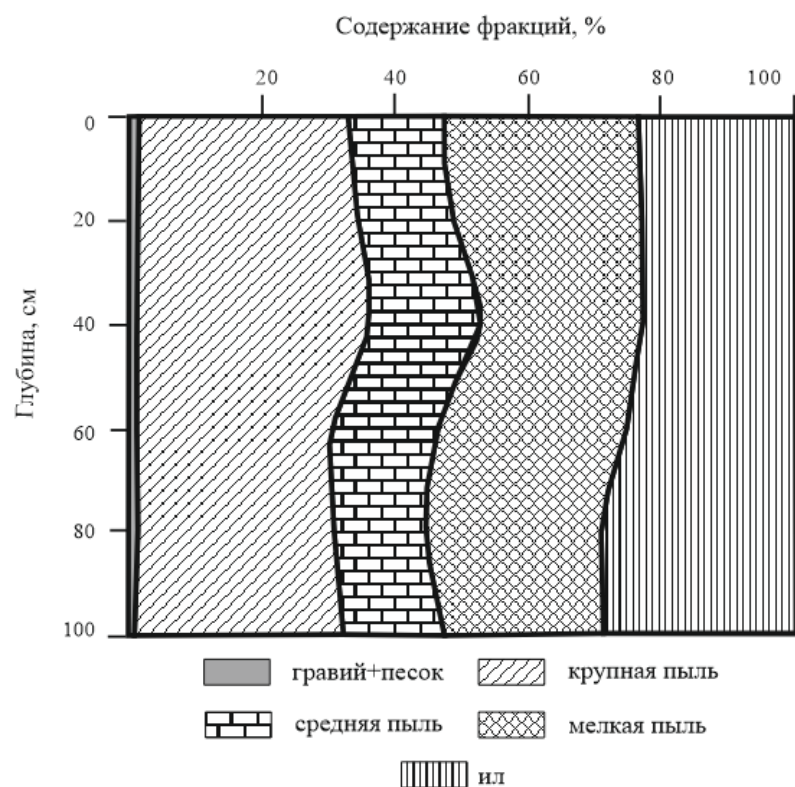
Показатель	Содержание физической глины, %			
	Капельный полив		Дождевание	
	на орошении	на богаре	на орошении	на богаре
Среднее арифметическое	61,1153	61,9707	66,2113	61,9707
Дисперсия	15,0064	70,4566	16,5156	70,4566
Стандартное отклонение	3,8738	8,3938	4,0639	8,3938
Ошибка выборки	1,0002	2,1673	1,0493	2,1673
Ошибка разности	2,3870		2,4079	
НСР ₀₅	4,8932		4,9363	
Разница между вариантами	0,8553		4,2407	

По метровому слою почвы ни на капельном поливе, ни на дождевании разница в содержании физической глины в орошаемых и богарных условиях не превысила наименьшую существенную разницу при 5 % уровне значимости. Однако при этом фиксируется высокое значение дисперсии на богаре (около 70 %), что в свою очередь свидетельствует о значительных колебаниях по содержанию физической глины в зависимости от глубины отбора почвенных образцов.

На рисунке 2 приведены профильные диаграммы, отображающие изменение содержания в метровом слое почвенных фракций различной крупности в орошаемых и богарных условиях.



a)



b)

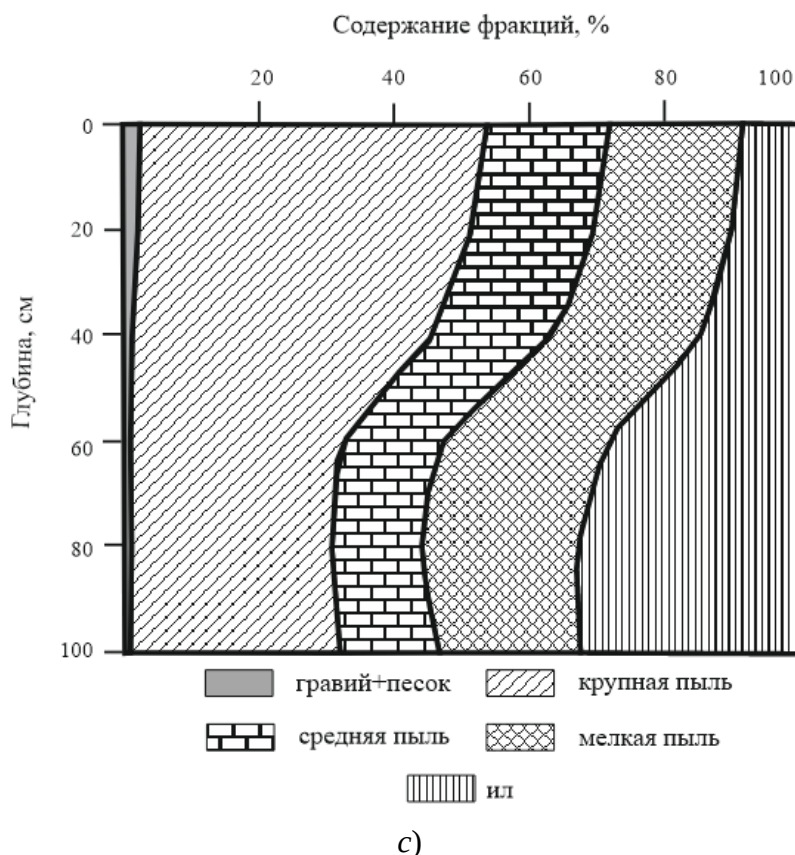


Рисунок 2 – Гранулометрический состав темно-каштановой почвы
Figure 2 – Granulometric texture of dark chestnut soil

Анализ рисунка 3 показывает, что на орошении в верхнем слое почвы (0–40 см) фракций крупностью 0,001 мм (ил) на капельном орошении и дождевании содержится соответственно в 1,5 и 1,8 раза больше, чем в богарных условиях. Хотя на гранулометрический состав почвы влияет большое количество факторов, полученные результаты свидетельствуют о том, что использование ограниченно пригодных вод для полива способствовало разрушению почвенных агрегатов и, как следствие, увеличению содержания илистой фракции. При этом на дождевании данный процесс протекал более интенсивно, о чем свидетельствуют и результаты статистической обработки.

Рассмотрим, как отразилось использование для целей орошения ограниченно пригодных вод на агрегатном составе верхнего 20-сантиметрового слоя почвы.

В таблице 5 приведены результаты оценки структурного состава почвы, полученные на основе мокрого просеивания, а в таблице 6 – итоги статистической обработки.

Таблица 5 – Содержание водопрочных макроагрегатов

Table 5 – Content of water-stable macroaggregates

Размер водопрочных макроагрегатов, мм	Содержание, %	
	на орошении	на богаре
> 3	5,0	2,4
3–2	2,9	1,4
2–1	9,3	5,0
1–0,5	13,5	10,7
0,5–0,25	27,0	30,3
< 0,25	42,3	50,2

Таблица 6 – Статистическая обработка данных по содержанию водопрочных агрегатов на орошении и богаре

Table 6 – Statistical data processing on the content of water-stable aggregates under irrigation and rainfed land

Показатель	Содержание водопрочных частиц размером более 0,25 мм, %	
	На орошении	На богаре
Среднее арифметическое	57,7	49,8
Дисперсия	9,3	6,7
Стандартное отклонение	3,1	2,6
Ошибка выборки	1,8	1,5
Ошибка разности	2,3	
НСР ₀₅	6,4	
Разница между вариантами	7,9	

Осредненное по участку содержание в верхнем слое почвы водопрочных агрегатов размером более 0,25 мм в орошаемых условиях составило 57,7 %, а в богарных – 49,8 %. Структурное состояние почвы по данному показателю плодородия по обоим вариантам было идентифицировано как хорошее, т. е. применение для полива ограниченно пригодной воды на момент обследования не повлекло ухудшение агрегатного состава верхнего слоя темно-каштановой почвы.

По результатам статистической обработки была получена существенная разница. Величина фактической разности между вариантами превысила НСР₀₅ в 1,2 раза, т. е. в орошаемых условиях верхний 20-сантиметровый

слой почвы характеризовался лучшим агрегатным составом. Полученные результаты отличаются от итогов ранее проведенных работ, направленных на изучение влияния поливов ограниченно пригодными водами на содержание водопрочных агрегатов в почве. Возможной причиной зафиксированного различия может быть более высокое содержание растительных остатков (корневой системы) в почве, обусловленное лучшим развитием тритикале в орошаемых условиях в 2023–2024 гг.

Исходя из вышеизложенного следует, что при использовании для орошения ограниченно пригодных вод необходимо проведение регулярных мониторинговых наблюдений (не реже 1 раза в 5 лет) за гранулометрическим и агрегатным составом почвы. В перспективе их реализация позволит не только зафиксировать происходящие изменения, но и скорректировать план агрономических мероприятий, направленных на сохранение почвенного плодородия.

Выводы. Использование для целей орошения темно-каштановой почвы ограниченно пригодных вод в сочетании с другими природно-климатическими и антропогенными факторами повлекло за собой изменение гранулометрического состава верхнего 40-сантиметрового слоя почвы. Так на момент обследования в верхнем слое почвы фракций крупностью 0,001 мм (ил) на капельном орошении и дождевании содержится соответственно в 1,5 и 1,8 раза больше, чем в богарных условиях.

Осредненное по участку содержание в верхнем слое почвы водопрочных агрегатов размером более 0,25 мм в орошаемых условиях составило 57,7 %, а в богарных – 49,8 %, т. е. применение для полива ограниченно пригодной воды на момент обследования не привело к ухудшению агрегатного состава верхнего слоя темно-каштановой почвы.

Список источников

1. Костяков А. Н. Основы мелиорации. 6-е изд., доп. и перераб. М.: Сельхозгиз, 1960. 622 с.
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. М.: Почв. ин-т им. В. В. Докучаева Россельхозакадемии, 2013. 756 с.

3. Горохова И. Н., Хитров Н. Б., Кравченко Е. И. Изменение засоленности орошаемых почв участка Червленое за четверть века (Волгоградская область) // Почвоведение. 2020. № 4. С. 463–472. DOI: 10.31857/S0032180X20040061. EDN: VDTLPZ.

4. Современное состояние орошаемых почв юга Приволжской возвышенности / Е. В. Зинченко, И. Н. Горохова, Н. Г. Круглякова, Н. Б. Хитров // Бюллетень почвенного института им. В. В. Докучаева. 2020. № 104. С. 68–109. DOI: 10.19047/0136-1694-2020-104-68-109. EDN: LSREIQ.

5. Пугачев Г. Н., Кузин А. И. Влияние капельного орошения на изменение агрофизических и агрохимических свойств почвы интенсивного сада // Земледелие. 2019. № 6. С. 5–8. DOI: 10.24411/0044-3913-2019-10601. EDN: FCXQBN.

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

7. Докучаева Л. М., Юркова Р. Е. Оценка почвообразовательных процессов длительно орошаемых пресной водой черноземов обыкновенных // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. 2017. № 1(25). С. 66–80. EDN: XWNORP.

8. Бабичев А. Н., Докучаева Л. М., Юркова Р. Е. Оценка агропроизводительной способности длительно орошаемых почв // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. 2020. № 3(39). С. 83–105. DOI: 10.31774/2222-1816-2020-3-83-105. EDN: DUHYNA.

9. Szabolcs I. The Influence of Irrigation Water of High Sodium Carbonate Content on Soils // *Agrokémia És Talajtan*. 1964. Т. 13. P. 237–246.

10. 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. Article number: 106167. DOI: 10.1016/j.agwat.2020.106167. EDN: NOCZJJ.

11. 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, H. Shi, N. Chen, Q. Hu, T. Tian, J. Simunek // *Agricultural Water Management*. 2021. Vol. 244. Article number: 106601. DOI: 10.1016/j.agwat.2020.106601. EDN: CJVSXM.

12. Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils: Agriculture Handbook / editor L. A. Richards. L. E. Allison, L. Bernstein, C. A. Bower, J. W. Brown, M. Fireman, J. T. Hatcher, H. E. Hayward, G. A. Pearson, R. C. Reeve, L. A. Richards, L. V. Wilcox; United State Department of Agriculture. Washington, DC, 1954. Vol. 60. 160 p.

13. 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.

14. Шалашова О. Ю., Рубцов И. П. Трансформация чернозема обыкновенного при длительном орошении слабоминерализованной водой сульфатно-натриевого состава // Мелиорация и гидротехника. 2022. Т. 12, № 3. С. 1–14. DOI: 10.31774/2712-9357-2022-12-3-1-14. EDN: WEGGOF.

15. 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. DOI: 10.31774/2712-9357-2024-14-4-81-97. EDN: NKJPEA.

16. Бабаев М. П., Рамазанова Ф. М., Гурбанов Э. А. Влияние промежуточных посевов кормовых культур на гранулометрический и микроагрегатный состав генетиче-

ски различных почв сухой субтропической зоны Азербайджана // Агрохимия. 2020. № 3. С. 11–23. DOI: 10.31857/S0002188120030035. EDN: WUXLIN.

17. Гурбанов Э. А., Мустафаев М. Г., Гурбанова З. Р. Влияние орошения водами различного химического состава на почвы сухих субтропиков Азербайджана // Мелиорация. 2023. № 1(103). С. 39–46. EDN: NKWCNH.

18. Захаров В. Л., Пугачев Г. Н., Влияние капельного орошения яблоневого сада на гранулометрический состав лугово-черноземной почвы Тамбовской области // Наука и образование: актуальные вопросы, достижения и инновации: сб. ст. XII Междунар. науч.-практ. конф., г. Пенза, 10 февр. 2024 г. Пенза: Наука и просвещение (ИП Гуляев Г. Ю.), 2024. С. 28–31. EDN: EUDJBU.

19. Шадских В. А., Кижаяева В. Е. Прогноз изменения агрофизических характеристик почв Поволжья под влиянием длительного орошения // Орошаемое земледелие. 2022. № 3(38). С. 56–61. DOI: 10.35809/2618-8279-2022-3-12. EDN: NTXKQK.

20. 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. 2024. Т. 14, № 2. С. 139–155. DOI: 10.31774/2712-9357-2024-14-2-139-155. EDN: FWWJQB.

21. Сравнительная характеристика свойств аллювиальных лугово-болотных почв рисовых агроценозов и целинного участка Республики Адыгея / С. А. Тешева, А. В. Осипов, Т. В. Швеи, А. А. Надеждин // Рисоводство. 2024. Т. 23, № 3(64). С. 94–99. DOI: 10.33775/1684-2464-2024-64-3-94-99. EDN: GHYLLX.

22. 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.

23. 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. Article number: 107405. DOI: 0.1016/j.agwat.2021.107405. EDN: KMCGBW.

24. Effect of a 10-year irrigation with saline water on soil physic-chemical properties and cotton production / A. Zhang, J. Zhang, K. Li, H. Dang, J. Sun, G. Wang, C. Sun, A. E. Rahma, D. Feng // Journal of Soil and Water Conservation. 2020. Vol. 75, iss. 5. P. 629–639. DOI: 10.2489/jswc.2020.00063. EDN: OLULRO.

References

1. Kostyakov A.N., 1960. *Osnovy melioratsiy* [Fundamentals of Land Reclamation]. 6th ed., suppl. and rev. Moscow, Selkhozgiz Publ., 622 p. (In Russian).

2. *Nauchnye osnovy predotvrashcheniya degradatsii pochv (zemel') sel'skokhozyaystvennykh ugodiy Rossii i formirovaniya sistem vosproizvodstva ikh plodorodiya v adaptivno-landshaftnom zemledelii. T. 1* [The scientific basis for preventing the degradation of soils (lands) of agricultural lands in Russia and the formation of systems for the reproduction of their fertility in adaptive landscape agriculture. Vol. 1]. *Teoreticheskie i metodicheskie osnovy predotvrashcheniya degradatsii pochv (zemel') sel'skokhozyaystvennykh ugodiy: kollektiv. monogr.* [Theoretical and Methodological Foundations for Preventing the Soil (Land) Degradation of Agricultural Lands: collective monograph]. Moscow, Soil Science Institute named after V. V. Dokuchaev, Russian Agricultural Academy Publ., 2013, 756 p. (In Russian).

3. Gorokhova I.N., Khitrov N.B., Kravchenko E.I., 2020. *Izmenenie zasolennosti oroshaemykh pochv uchastka Chervlenoye za chetvert' veka (Volgogradskaya oblast')* [Changes in soil salinity at the Chervlenoe irrigation massive (Volgograd Oblast) in a quarter of century].

Pochvovedenie [Eurasian Soil Science], no. 4, pp. 463–472, DOI: 10.31857/S0032180X20040061, EDN: VDTLPZ. (In Russian).

4. Zinchenko E.V., Gorokhova I.N., Kruglyakova N.G., Khitrov N.B., 2020. *Sovremennoe sostoyanie oroshaemykh pochv yuga Privolzhskoy vozvyshennosti* [Current state of irrigated soils at the south of the Volga Upland]. *Byulleten' pochvennogo instituta im. V. V. Dokuchaeva* [Bulet. of Dokuchaev Soil Science Institute], no. 104, pp. 68–109, DOI: 10.19047/0136-1694-2020-104-68-109, EDN: LSREIQ. (In Russian).

5. Pugachev G.N., Kuzin A.I., 2019. *Vliyanie kapel'nogo orosheniya na izmenenie agrofizicheskikh i agrokhimicheskikh svoystv pochvy intensivnogo sada* [Influence of drip irrigation on agrophysical and agrochemical soil properties in an intensive garden]. *Zemledelie* [Farming], no. 6, pp. 5–8, DOI: 10.24411/0044-3913-2019-10601, EDN: FCXQBN. (In Russian).

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

7. Dokuchaeva L.M., Yurkova R.E., 2017. *Otsenka pochvoobrazovatel'nykh protsessov dlitel'no oroshaemykh presnoy vodoy chernozemov obyknovennykh* [Evaluation of soil-forming process of ordinary chernozem irrigated long-term with fresh water]. *Nauchnyy zhurnal Rossiyskogo NII problem melioratsii* [Scientific Journal of the Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems], no. 1(25), pp. 66–80, EDN: XWNORP. (In Russian).

8. Babichev A.N., Dokuchaeva L.M., Yurkova R.E., 2020. *Otsenka agroproduktivnosti dlitel'no oroshaemykh pochv* [Assessment of agricultural productivity of soils irrigated for a long time]. *Nauchnyy zhurnal Rossiyskogo NII problem melioratsii* [Scientific Journal of the Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems], no. 3(39), pp. 83–105, DOI: 10.31774/2222-1816-2020-3-83-105, EDN: DUHYNA. (In Russian).

9. Szabolcs I., 1964. The influence of irrigation water of high sodium carbonate content on soils. *Agrokémia És Talajtan*, vol. 13, pp. 237–246.

10. 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, article number: 106167, DOI: 10.1016/j.agwat.2020.106167, EDN: NOCZJJ.

11. Zhang Y., Li X., Shi H., Chen N., Hu Q., Tian T., Simunek J., 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, article number: 106601, DOI: 10.1016/j.agwat.2020.106601, EDN: CJVSXM.

12. Allison L.E., Bernstein L., Bower C.A., Brown J.W., Fireman M., Hatcher J.T., Hayward H.E., Pearson G.A., Reeve R.C., Richards L.A., Wilcox L.V., 1954. *Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils: Agriculture Handbook*. United State Department of Agriculture. Washington, DC, vol. 60, 160 p.

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

14. Shalashova O.Yu., Rubtsov I.P., 2022. *Transformatsiya chernozema obyknovennogo pri dlitel'nom oroshenii slabomineralizovannoy vodoy sul'fatno-natrievogo sostava* [Transformation of ordinary chernozem under long-term irrigation with low-mineralized sulfate-sodium water]. *Melioratsiya i gidrotekhnika* [Land Reclamation and Hydraulic Engineering], vol. 12, no. 3, pp. 1–14, DOI: 10.31774/2712-9357-2022-12-3-1-14, EDN: WEGGOF. (In Russian).

15. Volkova N.E., Podovalova S.V., 2024. *Vliyanie kapel'nogo orosheniya ogranichenno prigodnymi vodami na solevoy sostav temno-kashtanovoy pochvy* [The effect of drip

irrigation with limitedly available waters on the salt composition of dark chestnut soil]. *Melioratsiya i gidrotekhnika* [Land Reclamation and Hydraulic Engineering], vol. 14, no. 4, pp. 81-97, DOI: 10.31774/2712-9357-2024-14-4-81-97, EDN: NKJPEA. (In Russian).

16. Babayev M.P., Ramazanov F.M., Gurbanov E.A., 2020. *Vliyanie promezhutochnykh posevov kormovykh kul'tur na granulometricheskiy i mikroagregatnyy sostav geneticheskikh razlichnykh pochv sukhoy subtropicheskoy zony Azerbaydzhana* [The influence of the intermediate sowings of fodder crops on granulometric and microaggregate composition genetically different soils in the arid subtropical zone of Azerbaijan]. *Agrokhiimiya* [Agrochemistry], no. 3, pp. 11-23, DOI: 10.31857/S0002188120030035, EDN: WUXLIN. (In Russian).

17. Gurbanov E.A., Mustafayev M.G., Gurbanova Z.R., 2023. *Vliyanie orosheniya vodami razlichnogo khimicheskogo sostava na pochvy sukhikh subtropikov Azerbaydzhana* [Influence of irrigation with the water of different chemical composition on soil in arid subtropics of Azerbaijan]. *Melioratsiya* [Land Reclamation], no. 1(103), pp. 39-46, EDN: NKWCNH. (In Russian).

18. Zakharov V.L., Pugachev G.N., 2024. *Vliyanie kapel'nogo orosheniya yablonevogo sada na granulometricheskiy sostav lugovo-chernozemnoy pochvy Tambovskoy oblasti* [The effect of drip irrigation of an apple orchard on the granulometric composition of meadow-chnozem soil in the Tambov region]. *Nauka i obrazovanie: aktual'nye voprosy, dostizheniya i innovatsii: sb. st. XII Mezhdunar. nauch.-prakt. konferentsii* [Science and Education: Current Issues, Achievements and Innovations: Proceed. of the XII International Scientific-Practical Conf.]. Penza, Science and Education (IP Gulyaev G.Yu.), pp. 28-31, EDN: EUDJBU. (In Russian).

19. Shadskikh V.A., Kizhaeva V.E., 2022. *Prognoz izmeneniya agrofizicheskikh kharakteristik pochv Povolzh'ya pod vliyaniem dlitel'nogo orosheniya* [Forecast of changes in agrophysical characteristics of Volga soils under the influence of long-term irrigation]. *Oroshaemoe zemledelie* [Irrigated Agriculture], no. 3(38), pp. 56-61, DOI: 10.35809/2618-8279-2022-3-12, EDN: NTXKQK. (In Russian).

20. Volkova N.E., Podovalova S.V., Dzhaparova A.M., 2024. *Kompleksnaya otsenka sostava i svoystv chernozema yuzhnogo mitsellyarno-karbonatnogo, oroshaemogo ograniichenno prigodnymi vodami* [Comprehensive assessment of the southern micellar-carbonate chernozem content and properties irrigated with limitedly available water]. *Melioratsiya i gidrotekhnika* [Land Reclamation and Hydraulic Engineering], vol. 14, no. 2, pp. 139-155, DOI: 10.31774/2712-9357-2024-14-2-139-155, EDN: FWWJQB. (In Russian).

21. Tesheva S.A., Osipov A.V., Shvets T.V., Nadezhdin A.A., 2024. *Sravnitel'naya kharakteristika svoystv allyuvial'nykh lugovo-bolotnykh pochv risovykh agrotsenozov i tselin-nogo uchastka Respubliki Adygeya* [The comparative characteristics of the properties of alluvial meadow-marsh soils of rice agrocenoses and virgin lands of the Republic of Adygea]. *Risovodstvo* [Rice Growing], vol. 23, no. 3(64), pp. 94-99, DOI: 10.33775/1684-2464-2024-64-3-94-99, EDN: GHYLLX. (In Russian).

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

23. 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, article number: 107405, DOI: 10.1016/j.agwat.2021.107405, EDN: KMCGBW.

24. Zhang A., Zhang J., Li K., Dang H., Sun J., Wang G., Sun C., Rahma A.E., Feng D., 2020. Effect of a 10-year irrigation with saline water on soil physic-chemical properties and

cotton production. Journal of Soil and Water Conservation, vol. 75, iss. 5, pp. 629-639, DOI: 10.2489/jswc.2020.00063, EDN: OLULRO.

Информация об авторах

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

А. С. Волков – студент, Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского (295007, Республика Крым, г. Симферополь, пр-кт Академика Вернадского, д. 4), wolfalex.and.2006@gmail.com;

С. В. Подовалова – младший научный сотрудник, Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма (295034, Республика Крым, г. Симферополь, ул. Киевская, д. 150), podovalovas@list.ru, AuthorID: 848970, Scopus ID: 57205643683, ORCID: 0000-0002-2823-797X.

Information about the authors

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

A. S. Volkov – Student, V. I. Vernadsky Crimean Federal University (295007, Republic of Crimea, Simferopol, Akademika Vernadskogo Avenue, 4), wolfalex.and.2006@gmail.com;

S. V. Podovalova – Junior Researcher, Research Institute of Agriculture of Crimea (295034, Republic of Crimea, Simferopol, Kievskaya Street, 150), podovalovas@list.ru, AuthorID: 848970, Scopus ID: 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 20.06.2025; одобрена после рецензирования 12.08.2025; принята к публикации 19.09.2025.

The article was submitted 20.06.2025; approved after reviewing 12.08.2025; accepted for publication 19.09.2025.