

УДК 631.481:536.7:550.4.01 (470)

DOI: 10.19047/0136-1694-2026-128-118-146



Ссылки для цитирования:

Ергина Е.И., Новицкий М.Л. Свойства почв постирригационных агроландшафтов Присивашья // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. 2026. Вып. 128. С. 118-146. DOI: 10.19047/0136-1694-2026-128-118-146

Cite this article as:

Ergina E.I., Novitsky M.L., Properties of soils of post-irrigation agrolandscapes of Sivash Lowland, Dokuchaev Soil Bulletin, 2026, V. 128, pp. 118-146, DOI: 10.19047/0136-1694-2026-128-118-146

Благодарность:

Исследование выполнено при поддержке гранта Российского научного фонда № 24-17-20020 <https://rscf.ru/project/24-17-20020/> и Министерства образования, науки и молодежи Республики Крым.

Acknowledgments:

The study was supported by the Russian Science Foundation grant No. 24-17-20020 <https://rscf.ru/project/24-17-20020/> and the Ministry of Education, Science and Youth of the Republic of Crimea.

Свойства почв постирригационных агроландшафтов Присивашья

© 2026 г. Е. И. Ергина¹, М. Л. Новицкий^{1,2}

¹Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, Россия,
295007, Симферополь,
e-mail: ergina65@mail.ru.

²Никитский ботанический сад, Национальный научный центр, Россия,
298648, Ялта,
<https://orcid.org/0000-0002-6860-3049>, e-mail: maxim.novickiy@bk.ru.

Поступила в редакцию 28.03.2025, после доработки 02.02.2026,
принята к публикации 29.04.2026

Резюме: В статье рассмотрена трансформация физических, физико-химических и химических свойств лугово-каштановых почв на ключевом участке с различными вариантами землепользования: залежь – богарный – постирригационный (полевой севооборот, рисовый чек). На всех исследуемых вариантах почва по гранулометрическому составу тяжелая

и представлена легкой глиной и тяжелым суглинком с преобладанием илистых и крупнопылеватых фракций. В сравнении с залежной почвой на постирригационных участках наблюдается увеличение доли дефляционно опасной пыли средней и мелкой, уменьшение доли песчаных фракций и содержания физической глины в пахотном горизонте. Все варианты исследованных лугово-каштановых солонцеватых почв отличаются высокой плотностью сложения и низкой пористостью. Обработка почвы сельскохозяйственной техникой способствует ухудшению ее физических свойств в подпахотном горизонте. За время полувекового функционирования агроландшафтов в условиях орошения произошли значительные трансформации химического состава почв, наблюдающиеся и в настоящее время. Почвы залежного участка относятся к глубокосолончаковым, а почвы постирригационного участка под полевыми севооборотами трансформировались в незасоленные варианты и сохраняют эту тенденцию на протяжении 34 лет. На участках под бывшим рисовым чеком аналогичная ситуация – почва выщелочена от солей на всю глубину профиля, процессов вторичного засоления не наблюдается.

Ключевые слова: почвы; орошение; постирригационные агроландшафты; засоленность; токсичные соли; водная вытяжка.

Properties of soils of post-irrigation agrolandscapes of Sivash Lowland

© 2026 E. I. Ergina¹, M. L. Novitsky^{1,2}

¹V.I. Vernadsky Crimean Federal University,
295007, Simferopol, Russian Federation,
e-mail: ergina65@mail.ru.

²Nikitsky Botanical Garden, National Scientific Center,
298648, Yalta, Russian Federation,
<https://orcid.org/0000-0002-6860-3049>, e-mail: maxim.novickiy@bk.ru.

Received 28.03.2025, Revised 02.02.2026, Accepted 29.04.2026

Abstract: The article considers the transformation of physical, physico-chemical and chemical properties of meadow-chestnut soils in a key area with various land use options: virgin – bogara – irrigation (field crop rotation, rice paddy). In all the studied variants, the soil is heavy in terms of granulometric composition and is represented by light clay and heavy loam with a predominance of silty and coarse-powdered fractions. In comparison with virgin soil in irrigation areas, there is an increase in deflation-hazardous dust

of medium and fine dust, a decrease in the proportion of sand fractions, and a decrease in the content of physical clay in the arable horizon. All variants of the studied meadow-chestnut saline soils are characterized by high density of composition and low porosity. Tillage with agricultural machinery contributes to the deterioration of the physical properties of the soil in the sub-arable horizon. During the half-century of functioning of agrolandscapes under irrigation conditions, significant transformations of the chemical composition of soils have occurred, which are still observed today. The soils of the virgin area are deeply saline, and the soils of the post-irrigation area under field crop rotations have transformed into non-saline variants and have maintained this trend for 34 years. The situation is similar in the areas under the former rice paddy – the soil is leached of salts from the depth of the entire profile and secondary salinization processes are not observed.

Keywords: soils; irrigation; post-irrigation agrolandscapes; salinity; toxic salts; water extraction.

ВВЕДЕНИЕ

Современными исследованиями достоверно установлено, что сельскохозяйственная деятельность приводит к изменению свойств и направлений протекания почвенных процессов, которые не являются типичными для почв, сформированных в автономных условиях ландшафта; кроме того, резко меняется биологический круговорот химических (питательных) элементов. Распашка, обработка почвы в ходе выращивания сельскохозяйственных растений обуславливает механическое перемешивание почвенной массы (плантажной вспашкой до 60–65 см) верхних горизонтов и вызывает нарушение природного сложения профиля почв. Замена естественной растительности культурной, орошение, осушение и т. д. приводят к постепенной трансформации почвенной массы, изменению природных процессов и режимов. Происходит структурная реорганизация почв: водно-физических, химических, физико-химических, биологических показателей. В результате такого специфического процесса почвообразования формируется новый профиль почв (Тихоненко, 2011). Фактически происходит замещение естественного почвообразовательного процесса на антропогенный и/или культурный. Изучение характеристик почв, динамики их свойств в результате сельскохозяйственного влияния занимает отдельную отрасль в почвоведении (Муха, 2004). Значи-

тельная антропогенная нагрузка привела к масштабным процессам деградации почвенного покрова. Усиливаются процессы эрозии, дегумификации, вторичного засоления почв. В масштабах Крымского полуострова длительное орошение территории большей части Равнинного Крыма (с 60-х годов прошлого века) днепровской водой, поступающей по Северо-Крымскому каналу, а это свыше 397.3 тыс. га (согласно данным ГБУ РК “Крымская гидрогеолого-мелиоративная экспедиция”), привело к развитию несвойственных для автономных ландшафтов направлений функционирования геосистем. Это вызвало перестройку внутрипочвенных зонально обусловленных процессов. Развитие рисоводства с интенсивным водопотреблением и дальнейший сброс избытка поливных вод из дренажных коллекторов в заливы Черного и Азовского морей привели к понижению верхней границы карбонатного горизонта, уменьшению доли обменного натрия и магния, нейтрализации щелочности почв, уплотнению срединных горизонтов и нарушению геохимического баланса прилегающих территорий. На пониженных участках с повышенным уровнем грунтовых вод (УГВ) наблюдалось вторичное засоление почв, а также увеличение в составе ППК натрия, появлялась высокая щелочность (ГОСТ 26483-85). После 2014 г. подача днепровской воды по Северо-Крымскому каналу была прекращена (за исключением короткого периода с весны 2022 г. по лето 2023 г.). На ранее орошавшихся территориях начали формироваться постирригационные агроландшафты с иной системой землепользования (Хитров и др., 2016). Исследования эволюции почв под воздействием орошения проводились ранее рядом наших ведущих ученых-почвоведов (Новикова и др., 2009; Любимова, Мотузов, 2005; Любимова, 2006; Мотузов и др., 2004; Любимова и др., 2011; Турусов и др., 2015; Кольцов, Титков, 2019). Для Крымского полуострова текущее и постирригационное состояние почв сельскохозяйственных участков на протяжении 2015–2017 гг. изучалось Н.Б. Хитровым с соавторами (Хитров и др., 2016; Хитров и др., 2017; Хитров и др., 2020). Можно утверждать, что на ранее орошаемых участках происходят глубокие геохимические изменения, которые в ближайшее время приведут к трансформации свойств почв, состояния и качества поверхностных и подземных вод и, следовательно, к пе-

рестройке функционирования агроландшафтов. Неконтролируемый забор воды из верхних водоносных горизонтов для полива приусадебных участков приводит к повышению минерализации подземных вод, в том числе используемых для питьевого водоснабжения. Все эти факторы проявляются на фоне естественных климатических изменений, которые вызовут интенсификацию процессов деградации почв вследствие развития процессов водной и ветровой эрозии, что позволяет рассматривать территорию Равнинного Крыма как потенциальную зону активизации процессов опустынивания (Ергина, 2017; Ергина, Жук, 2017). По сути почвы в современных условиях отражают новый этап эволюции, при этом прогнозировать темпы и направленность процесса без специальных исследований довольно сложно, особенно когда аналогов таких воздействий недостаточно. Это обстоятельство обусловило формирование цели данной работы: охарактеризовать современное состояние почв постирригационных ландшафтов Присивашья для оценки представлений о трендах их дальнейшей эволюции, устойчивости почв и геосистем в целом и разработки стратегии мониторинговых наблюдений территории.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Территория исследования расположена в северо-восточной части Крымского полуострова, восточной части Присивашско-Крымской низменной области (Маринич и др., 2003; Подгородецкий, 1988) (рис. 1). Основные ландшафты – слабодренированные равнины на четвертичных лёссовидно-суглинистых отложениях с каштановыми почвами, в т. ч. солонцеватыми, с полупустынными степями в комплексе с бедноразнотравными (Современные ландшафты Крыма..., 2009). В рельефе Присивашская низменность представлена плоской аккумулятивной слабоволнистой равниной и характеризуется широкими балочными понижениями и обширными водораздельными пространствами. По данным метеостанции Джанкой, среднегодовая температура составляет 11.0 °С, сумма температур выше 10 °С – 3 467, продолжительность безморозного периода – 210–230 дней. Территория Присивашья характеризуется относительной засушливостью, годовая сумма осадков в среднем составляет 437 мм. В 2023 г., предшествовавшем перио-

ду исследований, выпало 532 мм осадков, из них за вегетационный период – 348.7 мм, что немногим выше нормы. Коэффициент увлажнения Высоцкого-Иванова составляет 0.34–0.45, радиационный индекс сухости Будыко – 2.20–2.35, гидротермический коэффициент Селянинова – 0.54–0.60 (Современные ландшафты Крыма..., 2009).

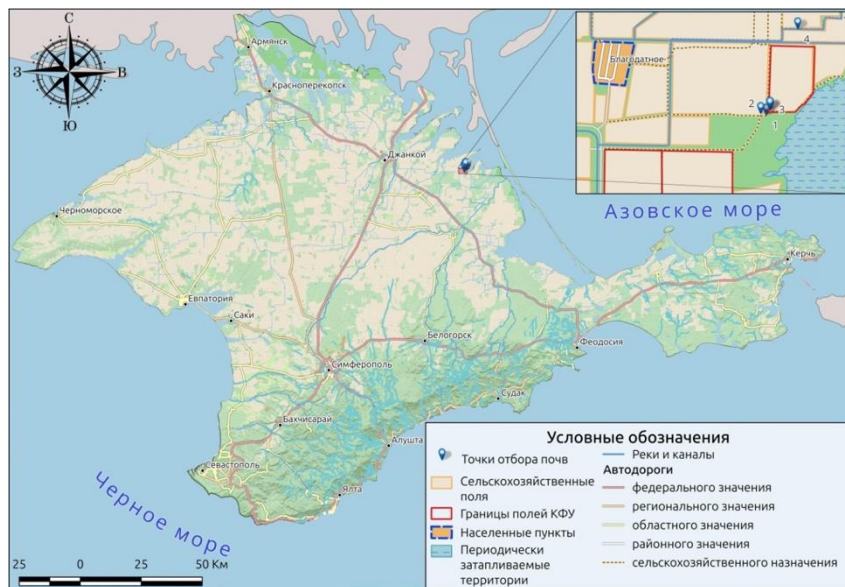


Рис. 1. Местоположение участков исследования на территории Крыма.
Fig. 1. Location of research sites in Crimea.

Поверхностные водотоки практически все преобразованы после строительства Северо-Крымского канала: заключены в искусственные спрямленные русла и использовались для приема дренажных и сбросовых вод с канала. Режим грунтовых вод в районе исследований характеризуется как установившийся. Отмечаются лишь сезонные колебания УГВ с амплитудой 0.2–0.6 м, обусловленные количеством выпавших осадков и работой коллекторно-дренажных сетей, и составляет от 3 до 5 м (согласно данным Крымской гидрогеолого-мелиоративной экспедиции) и зако-

номерно повышается при удалении от берега Сиваша (в окрестностях с. Благодатное (рис. 1) уровень подземных вод достигает 6–8 м). Зональная растительность сохранилась лишь на небольших отдаленных участках, засоленных и не пригодных для выращивания сельскохозяйственных культур. Преобладают галофитные ассоциации в окрестностях ветровых осушек – так называемых “засух”. Злаки представлены бескильницей Фомина (*Puccinellia fominii*), прибрежницей (*Aeluropus littoralis*), житняком (*Agropyron*), разновидностями пырея (*Elytrigia of Crimean region*) (Полевой определитель почв..., 2008). Почвообразующие породы – лёссовидные глины и суглинки (Полевой определитель почв..., 2008).

В пределах территории исследования заложены 4 ключевых участка для изучения свойств почв в различных условиях их использования; все они расположены в границах одной почвенной разности на расстоянии не более 1 км.

Участок Гр 1 – залежный участок – к востоку от с. Благодатное, Джанкойского района, в 5 м от проселочной дороги, с координатами 45.6701389° с. ш.; 34.7974131° в. д. Участок хорошо задернован травянистой растительностью. Проективное покрытие от 80 до 90%. Фитоценоз представлен злаковыми и разнотравными ассоциациями с участием пырея ползучего (*Elytrigia repens*), полыни крымской (*Artemisia taurica*), пижмы тысячелистной (*Tanacetum millefolium*), мятлика лугового (*Poa pratensis*). Встречаются одиночные экземпляры тростника (*Phragmites australis*). Почва лугово-каштановая глубоко солонцеватая (Качинский, 1958) или каштановая квазиглееватая, легкоглинистая на желтобурых суглинках, согласно Полевому определителю почв... (2008). Участок Гр-1 (залежь) выбран в качестве фонового (исходного) объекта для изучения динамики свойств всего ряда почв с различными режимами функционирования: залежь – богара – разновременные постирригационные участки.

Участок Гр 2 с координатами: 45.6702328° с. ш., 34.7970930° в. д., заложен на поле с полевым севооборотом, орошаемом до 1989 г., в настоящее время этот участок находится в постирригационном режиме и засеян озимой пшеницей. Почва классифицируется как агрозем аккумулятивно-карбонатный, тя-

желосуглинистый на желто-бурых суглинках. В публикациях Н.Б. Хитрова, приуроченных к исследованиям постирригационных почв Крыма (Тихоненко, 2009), отмечено, что на месте лугово-каштановых почв в условиях орошения сформировались агрозоны поверхностно-глеевые ксерометаморфические окисленно-глеевые тяжелосуглинистые на желто-бурых суглинках и глинах (Полевой определитель почв..., 2008), но пахотный горизонт уже через 4 года окислительного режима богарного использования потерял признаки глеевого горизонта. При морфологическом исследовании почвенных профилей постирригационных участков мы также не наблюдали признаков процесса оглеения.

Участок Гр 3 заложен на богаре – участке, который никогда не орошался, с координатами 45.6706118° с. ш.; 34.7982974° в. д. Это поле на момент исследований тоже было засеяно пшеницей. Почва – лугово-каштановая солонцеватая (Качинский, 1958), или каштановая квазиглееватая, тяжелосуглинистая на желто-бурых суглинках, согласно Полевому определителю почв... (2008).

Участок Гр 4 заложен на бывшем до 2014 г. рисовом чеке с координатами 45.6797295° с. ш.; 34.8027810° в. д., в настоящее время в постирригационном режиме, засеян ячменем. Почва – агрозем аккумулятивно-карбонатный (постирригационный), легкоглинистый согласно (Полевой определитель почв..., 2008).

При полевых и лабораторных исследованиях использованы принятые в почвоведении ГОСТы, ДСТУ и методики. Для аналитических исследований отбирали смешанные образцы почвы, соответственно ГОСТу 58595-2019. Гранулометрический состав мелкозема определяли методом пипетки пирофосфатным способом, и микроагрегатный – по Качинскому (ГОСТ 12536-2014) (Качинский, 1958), плотность почвы определяли цилиндром по Н.А. Качинскому – ГОСТ 5180-2015, общую пористость определяли расчетным методом (Вадюнина, Корчагина, 1986). Гумус определяли методом Тюрина в модификации ЦИНАО (ГОСТ 26213-91). Солевой состав почв оценивали на основании определения катионно-анионного состава водной вытяжки (ГОСТ 26423-26428), обменные катионы – по Пфефферу в модификации Молодцова, Игнатовой (Воробьева, 1998) (Определение кальция – комплексометрическим методом, определение суммы кальция и магния –

комплексометрическим методом, определение натрия – методом фотометрии пламени). Степень и химизм засоления почвы оценивали по классификации Базилевич и Панковой (Базилевич, Панкова, 1972). Величину рН водной суспензии – потенциметрически (ГОСТ 26483-85), общее содержание карбонатов кальция – газоволуметрическим методом определения углекислоты карбонатов (по объему CO_2) (Петербургский, 1963).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Орошение, как и иное антропогенное воздействие, влияет на функционирование почв комплексно и неоднозначно (Кольцов, Титков, 2019). Изменяются их физические, химические свойства, характер функционирования и состав биологической составляющей, но “характерные времена” многих почвообразующих процессов четко не определены. Причины трансформации почв при орошении связаны с перераспределением энергетических и вещественных потоков в педосистеме. В основном это привнос илистых частиц с поливной водой, перераспределение тонкодисперсных частиц по профилю, интенсификация процессов вторичного выветривания минеральной части почвы, разрушение почвенной структуры, изменение и перераспределение по профилю органической части, вторичное засоление и другие ресурсопределяющие процессы. Даже после прекращения орошения в почвах гранулометрический состав, плотность, пористость почв и иные физические свойства длительное время отражают в профиле информацию, свидетельствующую о прошлых воздействиях.

Результаты аналитических исследований ключевых участков (табл. 1) свидетельствуют, что по гранулометрическому составу лугово-каштановая почва, сформированная на залежном участке (Гр 1), тяжелая и представлена легкой глиной (содержание физической глины $> 50\%$) с преобладанием илистой фракции. Среднее значение физической глины составляет 61.3% , а илистых фракций – 37.3% . Вниз по профилю содержание физической глины резко уменьшается и в слое $120\text{--}140\text{ см}$ и составляет 12.1% , физического песка – 87.9% . В слое $100\text{--}140\text{ см}$ преобладает фракция крупной пыли – 50.7% .

Таблица 1. Гранулометрический состав и физические свойства почв Присивашья
Table 1. Granulometric composition and physical properties of soils of the Sivash region

Слой почвы, см	Содержание фракций, мм						Сумма фракций <0.01 мм	Плотность сложения, г/см ³	Пористость, % от объема почвы
	1– 0.25	0.25– 0.05	0.05– 0.01	0.01– 0.005	0.005– 0.001	< 0.001			
Гр 1 залежь									
0–10	0.4	8.4	30.2	11.5	13.0	36.6	61.0	1.31	48
10–33	0.1	8.9	31.4	7.9	14.2	37.6	59.6	1.46	43
33–40	0.0	8.1	28.1	6.8	18.6	38.3	63.8	1.59	39
40–60	0.0	7.6	29.8	8.1	15.6	38.9	62.6	1.63	38
60–80	0.0	7.9	30.2	9.2	15.4	37.2	61.8	1.58	40
80–100	0.0	8.6	32.6	5.8	17.8	35.1	58.7	1.42	46
100–120	5.1	18.3	33.7	7.5	25.5	10.0	43.0	1.51	42
120–140	1.9	18.3	67.8	9.1	1.4	1.6	12.1	1.56	40
Гр 2 постирригационный, 34 года, полевой севооборот									
0–10	0.1	11.1	30.6	8.6	16.9	32.7	58.2	1.35	46
10–36	0.1	8.1	33.9	8.4	15.2	34.3	57.9	1.46	43
36–40	0.0	7.1	30.0	8.8	18.3	35.8	62.9	1.53	42
40–60	0.0	1.9	35.5	8.6	18.2	35.8	62.6	1.53	42
60–73	0.0	6.2	32.1	5.1	22.2	34.4	61.7	1.55	41
76–83	0.1	7.7	29.4	8.2	18.3	36.2	62.8	1.55	41
83–100	0.0	7.2	30.3	7.8	19.8	34.8	62.5	1.58	40
100–120	0.0	2.6	35.6	5.9	19.2	36.7	61.8	1.45	44

Продолжение таблицы 1

Table 1 continued

Слой почвы, см	Содержание фракций, мм						Сумма фракций <0.01 мм	Плотность сложения, г/см ³	Пористость, % от объема почвы
	1– 0.25	0.25– 0.05	0.05– 0.01	0.01– 0.005	0.005– 0.001	< 0.001			
Гр 3 богарный									
0–10	0.1	8.4	32.6	12.9	13.1	32.9	59.0	1.32	48
10–40	0.1	9.3	32.8	11.0	12.1	34.7	57.8	1.41	44
40–60	0.0	6.9	30.3	9.5	18.2	35.1	62.8	1.56	40
60–80	0.0	6.0	33.2	10.2	17.3	33.3	60.8	1.58	40
80–100	0.0	9.4	33.6	8.2	15.4	33.3	56.9	1.57	40
100–120	0.1	13.0	26.0	10.0	16.6	34.3	60.9	1.42	45
Гр 4 постирригационный, 10 лет, рисовый чек									
0–10	0.4	6.1	30.7	13.2	15.4	34.2	62.8	1.47	42
10–30	0.1	6.2	31.1	11.2	16.2	35.2	62.6	1.60	39
30–40	0.1	6.3	30.7	10.2	18.4	34.2	62.9	1.57	40
40–60	0.0	7.7	30.0	11.8	17.5	33.0	62.3	1.57	40
60–80	0.1	8.2	30.0	11.4	17.5	32.8	61.8	1.54	41
80–100	0.1	7.0	31.3	11.9	16.4	33.4	61.7	1.54	41
100–120	0.1	5.3	34.3	10.6	17.3	32.4	60.3	1.57	39

Богарный участок под полевым севооборотом (Гр 3) по гранулометрическому составу неоднородный и представлен в целом легкой глиной (физической глины 59.7%), с преобладанием иловато-крупнопылеватых частиц. Почва в достаточной мере обеспечена илистыми фракциями – 33.9%.

Гранулометрический состав почвы на постирригационном участке возрастом 34 года с полевым севооборотом (Гр 2) в верхнем слое представлен легкой глиной (58.1%), в среднем по профилю – легкой глиной (61.3%) иловато-крупнопылевой.

Под бывшим рисовым чеком (Гр 4) гранулометрический состав однороден по всему профилю и представлен легкой глиной (62.1%) с преобладанием иловато-легкоглинистых фракций, а также пыли средней – 11.5%. Что обусловлено длительным периодом функционирования почвы в режиме периодического затопления водой.

При сравнительной характеристике гранулометрического состава изученных почв Присивашья отметим, что на залежном участке с лугово-каштановой почвой (Гр 1) содержание фракций 1–0.05 мм выше, чем у всех остальных в среднем на 4.3%. На постирригационных участках (Гр 2 и Гр 4), где длительное время ранее осуществлялся полив, содержание песчаных фракций в среднем составляет 6.7%, что на 3.6% меньше, нежели в почвах, функционировавших в автономных и богарных условиях. Различия видны и в содержании пыли мелкой (0.005–0.001 мм). Так, на ранее орошаемых участках ее содержание составляет в среднем 17.7%, а на богаре – 15.3%. Следует отметить увеличение дефляционно-опасной пыли средней (0.01–0.005 мм) на участке бывшего рисового чека (Гр 4), где ее количество составляет 11.5%.

Длительное орошение сказалось на плотности и пористости почв. Это подтверждается аналогичными исследованиями. Исследования плотности почв Присивашья показали, что на всех ключевых участках почва плотная и очень плотная. На залежи, несмотря на то что в среднем слое (40–60 см) плотность достигает критических показателей (1.63 г/см^3), нижележащие горизонты изначально имеют существенно меньшую плотность – 1.42 г/см^3 (табл. 1). На богарном участке (Гр 3) плотность, вследствие длительного воздействия сельскохозяйственной техники при обработ-

ке почвы, изменяется от 1.32 г/см^3 в верхних горизонтах до 1.57 г/см^3 в слое 100 см.

Почвы, функционирующие в постирригационном режиме, характеризуются процессами, направленными на уплотнение. Самая плотная почва по всему профилю зафиксирована на участке бывшего рисового чека, который находится в постирригационном режиме на протяжении 10 лет. На глубине 100 см плотность почвы на этом участке составила 1.56 г/см^3 (табл. 2). На участке (Гр 2), находящемся в постирригационном режиме на протяжении 34 лет, почва в верхних горизонтах более рыхлая ($1.35\text{--}1.51 \text{ г/см}^3$). Плотность увеличивается с глубиной и доходит до очень плотной – 1.58 г/см^3 ниже 60 см.

Интегральным показателем плодородия почв считаются запасы гумуса. При одинаковых или близких относительных параметрах почвы могут значительно различаться по запасам гумуса. Запас гумуса сосредоточен в верхнем плодородном слое. По содержанию гумуса почвы всех исследуемых участков относятся к малогумусным. На залежном участке общая мощность гумусового горизонта или слоя почвы с содержанием гумуса более 1.5% составляет 33 см. В нем сосредоточено 66% всех запасов гумуса. Рассчитанные запасы гумуса в метровом слое на залежи составляют 162 т/га. В верхнем пахотном слое больше всего гумуса содержится на участке, обустроенном в прошлом под рисовый чек (Гр 4) – 3.6%, но с глубины 30 см его содержание резко снижается до 1.5%, что отражается на общих запасах гумуса в метровом слое – 119 т/га. Аналогичную тенденцию функционирования почв под орошаемыми рисовыми агроценозами отмечают в своих работах крымские ученые (Кольцов, Титков, 2019).

Обращает на себя внимание тот факт, что максимальные рассчитанные запасы гумуса в метровом слое наблюдаются на участке в постирригационном режиме функционирования длительностью 34 года (Гр 2) – 222 т/га. О снижении содержания гумуса в пахотном горизонте орошаемых почв свидетельствуют работы отечественных ученых (Суюндуков, 1998). Но в то же время отмечается, что для длительно орошаемых на протяжении более 50 лет черноземов Украины характерно увеличение его количества на глубине 70–100 см на фоне небольшого снижения (около

1%) гумуса в пахотном слое (Новикова, 1971; Носко, 1989). Такая же закономерность выявлена и в исследованиях южных черноземов и темно-каштановых почв Херсонской области, орошавшихся на протяжении 40 лет. Авторы объясняют это явление следствием выщелачивания кальция и миграции по профилю гумусовых веществ, не закрепленных минеральной частью почвы (Лозовицкий, Ткаченко, 1992; Лозовицкий, Каленюк, 2001). В нашем случае в профиле почвы даже после 34-летнего периода отсутствия орошения сохраняются свидетельства прошлых воздействий.

Реакция почвенной среды во всех вариантах щелочная и сильнощелочная, по всему профилю pH составляет 7.62–8.94 (табл. 2).

Наиболее выщелоченными от карбонатов являются почвы залежного и богарного участков, в слое 0–40 см содержание CaCO_3 составило 1.7 и 0.8% соответственно. Ранее орошаемые участки классифицировались как слабокарбонатные – содержание карбонатов в слое 0–40 см в них варьировало от 4.4 до 4.8. Глубже 40 см содержание карбонатов существенно увеличивается и в среднем достигает 11–17% (табл. 2).

Во всех вариантах почва в достаточной мере обеспечена фосфором и калием в корнеобитаемом слое (табл. 2).

Почва на залежном участке (Гр 1) засолена легкорастворимыми солями с глубины 80 см, сумма солей составила 1.047–1.576% (табл. 3). По глубине залегания (верхней границе) солевого горизонта почва этого участка, функционирующего в условиях автономных факторов почвообразования, относится к глубокосолончаковатой.

Из солей преобладают сульфаты – в слое 80–140 см их содержание составило 0.681–0.979%. Сода встречается в количестве 0.04–0.16 смоль(экв)/кг в слое 33–80 см (табл. 3). Тип засоления в слое 80–140 см – сульфатный и хлоридно-сульфатный, по катионному составу натриево-кальциевый и кальциево-натриевый. Степень засоления сильная. В составе солей присутствуют вредные для многолетних растений хлориды и сульфаты натрия и магния.

Таблица 2. Общая характеристика исследуемых почв

Table 2. General characteristics of the studied soils

Глубина, см	Гумус, %	Запасы гумуса, т/га	CaCO ₃ , %	pH водный	Нитраты, мг/кг	P ₂ O ₅ , мг/кг	K ₂ O, мг/кг
Гр 1 залежь							
0–10	3.0	39	1.7	7.62	<1.0	56.1	1041
10–33	1.9	61	1.7	8.22	<1.0	6.5	359
33–40	1.0	11	17.3	8.71	<1.0	3.5	123
40–60	0.6	20	18.5	8.60	<1.0	5.1	104
60–80	0.4	13	17.8	8.94	<1.0	8.2	114
80–100	0.4	11	11.8	8.37	<1.0	6.6	117
100–120	-	-	11.2	8.24	3.4	3.2	92
120–140	-	-	12.7	8.23	4.2	2.7	74
Гр 2 постирригационный, 34 года, полевой севооборот							
0–10	2.2	29	4.4	7.95	<1.0	32.2	492
10–36	1.7	79	5.3	8.10	<1.0	7.1	259
36–40	0.9	26	14.1	8.28	<1.0	4.8	164
40–60	0.8	24	15.8	8.40	3.3	2.0	118
60–73	0.9	23	13.8	8.40	5.0	3.1	102
76–83	1.0	32	12.7	8.41	5.9	5.6	144
83–100	0.7	7	17.2	8.56	4.6	5.8	116
100–120	-	-	16.7	8.56	6.0	6.8	108

Продолжение таблицы 2

Table 2 continued

Глубина, см	Гумус, %	Запасы гумуса, т/га	CaCO ₃ , %	pH водный	Нитраты, мг/кг	P ₂ O ₅ , мг/кг	K ₂ O, мг/кг
Гр 3 богарный							
0–10	2.2	29	0.6	8.04	<1.0	64.6	287
10–40	1.7	78	0.9	8.27	<1.0	17.3	212
40–60	0.8	25	15.4	8.92	3.2	7.2	107
60–80	0.6	17	17.4	8.93	4.8	10.5	96
80–100	0.4	12	16.6	8.34	3.9	6.9	91
100–120	-	-	15.9	8.41	2.8	4.5	107
Гр 4 постирригационный, 10 лет, рисовый чек							
0–10	3.6	53	3.5	8.00	<1.0	82.9	692
10–30	1.5	49	5.4	8.21	<1.0	11.5	230
30–40	0.7	11	11.8	8.26	<1.0	6.5	173
40–60	0.5	16	13.6	8.43	<1.0	8.3	108
60–80	0.4	12	11.8	8.38	<1.0	8.9	127
80–100	0.4	12	10.1	8.44	<1.0	7.1	115
100–120	-	-	10.8	8.89	<1.0	6.5	114

Таблица 3. Катионно-анионный состав водной вытяжки почв Присивашья (смоль(экв)/кг)
Table 3. Cation-anion composition of the water extract of soils of the Sivash region (cmol(eq)/kg)

Глубина, см	Сумма солей, %	CO_3^{2-}	HCO_3^-	Cl^-	SO_4^{2-}	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^+	Сумма токсичных солей, %
Гр 1 залежь									
0–10	0.049	0	0.56	0.08	0.02	0.40	0.20	0.06	0.017
10–33	0.056	0	0.56	0.08	0.12	0.40	0.30	0.06	0.023
33–40	0.053	0.04	0.50	0.08	0.11	0.30	0.30	0.13	0.027
40–60	0.055	0.04	0.58	0.12	0.01	0.20	0.20	0.35	0.038
60–80	0.107	0.16	1.12	0.12	0.01	0.10	0.20	1.11	0.100
80–100	1.047	0	0.36	0.96	14.18	5.80	2.70	7.00	0.647
100–120	1.575	0	0.28	3.04	20.38	11.40	3.50	8.80	0.797
120–140	1.576	0	0.24	4.80	19.03	10.50	3.90	9.67	0.861
Гр 2 постирригационный, 34 года, полевой севооборот									
0–10	0.137	0	0.36	0.12	1.55	1.40	0.50	0.13	0.038
10–36	0.074	0	0.36	0.16	0.57	0.60	0.40	0.09	0,028
36–40	0.056	0,04	0.46	0.12	0.18	0.50	0.20	0.10	0.017
40–60	0.045	0,04	0.46	0.08	0.05	0.30	0.20	0.13	0.022
60–73	0.055	0,08	0.52	0.08	0.09	0.40	0.20	0.17	0.023
76–83	0.061	0,08	0.60	0.12	0.06	0.20	0.40	0.26	0.045
83–100	0.066	0,08	0.60	0.24	0.01	0.30	0.30	0.33	0.041
100–120	0.065	0,08	0.56	0.28	0.03	0.30	0.20	0.45	0.042

Продолжение таблицы 3

Table 3 continued

Глубина, см	Сумма солей, %	CO_3^{2-}	HCO_3^-	Cl^-	SO_4^{2-}	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^+	Сумма токсичных солей, %
Гр 3 богарный									
0–10	0.049	0	0.56	0.08	0.02	0.40	0.20	0.06	0.017
10–40	0.057	0	0.60	0.04	0.12	0.20	0.32	0.24	0.041
40–60	0.098	0.04	0.84	0.36	0.02	0.40	0.04	0.82	0.060
60–80	0.104	0.04	0.88	0.52	0	0.12	0.12	1.20	0.094
80–100	1.081	0	0.32	0.72	15.44	6.64	6.00	3.84	0.624
100–120	0.559	0	0.36	2.16	6.17	2.32	2.60	3.77	0.397
Гр 4 постирригационный, 10 лет, рисовый чек									
0–10	0.064	0	0.64	0.28	0	0.52	0.36	0.04	0.023
10–30	0.062	0	0.60	0.08	0.17	0.44	0.36	0.05	0.026
30–40	0.085	0	0.68	0.16	0.37	0.48	0.60	0.13	0.046
40–60	0.065	0	0.64	0.12	0.15	0.32	0.48	0.11	0.039
60–80	0.063	0	0.60	0.28	0.02	0.36	0.40	0.14	0.034
80–100	0.062	0	0.64	0.24	0	0.28	0.44	0.16	0.039
100–120	0.058	0	0.60	0.20	0	0.28	0.36	0.16	0.035

Аналогичная химическая характеристика почвы, функционирующей в богарных условиях (Гр 3). На этом участке почва засолена легкорастворимыми солями с глубины 80–120 см, сумма солей составила 0.559–1.081% (табл. 3). По глубине залегания (верхней границе) солевого горизонта почва неорошаемого участка относится к глубокосолончаковой. Из солей преобладают сульфаты – в слое 80–120 см их содержание составило 0.296–0.742% и содержание хлоридов в слое 40–120 см составило 0.017–0.076% (содержание хлоридов превышает порог токсичности в 0.010%). Сода встречается в количестве 0.04 смоль(экв)/кг в слое 40–80 см (табл. 3). Тип засоления в слое 80–120 см – сульфатный, по катионному составу магниевый-кальциевый и магниевый-натриевый. В составе солей присутствуют вредные для многолетних растений хлориды и сульфаты натрия и магния.

После прекращения орошения 34 года назад на участке, занятом в настоящее время полевым севооборотом (Гр 2), почва не засолена по всей глубине почвенного профиля, сумма солей не превышает 0.074% по профилю (табл. 3). В составе легкорастворимых солей, переходящих в водную вытяжку, обнаружена сода в незначительных концентрациях на глубине 36–120 см – 0.04–0.08 смоль(экв)/кг почвы (табл. 3), минимальное количество хлоридов (0.08–0.010%, на глубине 100–120 см содержание хлоридов достигает порога токсичности 0.010%) и сульфатов (0.1–0.074 %) (табл. 3). Химизм засоления почвы в основном хлоридный и сульфатно-хлоридный, реже хлоридно-сульфатный, а на глубине 0–10 см – сульфатный. Катионный состав в основном магниевый-кальциевый, на глубине 76–83 см – натриево-магниевый, на 83–100 см – магниевый-натриевый, 100–120 см – кальциевый-натриевый.

Таким образом, даже через 34 года после прекращения орошения в почве сохраняются свидетельства интенсивного выноса солей из почвенного профиля поливными водами в прошлом.

После ввода в эксплуатацию в 1960-х годах рисовых систем на Крымском полуострове, в частности в Присивашье, почвы этих регионов стали подвергаться интенсивной промывке от легкорастворимых солей водой, поступающей по Северо-Крымскому каналу (Хитров и др., 2020).

В результате этого сильнозасоленные солончаковые солон-

цы и солончаковатые лугово-каштановые почвы Крыма по мере их использования под культуру риса путем затопления чеков становились слабозасоленными или незасоленными в слое 0–100 см. После прекращения возделывания риса, бывшие рисовые чеки стали использоваться в полевых севооборотах в основном под посевы ячменя и многолетних трав. За 10 лет функционирования в новых условиях на участке бывшего рисового чека (Гр 4) почва на всю глубину почвенного профиля осталась незасоленной, сумма солей не превышает 0.085% (табл. 3). В составе легкорастворимых солей, переходящих в водную вытяжку, отсутствует наиболее токсичная для растений соль – сода – карбонат натрия, минимальное количество хлоридов (0.3–0.010%, на глубине 0–10 и 60–80 см содержание хлоридов достигает порога токсичности (0.010%) и сульфатов (0.1–0.018%). Химизм засоления почвы в основном хлоридно-сульфатный, а на глубине 60–80 см – хлоридный и сульфатно-хлоридный; по катионному составу почвы в основном кальциево-магниевого, на глубине 0–30 см – магниевое-кальциевого.

На всех участках Гр 1–4 среди обменных катионов преобладает кальций, количество которого с повышением степени солонцеватости закономерно уменьшается (рис. 2а), а количество магния и натрия – увеличивается (рис. 2б и рис. 2в). Содержание кальция от суммы обменных катионов на обследованных участках закономерно снижается по профилю (рис. 2а).

На всех участках (Гр 1–4) очень высокая доля магния. Изменения в содержании обменных катионов (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^{+}) по профилю (рис. 2) связаны, прежде всего, с процессами засоления–рассоления, а не являются диагностическим признаком солонцеватости в верхней части профиля, где доля обменного Na^{+} , как правило, не превышает 5%.

По сумме обменных катионов выделяется залежный участок с максимальными значениями показателя от 23.25 до 32.71 смоль(экв)/кг, и богарный – от 21.17 до 29.87 смоль(экв)/кг (рис. 3).

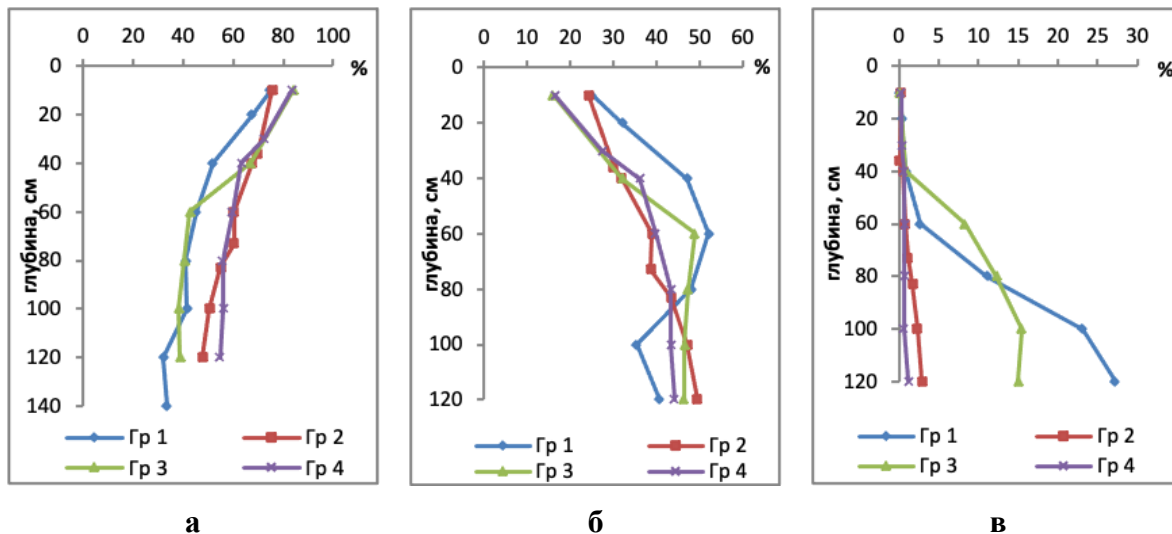


Рис. 2. Состав обменных катионов в почвах (% от суммы катионов): а) Ca^{2+} , б) Mg^{2+} , в) Na^{+} .

Условные обозначения: Гр1 – залежь, Гр 2 – постирригационный, возрастом 34 года, полевой севооборот, Гр 3 – богарный, Гр 4 – постирригационный, возрастом 10 лет, бывший рисовый чек.

Fig. 2. Exchangeable cation composition in soils (% of total cations): а) Ca^{2+} , б) Mg^{2+} , в) Na^{+} .

Legend: Gr1 – fallow land; Gr2 – post-irrigation, 34 years after cessation of irrigation, field crop rotation; Gr3 – rainfed (non-irrigated); Gr4 – post-irrigation, 10 years after cessation, former rice paddy.

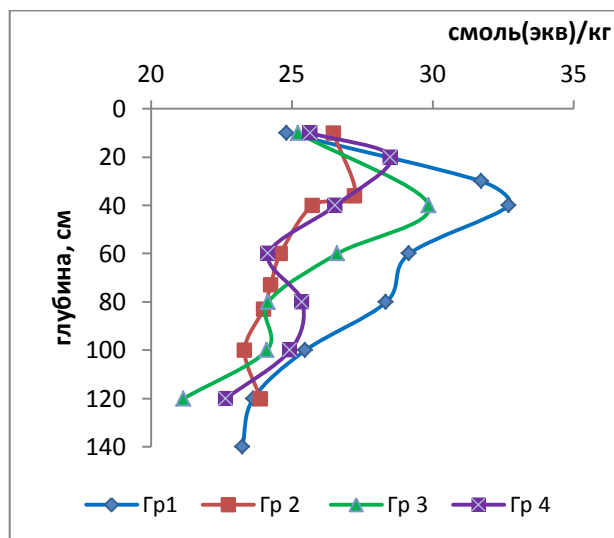


Рис. 3. Сумма поглощенных оснований, смол(экв)/кг. Гр1 – залежь, Гр 2 – постирригационный, возрастом 34 года, полевой севооборот, Гр 3 – богарный, Гр 4 – постирригационный, возрастом 10 лет, бывший рисовый чек.

Fig. 3. Sum of exchangeable bases, cmol(eq)/kg. Гр1 – fallow land; Гр 2 – post-irrigation, 34 years after cessation of irrigation, field crop rotation; Гр 3 – rainfed (non-irrigated); Гр 4 – post-irrigation, 10 years after cessation, former rice paddy.

Затем следуют постирригационные участки: 23.33–27.24 смол(экв)/кг на участке с полевым севооборотом, и 22.67–28.52 смол(экв)/кг – на бывшем рисовом чеке соответственно, что является типичным уровнем для почв данного региона и свидетельствует о сохранении ими высокой поглотительной способности.

ВЫВОДЫ

Исследования разновозрастных постирригационных агроландшафтов свидетельствуют о том, что в почвах на протяжении довольно длительного времени сохраняются свойства, сформиро-

ванные на протяжении полувекового орошения. Гранулометрический состав претерпевает незначительные изменения. Все варианты исследованных лугово-каштановых солонцеватых почв тяжелые по гранулометрическому составу, отличаются высокой плотностью сложения и низкой пористостью. Обработка почвы сельскохозяйственной техникой способствует ухудшению физических свойств почвы в подпахотном горизонте.

Реакция почвенной среды во всех вариантах щелочная и сильнощелочная, по всему профилю pH составляет 7.62–8.94.

Содержание гумуса в верхнем пахотном слое в сравнении с залежным участком (2.95%) в агрогенных вариантах снижено (2.16–2.23%), за исключением бывшего рисового чека (3.60%). По глубине залегания (верхней границе) солевого горизонта почва залежного и богарного участка относится к глубокосолончаковой. За время полувекового функционирования агроландшафтов в условиях орошения произошла значительная трансформация химического состава почв. Почвы на постирригационных участках трансформировались в незасоленные варианты и сохраняют эту тенденцию на протяжении 34 лет. На участках под бывшим рисовым чеком зафиксирована аналогичная ситуация – через 10 лет после прекращения орошения почва остается незасоленной по всему профилю до глубины 120 см.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Аринушкина Е.В.* Руководство по химическому анализу почв. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1970. 488 с.
2. *Базилевич Н.И., Панкова Е.И.* Опыт классификации почв по содержанию токсичных солей и ионов // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. 1972. Вып. 5. С. 36–40.
3. *Вадюнина А.Ф., Корчагина З.А.* Методы исследования физических свойств почв. М.: Агропромиздат, 1986. 416 с.
4. *Воробьева Л.А.* Химический анализ почв. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1998. 272 с.
5. ГОСТ 26483-85. Почвы. Приготовление солевой вытяжки и определение ее pH по методу ЦИНАО (введен в действие приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 23.06.2022

N 519-ст с 01.01.2023). URL:

<https://www.docs.cntd.ru/document/1200184943?marker>.

6. ГОСТ 5180-2015. ГОСТ 5180-84. Межгосударственный стандарт. Грунты Методы лабораторного определения физических характеристик (введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 1.04.2016). URL: https://www.euro-test.ru/Pub.Lib/Normativ_docs/GOST5180.pdf.

7. ГОСТ 58595-2019. Межгосударственный стандарт. Почвы. Отбор проб (введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 10 октября 2019 г. № 954-). URL: <https://www.files.stroyinf.ru/Data/719/71989.pdf>.

8. Драган Н.А. Влияние орошения на почвенный покров равнинного Крыма / Вопросы развития Крыма. Симферополь: Таврия, 1997. Вып. 4. С. 61–66.

9. Ергина Е.И. Пространственно-временные закономерности процессов современного почвообразования на Крымском полуострове. Симферополь: ИТ “АРИАЛ”, 2017. 224 с.

10. Ергина Е.И., Жук В.О. Влияние современных тенденций климата на состояние эрозионно опасных агроландшафтов и оценка почвообразующего потенциала природных факторов Крыма // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2017. № 3 (65). С. 175–178.

11. Ещенко Е.Г., Ещенко С.И., Татаринцев В.Л., Татаринцев Л.М. Влияние орошения на физические и водно-физические свойства агропочв // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2018. № 7 (165). С. 25–42.

12. Качинский Н.А. Механический и микроагрегатный состав почвы, методы его изучения. М.: Изд-во АН СССР, 1958. 192 с.

13. Классификация и диагностика почв СССР. М.: Колос, 1977. 221 с.

14. Кольцов С.А., Титков А.А. Трансформация плодородия солонцовых почв крымского Присивашья под влиянием рисосеяния и оптимизация его параметров Симферополь: ИТ “Ариал”, 2019. 420 с.

15. Кушнарева А.В., Безуглова О.С. Влияние орошения на свойства почв. Обзор // Живые и биокосные системы. 2023. № 46. URL: <https://www.jbks.ru/archive/issue-46/article-4>.

16. Лозовицкий П.С., Каленюк С.М. Изменение свойств южных черноземов при длительном орошении минерализованными водами // Почвоведение. 2001. № 4. С. 478–495.

17. Лозовицкий П.С., Ткаченко И.В. Влияние орошения на свойства и плодородие темно-каштановых почв // Почвоведение. 1992. № 5. С. 75–85.

18. *Любимова И.Н.* Современные процессы почвообразования в распаханых и мелиорированных комплексах сухостепной и полупустынной зон // Почвообразовательные процессы. М.: Почвенный институт им. В.В. Докучаева, 2006. С. 390–411.
19. *Любимова И.Н., Мотузов В.Я.* Постмелиоративная эволюция солонцовых комплексов сухостепной зоны // Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева. 2005. Вып. 57. С. 3–9. DOI:
20. *Любимова И.Н., Мотузов В.Я., Бондарев А.Г.* Современные тенденции изменения свойств целинных и постирригационных почв солонцовых комплексов Приволжской гряды // Почвоведение. 2011. № 10. С. 1260–1269. URL: <https://bulletin.esoil.ru/jour/article/view/400>.
21. *Маринич О.М., Пархоменко Г.О., Петренко О.М., Шищенко П.Г.* Удосконалена схема фізико-географічного районування України // Український географічний журнал. 2003. № 1. С. 16–20.
22. *Мотузов В.Я., Любимова И.Н., Бондарев А.Г.* Солевой режим постирригационных почв Кисловской оросительной системы (Волгоградская область) // Почвоведение. № 5. 2009. С. 567–574.
23. *Муха В.Д.* Естественнo-антропогенная эволюция почв (общие закономерности и зональные особенности). М.: Колос, 2004. 271 с.
24. *Новикова А.* Влияние орошения на почву // Орошаемое земледелие на Украине. Киев, 1971. С. 101–106.
25. *Новикова А.Ф., Конюшкова М.В., Ло Гэтин.* Динамика процессов засоления–рассоления почв участка “Червленое” Светлоярской оросительной системы в ирригационный и постирригационный периоды // Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева. 2009. Вып. 63. С. 16–24.
26. *Носко Б.С.* Влияние длительного орошения на физико-химические свойства почв // Повышение плодородия орошаемых земель. Киев: Урожай, 1989. С. 13–19.
27. *Петербургский А.В.* Практикум по агрономической химии. М.: Сельхозиздат, 1963. 592 с.
28. *Подгородецкий П.Д.* Крым. Природа. Симферополь: Таврия, 1988. 192 с.
29. Полевой определитель почв России. М.: Почвенный институт им. В.В. Докучаева, 2008. 182 с.
30. Современные ландшафты Крыма и сопредельных территорий / под ред. *Е.А. Позаченюк*. Симферополь: Бизнес-Информ, 2009. 672 с.
31. *Суюндуков Я.Т.* Влияние орошения на химические свойства чернозема обыкновенного Зауралья // Почвоведение. 1998. № 8. С. 942–947.

32. Тихоненко Д.Г. Елементарні ґрунтові процеси (ЕГП) при акумулятивному ґрунтоутворенні // Вісник ХНАУ. Ґрунтознавство. 2011. № 1. С. 145–147.
33. Турусов В.И., Чевердин Ю.И. Особенности и направленность изменения качественных свойств черноземов в постмелиоративный период // Достижения науки и техники АПК. 2015. Т. 29. № 1. С. 13–16.
34. Хитров Н.Б., Роговнева Л.В., Паитецкий В.С. Изменение засоленности почв и грунтовых вод рисовых систем Присивашской низменности после прекращения орошения // Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева. 2020. Вып. 102. С. 70–102. DOI: <https://doi.org/10.19047/0136-1694-2020-102-70-102>.
35. Хитров Н.Б., Клименко О.Е., Роговнева Л.В., Дунаева Е.А., Попович В.Ф. Долговременные последствия орошения почв водами Северо-Крымского канала в садах // Таврический вестник аграрной науки. № 1 (9). 2017. С. 87–99.
36. Хитров Н.Б., Роговнева Л.В., Дунаева Е.А., Попович В.Ф., Паитецкий В.С., Клименко О.Е. Постирригационное состояние пахотных почв степного Крыма // Таврический вестник аграрной науки. № 1 (5). 2016. С. 91–110.
37. Ergina E.I., Zhuk V.O. Spatiotemporal Variability of the Climate and Dangerous Hydrometeorological Phenomena on the Crimean Peninsula // Russian Meteorology and Hydrology. 2019. Vol. 44. Iss. 7. P. 494–500.

REFERENCES

1. Arinushkina E.V., *Manual on chemical analysis of soils*, Moscow: Moscow University Press, 1970, 488 p. (In Russ.)
2. Bazilevich N.I., Pankova E.I., Experience in classification of soils by the content of toxic salts and ions, *Dokuchaev Soil Bulletin*, 1972, Vol. 5, pp. 36–40. (In Russ.)
3. Vadyunina A.F., Korchagina Z.A., *Methods for studying the physical properties of soils*, Moscow: Agropromizdat, 1986, 416 p. (In Russ.)
4. Vorobieva L.A., *Chemical analysis of soils*, Moscow: Moscow University Press, 1998, 272 p. (In Russ.)
5. State Standard 26483-85. Soils. Preparation of salt extract and determination of its pH by the CINA method (introduced by Order of the Federal Agency for Technical Regulation and Metrology No. 519-st of 23.06.2022, effective from 01.01.2023). URL: <https://www.docs.cntd.ru/document/1200184943?marker>. (In Russ.)
6. State Standard 5180-2015. GOST 5180-84. Soils. Laboratory methods for determination of physical characteristics (introduced by Order of the Federal

- Agency for Technical Regulation and Metrology of 01.04.2016). URL: https://www.euro-test.ru/Pub.Lib/Normativ_docs/GOST5180.pdf. (In Russ.)
7. State Standard 58595-2019. Soils. Sampling (introduced by Order of the Federal Agency for Technical Regulation and Metrology No. 954-st of 10 October 2019). URL: <https://www.files.stroyinf.ru/Data/719/71989.pdf>. (In Russ.)
8. Dragan N.A., Effect of irrigation on the soil cover of the Crimean Lowland, In: *Issues of Crimean development: collected papers*, Simferopol: Tavria, 1997, Iss. 4, pp. 61–66. (In Russ.)
9. Ergina E.I., *Spatial-temporal patterns of modern soil formation processes on the Crimean Peninsula*, Simferopol: IT “ARIAL”, 2017, 224 p. (In Russ.)
10. Ergina E.I., Zhuk V.O., Influence of modern climate trends on the state of erosion-prone agricultural landscapes and assessment of soil-forming potential of natural factors in Crimea, *Izvestia of Orenburg State Agrarian University*, 2017, No. 3 (65), pp. 175–178. (In Russ.)
11. Eshchenko E.G., Eshchenko S.I., Tatarintsev V.L., Tatarintsev L.M., Effect of irrigation on physical and water-physical properties of agricultural soils, *Bulletin of Altai State Agricultural University*, 2018, No. 7 (165), pp. 25–42. (In Russ.)
12. Kachinsky N.A., *Mechanical and microaggregate composition of soils and methods for its study*, Moscow: USSR Academy of Sciences Press, 1958, 192 p. (In Russ.)
13. *Classification and diagnostics of soils of the USSR*, Moscow: Kolos, 1977, 221 p. (In Russ.)
14. Koltsov S.A., Titkov A.A., *Transformation of fertility of solonetz soils of the Crimean Sivash region under the influence of rice cultivation and optimization of its parameters*, Simferopol: IT “Arial”, 2019, 420 p. (In Russ.)
15. Kushnareva A.V., Bezuglova O.S., Effect of irrigation on soil properties. A review, *Living and Bio-inert Systems*, 2023, No. 46, URL: <https://www.jbks.ru/archive/issue%E2%80%919146/article%E2%80%91914>. (In Russ.)
16. Lozovitsky P.S., Kalenyuk S.M., Changes in the properties of southern chernozems under long-term irrigation with mineralized waters, *Eurasian Soil Science*, 2001, No. 4, pp. 478–495. (In Russ.)
17. Lozovitsky P.S., Tkachenko I.V., Effect of irrigation on the properties and fertility of dark chestnut soils, *Eurasian Soil Science*, 1992, No. 5, pp. 75–85. (In Russ.)
18. Lyubimova I.N., Modern soil-formation processes in arable and reclaimed complexes of the dry-steppe and semidesert zones, In: *Soil-formation processes*, Moscow: Dokuchaev Soil Science Institute, 2006, pp. 390–411. (In Russ.)

19. Lyubimova I.N., Motuzov V.Ya., Post-reclamation evolution of solonetz complexes in the dry-steppe zone, *Dokuchaev Soil Bulletin*, 2005, Iss. 57, pp. 3–9. (In Russ.)
20. Lyubimova I.N., Motuzov V.Ya., Bondarev A.G., Current trends in changes of properties of virgin and post-irrigation soils of solonetz complexes of the Volga Upland, *Eurasian Soil Science*, 2011, No. 10, pp. 1260–1269. (In Russ.)
21. Marinich O.M., Parkhomenko G.O., Petrenko O.M., Shishchenko P.G., Improved scheme of physical-geographical zoning of Ukraine, *Ukrainian Geographical Journal*, 2003, No. 1, pp. 16–20. (In Russ.)
22. Motuzov V.Ya., Lyubimova I.N., Bondarev A.G., Salt regime of post-irrigation soils of the Kislovskaya irrigation system (Volgograd region), *Eurasian Soil Science*, 2009, No. 5, pp. 567–574. (In Russ.)
23. Mukha V.D., *Natural-anthropogenic evolution of soils (general patterns and zonal features)*, Moscow: Kolos, 2004, 271 p. (In Russ.)
24. Novikova A., Effect of irrigation on soil, In: *Irrigated agriculture in Ukraine*, Kyiv, 1971, pp. 101–106. (In Russ.)
25. Novikova A.F., Konyushkova M.V., Lo Gepin, Dynamics of salinization-desalinization processes in soils of the “Chervlenoe” site of the Svetloyarsk irrigation system during irrigation and post-irrigation periods, *Dokuchaev Soil Bulletin*, 2009, Iss. 63, pp. 16–24. (In Russ.)
26. Nosko B.S., Effect of long-term irrigation on physicochemical properties of soils, In: *Improving the fertility of irrigated lands*, Kyiv: Urozhai, 1989, pp. 13–19. (In Russ.)
27. Petersburgsky A.V., *Practical course on agrochemistry*, Moscow: Selkhozizdat, 1963, 592 p. (In Russ.)
28. Podgorodetsky P.D., *Crimea: Nature: Reference edition*, Simferopol: Tavria, 1988, 192 p. (In Russ.)
29. *Field guide for soils of Russia*, Moscow: Dokuchaev Soil Science Institute, 2008, 182 p. (In Russ.)
30. Pozachenyuk E.A. (Ed.), *Modern landscapes of Crimea and adjacent territories*, Simferopol: Business-Inform, 2009, 672 p. (In Russ.)
31. Suyundukov Ya.T., Effect of irrigation on chemical properties of ordinary chernozem in the Trans-Urals, *Eurasian Soil Science*, 1998, No. 8, pp. 942–947. (In Russ.)
32. Tikhonenko D.G., Elementary soil processes (ESP) in accumulative soil formation, *Bulletin of KhNAU. Soil Science*, 2011, No. 1, pp. 145–147. (In Russ.)
33. Turusov V.I., Cheverdin Yu.I., Features and direction of changes in the qualitative properties of chernozems in the post-ameliorative period, *Achievements of Science and Technology of the Agro-Industrial Complex*, 2015, Vol. 29, No. 1, pp. 13–16. (In Russ.)

34. Khitrov N.B., Rogovneva L.V., Pashtetsky V.S., Changes in soil salinity and groundwater of rice systems of the Sivash Lowland after cessation of irrigation, *Dokuchaev Soil Bulletin*, 2020, Vol. 102, pp. 70–102, DOI: <https://doi.org/10.19047/0136-1694-2020-102-70-102>. (In Russ.)
35. Khitrov N.B., Klimenko O.E., Rogovneva L.V., Dunaeva E.A., Popovich V.F., Long-term consequences of irrigation of soils with waters of the North-Crimean Canal in orchards, *Taurida Herald of Agrarian Sciences*, 2017, No. 1 (9), pp. 87–99. (In Russ.)
36. Khitrov N.B., Rogovneva L.V., Dunaeva E.A., Popovich V.F., Pashtetsky V.S., Klimenko O.E., Post-irrigation state of arable soils in the steppe Crimea, *Taurida Herald of Agrarian Sciences*, 2016, No. 1 (5), pp. 91–110. (In Russ.)
37. Ergina E.I., Zhuk V.O., Spatiotemporal variability of the climate and dangerous hydrometeorological phenomena on the Crimean Peninsula, *Russian Meteorology and Hydrology*, 2019, Vol. 44, Iss. 7, pp. 494–500.