

УДК 631.4:631.67

DOI: 10.19047/0136-1694-2020-104-68-109



Ссылки для цитирования:

Зинченко Е.В., Горохова И.Н., Круглякова Н.Г., Хитров Н.Б. Современное состояние орошаемых почв юга Приволжской возвышенности // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. 2020. Вып. 104. С. 68-109. DOI: 10.19047/0136-1694-2020-104-68-109

Cite this article as:

Zinchenko E.V., Gorokhova I.N., Kruglyakova N.G., Khitrov N.B., Modern state of irrigated soils at the south of the Volga upland, Dokuchaev Soil Bulletin, 2020, V. 104, pp. 68-109, DOI: 10.19047/0136-1694-2020-104-68-109

Современное состояние орошаемых почв юга Приволжской возвышенности

© 2020 г. Е. В. Зинченко^{1*}, И. Н. Горохова²,
Н. Г. Круглякова¹, Н. Б. Хитров^{2**}

¹ФГБНУ Всероссийский научно-исследовательский институт
орошаемого земледелия, Россия,
400002, Волгоград, ул. им. Тимирязева, 9,

*<https://orcid.org/0000-0002-9953-2319>, e-mail: zinchenko_ev@vniioz.ru.

²ФИЦ “Почвенный институт им. В.В. Докучаева”, Россия,
119017, Москва, Пыжевский пер, 7, стр. 2,

**<https://orcid.org/0000-0001-5151-5109>, e-mail: khitrovn@gmail.com.

Поступила в редакцию 17.05.2020, после доработки 07.09.2020,
принята к публикации 11.11.2020

Резюме: Цель – оценить влияние 50-летнего орошения дождеванием на почвенные процессы, происходящие в светло-каштановых почвах (Luvis Kastanozem (Loamic, Aric, Protosodic, Bathysalic)) южных склонов Приволжской возвышенности Волго-Донского междуречья (ФГУП “Орошаемое” Волгоградской области) при глубоких грунтовых водах. Вода для полива подается из Варваровского водохранилища системы Волго-Донского канала. Она имеет минерализацию около 1 г/л, гидрокарбонатно-хлоридно-сульфатный состав с повышенным содержанием натрия. Представлено подробное морфологическое описание почвенных профилей, гранулометрический состав, содержание

легкорастворимых солей в почвах и грунтах зоны аэрации до глубины 3.5 м, динамика солей в слое 0–50 см за 2011–2019 гг. До осени 2015 г. исследуемые почвы были глубокосолончаковатыми, являясь незасоленными в слое 0–100 см. В последние годы в слое 0–50 см отмечается слабая степень засоления содово-хлоридного натриевого химизма в результате постепенного накопления солевой поливной воды при орошении, основанном на данных по водопотреблению сельскохозяйственных культур. Орошаемые почвы приобрели комплекс признаков вторичной солонцеватости: (1) наличие светлых скоплений песчаных и пылеватых зерен минералов в пахотном горизонте как результат разрушающего воздействия капель оросительной воды при дождевании; (2) токсичную щелочность, связанную с натрием, по данным водной вытяжки, в горизонтах от 10–20 до 60–100 см; (3) обильные гумусово-глинистые кутаны на боковых гранях призмовидных структурных отдельностей в ненарушенной части почвенного профиля от 30 до 100 см.

Ключевые слова: деградация почвы, вторичное осолонцевание почв, засоление почв, мониторинг засоления, гумусово-глинистые кутаны, светло-каштановые почвы.

Modern state of irrigated soils at the south of the Volga upland

E. V. Zinchenko^{1*}, I. N. Gorokhova²,
N. G. Kruglyakova¹, N.B. Khitrov^{2**}

¹FSBSI All-Russian research Institute of irrigated agriculture
9 Timiryazeva Str., Volgograd 400002, Russian Federation,

*<https://orcid.org/0000-0002-9953-2319>, e-mail: zinchenko_ev@vniioz.ru.

²Federal Research Centre “V.V. Dokuchaev Soil Science Institute”,
7 Bld. 2 Pyzhevskiy per., Moscow 119017, Russian Federation,

**<https://orcid.org/0000-0001-5151-5109>, e-mail: khitrovn@gmail.com.

Received 17.05.2020, Revised 07.09.2020, Accepted 11.11.2020

Abstract: The goal is to assess the impact of 50-year irrigation by sprinkling on soil processes occurring in the light-chestnut soils (Luvic Kastanozem (Loamic, Aric, Protosodic, Bathysalic)) of the southern slopes of the Volga upland at the Volga-Don interfluve (FSUE “Oroshaemoe”, the Volgograd region) with deep ground water. Water for irrigation is supplied from the Varvarovsky reservoir of the Volga-Don Canal system. It is characterized by a total dissolved salts of about 1 g/l, a bicarbonate-chloride-sulfate composition

with an increased sodium content. Detailed morphological description of soil profiles, granulometric composition, content of soluble salts in soils and sediments of the vadoze zone up to the depth of 3.5 m, dynamics of salts in the layer of 0–50 cm for 2011–2019 are presented. Until the autumn of 2015, the studied soils were deep saline, being no saline in the layer of 0–100 cm. In recent years, a weak salinity degree of soda-chloride sodium chemistry has been observed in the 0–50 cm layer as a result of gradual accumulation of irrigation water salts during irrigation organized according to water consumption of agricultural crops. Irrigated soils have acquired a complex of signs of secondary salinity: (1) the presence of light accumulations of sandy and silt mineral grains in the arable horizon, resulting from the destructive effect of irrigation water drops during sprinkling; (2) toxic alkalinity associated with sodium (residual sodium carbonate), according to water extraction 1 : 5 (soil : water), in the horizons from the depth of 10–20 to 60–100 cm; (3) abundant humus-clay cutans on the lateral side faces of prismatic structural units in the undisturbed part of the soil profile from 30 to 100 cm.

Keywords: soil degradation, secondary soil alkalization, soil salinity, salinity monitoring, humus-clay cutans, Kastanozems.

ВВЕДЕНИЕ

Волгоградская область является одним из главных регионов орошаемого земледелия в России. Максимум ирригационного освоения отмечался в 1989 г. – 345 тыс. га, что составляло 4.6% от площади сельскохозяйственных угодий ([Панкова, Новикова, 2004](#)).

Широкомасштабное развитие орошения с интенсивным промывным режимом в последней четверти XX века привело к тому, что практически на всех орошаемых массивах, за исключением земель, расположенных на высоких отметках и хорошо дренированных, автоморфный режим трансформировался в ирригационно-гидроморфный или полугидроморфный. Это обусловило в значительной степени резкое ухудшение почвенно-мелиоративных условий в результате активизации процессов засоления, осолонцевания, ощелачивания, дезагрегации, преувлажнения, заболачивания ([Зимовец, 1991](#); [Панкова, Новикова, 2004](#); [Кирпо, 2015](#)). Для устранения деградиционных процессов потребовалось строительство дренажа, сброс дренажных вод в речную сеть, что привело к ухудшению состояния природной среды, поч-

венных и водных ресурсов.

Барановской и Азовцевым ([Барановская, Азовцев, 1972](#)) был выявлен процесс ирригационного окарбоначивания почв в сухостепной зоне в России, заключающийся в уменьшении водопроницаемости за счет накопления в поверхностных горизонтах карбонатов кальция независимо от глубины залегания грунтовых вод и даже на фоне промывки легкорастворимых солей на значительную глубину. Похожие процессы отмечались в работах Сиземской (2013), Любимовой и Новиковой ([2016](#)). Считается, что возможно поступление карбонатов с поливной водой ([Барановская, Азовцев, 1972](#); [Wu et al., 2008](#)), хотя в зависимости от карбонатно-кальциевого равновесия возможно и выщелачивание карбонатов в процессе орошения ([de Soto et al., 2017](#)).

В Волгоградской области широко распространены естественные засоленные почвы, большая часть которых представлена солонцовыми комплексами ([Новикова, Морозова, 2003](#)). При орошении их солевое состояние менялось в зависимости от условий. При подъеме уровня грунтовых вод отмечалось вторичное засоление, при сохранении глубокого положения грунтовых вод и в условиях хорошего дренажа – рассоление верхних горизонтов с появлением соды ([Зимовец, 1991](#); [Новикова, Морозова, 2003](#); [Кирпо, 2015](#)). Последовательное рассоление солонцов наблюдали при целенаправленной их комплексной мелиорации в условиях орошения ([Зимовец, 1991](#); [Кружилин, Казакова, 2003](#); [Кружилин и др., 1991](#)).

Изменение экономической ситуации в стране в 1990-х – 2000-х годах вызвало сокращение площади орошаемых земель, прежде всего, за счет вывода из оборота вторично засоленных почв ([Панкова, Новикова, 2004](#)), с одной стороны, и постепенный переход на более прогрессивные технологии и режимы орошения ([Дубенок и др., 2018](#)), с другой.

По данным Государственного (Национального) доклада о состоянии и использовании земель ([Государственный..., 2019](#)) в Волгоградской области на 01.01.2018 г. орошалось 180.7 тыс. га, из них в неудовлетворительном состоянии (по засолению и солонцеватости почв, уровню грунтовых вод) находилось 23.8 тыс. га, или 13% орошаемого фонда. В настоящее время крайне важно

провести оценку современного состояния почвенного покрова при реконструкции орошаемых систем, находящихся в различных природных районах.

В предыдущих статьях ([Горохова и др., 2018, 2019](#); [Кра-вченко и др., 2018](#); [Хитров и др., 2019](#)) представлены результаты исследований почв разных участков Светлоярской оросительной системы, находящихся на Сарпинской низменной равнине и в Сарпинской ложбине, входящих в состав Прикаспийской низменности, а также на северных склонах возвышенности Ергени. Настоящая статья посвящена почвам оросительной системы Волго-Донского канала, расположенной на Приволжской возвышенности.

На территории агроландшафта в опытно-производственном хозяйстве Всероссийского научно-исследовательского института орошаемого земледелия (ВНИИОЗ) более 50 лет ведутся исследования с целью разработки адаптивно-ландшафтной системы орошаемого земледелия, обеспечивающие устойчивую урожайность и рациональное использование природных, биологических и техногенных ресурсов. Обоснованы оросительные нормы в зависимости от продуктивности севооборота ([Дубенок и др., 2018](#)), система норм и нормативов водопотребления для получения программируемой урожайности на уровне 8...12 т/га зерна и 60...100 т/га зеленой массы кукурузы ([Иванов, Даниленко, 2010](#)), 800...900 кг/га семян и 60...120 т/га зеленой массы люцерны 40...100 т/га зеленой массы клевера лугового и козлятника восточного ([Дронова и др., 2017](#)), 30...60 т/га клубней картофеля, 4...5 т/га зерна риса ([Кружилин и др., 2009, 2015](#)), 3...4 т/га зерна сои, 80...100 т/га зеленой массы сорго ([Иванов, Даниленко, 2010](#); [Мелихов и др., 2011](#)). Предложены приемы комплексной мелиорации содовосульфатных солонцов ([Кружилин, Казакова, 2003](#)).

Большая часть почв агроландшафта считалась солончаковыми средне и сильнозасоленными ([Новикова, Морозова, 2003](#)).

По неопубликованным данным Л.А. Казаковой¹ орошение почв в 1990-х годах сопровождалось постепенным уменьшением содержания легкорастворимых солей до средней и слабой степени, хотя почвы оставались солончаковатыми, поскольку первые от поверхности засоленные горизонты начинались с глубины 0.6–0.8 м.

Важным фактором, влияющим на мелиоративное состояние орошаемых почв, является состав и минерализация поливных вод, которые, в свою очередь, определяются особенностями формирования водных источников, используемых для орошения ([Безднина, 1997](#); [Зимовец, Хитров, 1993](#)). Минерализация речных вод обычно постепенно увеличивается за счет возрастания роли испарения с поверхности водохранилищ, увеличения доли дренажных и возвратных вод, сброса в реки городских и промышленных стоков. Аналогичное явление наблюдается по мере прохождения воды по магистральному каналу, имеющему участки с земляным руслом ([Кадаева, 2013](#)). Одновременно в воде меняется соотношение ионов в сторону увеличения доли натрия и магния относительно кальция, роста концентрации сульфатов и хлоридов в результате растворения солей из засоленных пород ([Дедова, 2018](#)). Подобные явления характерны и для Волго-Донского канала с Варваровским и Береславским водохранилищами, а также Волгоградского и Цимлянского водохранилищ ([Болотин и др., 2018](#)).

В современной мировой литературе обсуждаются способы мелиорации засоленных и щелочных почв применительно к местным условиям ([Zaman et al., 2018](#)), картографирования засоленных почв на основе дистанционной информации ([Yahiajui et al., 2015](#); [Fourati et al., 2017](#)), вопросы биологического дренажа древесными культурами ([Zhang, 2014](#); [Dagar, Minhas, 2019](#)), создания солеустойчивых растений для производства продуктов и волокон, которые можно с успехом выращивать на засоленных почвах ([Kumar](#)

¹Казакова Л.А. Комплексная мелиорация орошаемых солонцовых и засоленных почв Нижнего Поволжья. Дисс. ... доктора с.-х. наук. Волгоград, 2007, Волгоградская ГСХА. 319 с.
(<https://www.dissercat.com/content/kompleksnaya-melioratsiya-oroshaemykh-solontsovykh-i-zasolennykh-pochv-nizhnego-povolzhya>).

[et al., 2019](#)), развития вторичного засоления ([Moharana et al., 2019](#)). В связи с дефицитом пресных вод исследуются возможности использования для орошения минерализованных вод ([Suarez, 2013](#); [Swarup, 2013](#); [Rodrigues et al., 2020](#)), очищенных сточных вод ([Jahany et al., 2020](#)). Ведется поиск направлений уменьшения засоленности почв и грунтовых вод после активного засоления песчаных почв приморской равнины за счет избыточной откачки грунтовых вод для орошения, приведшей к интрузии морских вод в прибрежные водоносные горизонты ([Ahmed et al., 2013](#)). Приводится обоснование возможности мелиорации сильнозасоленных почв на основе частичной промывки водами более низкой минерализации, по сравнению с почвенными растворами, при выращивании риса ([Murtaza et al., 2012](#)).

Цель статьи – представить оценку современного состояния почв на динамической площадке ДП-2, орошаемой дождеванием с 1970-х годов на южных склонах Приволжской возвышенности в междуречье Волги и Дона Волгоградской области (землепользование ФГУП “Орошаемое”) водами с повышенной долей натрия.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Объектом исследования являются орошаемые каштановые почвы участка, расположенного на землях ФГУП “Орошаемое” Волгоградской области, являющегося опытно-производственным хозяйством ФГБНУ Всероссийский научно-исследовательский институт орошаемого земледелия (ВНИИОЗ).

Территория находится на юге Приволжской возвышенности, которая в плиоцене была полностью перекрыта ергенинскими отложениями, а затем в конце плиоцена и в четвертичном периоде подверглась денудации. К настоящему времени сохранился покров ергенинских осадков мощностью до 30–40 м и не утрачены черты плиоценовой аккумуляции. Водоразделы сложены ергенинскими песками, к югу – красно-бурыми скифскими глинами и лёссовидными суглинками. Грунтовые воды залегают глубоко, как правило, они слабоминерализованы и имеют гидрокарбонатно-натриевый состав. Почвенный покров представлен каштановыми солонцовыми комплексами, в составе которых преобладают суглинистые каштановые солонцеватые почвы с небольшой долей

солонцов ([Дегтярева, Жулидова, 1970](#)).

Земли ФГУП “Орошаемое” входят в состав оросительной системы Волго-Донского канала. Орошение проводится с 1967 г. дождеванием. В 2006 г. на орошаемом массиве В.Б. Михайловским были заложены 10 динамических площадок от водораздельной части склона к долине балки Песчаная для исследований изменения почв, происходящих в результате орошения. Ландшафтно-геоморфологический профиль (трансект-катена) выбран с учетом геоморфологических позиций и вида землепользования. В статье представлены результаты исследований на динамической площадке 2 (ДП-2) (рис. 1).

Поле, на котором расположена ДП-2, площадью 54 га ([Тихонова, 2014](#)), орошается дождевальной машиной (ДМ) кругового действия “Фрегат” № 9.

Орошаемый участок, на котором перепад высот составляет около 4–6 м, был спроектирован для функционирования ДМ “Фрегат”. Планировка орошаемого поля не требовалась. В отличие от орошаемых полей на Светлоярской ([Горохова, 2018](#)) и Кисловской оросительных системах ([Зимовец, 1991](#)), на которых первоначально полив осуществлялся поверхностным способом и проводилась планировка.

В 2012–2019 гг. оросительная норма составляла от 1200 до 2500 м³/га в зависимости от обеспеченности атмосферными осадками. Поливная норма обычно равна 500 м³/га, редко 700 м³/га. В 2019 г. было проведено 5 поливов оросительной нормой 2500 м³/га. Источником орошения является вода из Варваровского водохранилища системы Волго-Донского канала, расположенного в седловине между Приволжской возвышенностью и возвышенностью Ергени, разделяющих водосборные бассейны Волги и Дона. Минерализация оросительных вод варьирует в диапазоне 0.72–0.84 г/л, рН – от 7.9 до 8.2, концентрация ионов натрия – 5.0–5.4 ммоль/л (40–55% от суммы катионов), SAR – от 2.6 до 3.8, гидрокарбонатно-хлоридно-сульфатный состав по анионам. По данным Казаковой (2007), минерализация воды Варваровского водохранилища за период 1980–2005 гг. колебалась в пределах 0.71 до 1.08 г/л, а состав воды в отдельные годы изменялся с гидрокарбонатно-кальциевого в гидрокарбонатно-натриевый. В хозяйстве возделыва-

вают озимую пшеницу, суданскую траву и кукурузу на силос. Ряд соседних полей является залежью.

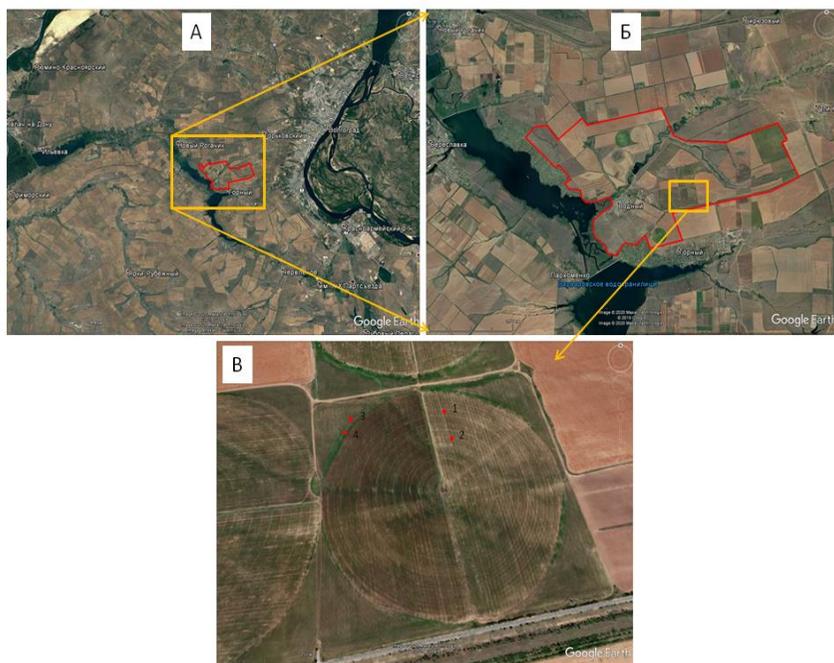


Рис. 1. Положение объектов исследования западнее г. Волгограда на космических снимках портала Google Earth: **А, Б** – земли ФГУП “Орошаемый” в разных масштабах; **В** – почвенные разрезы: 1 – ДП-2-1; 2 – ДП-2-2; 3 – ДП-2-3; 4 – ДП-2-4.

Fig. 1. The position of research objects to the west from Volgograd on satellite images of the Google Earth portal: **А, Б** – lands of FSUE “Oroshaemoe” at different scales; **В** – soil pits: 1 – DP-2-1; 2 – DP-2-2; 3 – DP-2-3; 4 – DP-2-4.

Исследования, проводимые на динамической площадке ДП-2, включали анализ содержания легкорастворимых солей по слоям 0–10, 10–20, 20–30 и 30–50 см весной (конец апреля) и осенью (конец сентября) ежегодно с 2011 по 2019 гг. в смешанных образцах из трех пространственных повторностей. Для более полной характеристики почв участка в 2019 г. выполнено подробное мор-

фологическое описание почвенных разрезов на ДП-2, анализ профильного распределения гранулометрического состава (38 образцов) и состава легкорастворимых солей в почвах и зоне аэрации до глубины 3.5 м (62 образца). Гранулометрический состав почв определяли методом Качинского ([Вадюнина, Корчагина, 1986](#)), состав легкорастворимых солей – в стандартной водной вытяжке 1 : 5 методом ЦИНАО².

Названия почв даны по трем классификациям в соответствии с диагностическими критериями, принятыми в каждой из них, не используя процедуру корреляции: (1) классификации почв СССР ([1977](#)), далее К-1977; (2) классификации почв России ([2004](#)) и ее более поздней версии (Полевой определитель почв России, [2008](#)), далее РК-2004 (8); (3) международной классификации почв WRB-2014 с дополнением и исправлениями в 2015 г. ([IUSS, 2015](#); русская версия: [Мировая..., 2017](#)), далее WRB-2014 (update 2015).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

На территории массива ФГУП “Орошаемое” в сентябре 2019 г. на поле с динамической площадкой ДП-2 были заложены 4 разреза. Разрезы ДП-2-1 и ДП-2-2 характеризуют орошаемые почвы на склоне и водоразделе, ДП-2-3 и ДП-2-4 – неорошаемые почвы на одном из углов поля за пределами кругов от полива ДМ “Фрегат”. Мезорельеф поля с динамической площадкой ДП-2 выровнено-наклонный, имеет относительный перепад высот не менее 4–6 м и представлен водораздельной поверхностью, двумя ложбинами, наклонным водоразделом между ними и склоном к третьей широкой ложбине. Ниже представлено подробное морфологическое описание разреза ДП-2-1 и общее строение остальных почвенных разрезов с указанием их особенностей.

Разрез ДП-2-1 (ДП – динамическая площадка) заложен в Волгоградской области, в 12 км западнее г. Волгограда, 4 сентября 2019 г., координаты: 48°36'14.8" с. ш., 44°12'51.0" в. д., высота 102 м над уровнем моря.

Орошаемое поле расположено на водораздельном пространстве, рассеченном верховьями нескольких ложбин, впадающих

²ГОСТ 26423-85 - ГОСТ 26428-85

ниже по течению в балку Песчаная. Разрез ДП-2-1 заложен в середине склона широкой ложбины. Склон северной экспозиции, ровный в продольном и поперечном направлениях, уклон около 3°. В 2019 г. на поле выращивали кукурузу на силос, в момент закладки разреза культура была убрана, поле еще не обрабатывали. В рядках сохранились пенки стеблей кукурузы высотой 10–12 см. Поверхность поля имела микрорельеф в виде низких (менее 5 см) узких (до 30 см) гряд в рядках кукурузы и более широких слабо-вогнутых междурядий.

Морфологическое строение почвенного профиля:

P1 – 0–7 (8) см – верхняя часть агрогумусового (пахотного) горизонта. Серовато-бурый, сухой, рыхлый, сыпучий, среднесуглинистый, на поверхности тонкая (около 1 мм) полигональная корочка намытого с водораздела материала, размеры полигональных фрагментов от 3 до 6–7 см, разделены узкими трещинками, заканчивающиеся на глубине 1–2 мм (рис. 2), в рядке с кукурузой структура горизонта представлена непрочными глыбистыми агрегатами 2–3 см, комковатыми агрегатами 5–10 мм, копролитами и очень мелкими (< 0.5 мм) агрегатами, много тонких (~0.5 мм) корней кукурузы (рис. 3А), в междурядьях мощность горизонта сокращается до 3–4 см, не вскипает от HCl, переход заметный по структуре и плотности, граница слабоволнистая.

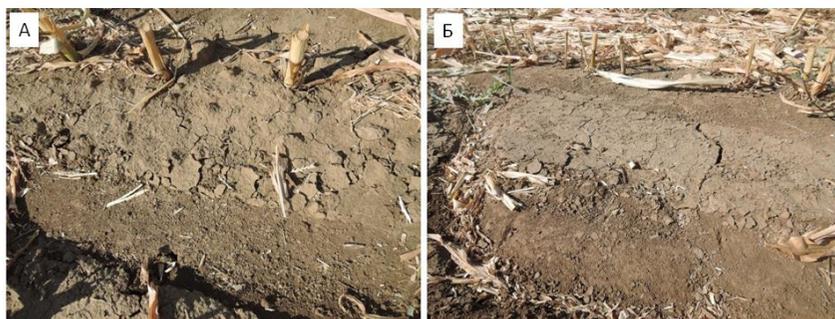


Рис. 2. Корочка на поверхности почвы (разр. ДП-2-1).

Fig. 2. Crust on the soil surface (pit DP-2-1).

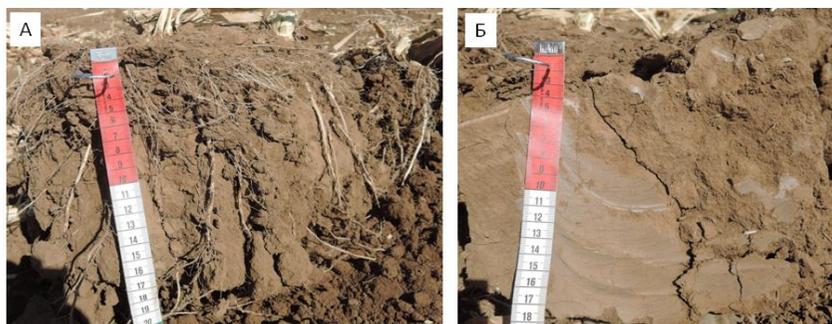


Рис. 3. Варианты структурного состояния пахотного горизонта P: А – рыхлая часть горизонта в рядке с кукурузой, Б – плотные глыбы в междурядьях (разр. ДП-2-1).

Fig. 3. Variants of the structural state of the arable horizon P: А – loose part of the horizon in a row of corn, Б – dense blocks in the row spacing of corn (pit DP-2-1).

P2ad – 7 (8)–22 (24) см – средняя часть агрогумусового (пахотного) горизонта с агрогенным переуплотнением (признак ad). Серовато-бурый, свежий, глыбистый, в рядках с кукурузой отдельные глыбки от 4 до 7 см, пронизанные корнями, встречаются копролиты, пористый, много светлых и темных морфонов, в междурядьях монолитные глыбы до 20 см в длину (не имеют внутри более мелких агрегатов) (рис. 3). Светлые морфоны³ в виде пятен 5–8 мм в диаметре, внутри скопления песчаных частиц после разрушения агрегатов (рис. 4); в более темных морфонах стенки корневых ходов гладкие, частично покрыты тонкими кутанами. Переход заметный по структуре, граница слабоволнистая.

P3 – 22 (24)–33 (35) см – нижняя часть агрогумусового (пахотного) горизонта, обрабатываемая раз в 5–7 лет. Серовато-бурый, свежий. Похож на предыдущий гор. P2ad, отличается меньшей плотностью и присутствием припаханных фрагментов нижележащего гор. ВМК, корни растений. Переход ясный по цвету, граница ровная.

³ Термин, предложенный Э.А. Корнблюмом, 1975.

ВМКth – 33 (35)–38 см – ксерометаморфический горизонт с почечными гумусовыми кутанами (признак th). Бурый, светлее пахотного, влажноватый, среднесуглинистый, структура призматическая с тонкими темными гумусово-глинистыми пленками (кутанами) на боковых гранях (рис. 5А), не вскипает от HCl, переход ясный по вскипанию, граница относительно ровная.

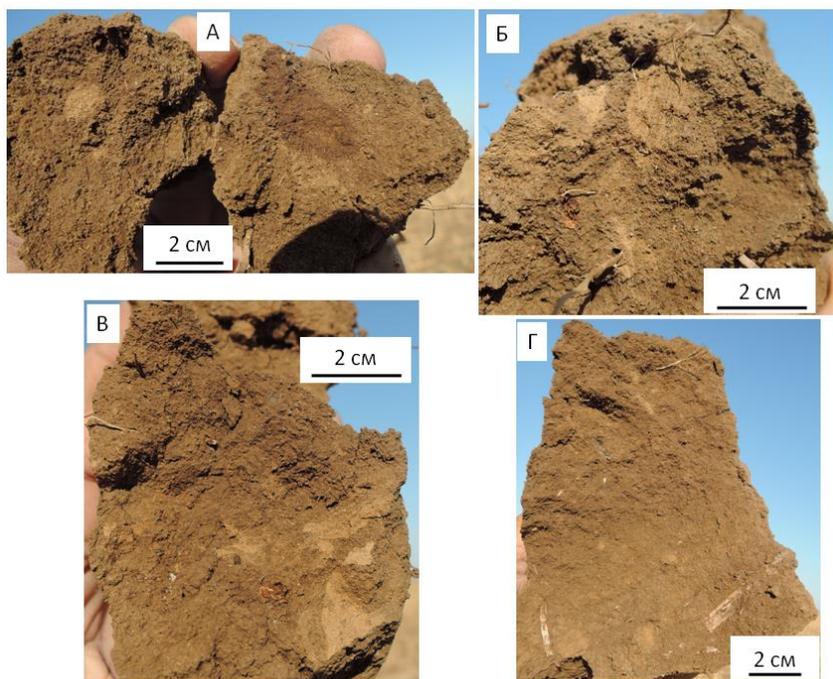


Рис. 4. Светлые и темные пятна в пахотном горизонте – следы разрушения агрегатов: светлые пятна – скопления песчаных и пылеватых частиц; темные пятна – гумусовая пропитка или кутаны (разр. ДП-2-1).

Fig. 4. Light and dark spots in the arable horizon – traces of aggregate destruction: light spots – accumulations of sand and silt particles; dark spots – humus impregnation or cutans (pit DP-2-1).

BCA1nc,th – 38–46 см – верхняя часть аккумулятивно-карбонатного горизонта с карбонатными сегрегациями (признак nc). Светло-бурый, влажноватый, среднесуглинистый, призматическая структура (рис. 5Б – нижние призмы на фото) с большим количеством педотубул внутри них; призмы размером 4–7 см, на боковых гранях гумусово-глинистые кутаны; педотубулы (бывшие ходы жуков или других беспозвоночных, заканчивающиеся полусферой, которые сейчас заполнены почвенной массой) цилиндрической и округлой формы диаметром 1–1.5 см; бурно вскипает от HCl, много белых рыхлых карбонатных выделений в виде размытой белоглазки диаметром 1–1.5 см, часто белоглазка приурочена к педотубулам (рис. 6А, 6Б). Переход постепенный по обилию белоглазки, граница ровная.

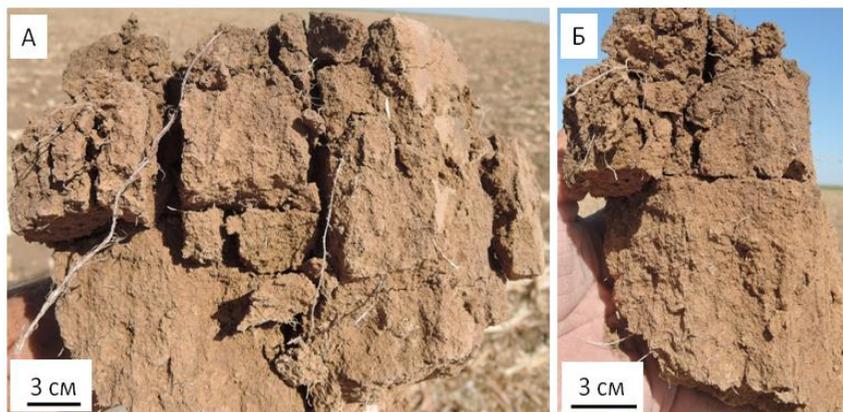


Рис. 5. А – гор. BMKth (верхние призмы до горизонтальной трещины); Б – BCA1nc,th (нижняя призма), разр. ДП-2-1.

Fig. 5. А – horizon BMKth (upper prisms up to the horizontal crack); Б – BCA1nc, th (lower prism), pit DP-2-1.

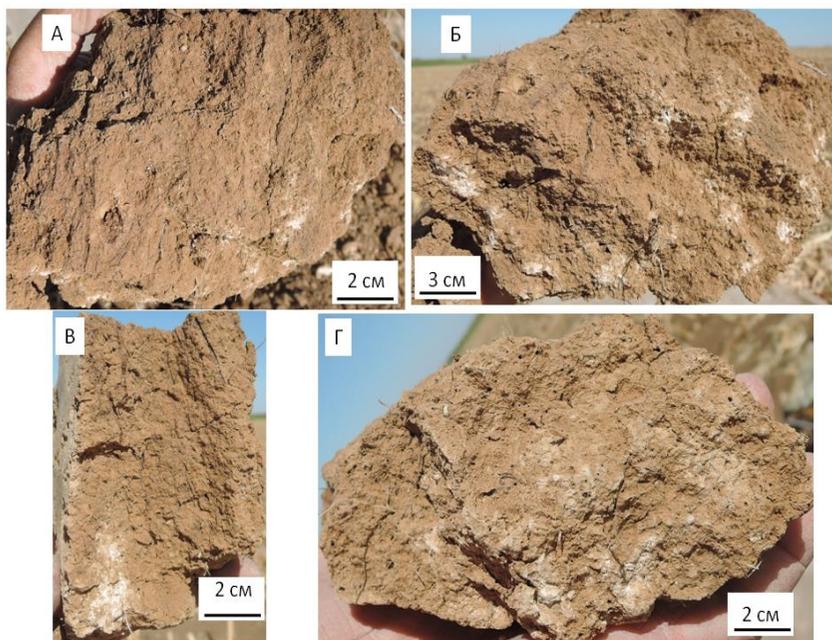


Рис. 6. Аккумулятивно-карбонатный гор. ВСAnc,th с белыми размытыми пятнами белоглазки: **А, В** – вид сбоку; **Б, Г** – вид снизу (разр. ДП-2-1).

Fig. 6. Accumulative-carbonate horizon ВСAnc,th with white blurred spots of “white eyes” (carbonate concretions): **А, В** – side view; **Б, Г** – bottom view (pit DP-2-1).

ВСА2nc,th – 46–96 (100) см – основная часть аккумулятивно-карбонатного горизонта с карбонатными сегрегациями. Аналогичен предыдущему. Отличается более концентрированным выделением карбонатов в виде белоглазки (рис. 7А, 7Б), ходы корней растений. На боковых гранях хорошо выражены глинистые пленки (кутаны), (рис. 8). Переход заметный по появлению гипса.

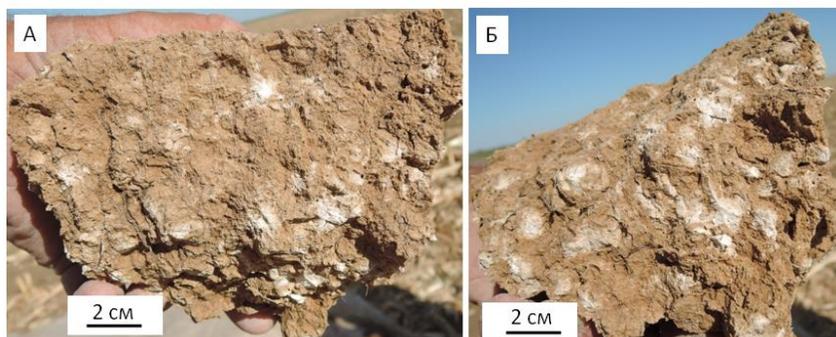


Рис. 7. Аккумулятивно-карбонатный гор. ВСА2nc,th с белыми концентрированными пятнами белоглазки: **А** – вид сбоку; **Б** – вид снизу, видны округлые цилиндрические формы – педотубулы (разр. ДП-2-1).

Fig. 7. Accumulative-carbonate horizon ВСА2nc,th with white concentrated spots of “white eyes”: **А** – side view; **Б** – bottom view, round cylindrical forms – pedotubules (pit DP-2-1) are visible.



Рис. 8. Глинистые кутаны (гладкие, более темные поверхности на боковых гранях агрегатов) в нижней части гор. ВСА2nc,th (разр. ДП-2-1).

Fig. 8. Clay cutans (smooth, darker surfaces on the side faces of aggregates) in the lower part of the horizon ВСА2nc,th (pit DP-2-1).

BCca,cs,q,th – 100–115 см – переходный к почвообразующей породе горизонт с дисперсными карбонатами (индекс – ca), гипсом (индекс – cs), квазиглееватостью (признак q) и кутанами (th). Светло-бурый, влажноватый, среднесуглинистый, неясная призматическая структура, бурное вскипание от HCl при отсутствии карбонатных выделений, со 100 см скопления мелкокристаллического гипса, со 110 см дополнительно по стенкам магистральных трещин довольно крупных блоков образовались гипсаны – тонкие покрытия из кристаллов гипса (рис. 9).

Общий вид почвенного профиля представлен на рисунке 10.

C1ca,cs,q – 115–220 см – (описание этого и ниже расположенных горизонтов сделано по данным ручного бурения) – светло-бурый средний суглинок со сплошным бурным вскипанием от HCl и обильными скоплениями мелкокристаллического гипса.

C2ca,cs – 220–275 см – аналогичен C1ca,cs,q с заметно менее обильными скоплениями гипса.

D1 – 275–285 см – прослой крупнозернистого песка без вскипания от HCl.

D2ca – 285–300 см – суглинистый слой с мелкими линзами песка и редкими скоплениями гипса, вскипает от HCl.

D3ca – 300–350 см – светло-бурый средний суглинок со сплошным бурным вскипанием от HCl.

Название почвы:

К-1977 – Светло-каштановая орошаемая вторично-солонцеватая среднемощная глубокосолончаковатая среднесуглинистая на желто-бурых опесчаненных суглинках.

КК-2004 (8) – Агрокаштановая сегрегационная солонцеватая глубокосолончаковатая глубоко гипс-содержащая среднесуглинистая на желто-бурых опесчаненных суглинках.

WRB-2014 (update 2015) – Luvisc Kastanozem (Loamic, Aric, Protosodic, Bathysalic).

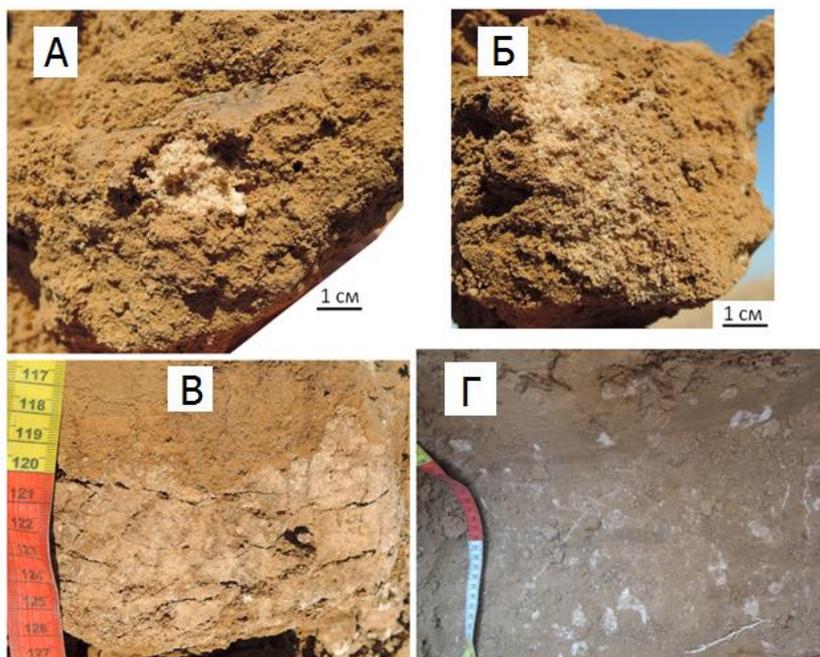


Рис. 9. Выделения гипса в гор. BCca,cs,q,th: **А, Б** – светлые скопления мелкокристаллического гипса; **А** – выше скопления гипса видна более темная гумусово-глинистая пленка (кутана); **В** – гипсана (белесая тонкая пленка из мелких кристаллов гипса) на вертикальных гранях призмовидных блоков (на фото от 121 до 127 см); **Г** – часть вертикальной стенки с округлыми белыми скоплениями гипса и горизонтальная площадка дна разреза с рисунком белых линий от гипсан и скоплений гипса разной формы и размера (разр. ДП-2-2).

Fig. 9. Gypsum accumulations in horizon BCca,cs,q,th: **A, Б** – bright clusters of fine-crystalline gypsum; **A** – the darker humus-clay film (cutan) is above gypsum accumulation; **Б** – gypsum coating (whitish thin film of gypsum small crystals) on vertical faces of prism-like blocks (in the photo from 121 to 127 cm); **Г** – part of a vertical wall with white rounded clusters and a horizontal area of the cut bottom with a pattern of white lines from gypsum coatings and clusters of gypsum of different shapes and sizes (pit DP-2-2).

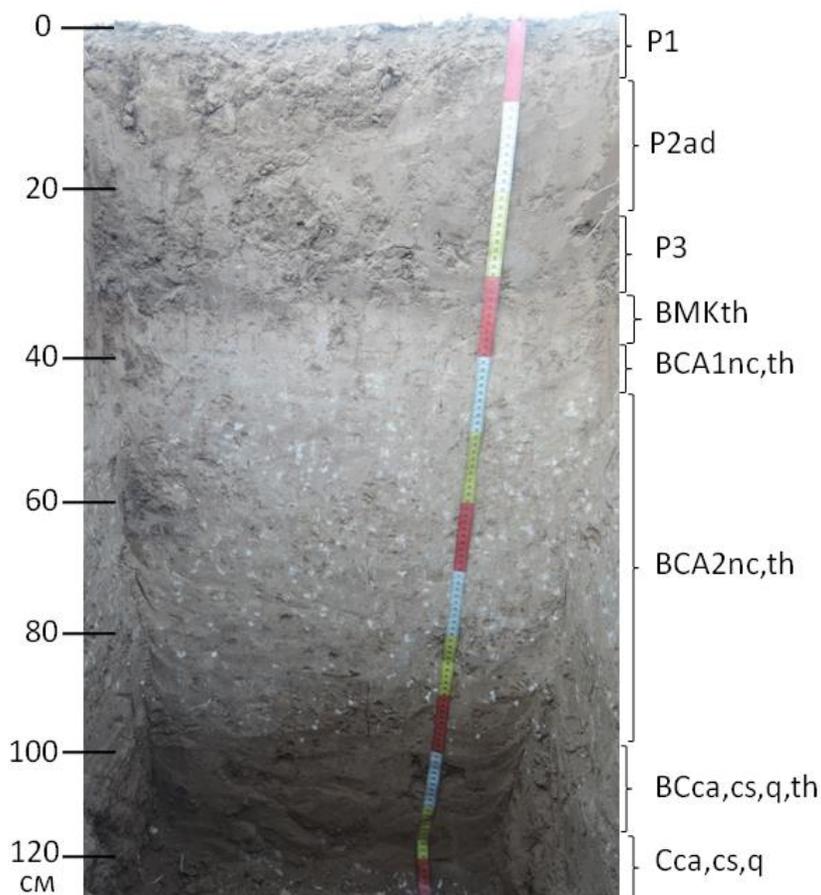


Рис. 10. Почвенный профиль, разрез ДП-2-1.
Fig. 10. Soil profile, pit DP-2-1.

Разрез ДП-2-2 заложен на сравнительно узком (30–35 м) водоразделе между верховьями двух ложбин на том же поле в 70 м к югу от разр. ДП-2-1 ближе к центру вращения ДМ “Фрегат”. Координаты: 48°36'11.4" с. ш., 44°11'52.4" в. д., высота 104 м над ур. м. Почва имеет слабое сплошное вскипание от HCl с поверхности. Отмечены процессы припахивания карбонатного горизонта. Почвенный профиль: P1ca (0–9 (10) см) – P2ca (10–22) – P3ca (22–

33 (35)) – ВСА1nc,th (33–50) – ВСА2nc,th (50–75) – ВСА3nc,th (75–90) – ВСca,th (90–100) – ВСca,cs (100–115) – Сca,cs,q (115–310) – С2ca,cs (310–350 см+). Название почвы: К-1977 – светло-каштановая орошаемая карбонатная среднесуглинистая на желто-бурых опесчаненных суглинках; РК-2004(8) – агрозем аккумулятивно-карбонатный сегрегационный солонцеватый солончаковатый глубоко гипс-содержащий среднесуглинистый; WRB-2014 – Luvic Kastanozem (Loamic, Aric, Protosodic, Bathysalic).

Разрез ДП-2-3 характеризует неорошаемую почву на части поля между кругами поливных участков от ДМ “Фрегат”, в 15 м от края поливного круга. Он заложен в середине склона в широкую ложбину. Склон северной экспозиции, уклон около 2.5°. Координаты: 48°36'13.8" с. ш., 44°12'34.9" в. д., высота 99 м над ур. м. Пашня, скошенная суданская трава. Почвенный профиль: P1 (0–10) – P2ad (10–22) – P3ad (22–30 (33)) – BМsn (20 (33) – 34 (36)) – ВСА1nc,th (36–50) – ВСА2nc,th (50–85) – ВСА3nc,th (85–95 (96)) – ВСca,th (95 (96) –107) – Сca,cs (107–160) – D1 (160–180) – D2ca,cs (180–220) – D3ca,cs (220–340 см+). Индексом D1 в этом и следующем разрезе обозначен слой крупнозернистого песка, не вскипающего от HCl. Все горизонты выше этого слоя и грунты D2 и D3 имеют среднесуглинистый состав с заметной долей фракции песка.

Разрез ДП-2-4 также характеризует неорошаемую почву на части поля между кругами поливных участков от ДМ "Фрегат", в 15 м от края поливного круга. Он заложен в верхней приводораздельной части склона в широкую ложбину, уклон около 0.5°. Координаты: 48°36'13.8" с. ш., 44°12'34.9" в. д., высота 103 м над ур. м. Пашня, скошенная суданская трава. Почвенный профиль: P1 (0–5) – P2ad (5–22) – P3ad (22–29 (37)) – BМsn (29 (33)–32 (36)) – ВСА1nc,th (32 (36)–50) – ВСА2nc,th (50–83) – ВСА3nc (83–92) – ВСca (92–100) – Сca,cs (100–195) – D1 (195–210) – D2ca,cs (210–270) – D3ca (270–290 см+). Название почвы в обоих разрезах ДП-2-3 и ДП-2-4: К-1977 – светло-каштановая солонцеватая пахотная глубокосолончаковатая среднесуглинистая на желто-бурых опесчаненных суглинках; РК-2004(8) – агрозем аккумулятивно-карбонатный сегрегационный солонцеватый глубокосолончаковатый глубоко гипс-содержащий среднесуглинистый на желто-

бурых опесчаненных суглинках; WRB-2014 (update 2015) – Luvic Kastanozem (Loamic, Aric, Protosodic, Bathysalic).

Таким образом, все четыре разреза характеризуют бывшие светло-каштановые почвы, гумусовый горизонт которых преобразован в трехслойный агрогумусовый (пахотный) горизонт под влиянием ежегодной вспашки. Разделение гор. Р на три подгоризонта возникло как результат используемых приемов обработки почвы в зерно-кормовом севообороте. Верхняя часть до глубины 5–10 см чаще подвергается рыхлению в процессе боронования и культивации. Средняя часть пахотного горизонта (P2ad) от 8–10 до 22–24 см испытывает однократное ежегодное перемешивание во время основной вспашки с оборотом пласта и последующее уплотнение ходовыми частями машин при поверхностных обработках. В результате подгоризонт P2ad приобретает глыбистоблочную структуру (признак ad – агрогенное переуплотнение). Третий подгоризонт на глубине от 22–24 до 29–33 см подвержен более редкой вспашке с почвоуглублением под пропашные культуры.

Отличия богарных и орошаемых пахотных горизонтов небольшие. Они сводятся к наличию светлых скоплений песчаных и пылеватых зерен минералов в орошаемых почвах, возникших в результате разрушения агрегатов под воздействием капель воды при поливе дождеванием.

Исследованные четыре разреза имеют признаки солонцеватости в виде темных гумусово-глинистых пленок (кутан) на боковых гранях призмовидных отдельностей (признак th) в аккумулятивно-карбонатном BC_{Anc},th и переходном BC_{Ca},th горизонтах. Вместе с тем в обоих богарных разрезах ДП-2-3 и ДП-2-4 количество кутан небольшое, тогда как в орошаемых почвах кутаны толще, их больше, и проникают они даже в верхнюю часть горизонта со скоплениями гипса на глубине 100–115 см. Иллювиирование гумусово-глинистого вещества по трещинам можно рассматривать как признак вторичного осолонцевания почв, орошаемых водой с SAR от 2.6 до 3.8.

Гранулометрический состав. Изучаемые почвы являются средне- и тяжелосуглинистыми с доминирующими фракциями в

порядке убывания их доли: мелкого песка (0.05–0.25 мм), ила (< 0.001 мм) и крупной пыли (0.01–0.05 мм) (табл. 1). Самую большую долю составляет фракция мелкого песка – от 23 до 49%, преимущественно 30–40%. Содержание илистой фракции изменяется в пределах 20–28%. На долю крупной пыли приходится от 12 до 32%, чаще 15–25%.

Хотя по внешнему виду суглинистые отложения, послужившие почвообразующей породой для исследуемых почв, похожи на лёссовидные суглинки, они имеют особенности гранулометрического состава, не характерные для последних. Главное отличие – повышенное содержание песчаных фракций, включая фракции среднего и крупного песка, и пониженное содержание крупной пыли. В исследуемых почвах песчаные зерна размером 0.25–1 мм отчетливо видны невооруженным глазом при морфологическом описании большинства горизонтов, а в пахотном горизонте встречаются их скопления, возникшие в результате разрушения агрегатов дождевыми каплями при орошении. Как отмечалось выше, фракция мелкого песка является преобладающей (чаще всего 25–35%). Содержание среднего и крупного песка варьирует в разных горизонтах от 4–6 до 19–22%, отражая литологическую неоднородность почвообразующих желто-бурых суглинков.

В лёссовидных суглинках Восточно-Европейской равнины, наоборот, преобладает фракция крупной пыли, доля которой обычно составляет 35–60% ([Афанасьева, 1966](#); [Лёссовые породы СССР, 1966](#); [Веклич, 1968](#); [Величко и др., 1997](#)), при содержании мелкого песка не более 2–7% и практически полном отсутствии среднего и крупного песка. Только в лёссовидных глинах доля крупной пыли уменьшается до 20–30%, поскольку содержание частиц < 0.01 мм составляет 60–80%.

Наличие значительного количества песка и крупной пыли в исследуемых почвах способствует формированию глыбистых отдельностей в пахотном горизонте вместо водоустойчивых агрегатов агрономически ценного размера, а воздействие капель от полива ДМ “Фрегат” вызывает дополнительное разрушение агрегатов в поверхностном слое с образованием корки.

Таблица 1. Гранулометрический состав почв
Table 1. Particle size distribution of the studied soils

Глубина, см	Фракции, %, размерами мм						
	1.00–0.25	0.25–0.05	0.05–0.01	0.01–0.005	0.005–0.001	Менее 0.001	Менее 0.01
Почвенный разрез ДП-2-1							
0–6	4.9	31.5	21.4	7.4	11.4	23.5	42.3
6–22	6.0	23.2	26.4	8.5	9.2	26.8	44.4
22–33	4.1	31.6	24.0	6.9	9.2	24.3	40.3
33–38	3.6	27.0	25.6	4.9	11.1	27.8	43.8
38–47	4.7	34.9	19.0	5.8	11.3	24.4	41.5
47–70	8.1	32.8	17.7	9.5	8.3	23.6	41.4
70–90	20.2	31.1	16.4	2.9	7.7	21.7	32.3
90–100	4.8	29.7	22.5	5.0	9.3	28.7	43.0
100–110	4.5	29.9	19.9	6.4	11.4	28.0	45.8
120–140	7.5	31.6	25.5	4.6	8.6	22.2	35.5
180–200	12.1	31.1	20.7	4.0	8.8	23.3	36.2
240–260	3.9	27.8	24.9	4.5	12.2	26.7	43.4
320–340	19.3	35.4	13.6	3.8	7.9	20.1	31.8
Почвенный разрез ДП-2-2							
0–10	12.0	33.4	19.4	6.2	5.7	23.4	35.2
10–22	10.5	32.1	20.8	1.0	11.8	23.8	36.7
22–34	10.0	49.7	7.4	3.3	7.8	21.9	33.0
34–50	10.5	31.5	16.2	6.7	9.4	25.8	41.9

50–75	16.2	31.0	14.3	3.2	10.0	25.2	38.5
75–90	11.5	38.6	14.2	3.1	8.4	24.2	35.7
90–102	8.1	41.4	13.6	3.6	7.5	25.8	36.9
115–130	16.8	28.6	19.7	4.2	8.9	21.8	34.9
130–150	10.4	29.4	25.1	5.8	8.9	20.4	35.1
190–210	1.5	33.1	26.7	3.8	8.6	26.2	38.6
250–270	8.7	36.2	20.1	4.7	7.0	23.3	35.0
290–310	4.7	36.1	18.2	6.7	8.2	26.0	41.0
Почвенный разрез ДП-2-3							
0–9	6.3	25.2	26.9	5.6	8.6	27.4	41.6
9–22	6.0	22.6	28.4	5.4	10.5	27.1	43.0
22–33	6.1	22.1	28.7	4.7	9.7	28.8	43.1
33–34	9.4	35.2	17.0	4.3	6.3	27.8	38.4
34–50	11.3	39.6	12.1	3.8	8.9	24.4	37.0
50–85	9.5	36.4	15.7	2.2	8.5	27.6	38.2
85–95	7.0	40.3	16.0	2.6	8.4	25.6	36.6
95–107	0.8	36.6	23.0	2.8	1.6	25.2	39.6
107–118	2.9	33.6	32.4	2.5	1.6	27.0	31.1
160–180	21.6	33.1	19.0	0.5	8.6	17.1	26.2
180–200	17.5	29.1	19.4	4.1	5.8	24.1	34.0
200–220	15.8	38.5	12.3	4.0	5.5	24.0	33.5
280–300	22.4	27.3	17.6	3.0	8.0	21.7	32.8

В зависимости от геоморфологического положения исследуемые почвы отличаются по профилному распределению гранулометрического состава. На водоразделе (разр. ДП-2-2) почвы имеют более легкий состав, по сравнению с почвами склона к ложбине, и являются среднесуглинистыми.

Содержание физической глины (частиц < 0.01 мм) изменяется в сравнительно узких пределах 33.0–38.6%, исключая гор. ВСА1nc,th (41.9%). Здесь отмечается низкое содержание крупной пыли (8–16%, в отдельных горизонтах до 20%) и наиболее высокое содержание песчаных фракций. На склоне ложбины верхняя часть обоих разрезов ДП-2-1 и ДП-2-3 является тяжелосуглинистой до глубины 100 и 30 см соответственно, глубже – среднесуглинистой.

Важной особенностью разрезов на склоне является слой крупного песка мощностью 10–25 см на варьирующей глубине от 160–180 до 275–285 см в разных разрезах, разделяющий суглинистые отложения. На водоразделе (разр. ДП-2-2) такой слой не обнаружен до глубины 3.5 м.

Солевое состояние почв и грунтов зоны аэрации оценено в трех разрезах по данным водной вытяжки 1 : 5 (рис. 11). Все разрезы имеют похожее общее распределение солей по профилю.

В почвенном профиле до глубины 100 см наблюдается более или менее одинаковое низкое содержание общей суммы солей (0.08–0.11%) и суммы токсичных солей (0.04–0.10%), которое в большинстве случаев соответствует незасоленному горизонту, хотя в разр. ДП-2-2 на глубине 10–22 и 34–75 см отмечается слабая степень засоления хлоридно-содового натриевого типа химизма. В почвенных горизонтах характерно присутствие токсичной щелочности (положительные значения разницы между общей щелочностью и содержанием кальция) (рис. 11В, 11Е, 11И).

Все горизонты от 100 до 300–350 см имеют слабую степень засоления при хлоридно-сульфатном магниевом-натриевом или магниевом химизме с гипсом или среднюю степень засоления при сульфатном магниевом химизме с гипсом. Сумма токсичных солей колеблется в интервале 0.14–0.28% при слабой и 0.30–0.41% при средней степени. Более высокие значения общей суммы солей (0.5–1.3%) обусловлены растворением в водной вытяжке гипса,

разное количество которого в почве обеспечивает пилообразный профиль общей суммы солей.

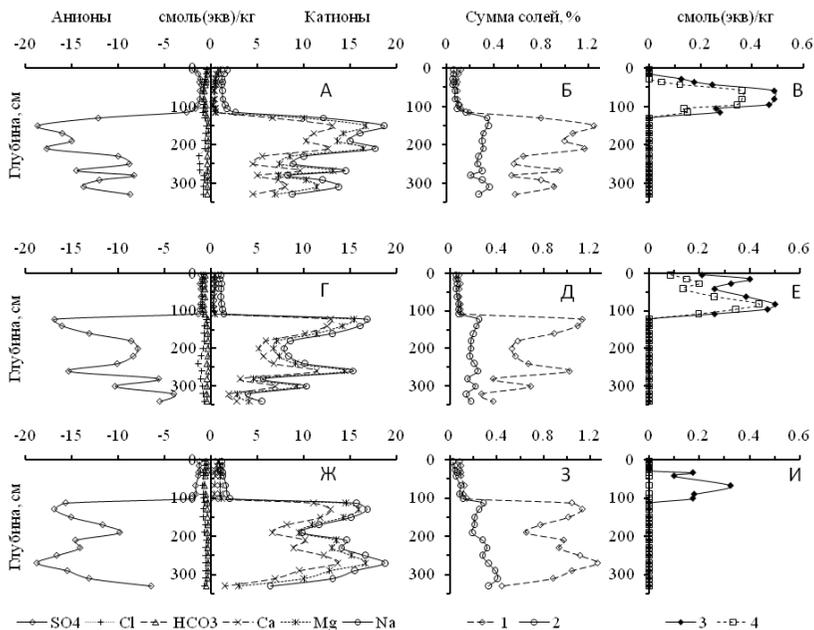


Рис. 11. Распределение солей по профилю почв (данные водной вытяжки 1 : 5). Разрезы: А, Б, В – ДП-2-1; Г, Д, Е – ДП-2-2; Ж, З, И – ДП-2-3. Обозначения: А, Г, Ж – двусторонний солевой график; Б, Д, З – содержание общей суммы (1) и суммы токсичных солей (2); В, Е, И – содержание общей токсичной щелочности (3) и токсичной щелочности, связанной с натрием (4).

Fig. 11. The salt distribution in the soil profile (data of water extract 1 : 5). Pits: А, Б, В – DP-2-1; Г, Д, Е – DP-2-2; Ж, З, И – DP-2-3. Denotations: А, Г, Ж – two-sided salt graph; Б, Д, З – the total amount (1) and the amount of toxic salts (2); В, Е, И – the content of total toxic alkalinity (3) and toxic alkalinity associated with sodium (residual sodium bicarbonate) (4).

На рисунке 11 отчетливо выделяются максимумы сульфатов растворившегося гипса на глубинах 100–150 и 250–300 см с относительным минимумом между ними, что отмечалось и при мор-

фологическом описании образцов при бурении.

Главное отличие орошаемых почв (разр. ДП-2-1 и ДП-2-2) от богарных (разр. ДП-2-3) – наличие токсичной щелочности, связанной с натрием (рис. 11, линия 4), которую оценивают по положительной разнице общей щелочности с суммой кальция и магния. В богарной почве она отсутствует. Имеется только токсичная щелочность, связанная с магнием. В орошаемых почвах токсичная щелочность, связанная с натрием, составляет 0.1–0.4 смоль(экв)/кг с максимумом на глубине 50–100 см в аккумулятивно-карбонатном горизонте, где наблюдаются отчетливые гумусово-глинистые кутаны на боковых гранях структурных отдельностей.

Динамика солей на площадке ДП-2.

Ежегодное наблюдение весной и осенью солевого состояния верхней части почвенного профиля показало, во-первых, сравнительно узкий диапазон варьирования абсолютных значений показателей состава водной вытяжки 1 : 5 в течение всего периода 2011–2019 гг.; во-вторых, заметное различие коэффициентов вариации от 17 до 71% для разных показателей (табл. 2); в-третьих, циклическое нерегулярное колебание значений показателей (рис. 12). Нами была проведена статистическая обработка данных по слоям, однако она различий не выявила. Поэтому в таблице 2 представлено общее варьирование данных по всем четырем слоям вместе за весь изучаемый период.

На качественном уровне с 2011 по 2014 гг. все оценки содержания солей квалифицировались как “незасоленные”. В 2015 и 2016 гг. осенью отмечалась слабая степень засоления в слое 30–50 см (гор. ВСА1nc,th) при содово-хлоридном типе химизма. Пахотный горизонт оставался незасоленным. В 2018 г. в двух из четырех анализируемых слоев и весной, и осенью отмечалась слабая степень засоления. А в 2019 г. в оба срока наблюдений все анализируемые слои до глубины 50 см имели слабое содово-хлоридное натриевое засоление.

В течение наблюдаемого периода отсутствовала статистическая связь между значениями показателей водной вытяжки и количеством осадков за год, за холодный и теплый периоды (рис. 13).

Таблица 2. Общее варьирование показателей состава водной вытяжки в слоях 0–10, 10–20, 20–30 и 30–50 см на площадке ДП-2 с 2011 по 2019 гг.

Table 2. General variation of water extract composition indicators in layers 0–10, 10–20, 20–30 and 30–50 cm at the DP-2 site from 2011 to 2019

Показатель водной вытяжки	n	min	Q1	med	Q3	max	M	s	V, %
pH	68	7.2	7.8	8	8.1	8.4	7.9	0.3	4
HCO ₃ ⁻ общ., смоль(экв)/кг	72	0.30	0.48	0.50	0.55	0.80	0.52	0.09	17
Cl ⁻ , смоль(экв)/кг	72	0.05	0.15	0.30	0.40	0.55	0.28	0.13	46
SO ₄ ²⁻ , смоль(экв)/кг	72	0.15	0.34	0.48	0.64	0.93	0.49	0.19	39
Ca ²⁺ , смоль(экв)/кг	72	0.13	0.25	0.38	0.39	0.88	0.37	0.16	43
Mg ²⁺ , смоль(экв)/кг	72	0.06	0.13	0.13	0.25	0.50	0.20	0.10	50
Na ⁺ , смоль(экв)/кг	72	0.43	0.59	0.69	0.79	1.13	0.71	0.14	20
K ⁺ , смоль(экв)/кг	72	0.01	0.01	0.02	0.02	0.06	0.02	0.01	50
S общ., %	72	0.07	0.08	0.09	0.10	0.13	0.09	0.02	22
S токс., %	72	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.06	0.01	17
NaHCO ₃ , смоль(экв)/кг	72	0	0	0	0.08	0.48	0.05	0.09	180
Mg(HCO ₃) ₂ , смоль(экв)/кг	72	0	0.06	0.13	0.16	0.33	0.12	0.08	67
HCO ₃ ⁻ токс, смоль(экв)/кг	72	0	0.07	0.18	0.25	0.6	0.17	0.12	71

Примечание. Статистические показатели: n – объем выборки; min – минимум; Q1 – нижний квартиль; med – медиана; Q3 – верхний квартиль; max – максимум; M – среднее арифметическое; s – среднеквадратическое отклонение; V – коэффициент вариации.

Расчет возможного поступления ионов натрия с поливной водой (средняя концентрация ионов натрия 5.24 ммоль(экв)/л; оросительная норма 2500 м³/га; расчетный слой 0–60 см) показал, что при условии непромывного водного режима и расхода поливной воды исключительно на водопотребление культуры за год в почве потенциально может накопиться 0.163 смоль(экв)/кг натрия.

Сравнивая со статистическими значениями содержания натрия в водной вытяжке (табл. 2), при отсутствии промывки слоя 0–60 см за счет поступления натрия с поливной водой за три года потенциально может быть достигнут современный минимум натрия в почве, за 4.5 года – среднее значение, а за 7 лет — максимальное значение. Известно, что почва поливается водой приблизительно такого качества уже более 50 лет, поэтому можно заключить, что часть натрия поливной воды промывалась глубже 60 см атмосферными осадками и более редкими поливными нормами до 700 м³/га. По величине суммы осадков за холодный период, варьировавшей в 2011–2019 гг. от 42 до 215 мм со средним 115 мм, и запасам влаги при наименьшей влагоемкости и влажности завядания в метровом слое можно утверждать, что в большинстве лет весной почва увлажняется до глубины 80–100 см, иногда глубже, обеспечивая частичную естественную промывку верхних горизонтов от избытка накапливающихся легкорастворимых солей.

На основе этих расчетов следует, что накапливающиеся в поверхностных почвенных горизонтах соли натрия, поступающие с поливной водой, при общем уровне содержания солей натрия в почве, колеблющемся возле формальной границы “незасоленной” и “слабой степени засоления”, в условиях недостаточной промывки этих горизонтов атмосферными осадками и самими поливными водами могут приводить к возникновению периодов слабого засоления даже пахотного горизонта, т. е. хотя бы временно переводить орошаемые почвы из вида глубоководносолончаковатые в солончаковатые, или даже солончаковые слабозасоленные.

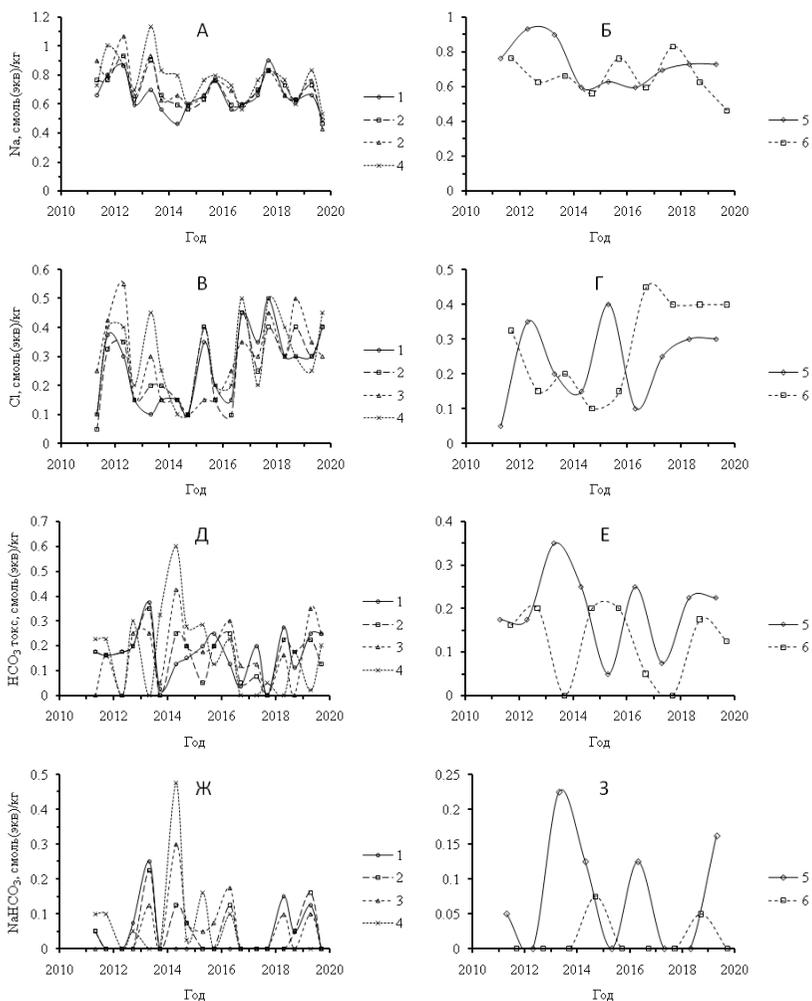


Рис. 12. Динамика показателей состава водной вытяжки 1 : 5 на площадке ДП-2: А, Б – натрий; В, Г – хлориды; Д, Е – общая токсичная щелочность (HCO₃ токс.); Ж, З – токсичная щелочность, связанная с натрием (NaHCO₃); А, В, Д, Ж – динамика показателей в общей последовательности сезонов в разные годы, слой: 1 – P1, 0–10 см; 2 – P2, 10–20 см; 3 – P3, 20–30 см; 4 – BSA1nc,th, 30–50 см; Б, Г, Е, З – отдельные графики динамики весной (5) и осенью (6) в слое P2, 10–20 см.

Fig. 12. Dynamics of water extract 1 : 5 composition indicators at the DP-2: А, Б – sodium; В, Г – chlorides; Д, Е – total toxic alkalinity (HCO_3 токс.); Ж, З – toxic alkalinity associated with sodium (NaHCO_3); А, В, Д, Ж – indicator dynamics in the general sequence of seasons in different years, layer: 1 – P1, 0–10 cm; 2 – P2, 10–20 cm; 3 – P3, 20–30 cm; 4 – BCA Inc.th, 30–50 cm; Б, Г, Е, З – separate graphs of dynamics in spring (5) and autumn (6) in the P2 layer, 10–20 cm.

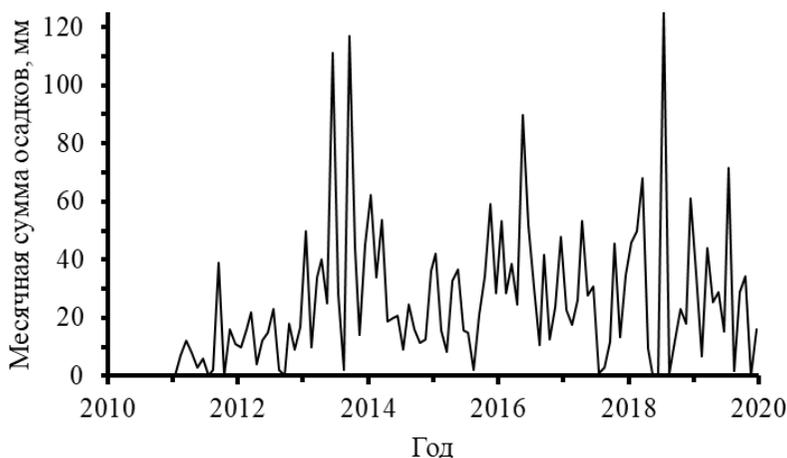


Рис. 13. Динамика месячных сумм осадков (мм) в 2011–2019 гг. в г. Волгограде (по данным сайта Volgograd.nuipogoda.ru).

Fig. 13. Dynamics of monthly precipitation amounts (mm) in 2011–2019 in Volgograd (according to the website Volgograd.nuipogoda.ru).

Выявленные процессы деградации орошаемых земель требуют дальнейшего изучения с целью разработки систем мероприятий по стабилизации экологической устойчивости и увеличения продуктивного долголетия орошаемых агроландшафтов. Предварительными рекомендациями для решения данной проблемы могут быть замена поливной воды с контролем ее качества, применение периодической (раз в несколько лет) влагозарядковой весенней промывки слоя 0–70 см для оттеснения накопившихся солей в зону аэрации, гипсование для обеспечения вытеснения об-

менного натрия, подавления щелочности и удаления водорастворимого натрия в нижележащие горизонты за пределы корнеобитаемого слоя (в зону аэрации), использование капельного полива, увеличение доли многолетних бобовых и злаковых культур в структуре посевных площадей.

ВЫВОДЫ

1. Комплексный анализ современного состояния морфологического строения, гранулометрического и солевого составов орошаемых в течение полувека светло-каштановых почв южных склонов Приволжской возвышенности Волго-Донского междуречья (ФГУП “Орошаемое” Волгоградской области) на динамической площадке ДП-2 выявил следующие деградационные процессы: вторичное осолонцевание, слабое засоление почв, разрушение почвенных агрегатов в пахотном горизонте.

2. Орошаемые почвы приобрели комплекс признаков вторичной солонцеватости: (1) наличие светлых скоплений песчаных и пылеватых зерен минералов в пахотном горизонте как результат разрушающего воздействия капель оросительной воды при дождевании; (2) токсичную щелочность, связанную с натрием, по данным водной вытяжки, в горизонтах от 10–20 до 60–100 см; (3) обильные гумусово-глинистые кутаны на боковых гранях призмовидных структурных отдельностей в ненарушенной части почвенного профиля от 30 до 100 см. Наиболее вероятная причина – повышенная доля натрия в составе катионов поливной воды, SAR от 2.6 до 3.8 при минерализации около 1 г/л.

3. В слое 0–50 см в течение периода с 2011 по 2019 гг. наблюдалось циклическое нерегулярное колебание значений показателей состава водной вытяжки на фоне сравнительно узкого общего диапазона их варьирования возле нижней границы между градами “незасоленный” и “слабая степень засоления”. На качественном уровне до 2014 г. все оценки квалифицировались как “незасоленные”. С 2015 по 2019 гг. постепенно увеличивалась мощность слоя в пределах верхних горизонтов до глубины 50 см со слабой степенью засоления при содово-хлоридном типе химизма. Возможная причина – накопление солей натрия, поступивших

в почву с поливной водой при орошении, рассчитанном по водопотреблению сельскохозяйственных культур, и недостаточная их промывка атмосферными осадками.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Афанасьева Е.А.* Черноземы Средне-Русской возвышенности. М.: Наука, 1966. 224 с.
2. *Барановская В.А., Азовцев В.И.* CaCO₃ и его миграция в орошаемых почвах Заволжья // Совершенствование методов оценки засоленных почв, прогнозирование и предупреждение вторичного засоления. Тезисы всесоюзного совещания. М.: Минсельхоз. 1972. С. 75–76.
3. *Безднина С.Я.* Качество воды для орошения: Принципы и методы оценки. М.: Изд. РОМА, 1997. 185 с.
4. *Болотин Д.А., Дубенок Н.Н., Болотин А.Г., Фомин С.Д., Тихонова М.К.* Водные ресурсы Волгоградской области и проблемы их использования // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2018. № 4 (52). С. 191–197. DOI: [10.32786/2071-9485-2018-04-27](https://doi.org/10.32786/2071-9485-2018-04-27).
5. *Вадюнина А.Ф., Корчагина З.А.* Методы исследования физических свойств почв. М.: Агропромиздат, 1986. 416 с.
6. *Веклич М.Ф.* Стратиграфия лёссовой формации Украины и соседних стран. Киев: “Наукова Думка”, 1968. 238 с.
7. *Величко А.А., Грибченко Ю.Н., Губонина З.П., Дренова А.Н., Зеликсон Э.М., Маркова А.К., Морозова Т.Д., Ночаев В.П., Орешкин Д.Б., Певзнер М.А., Светлицкая Т.В., Сычева С.А., Тимирева С.Н., Ударцев В.П., Фаустова М.А., Халчева Т.А., Цацкин А.И., Чеплыга А.Л., Чиколини Н.И.* Лёссово-почвенная формация Восточно-Европейской равнины. Палеогеография и стратиграфия. М.: Институт географии РАН, 1997. 144 с.
8. ГОСТ 17.1.2.03-90. Охрана природы. Гидросфера. Критерии и показатели качества воды для орошения. М.: ИПК Издательство стандартов, 2012. 8 с.
9. *Горохова И.Н., Хитров Н.Б., Прокопьева К.О., Харланов В.А.* Почвенный покров Светлоярской оросительной системы через полвека мелиоративных воздействий // Почвоведение. 2018. № 8. С. 1–12. DOI: [10.1134/S0032180X18080130](https://doi.org/10.1134/S0032180X18080130).
10. *Горохова И.Н., Авдеева Т.Н., Панкова Е.И., Прокопьева К.О.* Почвенно-агрохимическая характеристика Светлоярского орошаемого участка в Волгоградской области // Аридные экосистемы. 2019. Т. 25. № 1. С. 48–59. DOI: [10.24411/1993-3916-2019-10044](https://doi.org/10.24411/1993-3916-2019-10044).

11. Государственный (Национальный) доклад о состоянии и использовании земель в Российской Федерации в 2018 г. / Министерство экономического развития РФ, Федеральная служба государственной регистрации и картографии. М., 2019. 196 с.
12. *Дегтярева Е.Т., Жулидова А.Н.* Почвы Волгоградской области. Волгоград: Нижне-Волжское книжное изд-во, 1970. 319 с.
13. *Дедова Э.Б.* Зональная шкала оценки качества поливных вод республика Калмыкия // Синергия. 2018. №1. С. 88–95. URL: <https://vepi.ru/wp-content/uploads/2018/10/Sinergiya-2018-1.pdf>.
14. *Доскач А.Г.* Природное районирование Прикаспийской полупустыни. М.: Наука, 1979. 142 с.
15. *Дронова Т.Н., Бурцева Н.И., Молоканцева Е.И.* Научные результаты исследований по многолетним травам // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2017. № 3 (47). С. 46–56.
16. *Дубенок Н.Н., Болотин Д.А., Новиков А.А., Болотин А.Г.* Эффективность использования водных ресурсов в орошаемом земледелии // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2018. № 3 (51). С. 83–90.
17. *Зимовец Б.А.* Экология и мелиорация почв сухостепной зоны. М.: Почвенный институт им. В.В. Докучаева, 1991. 248 с.
18. *Зимовец Б.А., Хитров Н.Б.* Экологическая оценка пригодности воды для орошения почв // Доклады РАСХН, 1993, № 4. С. 41–48.
19. *Иванов В.М., Даниленко Ю.П.* Зерновое сорго и кукуруза при орошении в Нижнем Поволжье. Волгоград: ИПК ФГОУ ВПО ВГСХА “Нива”, 2010. 240 с.
20. *Кадаева А.Г.* К вопросу о качестве оросительных вод в Калмыкии // Вестник Калмыцкого института гуманитарных исследований РАН. 2013. № 1. С. 160–162.
21. *Кирто Н.И.* Водный, солевой режим орошаемых почв, заболачивание и вторичное их засоление в условиях Нижнего Поволжья. Приемы их мелиорации. Волгоград: ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ, 2015. 320 с.
22. Классификация и диагностика почв России. Смоленск: Ойкумена, 2004. 342 с.
23. Классификация и диагностика почв СССР. М.: Колос, 1977. 223 с.
24. *Корнблом Э.А.* Почва как иерархическая система морфологических элементов // Почвоведение. 1975. № 9. С. 36–48.
25. *Кравченко Е.И., Хитров Н.Б., Горохова И.Н.* Двумерное распределение засоления орошаемых почв рядом с оросительным каналом на участке “Червленое” Светлоярской оросительной системы //

Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. 2018. Вып. 94.
С. 19–37. DOI: [10.19047/0136-1694-2018-94-19-37](https://doi.org/10.19047/0136-1694-2018-94-19-37).

26. *Кружилин И.П., Болотин А.Г., Бекмаматов А.А.* Плодородие светло - каштановых почв при водосберегающем орошении // Плодородие. 2009. № 6 (51). С. 34–35.

27. *Кружилин И.П., Ганиев М.А., Мелихов В.В., Болотин А.Г., Родин К.А.* Режим орошения и дозы внесения удобрений на посевах риса с периодическими поливами в Нижнем Поволжье // Доклады РАСХН. 2015. № 5. С. 43–46.

28. *Кружилин И.П., Казакова Л.А.* Комплексная мелиорация солонцов на орошаемых землях Волго-Донского междуречья // Почвоведение. 2003. № 5. С. 623–629.

29. *Кружилин И.П., Морозова А.С., Казакова Л.А.* Динамика почвенных процессов в солонцах при орошении // Почвоведение. 1991. № 10. С. 100–111.

30. Лёссовые породы СССР. Под ред. И.В. Попова и В.С. Быкова. М.: изд-во “Наука”, 1966. 256 с.

31. *Любимова И.Н., Новикова А.Ф.* Влияние различных антропогенных воздействий на изменение почв солонцовых комплексов сухостепной зоны // Почвоведение. 2016. № 5. С. 633–643. DOI: [10.7868/S0032180X16050129](https://doi.org/10.7868/S0032180X16050129).

32. *Мелихов В.В., Даниленко Ю.П., Болотин А.Г.* Программированное возделывание кукурузы на орошаемых землях Нижнего Поволжья // Земледелие. 2011. № 2. С. 9–11.

33. Мировая реферативная база почвенных ресурсов 2014. Международная система почвенной классификации для диагностики и создания легенд почвенных карт. Исправленная и дополненная версия 2015. Научные ред. перевода М.И. Герасимова, П.В. Красильников, Переводчик: И.А. Спиридонова. Доклады о мировых почвенных ресурсах 106. ФАО, МГУ им. М.В. Ломоносова, 2017. 203 с.

34. *Новикова А.Ф., Морозова А.С.* Засоленные почвы Волгоградской области // Почвоведение. 2003. № 9. С. 1061–1074.

35. *Панкова Е.И., Новикова А.Ф.* Мелиоративное состояние и вторичное засоление орошаемых земель Волгоградской области // Почвоведение. № 6. 2004. С. 731–744.

36. Полевой определитель почв России. М.: Почвенный институт им. В.В. Докучаева, 2008. 182 с.

37. *Тихонова М.К.* Мониторинг водных нагрузок в орошаемых агроландшафтах // Орошаемое земледелие. 2014. № 4. С. 9–10.

38. *Хитров Н.Б., Горохова И.Н., Кравченко Е.И.* Комбинация засоленных почв северного склона возвышенности Ергени после прекращения

- орошения // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. 2019. Вып. 97. С. 52–90. DOI: [10.19047/0136-1694-2019-97-52-90](https://doi.org/10.19047/0136-1694-2019-97-52-90).
39. *Ahmed M., Hussain N., Al-Rawahy S.A.* Management of Saline Lands in Oman: Learning to Live with Salinity // *Developments in Soil Salinity Assessment and Reclamation: Innovative Thinking and Use of Marginal Soil and Water Resources in Irrigated Agriculture*. 2013. P. 265–281. DOI: [10.1007/978-94-007-5684-7_17](https://doi.org/10.1007/978-94-007-5684-7_17).
40. *Dagar J.C., Minhas P.S.* Agroforestry for the Management of Waterlogged Saline Soils and Poor-quality Waters. *Advances in Agroforestry*. Springer New Delhi Heidelberg New York Dordrecht London. Springer India. 2016. 210 p. DOI: [10.1007/978-81-322-2659-8](https://doi.org/10.1007/978-81-322-2659-8).
41. *de Soto I.S., Virto I., Barre P., Fernandez-Ugalde O., Anton R., Martinez I., Chaduteau C., Enrique A., Bescansa P.* A model for field-based evidences of the impact of irrigation on carbonates in the tilled layer of semi-arid Mediterranean soils. *Geoderma*. 2017. Vol. 297. P. 48–60. DOI: [10.1016/j.geoderma.2017.03.005](https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2017.03.005).
42. *Fourati H.-t., Bouaziz S., Benzina M., Bouaziz M.* Detection of terrain indices related to soil salinity and mapping salt-affected soils using remote sensing and geostatistical techniques // *Environmental Monitoring and Assessment*. 2017. 189:177. DOI: [10.1007/S10661-017-5877-7](https://doi.org/10.1007/S10661-017-5877-7).
43. IUSS Working Group WRB. 2015. World Reference Base for Soil Resources 2014, update 2015. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. World Soil Resources Reports No. 106. FAO, Rome. 192 p.
44. *Kumar M., Etesami H., Kumar V.* Saline Soil-based Agriculture by Halotolerant Microorganisms. Springer Nature Singapore Pte Ltd. 2019. 253 p. DOI: [10.1007/978-981-13-8335-9](https://doi.org/10.1007/978-981-13-8335-9).
45. *Moharana P.C., Singh R.S., Singh S.K., Tailor B.L., Jena R.K., Meena M.D.* Development of secondary salinity and salt migration in the irrigated landscape of hot arid India // *Environmental Earth Sciences*. 2019. Vol. 78:454. P. 1–11. DOI: [10.1007/s12665-019-8460-4](https://doi.org/10.1007/s12665-019-8460-4).
46. *Murtaza G., Ghafoor A., Zia-ur-Rehman M., and Qadir M.* Chapter 19. Marginal-Quality Water Use as an Ameliorant for Tile-Drained Saline-Sodic Soils in a Rice-Wheat Production System // *Developments in Soil Salinity Assessment and Reclamation: Innovative Thinking and Use of Marginal Soil and Water Resources in Irrigated Agriculture*. 2012. P. 295–311. DOI: [10.1007/978-94-007-5684-7_19](https://doi.org/10.1007/978-94-007-5684-7_19).
47. *Suarez D.L.* Use of Marginal-Quality Waters for Sustainable Crop Production // *Developments in Soil Salinity Assessment and Reclamation: Innovative Thinking and Use of Marginal Soil and Water Resources in*

Irrigated Agriculture. 2013. P. 367–381. DOI: [10.1007/978-94-007-5684-7_25](https://doi.org/10.1007/978-94-007-5684-7_25).

48. *Swarup A.* Sustainable Management of Salt-Affected Soils and Poor-Quality Ground Waters for Enhancing Crop Production // Developments in Soil Salinity Assessment and Reclamation: Innovative Thinking and Use of Marginal Soil and Water Resources in Irrigated Agriculture. 2013. P. 327–334. DOI: [10.1007/978-94-007-5684-7_21](https://doi.org/10.1007/978-94-007-5684-7_21).

49. *Wu L.S., Wood Y., Jiang P.P., Li L., Pan G., Lu L.Q., Pan G.X., Lu J.H., Chang A.C., Enloe H.A.* Carbon sequestration and dynamics of two irrigated agricultural soils in California // Soil Science Society of America Journal. 2008. Vol. 72. P. 808–814. DOI: [10.2136/sssaj2007.0074](https://doi.org/10.2136/sssaj2007.0074).

50. *Yahiajui I., Douaoui A., Zhang Q., Ziane A.* Soil salinity prediction in the Lower Cheliff plain (Algeria) based on remote sensing and topographic feature analysis // Arid Land. 2015. Vol. 7(6). P. 794–805. DOI: [10.1007/s40333-015-0053-9](https://doi.org/10.1007/s40333-015-0053-9).

51. *Zaman M., Shahid S.A., Heng L.* Guideline for Salinity Assessment, Mitigation and Adaptation Using Nuclear and Related Techniques. International Atomic Energy Agency, Springer Nature Switzerland AG. 2018. 164 p. DOI: [10.1007/978-3-319-96190-3](https://doi.org/10.1007/978-3-319-96190-3).

52. *Zhang J.* Coastal Saline Soil Rehabilitation and Utilization Based on Forestry Approaches in China. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 2014. 182 p. DOI: [10.1007/978-3-642-39915-2](https://doi.org/10.1007/978-3-642-39915-2).

REFERENCES

1. Afanas'eva E.A., *Chernozemy Sredne-Russkoj vozvyshechnosti* (Chernozems of the Central Russian Upland), Moscow, Nauka, 1966, 224 p.
2. Baranovskaya V.A., Azovcev V.I., CaCO₃ i ego migraciya v oroshaemyh pochvah Zavolzh'ya (CaCO₃ and its migration in irrigated soils of the Trans-Volga region), *Sovershenstvovanie metodov ocenki zasolennyh pochv, prognozirovanie i preduprezhdenie vtorichnogo zasoleniya*, Tezisy vsesoyuznogo soveshchaniya (Improvement of methods for assessing saline soils, forecasting and preventing secondary salinization, Theses of the All-Union Meeting.), Moscow: Minsel'hoz, 1972, pp. 75–76.
3. Bezdina S.Ya., *Kachestvo vody dlya orosheniya: Principy i metody ocenki* (Irrigation water quality: Principles and methods of assessment), Moscow: ROMA, 1997, 185 p.
4. Bolotin D.A., Dubenok N.N., Bolotin A.G., Fomin S.D., Tihonova M.K., Vodnye resursy Volgogradskoj oblasti i problemy ih ispol'zovaniya (Water resources of the Volgograd region and problems of their use), *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vysshee*

- professional'noe obrazovanie*, 2018, No. 4 (52), pp. 191–197. DOI: [10.32786/2071-9485-2018-04-27](https://doi.org/10.32786/2071-9485-2018-04-27).
5. Vadyunina A.F., Korchagina Z.A., *Metody issledovaniya fizicheskikh svoystv pochv* (Methods for studying the physical properties of soils), Moscow: Agropromizdat, 1986, 416 p.
6. Veklich M.F., *Stratigrafiya lyossovoj formacii Ukrainy i sosednih stran* (Stratigraphy of the loess formation in Ukraine and neighboring countries), Kiev: “Naukova Dumka”, 1968, 238 p.
7. Velichko A.A., Gribchenko Yu.N., Gubonina Z.P., Drenova A.N., Zelikson E.M., Markova A.K., Morozova T.D., Nochaev V.P., Oreshkin D.B., Pevzner M.A., Svetlickaya T.V., Sycheva S.A., Timireva S.N., Udarcev V.P., Faustova M.A., Halcheva T.A., Cackin A.I., Cheplyga A.L., Chikolini N.I., *Lyossovo-pochvennaya formaciya Vostochno-Evropejskoj ravniny. Paleogeografiya i stratigrafiya* (Loess-soil formation of the East European Plain. Paleogeography and stratigraphy), Moscow: Institut geografii RAN, 1997, 144 p.
8. *GOST 17.1.2.03-90*. Protection of Nature. Hydrosphere. Criteria and indicators of water quality for irrigation, Moscow: IPK Izdatel'stvo standartov, 2012, 8 p.
9. Gorokhova I.N., Khitrov N.B., Prokopeva K.O., Kharlanov V.A., Soil Cover of the Svetloyarsk Irrigation System after 50 Years of Reclamation Practices, *Eurasian Soil Science*, 2018, Vol. 51, No. 8, pp. 1–11. DOI: [10.1134/S1064229318060078](https://doi.org/10.1134/S1064229318060078).
10. Gorokhova I.N., Avdeeva T.N., Pankova E.I., Prokopyeva K.O., Soil and Agrochemical Characteristics of the Svetloyar Irrigated Site in Volgograd Oblast, *Arid Ecosystems*, 2019, Vol. 9, No. 1, pp. 41–50, DOI: [10.1134/S2079096119010074](https://doi.org/10.1134/S2079096119010074).
11. State (National) report on the state and use of land in the Russian Federation in 2018, Ministry of Economic Development of the Russian Federation, Federal Service for State Registration and Cartography, Moscow, 2019, 196 p.
12. Degtyareva E.T., Zhulidova A.N., *Pochvy Volgogradskoj oblasti* (Soils of the Volgograd region), Volgograd: Nizhne-Volzhskoe knizhnoe izd., 1970, 319 p.
13. Dedova E.B., Zonal'naya shkala ocenki kachestva polivnyh vod respublika Kalmykiya (Zonal scale for assessing the quality of irrigation water in the Republic of Kalmykia), *Sinergiya*, 2018, No 1, pp. 88–95, URL: <https://vepi.ru/wp-content/uploads/2018/10/Sinergiya-2018-1.pdf>.
14. Dorskach A. G. *Prirodnoe rajonirovanie Prikaspijskoj polupustyni* (Natural zoning of the Caspian semi-desert), Moscow: Nauka, 1979, 142 p.

15. Dronova T.N., Burceva N.I., Molokanceva E.I., Nauchnye rezultaty issledovaniy po mnogoletnim travam (Scientific results of research on perennial herbs), *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vysshee professional'noe obrazovanie*, 2017, No. 3 (47), pp. 46–56.
16. Dubenok N.N., Bolotin D.A., Novikov A.A., Bolotin A.G., Effektivnost' ispol'zovaniya vodnyh resursov v oroshaemom zemledelii (Efficiency of use of water resources in irrigated agriculture), *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vysshee professional'noe obrazovanie*, 2018, No. 3 (51), pp. 83–90.
17. Zimovec B.A., *Ekologiya i melioraciya pochv suhostepnoj zony* (Ecology and land reclamation of the dry steppe zone), Moscow: Pochvennyj institut im. V.V. Dokuchaeva, 1991, 248 p.
18. Zimovec B.A., Khitrov N.B., *Ekologicheskaya ocenka prigodnosti vody dlya orosheniya pochv* (Ecological assessment of the suitability of water for soil irrigation), *Doklady Rossijskoj akademii s.-kh. nauk*, 1993, No. 4, pp. 41–48.
19. Ivanov V.M., Danilenko Yu.P., *Zernovoe sorgo i kukuruza pri oroshenii v Nizhnem Povolzh'e* (Grain sorghum and corn under irrigation in the Lower Volga region), Volgograd: IPK FGOU VPO VGSKHA “Niva”, 2010, 240 p.
20. Kadaeva A.G., K voprosu o kachestve orositel'nyh vod v Kalmykii (On the issue of the quality of irrigation water in Kalmykia), *Vestnik Kalmyckogo instituta gumanitarnykh issledovaniy RAN*, 2013, No. 1, pp. 160–162.
21. Kirpo N.I., *Vodnyi, solevoi rezhim oroshaemykh pochv, zabolachivanie i vtorichnoe ikh zasolenie v usloviyakh Nizhnego Povolzh'ya. Priemy ikh melioratsii*. Volgograd: FGBOU VO Volgogradskii GAU, 2015. 320 vtorichnoe ikh zasolenie v usloviyakh Nizhnego Povolzh'ya. Priemy ikh melioratsii (Water, salt regime of irrigated soils, waterlogging and their secondary salinization in the conditions of the Lower Volga region. Techniques for their reclamation), Volgograd: FGBOU VO Volgogradskij GAU, 2015, 320 p.
22. *Klassifikatsiya i diagnostika pochv Rossii* (Classification and diagnostics of soils in Russia), Smolensk: Oykumena, 2004, 342 p.
23. *Klassifikatsiya i diagnostika pochv SSSR* (Classification and diagnostics of soils in the USSR), Moscow: Kolos, 1977, 223 p.
24. Kornblyum E.A., *Pochva kak ierarhicheskaya sistema morfologicheskikh elementov* (Soil as a hierarchical system of morphological elements), *Pochvovedenie*, 1975, No. 9, pp. 36–48.
25. Kravchenko E.I., Khitrov N.B., Gorokhova I.N., Two-dimensional distribution of salinity in irrigated soils near the irrigation channel at the plot “Chervlenoe” of the Svetloyar irrigation system, *Dokuchaev Soil Bulletin*, 2018, Vol. 94, pp. 19–38, DOI: [10.19047/0136-1694-2018-94-19-37](https://doi.org/10.19047/0136-1694-2018-94-19-37).

26. Kruzhilin I.P., Bolotin A.G., Bekmametov A.A., Plodorodie svetlo-kashtanovykh pochv pri vodosberegayushchem oroshenii (Fertility of light chestnut soils with water-saving irrigation), *Plodorodie*, 2009, No. 6 (51), pp. 34–35.
27. Kruzhilin I.P., Ganiev M.A., Melihov V.V., Bolotin A.G., Rodin K.A., Rezhim orosheniya i dozy vneseniya udobrenij na posevah risa s periodicheskimi polivami v Nizhnem Povolzh'e (Irrigation regime and doses of fertilizers on rice crops with periodic irrigation in the Lower Volga region), *Doklady Rossijskoj Akademii Sel'skohozyajstvennyh Nauk*, 2015, No. 5, pp. 43–46.
28. Kruzhilin I.P., Kazakova L.A., Kompleksnaya melioraciya soloncov na oroshaemyh zemlyah Volgo-Donskogo mezhdurech'ya (Complex reclamation of solonchets on irrigated lands of the Volga-Don interfluvium), *Pochvovedenie*, 2003, No. 5, pp. 623–629.
29. Kruzhilin I.P., Morozova A.S., Kazakova L.A., Dinamika pochvennyh processov v solonchah pri oroshenii (Dynamics of soil processes in solonchets during irrigation), *Pochvovedenie*, 1991, No. 10, pp. 100–111.
30. Popov I.V., Bykov V.S. (Eds), *Lyossovyje porody SSSR* (Loess breeds of the USSR), Moscow: "Nauka", 1966, 256 p.
31. Lyubimova I.N., Novikova A.F., Changes in the Properties of Solonchetic Soil Complexes in the Dry Steppe Zone under Anthropogenic Impacts, *Eurasian Soil Science*, 2016, Vol. 49, No. 5, pp. 581–590, DOI: [10.1134/S1064229316050112](https://doi.org/10.1134/S1064229316050112).
32. Melihov V.V., Danilenko YU.P., Bolotin A.G., Programmirovannoe vozdeleyvanie kukuruzy na oroshaemyh zemlyah Nizhnego Povolzh'ya (Programmed corn cultivation on irrigated lands in the Lower Volga region), *Zemledelie*, 2011, No. 2, pp. 9–11.
33. Gerasimova M.I., Krasilnikov P.V. (Eds), *World abstract database of soil resources 2014. International system of soil classification for diagnostics and creation of soil map legends*. Revised and updated version 2015. Reports on world soil resources 106. FAO, Moscow: MGU im. M.V. Lomonosova, 201, 203 p.
34. Novikova A.F., Morozova A.S., Salt-Affected Soils of Volgograd Oblast, *Eurasian Soil Science*, 2003, Vol. 36, No. 9, pp. 936–958.
35. Pankova E.I., Novikova A.F., Ameliorative Status and Secondary Salinization of Irrigated Soils in Volgograd Oblast, *Eurasian Soil Science*, 2004, Vol. 37, No. 6, pp. 634–645.
36. *Polevoj opredelitel pochv Rossii* (Field guide to Russian soils.), Moscow: Pochvennyj institut im. V.V. Dokuchaeva, 2008, 182 p.

37. Tikhonova M.K., Monitoring vodnyh nagruzok v oroshaemyh agrolandshaftah (Monitoring of water loads in irrigated agricultural landscapes), *Oroshaemoe zemledelie*, 2014, No. 4, pp. 9–10.
38. Khitrov N.B., Gorokhova I.N., Kravchenko E.I., Combination of saline soils of the Northern slope of the Ergeni upland after irrigation cessation, *Dokuchaev Soil Bulletin*, 2019, Vol. 97, pp. 52–90, DOI: [10.19047/0136-1694-2019-97-52-90](https://doi.org/10.19047/0136-1694-2019-97-52-90).
39. Ahmed M., Hussain N., Al-Rawahy S.A., Management of Saline Lands in Oman: Learning to Live with Salinity, *Developments in Soil Salinity Assessment and Reclamation: Innovative Thinking and Use of Marginal Soil and Water Resources in Irrigated Agriculture*, 2013, pp. 265–281, DOI: [10.1007/978-94-007-5684-7_17](https://doi.org/10.1007/978-94-007-5684-7_17).
40. Dagar J.C., Minhas P.S., Agroforestry for the Management of Waterlogged Saline Soils and Poor-quality Waters, *Advances in Agroforestry*, 2016, 210 p., DOI: [10.1007/978-81-322-2659-8](https://doi.org/10.1007/978-81-322-2659-8).
41. de Soto IS., Virto I., Barre P., Fernandez-Ugalde O., Anton R., Martinez I., Chaduteau C., Enrique A., Bescansa P., A model for field-based evidences of the impact of irrigation on carbonates in the tilled layer of semi-arid Mediterranean soils, *Geoderma*, 2017, Vol. 297, pp. 48–60, DOI: [10.1016/j.geoderma.2017.03.005](https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2017.03.005).
42. Fourati H.-t., Bouaziz S., Benzina M., Bouaziz M. Detection of terrain indices related to soil salinity and mapping salt-affected soils using remote sensing and geostatistical techniques, *Environmental Monitoring and Assessment*, 2017, 189:177, DOI: [10.1007/S10661-017-5877-7](https://doi.org/10.1007/S10661-017-5877-7).
43. IUSS Working Group WRB. 2015. World Reference Base for Soil Resources 2014, update 2015. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps, *World Soil Resources Reports*, FAO, Rome, No. 106, 192 p.
44. Kumar M., Etesami H., Kumar V., (Eds), *Saline Soil-based Agriculture by Halotolerant Microorganisms*, 2019, 253 p. DOI: [10.1007/978-981-13-8335-9](https://doi.org/10.1007/978-981-13-8335-9).
45. Moharana P.C., Singh R.S., Singh S.K., Tailor B.L., Jena R.K., Meena M.D., Development of secondary salinity and salt migration in the irrigated landscape of hot arid India, *Environmental Earth Sciences*, 2019, Vol. 78:454, pp. 1–11, DOI: [10.1007/s12665-019-8460-4](https://doi.org/10.1007/s12665-019-8460-4).
46. Murtaza G., Ghafoor A., Zia-ur-Rehman M., Qadir M., Chapter 19. Marginal-Quality Water Use as an Ameliorant for Tile-Drained Saline-Sodic Soils in a Rice-Wheat Production System, *Developments in Soil Salinity Assessment and Reclamation: Innovative Thinking and Use of Marginal Soil and Water Resources in Irrigated Agriculture*, 2013, pp. 295–311, DOI: [10.1007/978-94-007-5684-7_19](https://doi.org/10.1007/978-94-007-5684-7_19).

47. Suarez D.L., Use of Marginal-Quality Waters for Sustainable Crop Production, *Developments in Soil Salinity Assessment and Reclamation: Innovative Thinking and Use of Marginal Soil and Water Resources in Irrigated Agriculture*, 2013, pp. 367–381, DOI: [10.1007/978-94-007-5684-7_25](https://doi.org/10.1007/978-94-007-5684-7_25).
48. Swarup A., Sustainable Management of Salt-Affected Soils and Poor-Quality Ground Waters for Enhancing Crop Production, *Developments in Soil Salinity Assessment and Reclamation: Innovative Thinking and Use of Marginal Soil and Water Resources in Irrigated Agriculture*, 2013, pp. 327–334, DOI: [10.1007/978-94-007-5684-7_21](https://doi.org/10.1007/978-94-007-5684-7_21).
49. Wu L.S., Wood Y., Jiang P.P., Li L., Pan G., Lu L.Q., Pan G.X., Lu J.H., Chang A.C., Enloe H.A., Carbon sequestration and dynamics of two irrigated agricultural soils in California, *Soil Science Society of America Journal*, 2008, Vol. 72, pp. 808–814, DOI: [10.2136/sssaj2007.0074](https://doi.org/10.2136/sssaj2007.0074).
50. Yahiaoui I., Douaoui A., Zhang Q., Ziane A., Soil salinity prediction in the Lower Cheliff plain (Algeria) based on remote sensing and topographic feature analysis, *Arid Land*, 2015, Vol. 7 (6), pp. 794–805, DOI: [10.1007/s40333-015-0053-9](https://doi.org/10.1007/s40333-015-0053-9).
51. Zaman M., Shahid S.A., Heng L., *Guideline for Salinity Assessment, Mitigation and Adaptation Using Nuclear and Related Techniques*. International Atomic Energy Agency, 2018, 164 p., DOI: [10.1007/978-3-319-96190-3](https://doi.org/10.1007/978-3-319-96190-3).
52. Zhang J., *Coastal Saline Soil Rehabilitation and Utilization Based on Forestry Approaches in China*, 2014, 182 p., DOI: [10.1007/978-3-642-39915-2](https://doi.org/10.1007/978-3-642-39915-2).