

ISSN 0136–1694 (Print)
ISSN 2312-4202 (Online)

ФГБНУ «ПОЧВЕННЫЙ ИНСТИТУТ ИМ. В.В. ДОКУЧАЕВА»

БЮЛЛЕТЕНЬ

ПОЧВЕННОГО ИНСТИТУТА

имени В.В. ДОКУЧАЕВА

Выпуск 106

Москва
2021

<https://bulletin.esoil.ru>

ISSN 0136–1694 (Print)
ISSN 2312-4202 (Online)

V.V. DOKUCHAEV SOIL SCIENCE INSTITUTE

Dokuchaev Soil Bulletin

**(Byulleten Pochvennogo instituta
imeni V.V. Dokuchaeva)**

Volume 106

**Moscow
2021**

<https://bulletin.esoil.ru>

ББК П03
Б 98
УДК 631.4

Главный редактор:
Иванов А. Л., академик РАН

Заместитель главного редактора:
Савин И. Ю., академик РАН

Редакционная коллегия:

А-Ксин Джу (университет Висконсина, США)
Когут Б. М. (Почвенный институт им. В.В. Докучаева, Москва)
Монтанарелла Л. (Институт окружающей среды и устойчивого развития Объединенного исследовательского центра Европейской комиссии, Италия)
Розанов А. Б. (Университет Стелленбош, ЮАР)
Тихонович И. А., академик РАН (Санкт-Петербургский университет, Санкт-Петербург)
Тот Г. (Университет Паннонии, Венгрия)
Хитров Н. Б. (Почвенный институт им. В.В. Докучаева, Москва)
Чендев Ю. Г. (Белгородский государственный университет, Белгород)
Швиденко А. З. (Международный институт прикладного системного анализа, Австрия)
Шишков Т. А. (Институт почвоведения им. Н. Пушкирова, Болгария)

Chief Editor:
A. L. Ivanov, Academician of RAS

Deputy Chief Editor:
I. Yu. Savin, Academician of RAS

Editorial board:

A-Xing Zhu (University of Wisconsin-Madison, USA)
B. M. Kogut (V.V. Dokuchaev Soil Science Institute, Russia)
L. Montanarella (Institute for Environment and Sustainability – European Commission’s Joint Research Centre (IES JRC), Italy)
A. B. Rozanov (Stellenbosh University, Republic of South Africa)
I. A. Tikhonovich, Academician of RAS (Saint Petersburg State University, Russia)
G. Toth (University of Pannonia, Hungary)
N. B. Khitrov (V.V. Dokuchaev Soil Science Institute, Russia)
Yu. G. Chendev (Belgorod State University, Russia)
A. Z. Shvidenko (International Institute for Applied Systems Analysis, Austria)
T. A. Shishkov (Pushkarov Soil Science Institute, Bulgaria)

© ФГБНУ ФИЦ “Почвенный институт им. В.В. Докучаева”, 2021 г.

© Federal Research Centre “V.V. Dokuchaev Soil Science Institute”, 2021

СОДЕРЖАНИЕ

Распределение засоления орошаемых почв в районе Сарпинской
ложбины Прикаспийской низменности

Кравченко Е.И., Хитров Н.Б. Горохова И.Н. 5

Изменение гидрофобно-гидрофильных свойств органического
вещества черноземов Каменной Степи

Матвеева Н.В., Милановский Е.Ю., Рогова О.Б. 49

Морфологические особенности почвенного покрова склоновых
земель юга Приволжской возвышенности в пределах
урболандшафтов г. Волгограда

Гордиенко О.А., Иванцова Е.А. 77

Дифференциация почвенного покрова поймы Среднеамурской
низменности в связи с эволюцией форм рельефа

Росликова В.И., Матюшкина Л.А. 105

Регулирование водного режима дерново-подзолистой почвы в
условиях плодового питомника и характер распределения влаги в
почвенном профиле при различных режимах увлажнения

Романовская А.Ю., Шумакова К.Б. 130

Агроэкологическая оценка взаимосвязей свойств почв во времени
и в пространстве

Савич В.И., Гукалов В.В., Сорокин А.Е., Конах М.Д. 163

CONTENTS

Distribution of salinity in irrigated soils in the area of the Sarpinskaya hollow in the Caspian lowland

Kravchenko E.I., Khitrov N.B., Gorokhova I.N. 5

Changes in the hydrophobic-hydrophilic properties of the organic matter of the chernozems of the Kamennaya Steppe

Matveeva N.V., Milanovsky E.Yu., Rogova O.B. 49

Morphological features of the soil cover of slope lands in the south of the Volga uplands within the urban landscapes of Volgograd

Gordienko O.A., Ivantsova E.A. 77

Differentiation of the soil cover of the floodplain of the Middle-Amur Lowland in connection with the evolution of the relief forms

Roslikova V.I., Matyushkina L.A. 105

Regulation of water regime of sod-podzolic soil in fruit tree nursery and water distribution pattern in the soil profile under different irrigation regimes

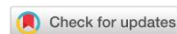
Romanovskaya A.Yu., Shumakova K.B. 130

Agroecological evaluation of interrelationships of soil properties in time and space

Savich V.I., Gukalov V.V., Sorokin A.E., Konakh M.D. 163

УДК 631.4

DOI: 10.19047/0136-1694-2021-106-5-48



Ссылки для цитирования:

Кравченко Е.И., Хитров Н.Б., Горохова И.Н. Распределение засоления орошаемых почв в районе Сарпинской ложбины Прикаспийской низменности // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. 2021. Вып. 106. С. 5-48. DOI: 10.19047/0136-1694-2021-106-5-48

Cite this article as:

Kravchenko E.I., Khitrov N.B., Gorokhova I.N., Distribution of salinity in irrigated soils in the area of the Sarpinskaya hollow in the Caspian lowland, Dokuchaev Soil Bulletin, 2021, V. 106, pp. 5-48, DOI: 10.19047/0136-1694-2021-106-5-48

Распределение засоления орошаемых почв в районе Сарпинской ложбины Прикаспийской низменности

© 2021 г. Е. И. Кравченко*, Н. Б. Хитров**, И. Н. Горохова

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

*<https://orcid.org/0000-0003-4609-5650>, e-mail: krav4enko_elena@mail.ru,

**<https://orcid.org/0000-0001-5151-5109>.

Поступила в редакцию 23.08.2020, после доработки 09.11.2020,
принята к публикации 15.03.2021

Резюме: Изучено современное состояние засоленности орошаемых почв в районе Сарпинской ложбины Прикаспийской низменности, на примере орошаемого участка Дубоовражный в Волгоградской области. На пике орошения в 85–90-х годах прошлого столетия на участке возделывали кормовые травы, полив осуществлялся дождеванием, уровень грунтовых вод оставался удовлетворительным, очаги вторичного засоления почв не отмечались. В настоящее время участок представляет собой частное фермерское хозяйство, где выращивают бахчевые и овощные культуры с использованием капельного орошения, уровень грунтовых вод остается удовлетворительным с локальным образованием верховодки при поливах. Для выявления особенностей процесса засоления орошаемых почв в Сарпинской ложбине по материалам полевых работ 2018–2019 гг. построена модель двумерного распределения (глубина, расстояние)

активности ионов (Ca^{2+} , Cl^- , Na^+) по нескольким профилям вдоль слабовыпуклых гряд и вытянутых понижений между ними и поперек волны мезорельефа. Выявлено, что на территории исследований преобладает естественное засоление почв преимущественно глубже 1 м, связанное с близким залеганием хвалыньских шоколадных глин на грядах. Солончаковатые почвы приурочены к вытянутым понижениям между грядами, в которых происходит сосредоточение поверхностного и внутрипочвенного стока на фоне низкой естественной дренированности. Встречаются признаки остаточного вторичного засоления почв, выражающиеся в присутствии хлорида кальция в почвенном растворе. Максимум солей и обменного натрия сосредоточены в нижней части профиля.

Ключевые слова: активность ионов натрия, сульфатно-хлоридное засоление, хлориды кальция, хвалыньские шоколадные глины.

Distribution of salinity in irrigated soils in the area of the Sarpinskaya hollow in the Caspian lowland

E. I. Kravchenko^{*}, N. B. Khitrov^{}, I. N. Gorokhova**

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

^{}<https://orcid.org/0000-0003-4609-5650>, e-mail: krav4enko_elena@mail.ru,
^{**}<https://orcid.org/0000-0001-5151-5109>.*

Received 23.08.2020, Revised 09.11.2020, Accepted 15.03.2021

Abstract: The current state of salinity of irrigated soils in the area of the Sarpinskaya hollow in the Caspian lowland has been studied, using the example of the Duboovrazhny irrigated plot in the Volgograd region. At the peak of irrigation in the 85-90s of the last century, forage grasses were cultivated on the plot, irrigation was carried out by sprinkler irrigation, the groundwater level remained satisfactory, and there were no foci of secondary soil salinization. Currently, the plot is a private farm, where melons and vegetables are grown using drip irrigation, the groundwater level remains satisfactory with local formation of temporal water saturated layer. To identify the features of the process of salinization in irrigated soils in the Sarpinskaya hollow based on the materials of the field work performed in 2018–2019, a model of two-dimensional distribution (depth, distance) of the activity of ions (Ca^{2+} , Cl^- , Na^+) over several profiles along weakly concave low ranges and elongated hollows between them and across relief wave was created. It was revealed that natural soil salinization predominates in the study plot mainly

deeper than 1 m, and results from shallow bedding of Khvalynian chocolate clays at ranges. Solonchakous soils occur in elongated hollows between ranges where surface and subsurface runoff water is accumulated and natural drainability is low. Residual traces of soil secondary salinization expressed in the presence of calcium chloride in the soil solution were found. The maximum values of salts and exchangeable sodium are concentrated in the deeper part of the soil profile.

Keywords: activity of sodium ions, sulfate-chloride salinization, calcium chlorides, Khvalynian chocolate clays.

ВВЕДЕНИЕ

Засоление орошаемых почв является вторым в мире по разрушительности деградационным процессом после эрозии почв. География распространения засоленных орошаемых почв обширна (бассейн Аральского моря, Индо-Гангский бассейн, бассейн Желтой реки, Евфрата, Мюррей-Дарлинг, Долина Сан-Хоакини и др.), а площади таких земель постоянно растут, поскольку процесс засоления опережает работы по восстановлению и рекультивации земель. Из источника [Zaman et al. \(2018\)](#), со ссылкой на ФАО, в 1988 г. было подсчитано, что в мире засолено 932 млн га земель. Более точной информации о последних оценках засоленных земель в мире не существует, но многие страны произвели подсчеты на национальном уровне. В России, по последним данным, на начало 2017 г. ([Доклад о состоянии..., 2019](#)) возделывалось 197.8 млн га, из которых суммарная площадь засоленных и солонцовых почв составила 39.2 тыс. га, или 21.4% сельскохозяйственных угодий.

Существует множество причин природного и антропогенного характера появления засоленных почв. Это, прежде всего, насыщенные токсичными солями почвообразующие и подстилающие породы, перенос солей ветром, высокое поверхностное испарение и транспирация растений, повышение уровня грунтовых вод, большие нормы полива, отсутствующий или ограниченный дренаж, минерализованная поливная вода, чрезмерное использование удобрений, орошение очищенными сточными водами и др.

Изучение засоленных почв проводится многосторонне,

используются следующие способы: инструментальные и лабораторные методы определения засоленности почв ([Минашина, 1970](#); [Базилевич, Панкова, 1972](#); [Воробьева, 1981](#); [Руководство..., 1990](#); [Научные основы, 2013](#); [Zaman et al., 2018](#)), исследование их морфологических особенностей на макро-, мезо-, микро- и субмикроскопическом уровне, традиционные полевые обследования, дистанционное зондирование и ГИС ([Kumar et al., 2015](#); [Lijie et al., 2015](#); [Конюшкова, 2014](#); [Chen et al., 2016](#); [Савин и др., 2014](#); [Jiang, Shu, 2019](#)), геостатистические методы обработки полученных материалов ([Fourati et al., 2017](#); [Zaman et al., 2018](#)). Все они постоянно развиваются и совершенствуются.

Сотрудниками Почвенного института им. В.В. Докучаева для исследования влияния природных условий, характера землепользования, тенденций изменения гидрологических условий на почвенный покров с участием засоленных и солонцовых почв и для изучения рационального использования ландшафтов солонцовых комплексов было выбрано четыре различных орошаемых массива в Волгоградской области. Это орошаемые участки: Светлоярский, Райгородский, Червленое и Дубоовражный, –расположенные в разных природных районах одной Светлоярской оросительной системы (ОС). Светлоярский и Райгородский массивы расположены на Северной Сарпинской низменной равнине (часть Прикаспийской низменности). Строение почвенного покрова и современное солевое состояние почв этих участков были подробно изложены в работах Гороховой и др. ([2018a](#), [2018b](#)), Гороховой и Панковой ([2017](#)). Орошаемый массив Червленое находится на возвышенности Ергени. Помимо иных природных условий и почвообразующих пород этот участок имеет свою негативную историю орошения, здесь используют другого качества поливные воды. Результаты обследований данного участка изложены в работах Новиковой и др. ([2009](#)), Кравченко и др. ([2018](#)), Хитрова и др. ([2019](#)), Гороховой и др. ([2020](#)).

В представленной работе анализируются результаты исследований, которые выполнены на орошаемом участке Дубоовражный, находящемся в Сарпинской ложбине Прикаспийской низменности.

Цель исследования – изучение профильного распределения засоленности орошаемых почв территории, где отличительной особенностью является неглубокое распространение засоленных хвалынских шоколадных глин (в пределах 1–2.5 м) и наличие поверх хвалынских глин песчаных линз.

После длительного периода отсутствия орошения, связанного со сложной экономической ситуацией, сложившейся в стране в 90-х годах прошлого века, очень важно продолжить углубление знаний о закономерностях развития орошаемых почв для их полноценного восстановления, что было предпринято в рамках настоящих исследований.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Объектом исследований является орошаемый участок (ОУ) Дубоовражный, расположенный в северной части Сарпинской ложбины Прикаспийской низменности (рис. 1).

Сарпинская ложбина представляет собой древнюю долину р. Волги, которая, веерообразно ветвящаяся, протягивается на десятки километров. В северной части глубина ложбины достигает 10 м. К юго-западу и югу она становится все более мелкой и постепенно сливается с плоской поверхностью Прикаспия. Ложбина врезана в засоленные морские (хвалынские) песчано-глинистые отложения, перекрытые суглинками аллювиально-морского генезиса. В северной части ложбины прослеживаются 1–2 узкие поздне- и послехвалынские террасы, сложенные слабогумусированным суглинистым аллювием, аналогичным волжскому. Грунтовые воды залегают на глубине 2.5–3 м. Минерализация варьирует от 3 до 10 г/л. Под озерными котловинами воды опреснены ([Доскач, 1979](#)).

До строительства Волгоградского водохранилища на р. Волге Сарпинская ложбина ежегодно затоплялась паводками, обводнявшими лиманы и озера. В настоящее время их обводнение происходит за счет необильного весеннего талого стока с Ергеней и частично местными талыми водами. Днище ложбины представляет собой опустынивающуюся пойму. В северной части ее ландшафт характеризовался сочетанием усыхающих озер, окаймленных поясами тростниковых зарослей, и в разной степени

заболоченных лиманных солончаковых лугов с пышным злаковым и разнотравным покровом. Повышенные участки остепнены. В почвенном покрове преобладают солонцы солончаковые (>50%), светло-каштановые солонцеватые почвы, в понижениях – лугово-каштановые почвы и солончаки. Территория бессточная ([Доскач, 1979](#); [Объяснительная записка..., 2006](#)).

Рельеф ОУ Дубоовражный представлен серией вытянутых гряд и понижений между ними. Абсолютные высоты участка варьируют от 7 до 12 м, соответственно, превышение гряд над понижениями изменяется от 1 до 5 м.

ОУ Дубоовражный в 85–90-х годах прошлого века находился в удовлетворительных мелиоративных условиях – уровень грунтовых вод (УГВ) составлял преимущественно 3–5 м, лишь на севере участка на небольшой площади поднимался до 1.5–2 м. Минерализация грунтовых вод была 3–5 г/л, состав – хлоридно-натриево-магниевый и хлоридно-натриевый. Вторичное засоление почв не отмечалось. Доля солонцов на разных полях составляла <5 и 5–10%. При строительстве системы была выполнена планировка поверхности полей. Полив осуществлялся дождеванием ДДА-100М, выращивали в основном кормовые травы (ВГМП¹; [Горохова, 1992](#)). В начале 2000-х годов участок не использовался.

В настоящее время ОУ Дубоовражный представляет собой фермерское хозяйство. Здесь выращивают томаты, арбузы, морковь, капусту, тыкву, лук, горчицу и хлопчатник. Способ орошения – капельный. Преобладающие орошаемые почвы – луговато-каштановые и светло-каштановые орошаемые средне- и тяжелосуглинистые ([Классификация..., 1977](#)), или агроземы светлые аккумулятивно-карбонатные ([Полевой..., 2008](#)), встречаются солонцы.

Полевые исследования проводились в августе 2018–2019 гг. Было заложено 27 скважин до глубины от 60 до 350 см (большинство до 200 см), 5 почвенных разрезов и 7 прикопок, отобрано более 200 образцов. Проложено 5 почвенно-геоморфологических профилей (рис. 1), вдоль которых выполнена

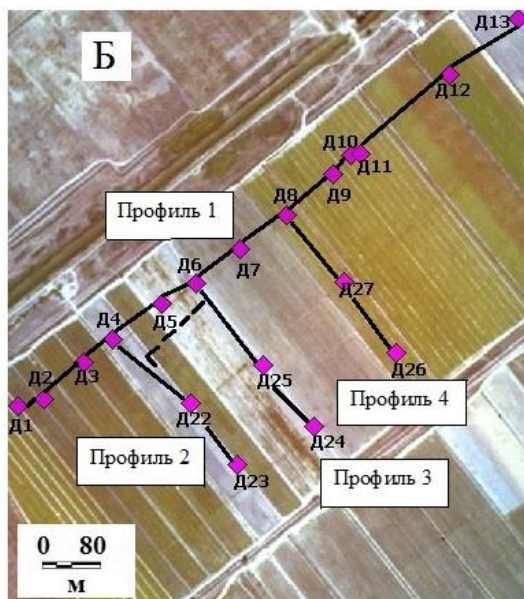
¹Данные Волгоградской гидрогеолого-мелиоративной партии (ВГМП).

нивелирная съемка.

При полевом обследовании использовали руководства по морфологическому описанию почв ([Базовые шкалы, 1982; Guidelines..., 2006](#); [Руководство по описанию почв..., 2012](#)), название почв давали по трем классификациям: СССР ([1977](#)) (далее К-1977), России ([2004, Полевой определитель..., 2008](#)) (далее РК-2004(8)) и международной WRB ([IUSS, 2015](#)) (далее WRB-2015).

Содержание водорастворимых солей определяли по активности ионов Na^+ , Ca^{2+} и Cl^- , измеренных в почвенных пастах с влажностью 30–70% ([Руководство..., 1990](#)) с помощью ионоселективных электродов (168 образцов). Для определения степени засоления была использована активность ионов натрия в почвенных пастах (градации: <20 ммоль/л соответствует незасоленным разностям, 20–50 ммоль/л – слабозасоленным, 50–150 ммоль/л – средnezасоленным, 150–300 ммоль/л – сильнозасоленным, >300 ммоль/л – очень сильно засоленным разностям). Индикатором вторичного засоления считается такое соотношение активности ионов, при котором активность хлорид-ионов превышает активность натрия, кроме того, в этих почвенных горизонтах наблюдается высокая активность ионов кальция (до 10–15 ммоль/л), что свидетельствует о наличии хлорида кальция в почвенном растворе ([Научные..., 2013](#)).

Профили двумерного распределения активностей ионов Na^+ , Cl^- , Ca^{2+} , измеренных в почвенных пастах, и производных от них величин построены в программе Surfer-13. Номера профилей указаны на рисунке 1. По вертикали отложена глубина почвенных разрезов в сантиметрах и высота местности над уровнем моря в метрах (по результатам нивелирной съемки). По горизонтали отложено расстояние между скважинами в метрах.



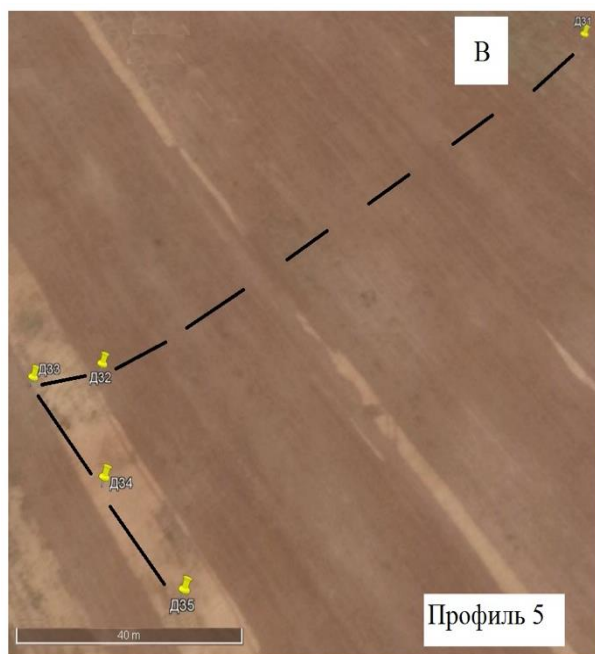


Рис. 1. Схема расположения ОУ Дубоовражный, точек опробования и почвенных профилей на разномасштабных космических снимках высокого разрешения. **А** – общий вид орошаемого участка; **Б** – почвенные профили и точки опробования, заложенные в 2018 г. (пунктиром помечен профиль 5). **В** – профиль 5 с морфологическим описанием точек, заложенный в 2019 г.

Fig. 1. Layout of the Duboovrazhny irrigated plot, sampling points and soil profiles on high-resolution satellite images of different scales. **A** – general view of the irrigated area; **B** – soil profiles and sampling points established in 2018 (profile 5 is marked with a dotted line). **B** – profile 5 with a morphological description of points, researched in 2019.

Долю обменного натрия (Y) оценивали на основе соотношения активности ионов натрия (a_{Na}) и кальция (a_{Ca}), измеренных в пасте ($X = a_{Na}/\sqrt{a_{Ca}}$), по регрессионной модели, состоящей из системы двух уравнений (все коэффициенты значимы):

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{если } X \leq 10, \text{ то } Y = 1.15 + 1.02 \cdot X, (R^2 = 0.89; \text{ доверительный} \\ \text{интервал } Y \pm 2\%), \\ \text{если } 10 < X < 50, \text{ то } Y = 3.840 + 0.899X - 0.0072X^2, (R^2 = 0.67; \\ \text{доверительный интервал } Y \pm 5\%). \end{array} \right.$$

При создании модели были объединены сопряженные данные при одной влажности по активностям ионов натрия и кальция, измеренных ионоселективными электродами в пастах, и определению состава обменных катионов по методу Пфеффера в модификации Молодцова и Игнатовой, полученных для разных объектов – почв солонцовых комплексов в Ставрополье, Крыму, Ростовской, Волгоградской, Воронежской областях. Магний в этой модели не учитывается, поскольку нет адекватного ионоселективного электрода. Поэтому погрешность оценки доли обменного натрия заметно выше по сравнению с прямым определением указанным выше методом, но допустимая для принятия оперативного решения. При этом использование модели позволяет получать информацию довольно быстро в большом числе образцов (до 100 анализов в день), в отличие от трудоемкого прямого определения этого показателя (60 анализов в месяц).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Строение почвенного покрова. Преобладающими в почвенном покрове являются агроземы аккумулятивно-карбонатные средне- и тяжелосуглинистые, по РК-2004(8), или *Naptic Kastanozems* (Loamic, Aric) по WRB-2015, которые имеют несколько вариаций формулы почвенного профиля в зависимости от: (1) наличия или отсутствия вскипания от HCl в пахотном горизонте, (2) глубины залегания шоколадных хвалынских глин и (3) наличия признаков глееватости в верхних горизонтах.

Формулы P-BCAnc-BCca-Cca-Dca,cs, P-BCAnc-BCca-BDca-

Dca,cs и P-BCAnc-BDca,i-Dca,cs характерны для почв без дисперсных карбонатов в пахотном горизонте, различающихся глубиной залегания шоколадных глин: более 1.6 м – для первой, 1–1.6 м – для второй и менее 1 м – для третьей. Близкое залегание шоколадных глин наблюдается на слабовыпуклых водораздельных пространствах длинных гряд и в верхних частях их склонов. В таких условиях почва сформировалась на двучленных тяжелосуглинисто-глинистых отложениях, и наличие материала шоколадных глин в пределах первого метра способствовало образованию глинистых кутан на боковых гранях агрегатов в красно-буром переходном горизонте BDca,i. По мере углубления верхней кровли шоколадных глин и увеличения мощности поверхностного суглинистого слоя в нижней части профиля выделяется сначала только переходный гор. BCca, затем BCca и Cca. В днищах вытянутых понижений между грядами шоколадные глины вскрыты на глубине 1.6–2.5 м. Здесь почвы имеют первую формулу профиля.

Формулы Pca-BCAnc-BCca-Cca-Dca,cs, Pca-BCAnc-BCca-BDca-Dca,cs и Pca-BCAnc-BDca,i-Dca,cs представляют профиль почв с карбонатным пахотным горизонтом, аналогично различающихся глубиной залегания шоколадных глин. Эти почвы встречаются на всех элементах мезорельефа. Присутствие дисперсных карбонатов в пахотном горизонте, очевидно, обусловлено капиллярным подтягиванием растворов в поверхностный горизонт орошаемых почв с неглубоким расположением водонепроницаемых глин и расходом их на транспирацию культурной растительностью, тростником и испарение с поверхности с осаждением карбоната кальция.

В одном разрезе в пахотном горизонте на глубине 10–30 см отмечались признаки слабого оглеения в виде мелких сизых пятен на фоне сплошного вскипания от HCl. Формула профиля этой почвы: P1ca-P2ca,g-BCAnc-BCca-BDca-Dca.

При похожем строении верхней части почвенного профиля рассматриваемые почвы, по классификации К-1977, относятся к разным типам: светло-каштановым и луговато-каштановым. Последние выделяются по факторным признакам: положению почвы в вогнутых элементах мезорельефа (в днищах вытянутых понижений), куда собирается поверхностный сток, или наличию верхо-

водки на глубине 1–2 м, возникающей за счет орошения, на водораздельных поверхностях гряд. Светло-каштановые орошаемые почвы встречаются на водоразделах и склонах гряд в условиях отсутствия верховодки.

В отличие от ОУ Светлоярский и Червленое ([Горохова и др., 2018а](#), [2018б](#), [2020](#); [Кравченко и др., 2018](#); [Хитров и др., 2019](#)), на исследуемом ОУ Дубоовражный в микропонижениях на слабовыпуклых водораздельных пространствах длинных гряд встречаются солонцы (Chromic Solonetz (Loamic, Bathyclayic, Aric, Cutanic, Ochric, Bathygypsic) по WRB-2015). На участках без растительности ареалы глубоких солонцов выделяются более светлой поверхностью. Солонцовый горизонт расположен на глубине 30–50 см. Почвы с поверхности не имеют карбонатов, сплошное бурное вскипание от HCl появляется с глубины 47–57 см. Согласно классификации К-1977, это солонцы степные каштановые пахотные орошаемые солончаковатые глубокие тяжелосуглинистые на двучленных отложениях (суглинки на шоколадных глинах). В терминах РК-2004(8) встретилось два варианта строения почвенного профиля. Формула P-BSN-BCAnc-BDca,i-Dca,cs представляет агросолонец светлый сегрегационно-карбонатный глубокоглинисто-иллювирированный глубокогипсодержащий глубокий тяжелосуглинисто-глинистый на желто-бурых суглинках, подстилаемых с глубины 120–130 см шоколадными глинами. Вторая формула профиля P-BSN-Bca,th-CATnc-BDca,i-Dca,cs характеризует агросолонец светлый текстурно-карбонатный глубокогипсодержащий глубокий на двучленных отложениях (суглинки на шоколадных глинах) с менее мощным поверхностным суглинистым слоем, так что шоколадные глины являются причиной формирования текстурно-карбонатного горизонта в пределах первого метра.

Характеристика солевого состояния почв по активности ионов

Профиль 1 (рис. 2), построенный по точкам Д1 – Д13, пересекает гряды и вытянутые между ними понижения в поперечном направлении. Из рисунка 2А, характеризующего распределение активности ионов натрия, следует, что в двух разрезах (Д4, Д13) засоление отсутствовало до 200 см, а в остальных слабое засоле-

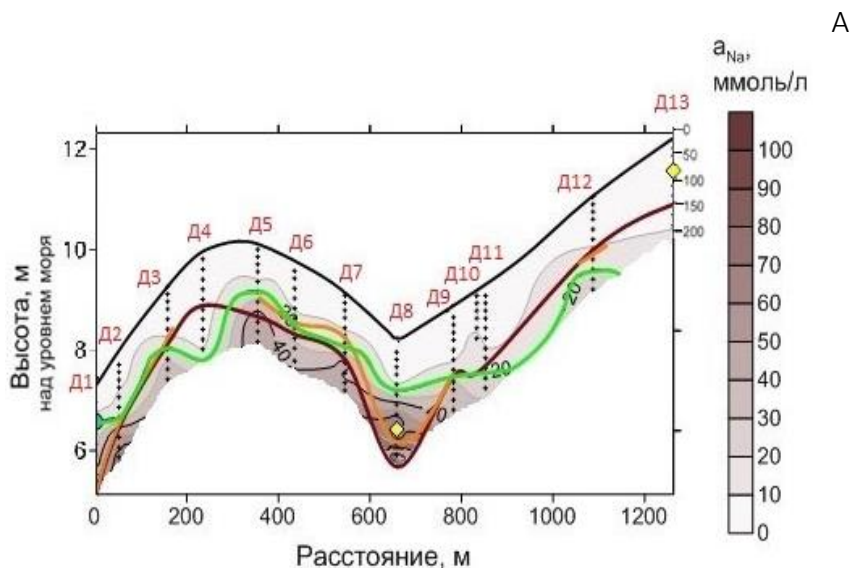
ние появилось с глубины от 55 до 160 см, что соответствует родам солончаковатых и глубокосолончаковатых почв. Это связано с двумя причинами. Первая – на грядах засоленные горизонты приурочены к слою хвалынских глин, залегающему на глубине 70–150 см. Вторая причина – перераспределение солей в ландшафте и сосредоточение их в нижних горизонтах почв и подстилающих пород в днищах вытянутых понижений, которые не имеют естественного и искусственного дренажа. Наиболее высокое засоление, соответствующее средней степени (значения активности ионов натрия 50–115 ммоль/л при влажности пасты 40–50% (мас.)), отмечалось на глубине 180–250 см в понижениях мезорельефа.

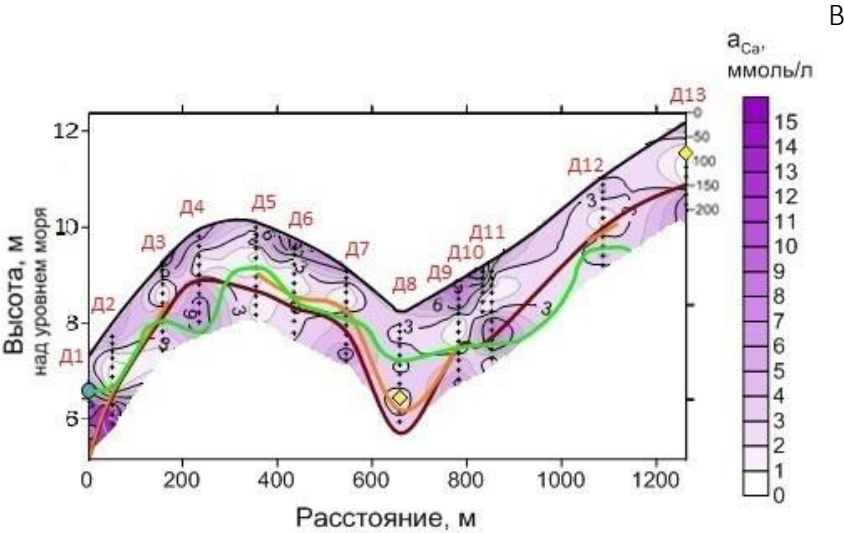
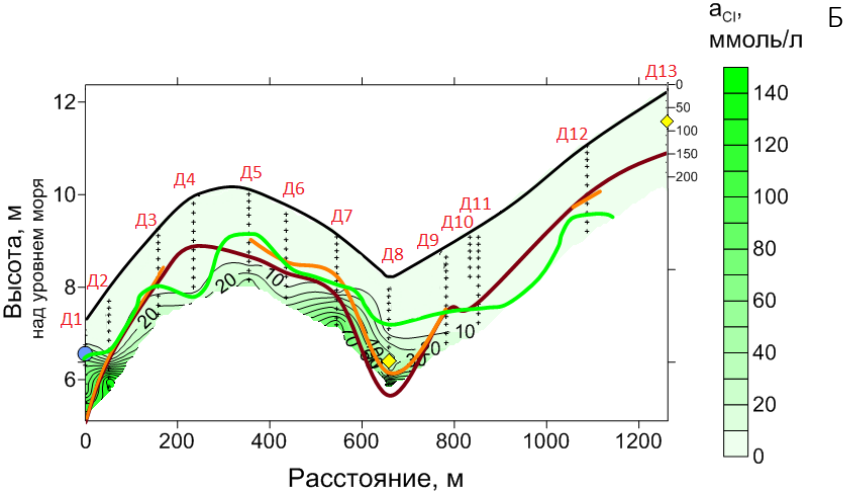
Распределение активности хлорид-ионов похоже на распределение ионов натрия при более низких значениях активности хлоридов, варьирующих в интервале от 1 до 5–10 ммоль/л, редко достигая 20 ммоль/л и более на глубине 120–200 см. Наиболее высокие значения (120–140 ммоль/л) характерны для глубины 160–250 см в понижениях мезорельефа (рис. 2Б).

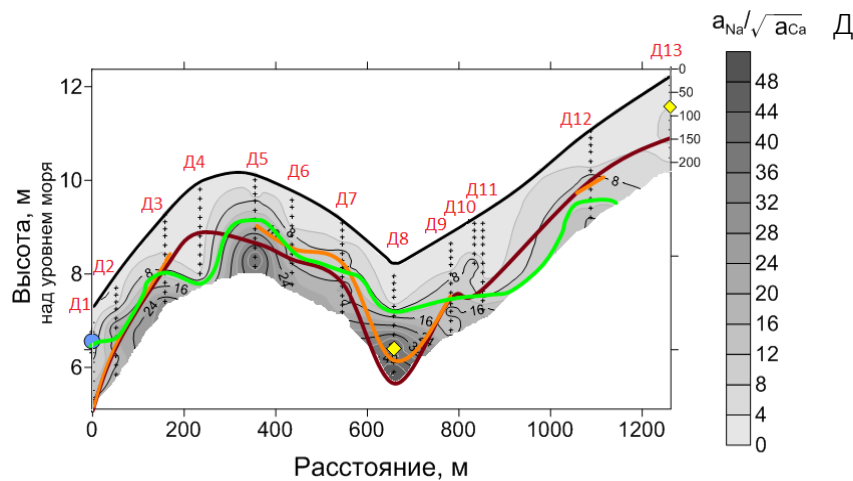
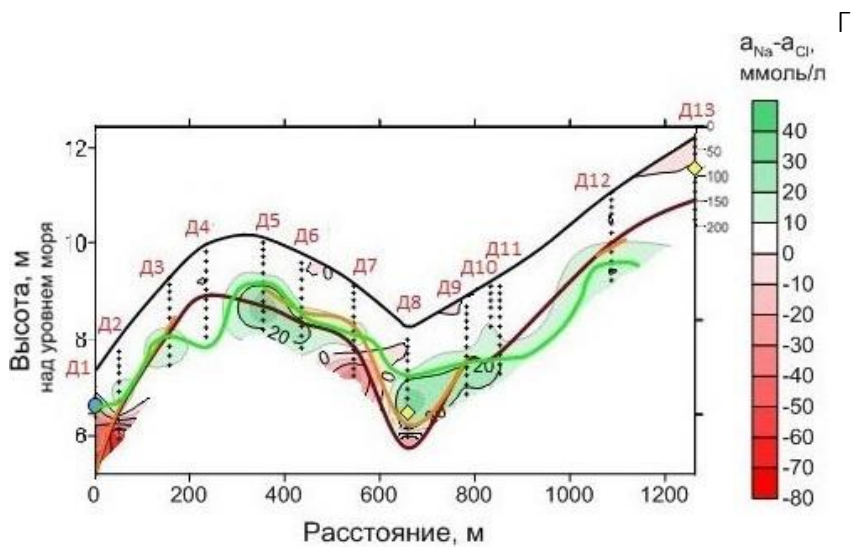
Активность ионов кальция имело следующее распределение: низкая активность ионов (1–3 ммоль/л) наблюдалась в средней части профиля во всех скважинах на глубине 60–100 см, высокие значения отмечались вблизи поверхности и в нижней части почвенного профиля. Максимальное значение, достигающее 15 ммоль/л, отмечено в понижении рельефа в разрезе Д1 (рис. 2В).

Присутствие хлоридов кальция в почвенных растворах (определяемое по отрицательной разности между значениями активности ионов натрия и хлорид-ионов) приурочено к понижениям рельефа (рис. 2Г – области с красной заливкой). Этот показатель является индикатором вторичного засоления ([Научные..., 2013](#)). Процесс вторичного засоления почв на ОУ Дубоовражный представляется следующим образом: пресные оросительные воды при обильных поливах достигали слабоводопроницаемого слоя засоленных хвалынских глин, насыщались солями, часть их стекала по уклону поверхности глин, сосредотачиваясь в нижних горизонтах почв и пород не дренируемых вытянутых понижений между грядами.

Рассматривать соотношения активности ионов натрия и кальция $a_{Na}/\sqrt{a_{Ca}}$ (рис. 2Д) необходимо для определения величины обменного натрия, расчеты которого осуществляются с помощью модели, рассмотренной в разделе “ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ”. Высокие значения отношений ионов натрия и кальция свидетельствуют о высокой доле обменного натрия (%) в почвах. Максимальные (20–28%) значения $a_{Na}/\sqrt{a_{Ca}}$ на графиках отмечаются в наиболее засоленных горизонтах в нижней части почвенного профиля и в понижениях рельефа (рис. 2Е). Стоит обратить особое внимание на то, что заполнение почвенного поглощающего комплекса обменным натрием связано с преобладанием натрия среди катионов почвенного раствора в засоленных горизонтах и не характеризует солонцовый процесс, поскольку почвенный раствор имеет высокую общую концентрацию солей, которая вызывает коагуляцию коллоидных и глинистых частиц.







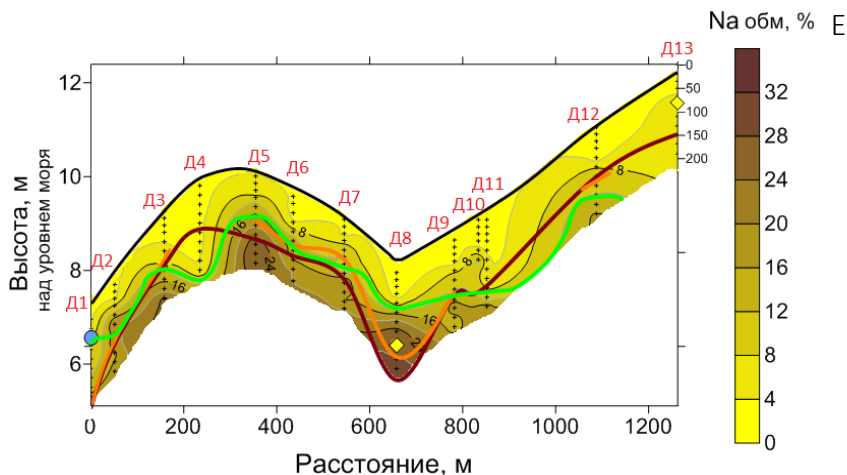


Рис. 2. Двумерное распределение активности ионов: **А** – натрия, **Б** – хлорид-ионов, **В** – кальция, **Г** – разницы $a_{Na}-a_{Cl}$, **Д** – $a_{Na}/\sqrt{a_{Ca}}$, **Е** – обменный натрий, %. Черная линия – граница земной поверхности. Зеленая линия – верхняя граница первого от поверхности засоленного горизонта. Оранжевая линия – верхняя граница горизонта, содержащего мелкокристаллический гипс. Коричневая линия – верхняя граница горизонта хвалыньских шоколадных глин. Синяя точка – новообразования мучнистого гипса. Желтая точка – линзы легких пород. Д1 ... Д13 – номера скважин. Крестики – средняя глубина отбора проб. Значения по правой вертикальной оси – глубина отбора образцов в см относительно поверхности.

Fig. 2. Two-dimensional distribution of ion activity: **A** – sodium, **B** – chloride ions, **B** – calcium, **Г** – differences $a_{Na}-a_{Cl}$, **Д** – $a_{Na}/\sqrt{a_{Ca}}$, **Е** – exchangeable sodium, %. The black line is the boundary of the earth's surface. The green line is the upper boundary of the first saline horizon from the surface. The orange line is the upper boundary of the horizon containing fine crystalline gypsum. The brown line is the upper boundary of the horizon of Khvalynian chocolate clays. Blue dot – powdery gypsum neoformations. Yellow dot – lenses of light rocks. Д1 ... Д13 – well numbers. The crosses are the average sampling depth. Values on the right vertical axis are the sampling depth in cm relative to the surface.

Для *профиля 2* аналогичные графики (рис. 3) построены по данным 7 скважин (Д23, Д22, Д35, Д34, Д32, Д33, Д4). Профиль был заложен на слабовыпуклой водораздельной поверхности гряды, имеющей слабый уклон с юга на север, на поле с капустой, убранной на момент заложения точек. Подстилающие хвалынские глины в границах этого профиля имеют слабовогнутую форму верхней границы контакта с более легкими отложениями вдоль гряды, располагаясь ближе всего к поверхности в северной части. В южной наиболее приподнятой части водораздела, по данным скважины Д23, над шоколадными глинами на глубине от 120 до 200 см залегают слоистые отложения из песка, супеси и легкого суглинка.

В южной части гряды (скважина Д23) активность ионов натрия превышала 20 ммоль/л при влажности пасты 50% (мас.) с 40 см в аккумулятивно-карбонатном гор. ВСАпс. Это означает, что агрозем (светло-каштановая почва по К-1977) является солончаковым слабозасоленным. Вниз по профилю засоление увеличивалось до средней степени, имея два максимума активности ионов натрия 66 и 74 ммоль/л (влажность 40% (мас.)) на глубине 140–160 см в легкосуглинистом слое, залегающем между супесчаными и песчаными слоями сверху и снизу, и в шоколадных глинах на глубине 210–240 см (рис. 3А).

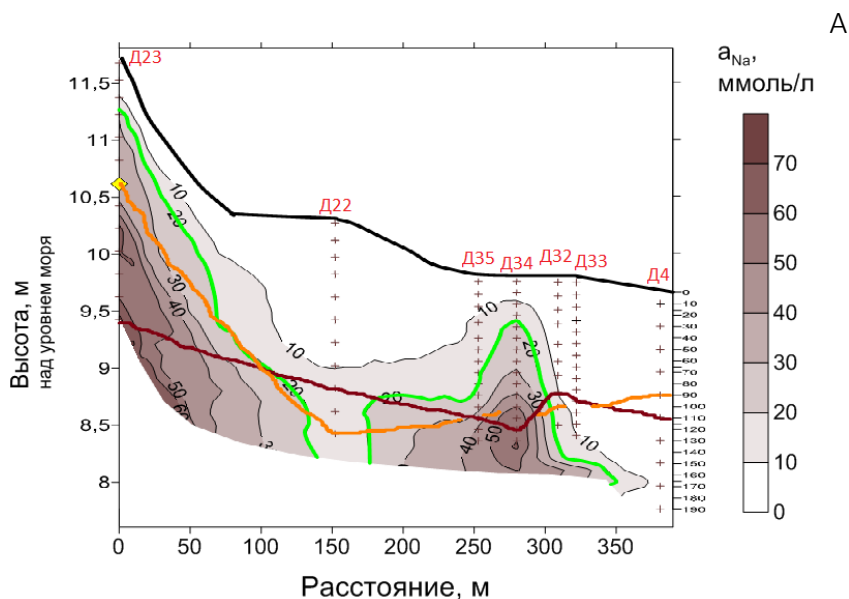
В средней части гряды на профиле 2 (скважина Д22) активность ионов натрия варьировала в диапазоне 0.8–1.8 ммоль/л (влажность 50% (мас.)) в пределах суглинистого слоя 0–100 см, резко увеличиваясь до 14–16 ммоль/л в шоколадных глинах с глубины 140 см. Почва является незасоленной до 2 м.

В северной части гряды наблюдалось пятнистое засоление. Наиболее засоленными оказались агроземы с бурно вскипающими пахотными горизонтами, в которых наблюдалось много припаханных фрагментов аккумулятивно-карбонатного горизонта (разрез Д34). В настоящее время поверхность рассматриваемого участка на гряде почти ровная. По-видимому, до орошения эта почва была солонцом мелким или средним, поверхностные горизонты которого были срезаны во время планировки. Ареалы агроземов аккумулятивно-карбонатных и агросолонцов глубоких с пахотными горизонтами, не имеющими дисперсных карбонатов,

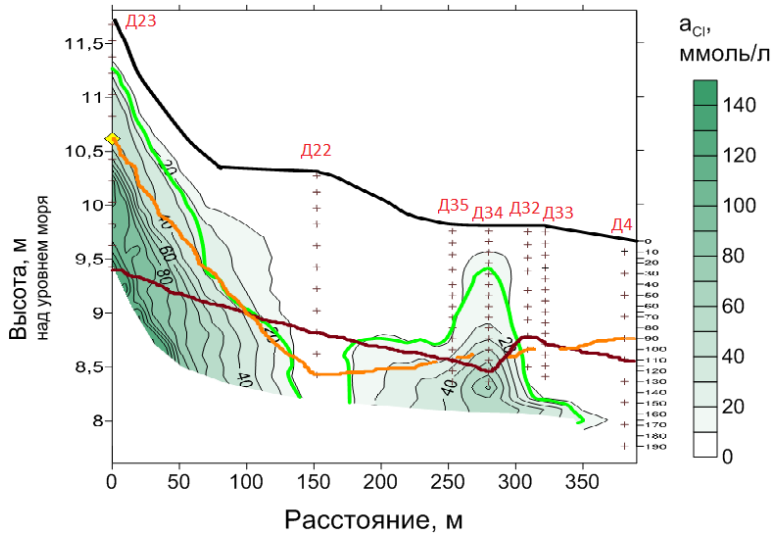
оказались незасолёнными или глубокосолончаковыми слабозасолёнными.

В незасолённых горизонтах активность хлорид-ионов (рис. 3Б) в 1,5–5 раз меньше активности ионов натрия, в слабо засолённых – чуть меньше или равна, тогда как в средnezасолённых горизонтах, наоборот, оказалась больше активности ионов натрия. Это означает заметное изменение химизма засоления в разных горизонтах в профиле 2.

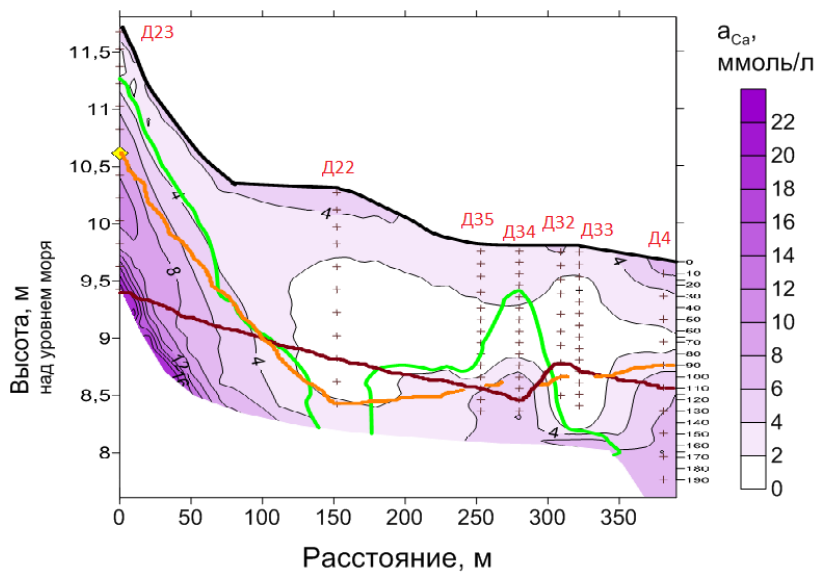
Положительные значения разности активности ионов натрия и хлорид-ионов свидетельствуют о компенсации натрия не только хлоридами, но и сульфатами. Отрицательные значения этой разницы (т. е. хлоридов больше натрия) обусловлены присутствием в почвенных растворах хлоридов не только натрия, но и других ионов (кальция и магния). Последнее подтверждается более высокими значениями активности ионов кальция (рис. 3В, 3Г).

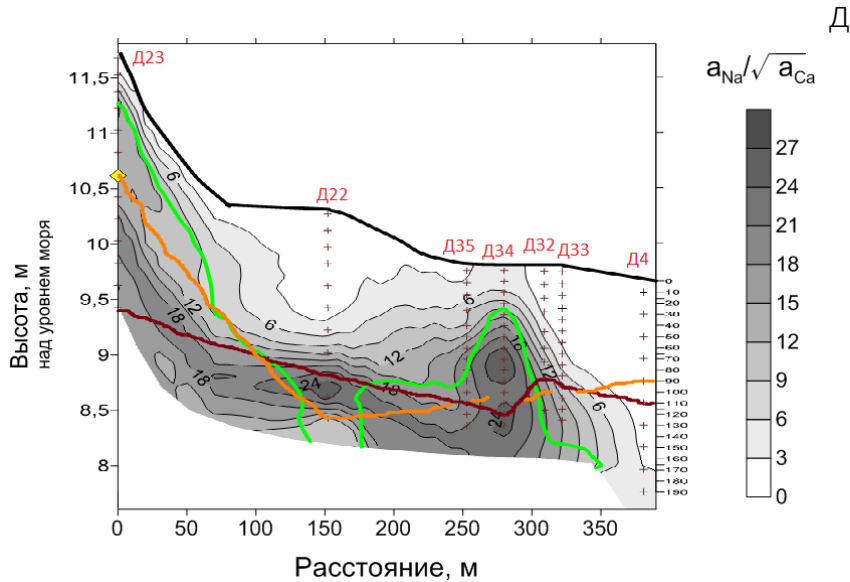
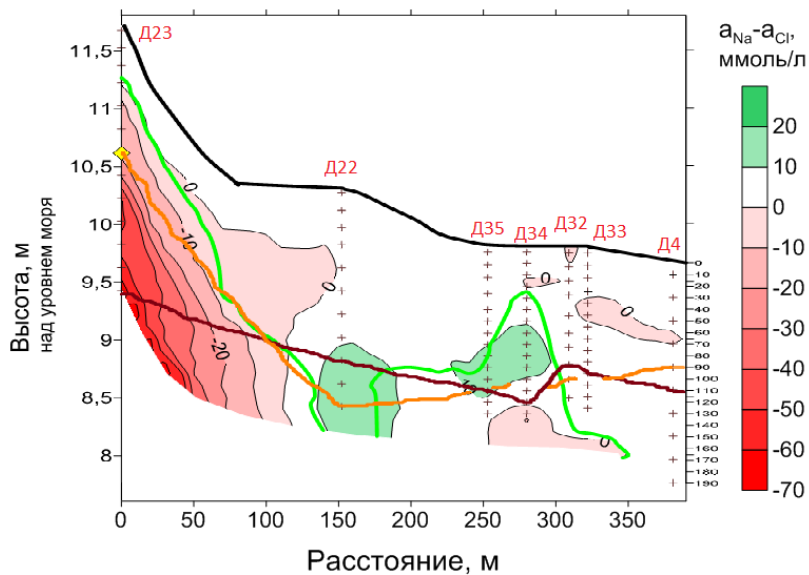


Б



В





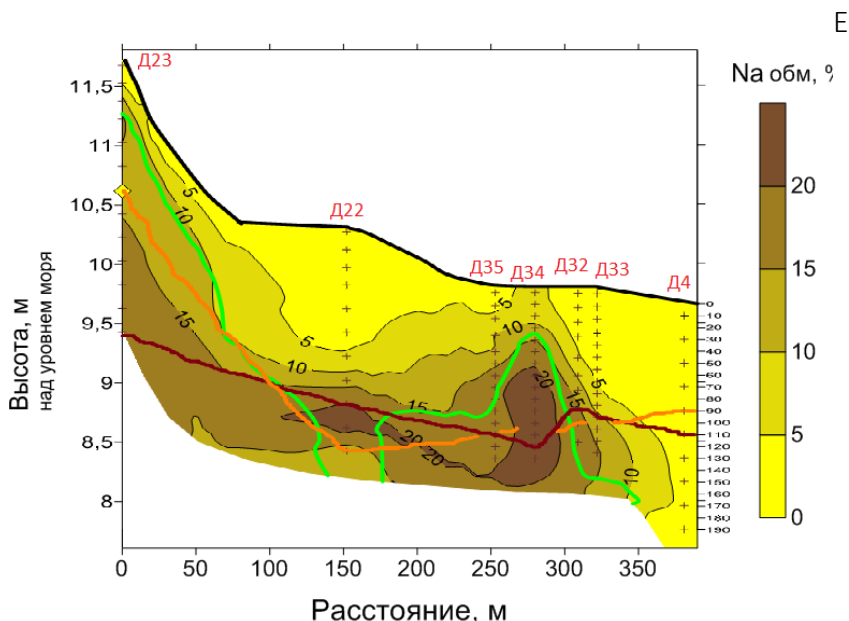


Рис. 3. Двумерное распределение активности ионов: **А** – натрия, **Б** – хлорид-ионов, **В** – кальция, **Г** – разницы $a_{Na}-a_{Cl}$, **Д** – $a_{Na}/\sqrt{a_{Ca}}$, **Е** – обменный натрий, %. Черная линия – граница земной поверхности. Зеленая линия – верхняя граница первого от поверхности засоленного горизонта. Оранжевая линия – верхняя граница горизонта, содержащего мелкокристаллический гипс. Коричневая линия – верхняя граница горизонта шоколадных хвалыньских глин. Желтая точка – линзы легких пород. Д4 ... Д35 – номера скважин. Крестики – средняя глубина отбора проб. Значения по правой вертикальной оси – глубина отбора образцов в см относительно поверхности.

Fig. 3. Two-dimensional distribution of ion activity: **А** – sodium, **Б** – chloride ions, **В** – calcium, **Г** – differences $a_{Na}-a_{Cl}$, **Д** – $a_{Na}/\sqrt{a_{Ca}}$, **Е** – exchangeable sodium, %. The black line is the boundary of the earth's surface. The green line is the upper boundary of the first saline horizon from the surface. The orange line is the upper boundary of the horizon containing fine crystalline gypsum. The brown line is the upper boundary of the horizon of Khvalynian chocolate clays. Yellow dot – lenses of light rocks. Д4 ... Д35 – well numbers. The crosses are the average sampling depth. Values on the right vertical axis are the sampling depth in cm relative to the surface.

Активность ионов кальция принимала самые высокие значения в почвах южной части гряды, максимум (22 ммоль/л) находился в тех же горизонтах, в которых отмечались максимумы хлоридов и ионов натрия. Здесь же морфологически присутствуют скопления мелкокристаллического гипса. Самые низкие значения активности ионов кальция 0.5–2 ммоль/л наблюдались в средней части почвенного профиля агросолонцов глубоких и карбонатного с поверхности сильно срезанного агрозема в северной части гряды (рис. 3В). Это является причиной увеличения соотношения активностей ионов натрия и кальция $a_{Na}/\sqrt{a_{Ca}}$ до максимальных значений 18–25 (рис. 3Д) и накопления обменного натрия (рис. 3Е).

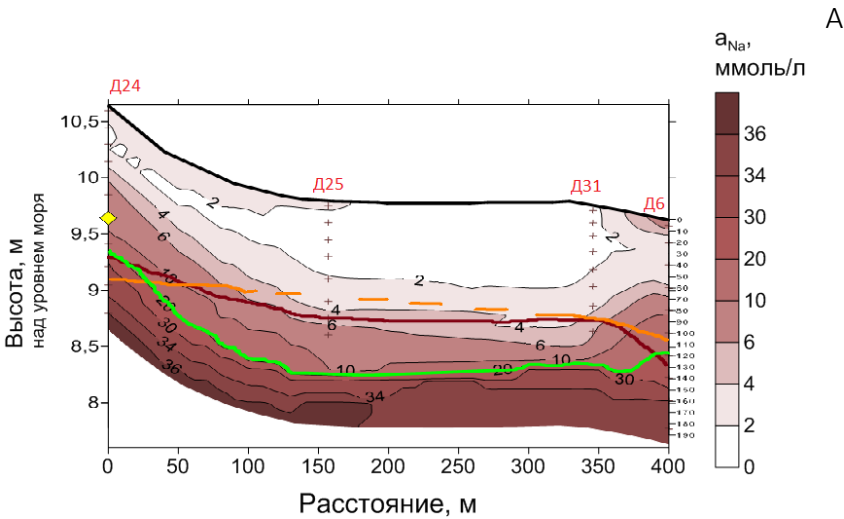
Распределение ионов на графиках по *профилю 3* (рис. 4) оценено по данным 4 скважин (Д24, Д25, Д31, Д6). Профиль заложен на поле с луком, где культура была в угнетенном состоянии. Рельеф представляет собой верхнюю часть приводораздельного склона гряды, имеющую уклон в двух направлениях: вдоль гряды (как расположены скважины), уклон 0.010–0.002 с юга на север с общим перепадом высот 1 м на расстоянии 400 м и поперек гряды, уклон 0.004 с запада на восток. Хвалынские глины вскрываются на глубине от 100 до 140 см. Их поверхность в направлении вдоль гряды в южной части профиля 3 между скважинами Д24 и Д25 имеет уклон 0.003, а в северной части – почти ровная (уклон 0.0007). Вдоль всего профиля 3 почвы сформированы в плаще тяжелых хвалынских суглинков мощностью около 1 м. В районе скважины Д24 между плащом суглинков и шоколадных глин на глубине 100–137 см залегает линза песка. В период капельного полива в 2018 г. над поверхностью шоколадных глин в северной части профиля 3 вскрывалась верховодка на глубине 100–105 см с минерализацией от 3.2 до 7.3 г/л хлоридно-сульфатного магниево-натриевого состава (табл. 1). В 2019 г., когда участок находился под паром, верховодка отсутствовала. Ее возникновение в поливной период связано с формой поверхности водонепроницаемых шоколадных глин, расположенных на малой глубине, в виде небольшой слабонаклонной ступени в верхней части гряды. Такая поверхность создает временные условия сосредоточения стекающих гравитационных вод на контакте су-

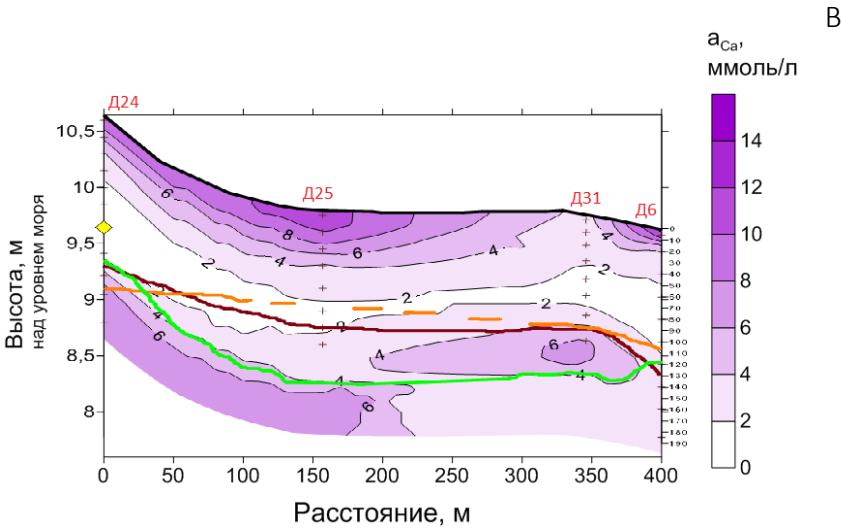
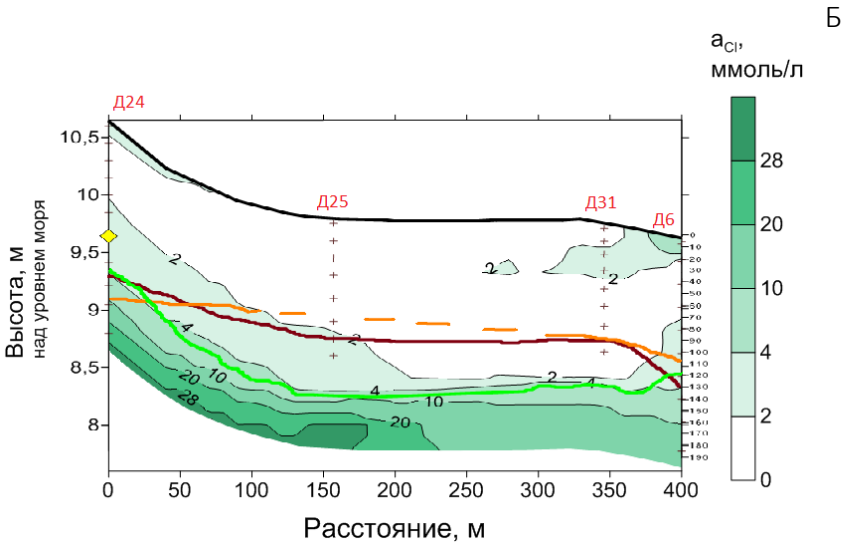
глинков и глин при медленном их оттоке в латеральном направлении вниз по склону гряды.

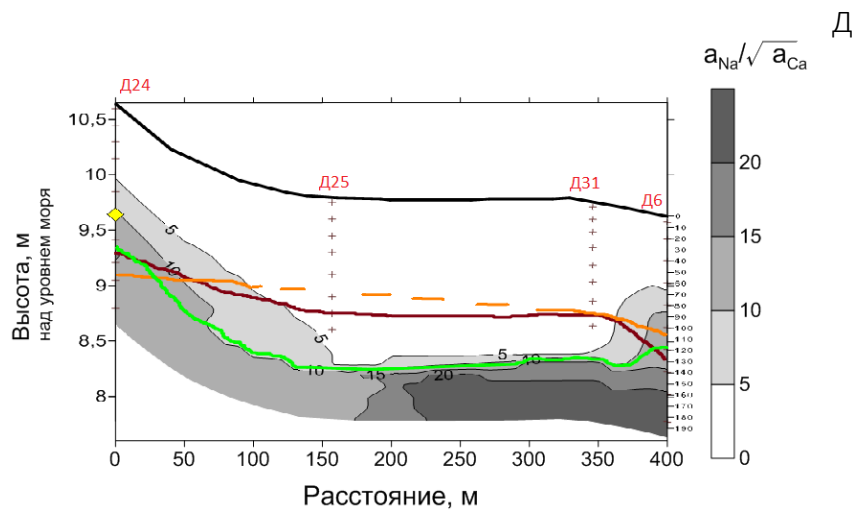
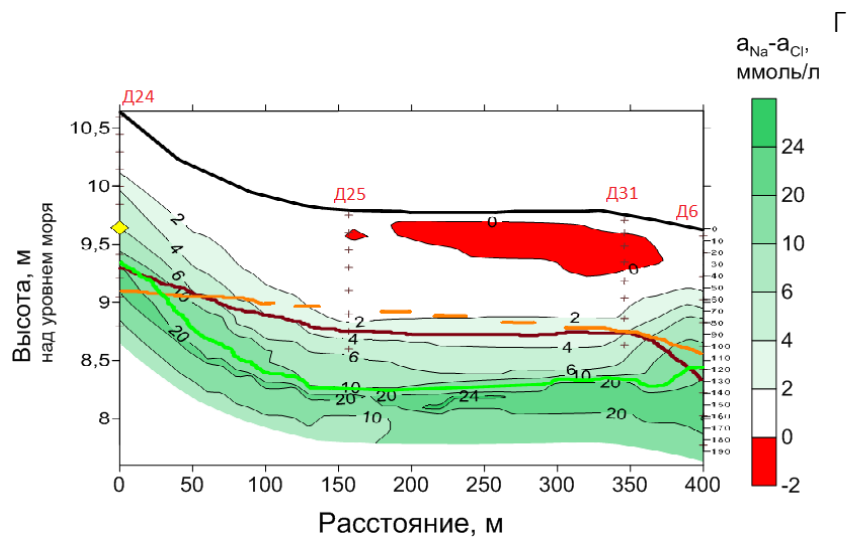
Таблица 1. Состав верховодки на ОУ Дубоовражный (август 2018 г.) ($S_{\text{общ.}}$ – минерализация)

Table 1. Perched water table composition on irrigated plot Duboovrazhnyi (August, 2018) ($S_{\text{общ.}}$ – water salinity)

Скважина	Глубина, см	pH	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	S _{общ.} г/л
			ммоль(экв)/л						
Д5	132	7.45	8.9	66.9	183.0	21.9	91.8	145.1	16.58
Д6	103	7.47	8.6	17.7	84.0	20.5	34.8	55.0	7.28
Д25	100	7.66	6.4	6.2	36.5	11.9	19.0	18.2	3.25







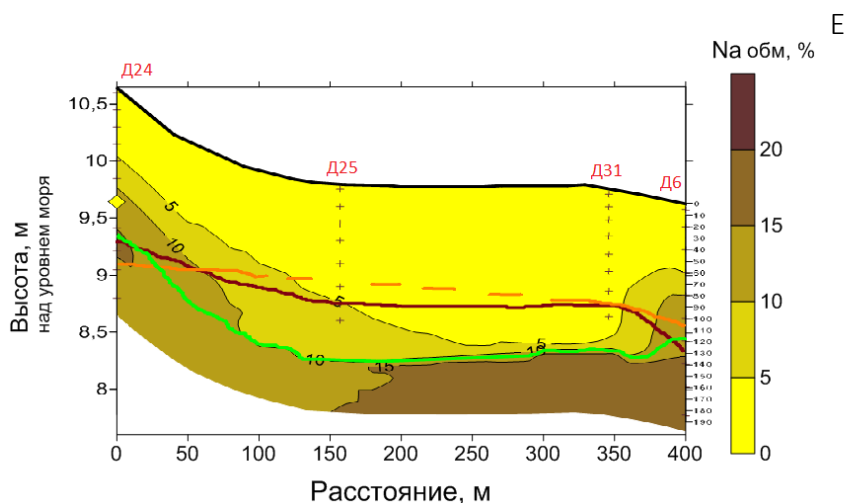


Рис. 4. Двумерное распределение активности ионов: **А** – натрия, **Б** – хлорид-ионов, **В** – кальция, **Г** – разницы $a_{Na}-a_{Cl}$, **Д** – $a_{Na}/\sqrt{a_{Ca}}$, **Е** – обменный натрий, %. Черная линия – граница земной поверхности. Зеленая линия – верхняя граница первого от поверхности засоленного горизонта. Оранжевая линия – верхняя граница горизонта, содержащего мелкокристаллический гипс. Коричневая линия – верхняя граница горизонта шоколадных хвалыньских глин. Синяя точка – новообразования мучнистого гипса. Желтая точка – песчаные линзы. Д6 ... Д24 – номера скважин. Крестики – средняя глубина отбора проб. Значения по правой вертикальной оси – глубина отбора образцов в см относительно поверхности.

Fig. 4. Two-dimensional distribution of ion activity: **A** – sodium, **B** – chloride ions, **B** – calcium, **Г** – differences $a_{Na}-a_{Cl}$, **Д** – $a_{Na}/\sqrt{a_{Ca}}$, **Е** – exchangeable sodium, %. The black line is the boundary of the earth's surface. The green line is the upper boundary of the first saline horizon from the surface. The orange line is the upper boundary of the horizon containing fine crystalline gypsum. The brown line is the upper boundary of the horizon of Khvalynian chocolate clays. Blue dot – powdery gypsum neoplasms. Yellow dot – sand lenses. Д6 ... Д24 – well numbers. The crosses are the average sampling depth. Values on the right vertical axis are the sampling depth in cm relative to the surface.

Все агроземы на профиле 3 являются глубокосолончаковыми слабозасоленными (рис. 4). Все суглинистые почвенные горизонты до глубины 100 см формально являются незасоленными. Вместе с тем в них активность ионов натрия имела минимум 1–2 ммоль/л (влажность 40% (мас.)) в средней части почвенного профиля на глубине 30–60 см, увеличиваясь как вниз, так и вверх по профилю до 5–8 ммоль/л. Увеличение вниз обусловлено переходом к слабозасоленным шоколадным глинам, в которых активность ионов натрия составляла 22–36 ммоль/л (влажность 60% (мас.)). Увеличение вверх с максимумом в поверхностном слое пахотного горизонта вызвано капиллярным подтягиванием почвенных растворов в область интенсивного расхода воды на транспирацию культурными растениями и испарение с поверхности. Последнее проявлялось в формировании выцветов легкорастворимых солей на оголенной дневной поверхности почвы. Аналогичное распределение имел и хлорид-ион (рис. 4Б).

Отрицательная разница активности ионов натрия и хлоридов (рис. 4Г) и повышенные значения активности ионов кальция (6–14 ммоль/л) (рис. 4В) в нижней части пахотного горизонта свидетельствуют о появлении хлоридов кальция в почвенных растворах – явной тенденции к развитию вторичного засоления, если не организовать локальный дренаж временно возникающей верховодки.

Слабое засоление шоколадных глин сопровождается более высокими значениями $a_{Na}/\sqrt{a_{Ca}}$ и доли обменного натрия (рис. 4Д, 4Е).

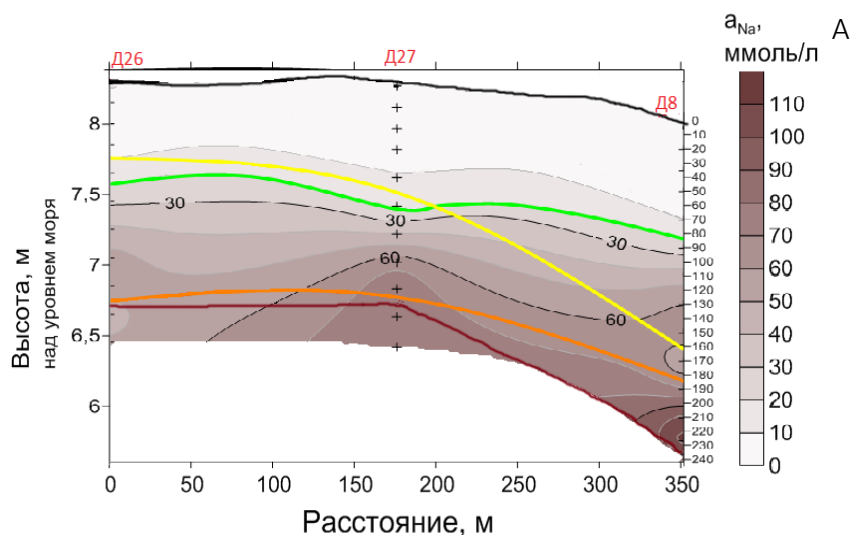
Профиль 4 (рис. 5) построен по данным трех скважин (Д26, Д27, Д8), заложенных вдоль днища вытянутого понижения между грядами на бахче с арбузами и пятнами тростника. Общий перепад высот вдоль днища не превышает 30 см на расстоянии 350 м. Почвообразующие и подстилающие породы на профиле 4 представлены поверхностным плащом тяжелых суглинков мощностью 70–100 см и слоя пылеватых легких суглинков под ним, лежащем на шоколадных глинах. Кровля шоколадных хвалынских глин залегает на глубине 157–161 см в южной части профиля (скважины

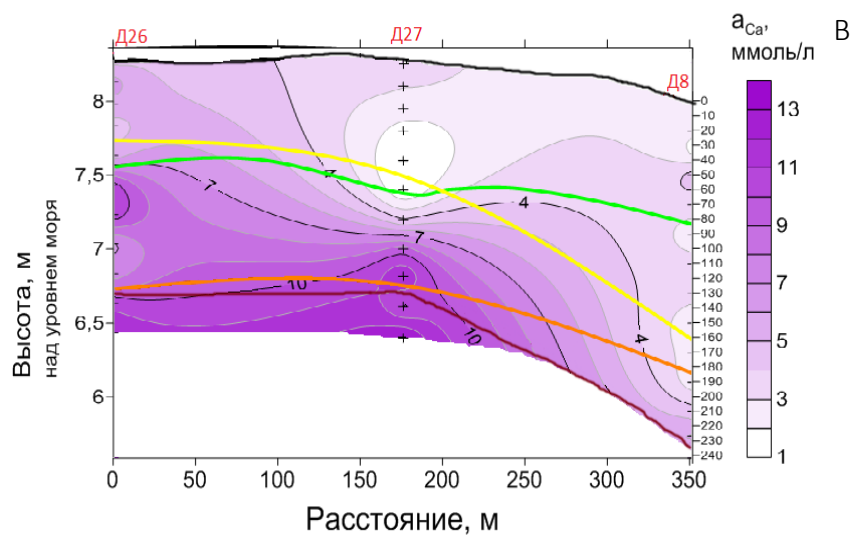
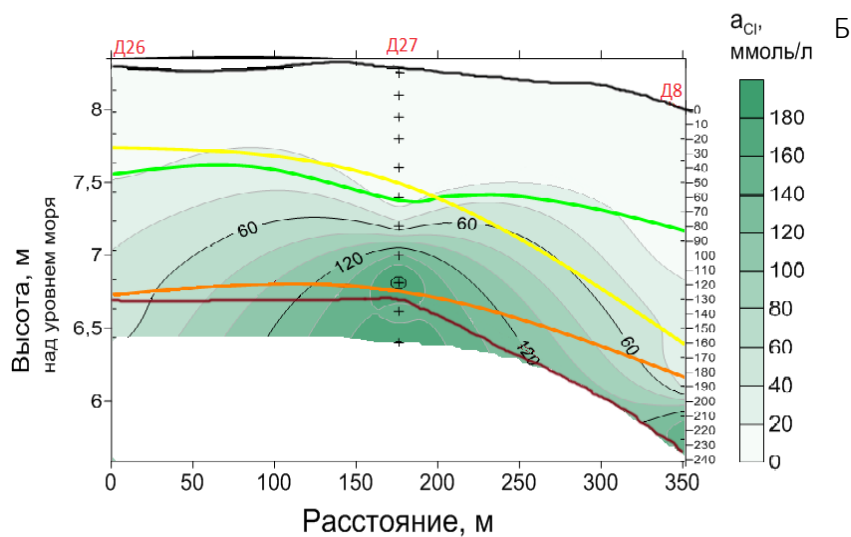
Д26 – Д27), понижаясь до глубины 233 см в северной части (скв. Д8).

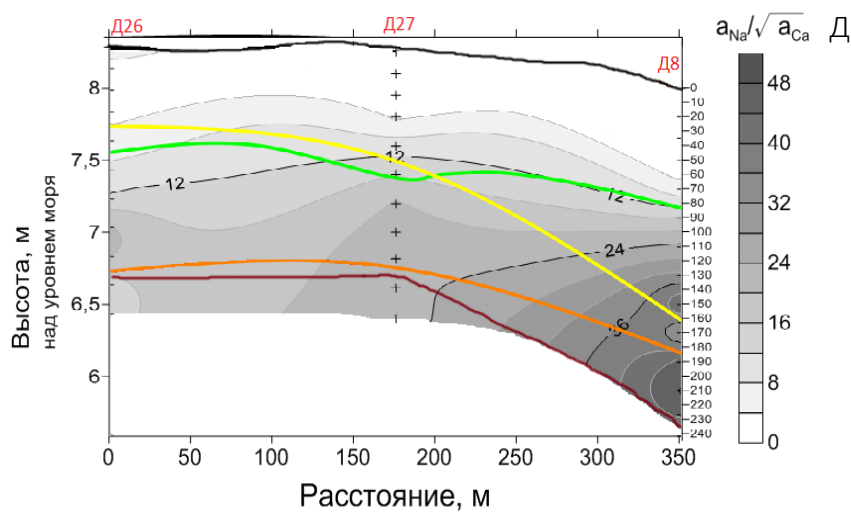
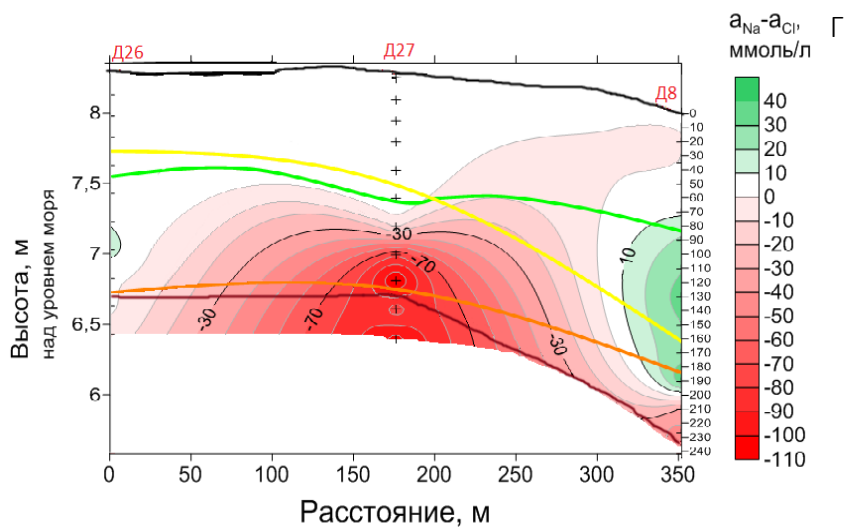
На большей части профиля 4 агрозоны аккумулятивно-карбонатные (луговато-каштановые почвы по К-1977) имеют пахотный горизонт, содержащий дисперсные карбонаты. Отсутствие вскипания от HCl в пахотном горизонте наблюдается только в ареалах с тростником при самом глубоком залегании шоколадных глин (скв. 8).

Пониженные элементы рельефа в сочетании с водонепроницаемыми шоколадными глинами способствовали засолению слоя пылеватых легких суглинков над глинами и тяжелосуглинистых нижних горизонтов почв (рис. 5А). Почвы являются солончаковыми слабозасоленными, тогда как слой легких суглинков и шоколадные глины – средnezасоленными.

Особенностью профиля 4 является наличие хлоридов кальция в глубоких средnezасоленных горизонтах слоя легких суглинков над кровлей шоколадных глин. Об этом свидетельствуют значения активности ионов кальция около 7 ммоль/л и отрицательная разница активности ионов натрия и хлоридов (рис. 5В, 5Г).







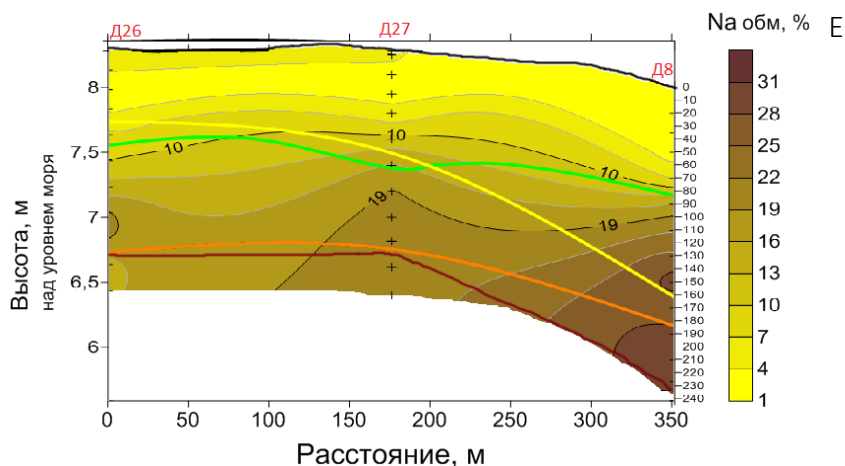


Рис. 5. Двумерное распределение активности ионов: **А** – натрия, **Б** – хлорид-ионов, **В** – кальция, **Г** – разницы $a_{Na}-a_{Cl}$, **Д** – $a_{Na}/\sqrt{a_{Ca}}$, **Е** – обменный натрий, %. Черная линия – граница земной поверхности. Зеленая линия – верхняя граница первого от поверхности засоленного горизонта. Оранжевая линия – верхняя граница горизонта, содержащего мелкокристаллический гипс. Коричневая линия – верхняя граница горизонта шоколадных хвалынских глин. Желтая линия – линзы легких пород. Д26 – номера скважин. Крестики – средняя глубина отбора проб. Значения по правой вертикальной оси – глубина отбора образцов в см относительно поверхности.

Fig. 5. Two-dimensional distribution of ion activity: **А** – sodium, **Б** – chloride ions, **В** – calcium, **Г** – differences $a_{Na}-a_{Cl}$, **Д** – $a_{Na}/\sqrt{a_{Ca}}$, **Е** – exchangeable sodium, %. The black line is the boundary of the earth's surface. The green line is the upper boundary of the first saline horizon from the surface. The orange line is the upper boundary of the horizon containing fine crystalline gypsum. The brown line is the upper boundary of the horizon of Khvalynian chocolate clays. Yellow line – lenses of light rocks. D26 – well numbers. The crosses are the average sampling depth. Values on the right vertical axis are the sampling depth in cm relative to the surface.

Таким образом, анализ графиков по всем профилям показывает, что преобладает засоление сульфатно-хлоридно-натриевого типа, характерное для естественных почв Сарпинской ложбины,

но в ряде почвенных горизонтов имеются следы вторичного засоления, выражающегося в присутствии хлорида кальция в почвенном растворе.

Сравнение разных участков Светлоярской ОС. Проведем сопоставление солевого состояния почвенного покрова Светлоярской ОС на четырех ОУ Дубоовражный (настоящая статья), Райгородский, Светлоярский ([Горохова, Панкова, 2017](#); [Горохова и др., 2018a](#), [2018b](#)) и Червленое ([Кравченко и др., 2018](#); [Хитров и др., 2019](#); [Горохова и др., 2020](#)), которые расположены в разных природных районах (табл. 2). До орошения для всех ОУ было характерно 25–50% солонцов и более в составе почвенного покрова и связанным с ними пятнистое засоление. Для полива поверхностными способами при строительстве оросительной системы на всех ОУ была проведена планировка поверхности, способствовавшая срезке солонцовых горизонтов. Современное распределение легкорастворимых солей обусловлено геоморфологическими и гидрогеологическими особенностями ОУ, историей их использования и качеством оросительных вод. В начале 2000-х годов аналогичные общие причины для орошаемых почв Поволжья отмечала В.Е. Приходько ([2003](#)).

Наиболее благоприятная обстановка сложилась на Светлоярском ОУ в связи с его сравнительно удовлетворительной естественной дренированностью за счет более легких по гранулометрическому составу отложений (легких суглинков, супесей и песков) на глубине от 1.5 до 5 м и относительно глубокого залегания (более 5 м) слабоводопроницаемых шоколадных глин, а также хорошего качества оросительных вод с минерализацией 0.4–0.5 г/л гидрокарбонатно-кальциевого состава. В 1990-х годах после нескольких десятков лет орошения почвы на 67–70% были представлены незасоленными разностями, не имеющими легкорастворимых солей в пределах 0–100 см. Около одной трети почв являлись солончаковатыми или солончаковыми преимущественно слабозасоленными, реже средnezасоленными хлоридно-сульфатными или сульфатными натриевыми.

Таблица 2. Краткая характеристика орошаемых участков Светлоярской ОС
Table 2. Brief characteristics of irrigated plots of Svetloyarsk irrigation system

Характеристики	Орошаемые участки		
	Светлоярский	Райгородский	Дубовразный
Пригородный район (Доскач, 1979)	Северная Сарпинская низменная равнина	Сарпинская ложбина	Северные Ергени
Рельеф	Слабоэрозионный со слабовыпуклыми широкими поверхностями, пологими склонами и слабоэрозионными ложбинами	Слабоэрозионная поверхность с лиманами и замкнутыми западинами	Пологие склоны северной экспозиции, слабоэрозионные древовидной сетью ложбины, впадающих в балки
Почвообразующие и подстилающие породы	Средние и тяжелые суглинки мощностью 2–3 м, подстилаемые легкими суглинками, супесями или песками. Глины вскрываются глубже 5 м.	Суглинки и глины мощностью 2–4 м, подстилаемые слоистыми отложениями или шоколадными глинами	Лессовидные суглинки мощностью более 10 м
Дренированность	Удовлетворительная за счет песчаных линз	Низкая	Низкая
Доля солонцов до орошения	25–50%	25–50 и >50%	25–50 и >50%
Уровень грунтовых вод в 1990-х годах	3–5 м (преимущественно)	1.5–2 м на юге, 2.5–3 м на остальной части	2.0–2.5 м (преимущественно), местами 1.5–2 м

Продолжение таблицы 2
Continued Table 2

Характеристики	Орошаемые участки			
	Светлоярский	Райгородский	Дубообразный	Черелное
Природный район (Досзач, 1979)	Северная Сарпинская низменная равнина	Сарпинская ложбина		Северные Ергени
Способ орошения в 1990-х годах	Поверхностный	Поверхностный	Дождевание	Поверхностный
Вторичное засоление почв в 1990-х годах	Нет	Есть	Нет	Есть
Основные возделываемые культуры в 1990-х	Люцерна и др. кормовые травы	Люцерна и др. кормовые травы	Люцерна и др. кормовые травы	Люцерна и др. кормовые травы
Уровень грунтовых вод в 2010-х годах	3–5 и >5 м	>5 м	>5 м, местами верховолка на глубине 1–2 м	>5 м
Способ орошения в 2010-х годах	Влазаряцковский, поверхностный, местами капельный	не орошается, местами капельный	капельный	не орошается, частично дождевание
Остаточные признаки вторичного засоления почв в 2010-х годах	Нет	Ограничено	Ограничено	Ограничено
Основные культуры в 2010-х годах	Озимые зерновые, люцерна, овощи	Залежь, овощи	Овощные и бахчевые	Кормовые травы

Исследования в 2013–2016 гг. на Светлоярском ОУ продемонстрировали преобладание (89–92% точек опробования) незасоленных почв до глубины 100 см и сравнительно редкую встречаемость солончаковых слабозасоленных почв. Планировка полей привела к тому, что на территории, в пределах которой до строительства Светлоярской ОС отмечалось 25–50% солонцов и солонцеватых почв, на текущий момент собственно солонцы не обнаружены. В настоящее время отмечается постепенное рассоление почв ([Горохова и др., 2018а, 2018б](#)).

На Райгородском ОУ, расположенном в том же природном р-не, что и Светлоярский, но отличающемся более низкой естественной дренированностью, в настоящее время используют капельное орошение овощных культур только в прилегающей к магистральному каналу части. Остальная территория является залежью. На ОУ также отмечается тенденция к рассолению почв на фоне ограниченного проявления остаточных признаков вторичного засоления, наблюдавшегося в 1990-х годах ([Горохова, Панкова, 2017](#)).

Наиболее неблагоприятная солевая обстановка характерна для ОУ Червленое ([Кравченко и др., 2018](#); [Хитров и др., 2019](#); [Горохова и др., 2020](#)), отличающегося низкой естественной дренированностью и исходным засолением большой толщи лёссовидных суглинков Северных Ергеней. В настоящее время 80% почв засолены в первом метре и характеризуются как преимущественно солончаковые срединно-аккумулятивные слабо- и средnezасоленные с максимумом содержания солей, соответствующему сильной степени засоления, на глубине от 100–120 до 170–200 см хлоридно-сульфатного или сульфатно-хлоридного химизма. Это результат остаточного вторичного засоления почв в 1990-х годах, когда на участке активно практиковались поверхностный способ полива и завышенные поливные нормы, способствовавшие подъему грунтовых вод до критического уровня и формированию преимущественно солончаковых средне- и сильнозасоленных почв. К настоящему времени после длительного периода с момента прекращения орошения и забрасывания полей (на 10–20 лет) уровень грунтовых вод опустился до глубины >5 м. Бывшие орошаемые почвы, используемые в последние годы в системах сухого земле-

деля или орошаемые дождевальными техникой, рассолились с поверхности – в основном до глубины 30–50 см. Однако на ОУ Червленое продолжают использовать поливные воды с минерализацией близкой к 0.8–0.9 г/л с заметным содержанием катионов натрия и магния, поэтому, в возникших незасоленных верхних горизонтах образуется токсичная щелочность, а содержание обменного натрия достигает 5–15% от суммы обменных катионов ([Кравченко и др., 2018](#); [Хитров и др., 2019](#)).

Своеобразие ОУ Дубоовражный заключается в двучленных отложениях (суглинках, подстилаемых с глубины 1–2.5 м шоколадными глинами) и грядово-волнистом мезорельефе на фоне общей бессточной территории Сарпинской ложбины. Шоколадные глины обеспечивают фоновое слабое или среднее засоление большинства почв глубже 1 м. Сосредоточение поверхностного и внутрипочвенного бокового стока вдоль контакта суглинков и глин приводит к формированию слабозасоленных солончаковатых почв в вытянутых понижениях между невысоких гряд. Орошение капельным способом в настоящее время создает локальное формирование временной верховодки на участках сравнительно ровного залегания шоколадных глин и потенциальную угрозу накопления легкорастворимых солей в пахотных горизонтах в виде возникновения локальных максимумов активности ионов натрия и хлоридов, не приводя пока к реальному засолению этих горизонтов. Для частичного промывания накапливающихся солей атмосферными осадками целесообразно проводить орошение не каждый год.

ВЫВОДЫ

1. Распределение легкорастворимых солей в почвах и грунтах ОУ Дубоовражный определяется: 1) двух- и местами трехчленными хвалынскими отложениями, представленными поверхностным плащом средних и тяжелых суглинков мощностью 70–120 см, линзами легких суглинков, супесей и песков, и шоколадными глинами, подстилающими весь участок на разной глубине от 70 до 250 см; 2) волнистым мезорельефом в виде чередующихся низких слабовыпуклых гряд и вытянутых понижений между ними; 3) историей землепользования.

2. Основным источником солей на ОУ являются хвалынские шоколадные глины морского происхождения. В связи с этим большинство почв глубже 100 см имеют слабое или среднее засоление.

3. Орошение дождеванием в предшествовавший период способствовало усилению миграции солей в ландшафте и перераспределению их по элементам мезорельефа. На низких грядах и их склонах с залеганием кровли засоленных шоколадных глин на глубине 70–120 см агрозоны аккумулятивно-карбонатные тяжело-суглинистые преимущественно формально не засолены до 1 м, являясь глубокосолончаковатыми слабозасоленными. Солончаковатые агрозоны (со слабым засолением в слое 50–100 см) на грядах встречаются пятнами по ареалам срезанных при планировке солонцов. В недренируемых вытянутых понижениях между грядами сформировались преимущественно солончаковатые агрозоны (луговато-каштановые почвы по К-1977) за счет перераспределения солей в ландшафте в период орошения дождеванием большими нормами.

4. Капельное орошение в последние годы провоцирует локальное формирование верховодки и тенденцию накопления солей в пахотных горизонтах, пока не превышая формального нижнего порога слабого засоления. В период капельного орошения овощных и бахчевых культур даже в условиях укрытия грядок полиэтиленовой пленкой часто наблюдались выцветы солей на поверхности влажной почвы. Это означает, что для частичного промывания накапливающихся солей атмосферными осадками целесообразно орошение проводить не каждый год.

5. Во многих средnezасоленных горизонтах на глубине более 1 м в 2018–2019 гг. отмечались признаки остаточного вторичного засоления в виде присутствия хлоридов кальция в почвенных растворах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *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. 36–50.
2. Базовые шкалы морфологических элементов почв. Методическое

руководство по описанию почв в поле / Сост.: Э.А. Корнблюм, И.С. Михайлов, Н.А. Ногина, В.О. Таргульян. М.: Почв. институт им. В.В. Докучаева, 1982. 58 с.

3. Воробьева Л.А. Система показателей химического состояния засоленных почв // Вестн. Моск. Ун-та. 1981. Сер. 17. № 2. С. 3–12.

4. Горохова И.Н. Оценка засоления орошаемых почв Нижнего Поволжья с использованием аэрофотоснимков. Автореф. дис. ...канд. техн. н. М., 1992. 25 с.

5. Горохова И.Н., Панкова Е.И. Природа пятнистости орошаемых почв сухостепной зоны (на примере Светлоярской оросительной системы) // Аридные экосистемы. 2017. Т. 23. № 3 (72). С. 44–54.

6. Горохова И.Н., Хитров Н.Б., Панкова Е.И., Прокопьева К.О. Засоленность почв Светлоярского орошаемого массива в Волгоградской области в 2010-х годах // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. 2018а. Вып. 93. С. 75–93. DOI: [10.19047/0136-1694-2018-93-75-93](https://doi.org/10.19047/0136-1694-2018-93-75-93).

7. Горохова И.Н., Хитров Н.Б., Прокопьева К.О., Харланов В.А. Почвенный покров Светлоярской оросительной системы через полвека мелиоративных воздействий // Почвоведение. 2018б. № 8. С. 1–18. DOI: [10.1134/S0032180X18080130](https://doi.org/10.1134/S0032180X18080130).

8. Горохова И.Н., Хитров Н.Б., Кравченко Е.И. Изменение засоленности орошаемых почв участка Червленое за четверть века (Волгоградская область) // Почвоведение. 2020. № 4. С. 463–472. DOI: [10.31857/S0032180X20040061](https://doi.org/10.31857/S0032180X20040061).

9. Доклад о состоянии и использовании земель сельскохозяйственного назначения Российской Федерации в 2017 году. Министерство сельского хозяйства Российской Федерации. М.: ФГБНУ “Росинформагротех”. 2019. 328 с.

10. Доскач А.Г. Природное районирование Прикаспийской полупустыни. М.: Наука, 1979. 142 с.

11. Классификация и диагностика почв СССР. М.: Колос, 1977. 247 с.

12. Классификация и диагностика почв России. Смоленск: Ойкумена, 2004. 342 с.

13. Конюшкова М.В. Цифровое картографирование почв солонцовых комплексов Северного Прикаспия. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2014. 316 с.

14. 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).

15. *Минашина Н.Г.* Токсичные соли в почвенном растворе, их расчет и классификация по степени засоления // Почвоведение. 1970. № 8. С. 92–105.
16. Научные основы предотвращения деградации почв (земель) сельскохозяйственных угодий России и формирования систем воспроизводства их плодородия в адаптивно-ландшафтном земледелии: Т.1. Теоретические и методические основы предотвращения деградации почв (земель) сельскохозяйственных угодий. М.: Почвенный институт им. В.В. Докучаева Россельхозакадемии, 2013. 756 с.
17. *Новикова А.Ф., Гэпин Ло, Конюшкова М.В.* 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.
18. Объяснительная записка к Государственной геологической карте Российской Федерации. СПб: ВСЕГЕО, 2006. С. 181–190.
19. Полевой определитель почв России. М.: Почвенный институт им. В.В. Докучаева, 2008. 182 с.
20. Приходько В.Е. Развитие почв Поволжья под влиянием орошения: Автореф. дисс. ... д. биол. наук. Пушино, 2003.
21. Руководство по описанию почв. Продовольственная и сельскохозяйственная организация объединенных наций. Рим, 2012. 101 с.
22. Руководство по лабораторным методам исследования ионно-солевого состава нейтральных и щелочных минеральных почв / Под ред. *Н.Б. Хитрова и А.А. Понизовского*. М.: Почвенный институт им. В.В. Докучаева, 1990. 236 с.
23. *Савин И.Ю., Отаров А., Жоголев А.В., Ибраева М.А., Дуйсеков С.* Выявление многолетних изменений площади засоленных почв Шаульдерского орошаемого массива по космическим снимкам Landsat // Бюллетень почвенного института им. В. В. Докучаева. 2014. Вып. 74. С. 49–63. DOI: [10.19047/0136-1694-2014-74-49-65](https://doi.org/10.19047/0136-1694-2014-74-49-65).
24. *Хитров Н.Б., Горихова 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).
25. *Chen J.-g., Chen J., Wang Q.-i., Zhang Y., Ding H., Huang Z.* Retrieval of Soil Dispersion Using Hyperspectral Remote Sensing // Journal of the Indian Society of Remote Sensing. 2016. Vol. 44. Iss. 4. P. 563–572. DOI: [10.1007/s12524-015-0530-9](https://doi.org/10.1007/s12524-015-0530-9).
26. *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. Vol. 189. 177. DOI: [10.1007/S10661-017-5877-7](https://doi.org/10.1007/S10661-017-5877-7).
27. Guidelines for soil description. The fourth edition. FAO. Rome, 2006. 98 p.
28. Jiang H., Shu H. Optical remote-sensing data based research on detecting soil salinity at different depth in an arid-area oasis, Xinjiang, China // Earth Science Informatics. 2019. Vol. 12. P. 43–56. DOI: [10.1007/s12145-018-0358-2](https://doi.org/10.1007/s12145-018-0358-2).
29. Kumar S, Gautam G, Saha S.K. Hyperspectral remote sensing data derived spectral indices in characterizing salt-affected soils: a case study of Indo-Gangetic plains of India // Environmental Earth Sciences. 2015. Vol. 73. Iss. 7. P. 3299–3308. DOI: [10.1007/s12665-014-3613-y](https://doi.org/10.1007/s12665-014-3613-y).
30. Lijie J.-l., Ming P., Xiaoqing Z., Xinjian D.-y.-x., Lifang C., Runsen Z., Zhang. Monitoring soil salt content using HJ-1A hyperspectral data: A case study of coastal areas in Rudong County, Eastern China // Chinese Geographical Science. 2015. Vol. 25. Iss. 2. P. 213–223. DOI: [10.1007/s11769-014-0693-2](https://doi.org/10.1007/s11769-014-0693-2).
31. IUSS Working Group WRB. 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. 2015. 192 p.
32. Zaman M., Shahid S.A., Heng L. Guideline for Salinity Assessment, Mitigation and Adaptation Using Nuclear and Related Techniques. Springer Open, 2018. 164 p. DOI: [10.1007/978-3-319-96190-3](https://doi.org/10.1007/978-3-319-96190-3).

REFERENCES

1. Bazilevich N.I., Pankova E.I., Opyt klassifikatsii pochv po sodержaniyu toksichnykh soley i ionov (Experience in soil classification by the content of toxic salts and ions), *Dokuchaev Soil Bulletin*, 1972, Vol. 5, pp. 36–50.
2. Kornblyum E.A., Mikhailov I.S., Nogina N.A., Targul'yan V.O., *Bazovye shkaly morfologicheskikh elementov pochv. Metodicheskoe rukovodstvo po opisaniyu pochv v pole* (Basic scales of soil morphological elements. Methodical guide for the description of soils in the field), Moscow: V.V. Dokuchaev Soil Science Institute, 1982, 58 p.
3. Vorob'eva L.A., Sistema pokazatelei khimicheskogo sostoyaniya zasolennykh pochv (System of indicators of the chemical state of saline soils), *Vestn. Mosk. Un-ta*, 1981, Ser. 17, No. 2, pp. 3–12.
4. Gorokhova I.N., *Otsenka zasoleniya oroshaemykh pochv Nizhnego Povolzh'ya s ispol'zovaniem aerofotosnimkov. Avtoref. dis. ...kand. tekhn. n.*

(Estimation of salinity of irrigated soils in the Lower Volga region using aerial photographs, Extended abstract of cand. tech. sci. thesis), Moscow: 1992, 25 p.

5. Gorokhova I.N., Pankova E.I., Priroda pyatnistosti oroshaemykh pochv sukhostepnoi zony (na primere Svetloyarskoi orositel'noi sistemy) (The nature of spotting of irrigated soils in the dry steppe zone (by the example of the Svetloyarsk irrigation system)), *Aridnye ekosistemy*, 2017, Vol. 23, No. 3 (72), pp. 44–54.

6. Gorokhova I.N., Khitrov N.B., Pankova E.I., Prokopyeva K.O., Soil salinity of the Svetloyar irrigated massif in the Volgograd region in 2010-s years, *Dokuchaev Soil Bulletin*, 2018, Vol. 93, pp. 75–93, DOI: [10.19047/0136-1694-2018-93-75-93](https://doi.org/10.19047/0136-1694-2018-93-75-93).

7. Gorokhova I.N., Khitrov N.B., Prokop'eva K.O. et al., Soil Cover of the Svetloyarsk Irrigation System after 50 Years of Reclamation Practices, *Eurasian Soil Science*, 2018, Vol. 51, pp. 965–975, DOI: [10.1134/S1064229318060078](https://doi.org/10.1134/S1064229318060078).

8. Gorokhova I.N., Khitrov N.B., Kravchenko E.I., Changes in Soil Salinity at the Chervlenoe Irrigation Massive (Volgograd Oblast) in a Quarter of Century, *Eurasian Soil Science*, 2020, Vol. 53, No. 4, pp. 494–502, DOI: [10.1134/S1064229320040067](https://doi.org/10.1134/S1064229320040067).

9. *Doklad o sostoyanii i ispol'zovanii zemel' sel'skokhozyaistvennogo naznacheniya Rossiiskoi Federatsii v 2017 godu*. Ministerstvo sel'skogo khozyaistva Rossiiskoi Federatsii (Report on the state and use of agricultural land in the Russian Federation in 2017. Ministry of Agriculture of the Russian Federation), Moscow: FGBNU “Rosinformagrotekh”, 2019, 328 p.

10. Doskach A.G., *Prirodnoe raionirovanie Prikaspiiskoi polupustyni* (Natural zoning of the Caspian semi-desert), Moscow: Nauka, 1979, 142 p.

11. *Klassifikatsiya i diagnostika pochv SSSR* (Classification and diagnostics of soils in the USSR), Moscow: Kolos, 1977, 247 p.

12. *Klassifikatsiya i diagnostika pochv Rossii* (Classification and diagnostics of soils in Russia), Smolensk: Oikumena, 2004, 342 p.

13. Konyushkova M.V., *Tsifrovoe kartografirovanie pochv solontsovykh kompleksov Severnogo Prikaspiya* (Digital mapping of soils of solonetz complexes in the Northern Caspian region), Moscow: Tovarischestvo nauchnykh izdaniy KMK, 2014, 316 p.

14. 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*, Vol. 94, pp. 19–37, DOI: [10.19047/0136-1694-2018-94-19-37](https://doi.org/10.19047/0136-1694-2018-94-19-37).

15. Minashina N.G., Toksichnye soli v pochvennom rastvore, ikh raschet i klassifikatsiya po stepeni zasoleniya (Toxic salts in soil solution, their

calculation and classification according to the degree of salinity), *Pochvovedenie*, 1970, No. 8, pp. 92–92-105.

16. *Nauchnye osnovy predotvrashcheniya degradatsii pochv (zemel') sel'skokhozyaistvennykh ugodii Rossii i formirovaniya sistem vosпроизводства ikh plodorodiya v adaptivno-landshaftnom zemledelii: T. 1. Teoreticheskie i metodicheskie osnovy predotvrashcheniya degradatsii pochv (zemel') sel'skokhozyaistvennykh ugodii* (Scientific foundations for preventing soil (land) degradation of agricultural lands in Russia and the formation of systems for the reproduction of their fertility in adaptive landscape agriculture: Vol. 1. Theoretical and methodological foundations for preventing soil (land) degradation of agricultural land), Moscow: V.V. Dokuchaev Soil Science Institute, 2013. 756 p.

17. Novikova A.F., Gapin Lo, Konyushkova M.V., The dynamics of the processes of salinization-desalinization of soils of the “Chervlenoe” site of the Svetloyarsk irrigation system during the irrigation and post-irrigation periods, *Dokuchaev Soil Bulletin*, 2009, Vol. 63, pp. 16–24.

18. Ob'yasnitel'naya zapiska k Gosudarstvennoi geologicheskoi karte Rossiiskoi Federatsii (Explanatory note to the State Geological Map of the Russian Federation), StPetersburg: VSEGEO, 2006, pp. 181–190.

19. *Polevoi opredelitel' pochv Rossii* (Field guide to soils of Russia), Moscow: V.V. Dokuchaev Soil Science Institute, 2008, 182 p.

20. Prikhod'ko V.E., *Razvitie pochv Povolzh'ya pod vliyaniem orosheniya: Avtoref. diss. ... dokt. biol. nauk* (The development of soils in the Volga region under the influence of irrigation: Extended abstract of Dr. biol. sci. thesis), Pushchino, 2003.

21. *Rukovodstvo po opisaniyu pochv. Prodovol'stvennaya i sel'skokhozyaistvennaya organizatsiya ob"edinennykh natsii* (Manual for the description of soils. Food and agriculture organization of the united nations), Rim, 2012, 101 p.

22. Khitrov N.B., Ponizovskiy A.A., *Rukovodstvo po laboratornym metodam issledovaniya ionno-solevogo sostava neitral'nykh i shchelochnykh mineral'nykh pochv* (Guidance on laboratory methods for studying the ion-salt composition of neutral and alkaline mineral soils), Moscow: V.V. Dokuchaev Soil Science Institute, 1990, 236 p.

23. Savin I.Yu., Otarov A., Zhogolev A.V., Ibraeva M.A., Duseikov S., Long-term changes in the area of saline soils recognized by LANDSAT images in Shauldersk irrigated massive, *Dokuchaev Soil Bulletin*, 2014, Vol. 74, pp. 49–65, DOI: [10.19047/0136-1694-2014-74-49-65](https://doi.org/10.19047/0136-1694-2014-74-49-65).

24. 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).

25. Chen J.-g., Chen J., Wang Q.-i., Zhang Y., Ding H., Huang Z., Retrieval of Soil Dispersion Using Hyperspectral Remote Sensing, *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 2016, Vol. 44, Iss. 4, pp. 563–572, DOI: [10.1007/s12524-015-0530-9](https://doi.org/10.1007/s12524-015-0530-9).

26. 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, Vol. 189, 177, DOI: [10.1007/S10661-017-5877-7](https://doi.org/10.1007/S10661-017-5877-7).

27. *Guidelines for soil description*, The fourth edition, FAO, Rome, 2006, 98 p.

28. Jiang H., Shu H., Optical remote-sensing data based research on detecting soil salinity at different depth in an arid-area oasis, Xinjiang, China, *Earth Science Informatics*, 2019, Vol. 12, pp. 43–56, DOI: [10.1007/s12145-018-0358-2](https://doi.org/10.1007/s12145-018-0358-2).

29. Kumar S, Gautam G, Saha S.K., Hyperspectral remote sensing data derived spectral indices in characterizing salt-affected soils: a case study of Indo-Gangetic plains of India, *Environmental Earth Sciences*, 2015, Vol. 73, Iss. 7, pp. 3299–3308, DOI: [10.1007/s12665-014-3613-y](https://doi.org/10.1007/s12665-014-3613-y).

30. Lijie J.-l., Ming P., Xiaoqing Z., Xinjian D.-y.-x., Lifang C., Runsen Z., Zhang., Monitoring soil salt content using HJ-1A hyperspectral data: A case study of coastal areas in Rudong County, Eastern China, *Chinese Geographical Science*, 2015, Vol. 25, Iss. 2, pp. 213–223, DOI: [10.1007/s11769-014-0693-2](https://doi.org/10.1007/s11769-014-0693-2).

31. *IUSS Working Group WRB*, 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, 2015, 192 p.

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

УДК 631.4

DOI: 10.19047/0136-1694-2021-106-49-76



Ссылки для цитирования:

Матвеева Н.В., Милановский Е.Ю., Рогова О.Б. Изменение гидрофобно-гидрофильных свойств органического вещества черноземов Каменной Степи // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. 2021. Вып. 106. С. 49-76. DOI: 10.19047/0136-1694-2021-106-49-76

Cite this article as:

Matveeva N.V., Milanovsky E.Yu., Rogova O.B., Changes in the hydrophobic-hydrophilic properties of the organic matter of the chernozems of the Kamennaya Steppe, Dokuchaev Soil Bulletin, 2021, V. 106, pp. 49-76, DOI: 10.19047/0136-1694-2021-106-49-76

Благодарность:

Работа выполнена по темам НИР “0591-2019-0024. Разработать критерии оценки рисков деградации почв” и “Физические основы экологических функций почв: технологии мониторинга, прогноза и управления”.

Acknowledgments:

The work was carried out within the framework of the research projects “0591-2019-0024. Developing criteria for assessment of soil degradation risks” and “Physical basis of ecological functions of soils: technologies for monitoring, prognosis and management”.

Изменение гидрофобно-гидрофильных свойств органического вещества черноземов Каменной Степи

© 2021 г. Н. В. Матвеева^{1*}, Е. Ю. Милановский², О. Б. Рогова¹

¹ФИЦ “Почвенный институт им. В.В. Докучаева”, Россия,
119017, Москва, Пыжевский пер, 7, стр. 2,

*<https://orcid.org/0000-0003-4335-3407>, e-mail: Nataliy_Matveeva@list.ru.

²МГУ им. М.В. Ломоносова, Россия,
119991, Москва, Ленинские горы, 1.

Поступила в редакцию 18.01.2021, после доработки 20.02.2021,
принята к публикации 15.03.2021

Резюме: Исследовали образцы почв и выделенные из них физические гранулоденсиметрические фракции (илистую с размером частиц менее 1 мкм, легкую (ЛФ) с плотностью менее 2 г/см³ и фракцию остатка)

чернозема обыкновенного трех контрастных вариантов опытных полей агроландшафта Каменная Степь Воронежской области: косимой степи, длительного бессменного черного пара и бессменной кукурузы, – основные отличия которых заключаются в обработке (пашня и ее отсутствие) и поступлении/отсутствию растительных остатков и корневых выделений. Содержание ЛФ изменяется в ряду: “косимая степь” > “бессменная кукуруза” > “бессменный черный пар”, – что соответствует направленности изменения содержания общего углерода почвы и снижению величины краевого угла смачивания (КУС) поверхности твердой фазы исследуемых черноземов. Определение содержания общего С и N выявило изменение качественного и количественного состава гранулоденсиметрических фракций при разных вариантах использования. Хроматографическое фракционирование щелочных экстракций гумусовых веществ (ГВ) образцов чернозема и выделенных гранулоденсиметрических фракций позволило выявить повышение степени гидрофильности ГВ при одновременном увеличении гидрофобности поверхности твердой фазы и содержания углерода в почве. ГВ ЛФ “косимой степи” оказались на 63% более гидрофильными по сравнению с ГВ ЛФ “бессменного черного пара” и на 47% – по сравнению с ГВ ЛФ “бессменной кукурузы”. В то время как гидрофильность ГВ ила отличалась на 16 и 27% соответственно. Гидрофильность ГВ исходной почвы на делянке “косимой степи” была на 41% выше гидрофильности ГВ в почве на делянке “бессменного черного пара” и на 24% выше, чем в почве делянки “бессменной кукурузы”. Изменения гидрофильности ГВ гранулоденсиметрических фракций проявляются интенсивнее, чем ГВ почвы. На этом основании изменение степени гидрофильности ГВ гранулоденсиметрических фракций можно считать индикатором деградации почв при различной агрогенной нагрузке.

Ключевые слова: жидкостная хроматография гидрофобного взаимодействия, гранулоденсиметрическое фракционирование почв, гидрофильность, гидрофобность, краевой угол смачивания.

Changes in the hydrophobic-hydrophilic properties of the organic matter of the chernozems of the Kamennaya Steppe

N. V. Matveeva^{1*}, E. Yu. Milanovsky², O. B. Rogova¹

¹*Federal Research Centre “V.V. Dokuchaev Soil Science Institute”,
7 Bld. 2 Pyzhevskiy per., Moscow 119017, Russian Federation,
<https://orcid.org/0000-0003-4335-3407>, e-mail: Nataliy_Matveeva@list.ru.

²*Lomonosov Moscow State University,
1 Leninskie Gori, Moscow 119234, Russian Federation.*

Received 18.01.2021, Revised 20.02.2021, Accepted 15.03.2021

Abstract: Soil samples and physical size-density fractions isolated from them (silt particle size less than 1 μm , light fraction (LF) with a density of less than 2 g/cm^3 and a fraction of the residue) of ordinary chernozem were studied in three contrasting variants of the experimental fields of the Kamennaya Steppe agrolandscape of the Voronezh region: mowed steppe, long-term permanent bare fallow and permanent corn – the main differences of which are in tillage (cultivated and not cultivated lands) and in the supply/absence of plant residues and root secretions. The LF content changes in the series: “mowed steppe” > “permanent corn” > “permanent bare fallow”, which corresponds to the direction of changes in the total carbon content of the soil and a decrease in the value of the contact angle of wetting (CA) of the surface of the solid phase of the studied chernozems. The determination of the total C and N content revealed the change in the qualitative and quantitative composition of the size-density fractions for different land use cases. Chromatographic fractionation of alkaline extractions of humus substances (HS) of chernozem samples and size-density fractions revealed an increase in the degree of hydrophilicity of HS while simultaneously increasing the hydrophobicity of the solid phase surface and the carbon content in the soil. HS of LF of the “mowed steppe” turned out to be by 63% more hydrophilic than HS of LF of “permanent bare fallow” and by 47% more hydrophilic than HS of LF of “permanent corn”. While the hydrophilicity of the HS silt differed by 16 and 27%, respectively. The hydrophilicity of the HS of the original soil in the plot of the “mowed steppe” was by 41% higher than the hydrophilicity of the HS in the soil in the plot of “permanent bare fallow” and by 24% higher than in the soil of the plot of “permanent corn”. In addition, changes in the hydrophilicity of HS of size-density fractions are more intense than the HS of the soil, so the change in the degree of hydrophilicity of HS of size-density fractions is an indicator of soil degradation under different agrogenic pressure.

Keywords: liquid chromatography of hydrophobic interaction, size-density fractionation of soils, hydrophilicity, hydrophobicity, contact angle of wetting.

ВВЕДЕНИЕ

Сельскохозяйственное использование земель непременно

приводит к изменению их свойств. Замена естественной растительности, механическая обработка почвы в совокупности с применением минеральных удобрений и орошением приводит к деградации земель. Поддержание свойств почв на оптимальном уровне, как для выращивания сельскохозяйственной продукции, так и для сохранения экологических функций почв, является важной задачей. В настоящее время уделяется большое внимание изучению изменений свойств поверхности твердой фазы почв при различной антропогенной нагрузке ([Capriel, 1997](#); [Šimon et al., 2009](#); [Diamantis et al., 2013](#)), поскольку они определяют поведение воды в почве. Одним из индикаторов устойчивости почвенной структуры считают соотношение гидрофобных и гидрофильных компонентов твердой фазы почв ([Shakesby et al., 2000](#); [Милановский, 2009](#)). Использование этого показателя базируется на особенностях формирования и трансформации органического вещества (ОВ) в процессе изменения природных условий почвообразования на определенной территории (например, смены растительности, изменения климатических условий), либо при изменении внешнего воздействия на почву, например, при изменении интенсивности и направленности сельскохозяйственного использования. Таким образом, гидрофобно-гидрофильные свойства поверхности твердой фазы почв могут определять устойчивость почвенной структуры и служить интегральным показателем физико-химических свойств почв ([Kraemer et al., 2019](#); [Bachmann et al., 2020](#); [Матвеева и др., 2020](#)).

Целью настоящей работы было изучение амфифильности ГВ чернозема природно-антропогенного ландшафта Каменная Степь. Несмотря на то, что изучению изменения гумусного состояния почв этого района посвящено большое количество работ ([Кононова, Бельчикова, 1953](#); [Адерихин, Богатырева, 1974](#)), в том числе и в последние годы ([Зборишук, 2007](#); [Когут и др., 2009](#); [Червердин, Беспалов, 2011](#); [Лебедева и др., 2016](#); [Беспалов и др., 2018](#); [Мамонтов, Соколовская, 2018](#)), в большинстве из них анализируется общее содержание ОВ, а также соотношение $C_{гк} : C_{фк}$. Однако в природе ГВ находятся в гидратированном виде, поэтому наличие в их структуре гидрофобных и гидрофильных функциональных групп определяет пространственную конфигурацию ГВ и характер

их взаимодействия с минеральной частью почвы. Гидрофобным компонентам ГВ энергетически более выгодно минимизировать площадь контакта с водой, в то время как гидрофильные части молекул ГВ будут обращены в водную среду. Кроме того, показано влияние водных молекулярных мостиков на “сшивание” отдаленных гидрофильных участков ГВ ([Aquino et al., 2011](#)). Состав ГВ чувствителен к видам агрогенной нагрузки, при этом любые изменения в строении ГВ повлияют на их амфифильные свойства.

Влияние обработки почвы на устойчивость супрамолекулярной организации ГВ обусловлено главным образом изменением водно-воздушного режима, что влечет за собой изменения процессов гумификации/минерализации ОВ. Вспашка почвы повышает содержание кислорода в верхнем слое почвы, что приводит не только к увеличению активности аэробной микробиоты, способствующей минерализации ГВ, но и к повышению количества кислородсодержащих функциональных групп в молекулах ОВ в процессе гумификации. Кислородсодержащие функциональные группы (ОН– и С=О карбоксильные группы) увеличивают реакционную активность ГК, при этом отмечается стабилизация ГК преимущественно за счет водородных связей между кислородсодержащими группами ароматических структур, что вызывает гидрофильную гидратацию. Наличие большого количества полярных структур, представленных кислородсодержащими группами, способными к межмолекулярным взаимодействиям, координируемым водородными связями водных кластеров, приводит к увеличению содержания свободной воды в ГК распахиваемого чернозема ([Скрыльник и др., 2018](#)).

Гидрофобные компоненты ГВ предохраняют новообразованные ГВ от микробиологической минерализации ([Cihlár et al., 2014](#)). Таким образом, соотношение гидрофобных и гидрофильных компонентов ГВ может указывать на наличие деградационных процессов, вызванных антропогенным воздействием на почву. Мониторинг изменений гидрофобно-гидрофильных свойств ГВ почв необходим для поддержания хорошей почвенной структуры, обеспечивающей оптимальные условия для жизнедеятельности растений и биоты, а также для сохранения экологических функций почв.

ГВ в почве могут быть представлены как свободным ОВ, так и окклюдированным на минеральных зернах. Различия в природе ОВ отражаются на скорости его трансформации. Органо-минеральные взаимодействия – ключевой механизм стабилизации ОВ в почве ([Семенов и др., 2013](#)). Качественный анализ почвенного ОВ проводят с учетом его принадлежности к определенной физической фракции. Основные отличия разных почвенных фракций обусловлены особенностями органо-минеральных взаимодействий в них, которые, в свою очередь, определяют стабильность почвенного ОВ ([Six et al., 2002](#); [Eusterhues et al., 2003](#); [Kaiser, Guggenberger, 2003](#)). Фракция, в которой ОВ сорбировано на поверхности минералов, представлена илом с размером частиц <1 мкм. Илистая фракция является наиболее устойчивой, она медленнее реагирует на изменения в системе землепользования ([Campbell et al., 1991](#); [Buyanovsky et al., 1994](#); [Skjemstad et al., 2004](#); [Chung et al., 2008](#)). Устойчивость органо-глинистых комплексов обусловлена снижением доступности ОВ для микробной минерализации за счет адсорбции ОВ на минеральной поверхности ([Dungait et al., 2012](#)). Доля таких ассоциаций в почвах может достигать 50% и более, также для большинства типов почв именно эта фракция составляет основную часть запаса углерода в почве ([Christensen, 1992](#)). Фракция, представленная свободным ОВ и микроагрегатами, устойчивыми к УЗ обработке, имеет плотность <2 г/см³ и называется легкой фракцией (ЛФ). ЛФ наиболее чувствительна к изменению условий землепользования, т. к. она преимущественно представлена свободным ОВ, что делает эту фракцию более лабильной ([Balesdent, 1987](#); [Whalen et al., 2000](#); [Травникова, 2002](#); [Gregorich et al., 2006](#); [Zimmermann et al., 2007](#); [Gregorich, Beare, 2008](#); [Когут и др., 2010](#); [Baldock et al., 2018](#); [Curtin et al., 2019](#)). Свободное ОВ почв представлено макроорганическим веществом >50 мкм и обычно составляет 10–25% общего запаса углерода в почве. Оно содержит менее разложенное ОВ с широким соотношением C : N ([Gregorich et al., 2006](#)).

По мнению некоторых авторов ([Артемяева, Кириллова, 2017](#)), устойчивость почв определяется соотношением трех основных групп органо-минеральных фракций (ЛФ с плотностью <2 г/см³, ил, остаток). Состав и свойства почвенных фракций

определяют важность их анализа при отслеживании деградационных изменений почв.

В настоящее время растет число исследований гидрофобности поверхности твердой фазы минералов, различных песчаных смесей и почв ([Shang et al., 2008](#); [Leelamanie et al., 2010](#); [Zickenrott et al., 2016](#); [Chen et al., 2018](#)), однако поверхностная организация разных по гидрофобности функциональных групп хоть и может служить маркером происходящих в почве процессов, но не является достаточной для понимания какие изменения претерпевает почвенное ОВ. Поэтому цель данной работы выявить функциональное изменение ОВ черноземов, подверженных антропогенной нагрузке, с помощью жидкостной хроматографии гидрофобного взаимодействия.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Объектом исследования является чернозем территории Воронежского НИИСХ ЦЧП им. В.В. Докучаева, Каменная Степь, расположенной в Таловском районе Воронежской области в центральной части водораздела рек Хопер и Битюг – левых притоков реки Дон. Почвообразующей породой данной территории являются четвертичные покровные лёссовидные глины и суглинки различной мощности ([Басов, Грищенко, 1963](#)). Климат Каменной Степи умеренно континентальный с холодной зимой и теплым (нередко жарким и засушливым) летом, что типично для степей. Водный режим черноземов, как разновозрастных пашен, так и многолетней залежи Каменной Степи, можно определить как периодически промывной с дополнительным грунтовым увлажнением ([Лебедева и др., 2016](#)).

Исследованы образцы почв 3 делянок опытных полей, по степени антропогенной нагрузки они разделяются на варианты опыта: с минимальной агротехнической нагрузкой – “косимая степь” (более 100 лет); с максимальной нагрузкой – “бессменный черный пар” (с 1962 г.) и “бессменная кукуруза” (с 1962 г.). Исследование проведено на образцах почв из слоя 0–20 см. Согласно классификации WRB, почва распахиваемых участков относится к Anthrosols, а почва залежного участка “косимой степи” к Haplic Chernozem ([WRB, 2014](#)).

Аналитическая характеристика образцов почв включала: общее содержание С и N методом сухого сжигания на автоматическом анализаторе Vario MAX CN в ЦКП Института Географии РАН. Погрешность измерения составляла <0.5%. Разделение фракций ОВ по степени связи с минеральной матрицей почв проводилось методом гранулоденсиметрического фракционирования воздушно-сухих образцов почв ([Шаймухаметов и др., 1984](#)). Выделены 3 фракции: фракция ила с размером частиц менее 1 мкм, легкая фракция (ЛФ) с плотностью <2 г/см³ и фракция остатка с плотностью >2 г/см³.

В выделенных фракциях ила и остатка был проведен анализ гранулометрического состава методом лазерной дифракции с целью проверки полноты фракционирования. Фракция ила более чем на 90% представлена частицами размером <1 мкм, фракция остатка имеет размер частиц преимущественно 2–50 мкм.

Изучение качественного состава ГВ почв и гранулоденсиметрических фракций было проведено с помощью жидкостной хроматографии гидрофобного взаимодействия по методу, разработанному Е.Ю. Милановским ([2000](#)). Экстракцию ГВ почв проводили с помощью щелочного раствора пиродифосфата натрия (0.1 н. NaOH + 0.1 н. Na₄P₂O₇) при соотношении почва : раствор – 1 : 10. Почвенную суспензию помещали в термостат на сутки при 40 °С. От минеральных примесей выделенные ГВ очищали центрифугированием (12 000 об./мин, 15 мин).

Жидкостная хроматография гидрофобного взаимодействия проведена на хроматографе BIO RAD. Оптическая плотность элюата измерялась при длине волны 280 нм. Постоянная скорость фильтрации (1 мл/мин) контролировалась перистальтическим насосом. Площадь пиков хроматографических фракций рассчитывали при помощи программы МультиХром. Площадь пика хроматографической фракции, выраженная в процентах от общей площади хроматограммы, дает представление об относительном содержании ГВ, различающихся по гидрофобно-гидрофильным свойствам. На рисунке 1 представлен пример получаемых хроматограмм для образцов почвы, ила и ЛФ.

Пики хроматографической кривой (рис. 1) обозначают выход фракций, различающихся по степени связывания с гидрофоб-

ной матрицей геля:

1-я фракция является самой гидрофильной и практически не связывается с матрицей геля, она выходит вместе с потоком стартового буфера (ТРИС-НСI буфер), с максимальным количеством сульфата аммония.

2-я фракция выделяется при снижении концентрации сульфата аммония.

3-я фракция элюируется чистым ТРИС-НСI буфером.

4-я фракция содержит гидрофобные компоненты ГВ, выделяется путем добавления к буферу поверхностно-активного вещества (SDS).

5-я фракция вымывается щелочным раствором ЭДТА.

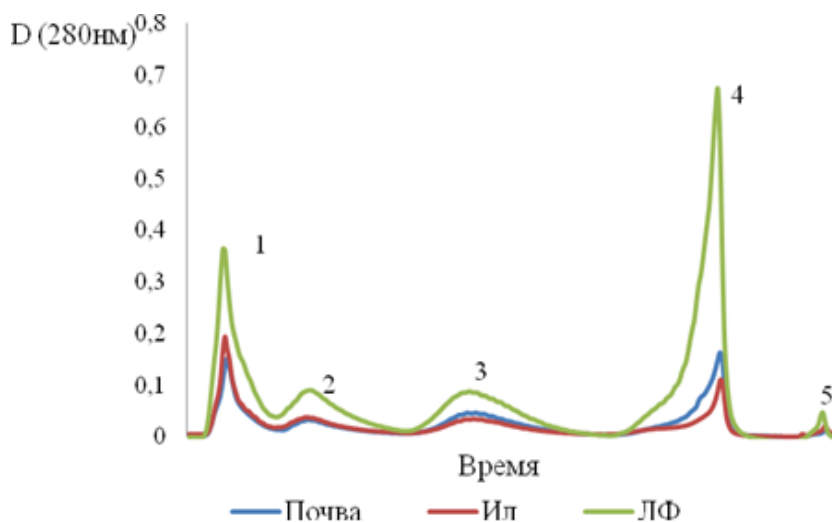


Рис. 1. Хроматографические кривые ГВ почвы, ила и ЛФ чернозема.

Fig. 1. The chromatographic curves of soil, clay and LF of chernozem.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Проведенное гранулоденсиметрическое фракционирование почв позволило выявить изменение соотношения 3 выделяемых

почвенных фракций чернозема при различной антропогенной нагрузке. Наиболее чувствительной к изменению внешних условий исследователи считают ЛФ с плотностью $<2.0 \text{ г/см}^3$, которая служит источником для формирования ГВ. В ее состав входят органические остатки растительного, животного и микробного происхождения различной степени гумификации. С этой фракцией связана значительная часть микробных популяций и ферментативная активность почв (Артемова, 2010). На рисунке 2 представлено распределение гранулоденсиметрических фракций чернозема исследуемых вариантов опыта. Ввиду трудоемкости гранулоденсиметрического фракционирования анализ был проведен на смешанных образцах (из трех индивидуальных) каждого варианта использования в двукратной повторности. На основании полученных данных отмечено существенное различие в содержании ЛФ распахиваемых участков по сравнению с нераспахиваемым участком “косимой степи”. Содержание ЛФ в почве “косимой степи” превышало 16%, в то время как чернозем пашни содержал примерно 10% ЛФ.

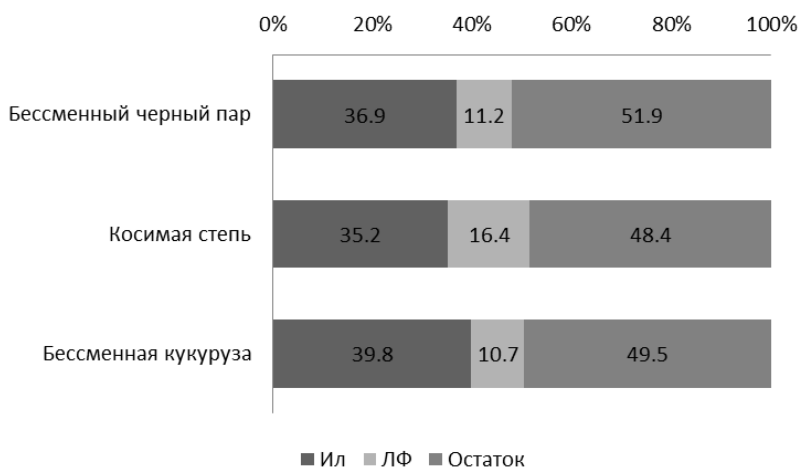


Рис. 2. Содержание гранулоденсиметрических фракций в слое 0–20 см чернозема разных вариантов использования

Fig. 2. Content of size-density fractions in a layer of 0–20 cm of chernozem of different land use cases.

Чувствительность ЛФ к системе землепользования объясняется ее составом: наличием либо отсутствием легкоразлагаемого ОВ – постоянного источника легкодоступных элементов для растений ([Травникова, 2002](#)). В черноземе “косимой степи” поступление растительных остатков существенно выше, чем в черноземе под “бессменной кукурузой” и в почве “бессменного черного пара”, что и обуславливает наиболее высокое – в 1.5 раза больше, по сравнению с этими вариантами, – содержание легкой фракции.

Результаты показывают (табл. 1), что легкие фракции наиболее обогащены углеродом. Содержание в них С (%) в 4.7–5.3 раза больше, чем в илистой фракции. При этом содержание N (%) в ЛФ в 3.8 раза превышало долю N в илистой фракции. Помимо общего содержания С и N в почве и в гранулоденсиметрических фракциях важным является соотношение С : N, которое показывает степень обогащенности органического вещества азотом. Наиболее обогащено азотом органическое вещество илистой фракции (10.7–11.0), менее всего – ЛФ (13.9–15.2). Чем меньше соотношение С : N, тем сильнее выражена минерализация ОВ. При сравнении степени обогащенности азотом гранулоденсиметрических фракций и исходной почвы, отмечается большая минерализация ОВ илистой фракции, по сравнению с ОВ почвы, а также наименьшая степень разложенности ОВ ЛФ.

Изучение качественного состава ОВ чернозема и гранулоденсиметрических фракций, проведенное с помощью жидкостной хроматографии гидрофобного взаимодействия, показало изменение амфифильных свойств ОВ твердой фазы. Различия в содержании углерода в почве и гранулометрических фракциях учитывались при взятии навески для щелочной экстракции ГВ.

Гумусовые вещества, элюирующиеся из колонки в присутствии сульфата аммония и входящие в состав первых двух хроматографических фракций, относятся к гидрофильным, а последних трех фракций – к гидрофобным. Результаты хроматографического фракционирования щелочных экстракций ГВ из почв, ила и ЛФ представлены в таблице 2.

Таблица 1. Содержание углерода и азота в образцах почв и гранулометрических фракциях чернозема
Table 1. The contents of carbon and nitrogen in samples of soils and size-density fractions of chernozem

Объект	Почва			Ил, <1мкм			Легкая фракция, <2 г/см ³			Остаток, >2 г/см ³		
	C, %	N, %	C : N	C, %	N, %	C : N	C, %	N, %	C : N	C, %	N, %	C : N
для почв C и N – % от массы почвы; для фракций – % от массы фракций												
Бесменный черный пар	4.36	0.36	12.2	4.67	0.42	11.0	23.96	1.59	15.1	0.74	0.07	10.7
Косая степь	6.25	0.53	11.7	4.55	0.41	11.0	23.91	1.57	15.2	0.69	0.06	11.6
Бесменная кукуруза	4.71	0.4	11.8	4.92	0.46	10.7	23.09	1.66	13.9	0.66	0.06	11.1

Изменение относительного содержания хроматографических фракций при разном воздействии на почву свидетельствует о трансформации качественного состава экстрагируемых щелочью ГВ как почв в целом, так и почвенных фракций. Так как 1-я и 2-я фракции представлены преимущественно гидрофильными соединениями, а 3, 4 и 5-я – гидрофобными, степень гидрофильности (Dh) может быть рассчитана по отношению между суммами фракций разной природы ([Дымов, Милановский, 2014](#)).

Таблица 2. Относительное содержание хроматографических фракций щелочных экстракций ГВ из почв, ила и ЛФ чернозема

Table 2. Relative content of chromatographic fractions of alkaline extracts of HS from soils, clay and LF of chernozem

Хроматографические фракции	Бессменный черный пар	Косимая степь	Бессменная кукуруза
Исходная почва			
1	24.76	32.02	25.44
2	13.18	13.70	13.50
3	27.01	22.35	29.31
4	33.92	30.93	30.70
5	1.15	1.01	1.06
Илистая фракция, <1 мкм			
1	33.17	39.96	32.65
2	17.25	14.34	15.21
3	22.31	17.91	23.75
4	24.94	25.86	27.02
5	2.34	1.93	1.39
Легкая фракция, <2 г/см ³			
1	20.17	30.12	22.47
2	12.21	12.24	13.74
3	22.07	15.34	18.03
4	43.90	40.12	44.04
5	1.66	2.18	1.73

Но при сравнении изначально близких по свойствам почвенных образцов более показательным может быть отношение наиболее гидрофильной фракции к наиболее гидрофобной, т. е. 1-го и 4-го пиков хроматографической кривой. Чем ниже это соотношение, тем больше выражена гидрофобность компонентов ГВ (Милановский и др., 2005; Дымов и др., 2015). Соотношения долей 1-й и 4-й хроматографической фракции для разных вариантов использования чернозема представлены на рисунке 3.

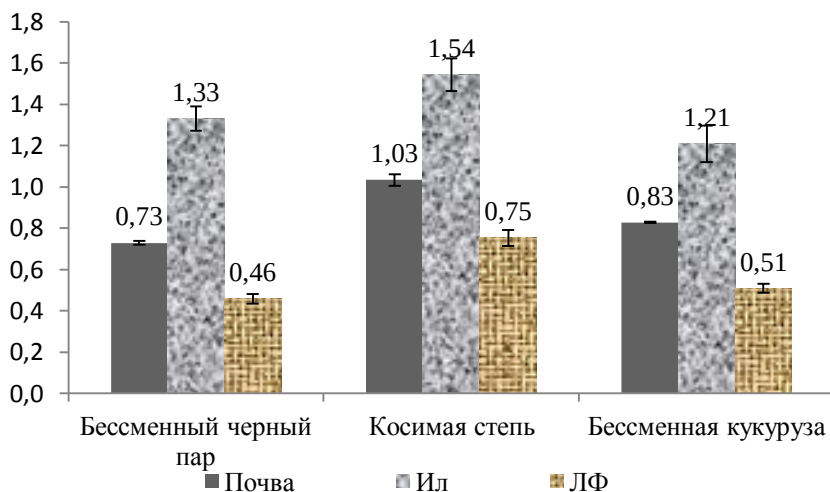


Рис. 3. Степень гидрофильности ГВ чернозема разных вариантов использования.

Fig. 3. Degree of hydrophilicity of chernozem soil in different land use cases.

Стоит отметить, при одинаковой направленности изменения степени гидрофильности ГВ как почв, так и почвенных фракций интенсивность изменений различна. Так ГВ ЛФ “косимой степи” оказались на 63% более гидрофильными, по сравнению с ГВ ЛФ “бессменного черного пара”, и на 47% – по сравнению с ГВ ЛФ “бессменной кукурузы”. В то время как гидрофильность ГВ ила отличалась на 16 и 27% соответственно. Гидрофильность ГВ исходной почвы на делянке “косимой степи” была на 41% выше гидрофильности ГВ в почве на делянке “бессменного черного па-

ра” и на 24% выше, чем в почве делянки “бессменной кукурузы”. Снижение гидрофильности ГВ почвы и почвенных фракций пахотного слоя “бессменного черного пара”, по сравнению с аналогичным слоем чернозема “косимой степи”, объясняется природой гидрофильных компонентов ГВ, а именно их подвижностью ввиду сродства к воде. Свежее ОВ в почву “бессменного черного пара” не поступало, а значит, имеющееся ОВ либо накапливалось в месте своего образования в случае гидрофобной природы, либо мигрировало вниз по почвенному профилю в случае гидрофильной природы. Гидрофобизация органических остатков при их гумификации происходит за счет селективной микробиологической утилизации гидрофильных (углеводы, сахара и т. д.) индивидуальных соединений и структурных алифатических фрагментов макромолекул, содержащих кислород и азот, а также выноса из зоны гумификации водорастворимых органических соединений. В результате происходит остаточное накопление неподвижных, не связанных с минеральной матрицей, биотермодинамически устойчивых (в данных экологических условиях) продуктов гумификации *in situ*, обладающих пониженным содержанием алифатических структур и функциональных групп – гидрофобных ГВ ([Милановский, 2009](#)).

На участке “бессменной кукурузы” степень гидрофильности ГВ как почвы в целом, так и почвенных фракций была несколько выше, чем в “бессменном черном паре”. Увеличение гидрофильности было выявлено одновременно с большим содержанием общего углерода в почве, обусловленного поступлением растительных остатков кукурузы.

В более ранней работе ([Матвеева и др., 2020](#)) гидрофобно-гидрофильные свойства поверхности твердой фазы этих же почв определялись путем измерения краевого угла смачивания (КУС) методом сидячей капли. Было показано, что большое содержание гидрофобных функциональных групп на поверхности твердой фазы характеризуется наибольшими величинами КУС и характерно для нативной, не обрабатываемой почвы “косимой степи”, которая также отличается от других исследованных вариантов опыта по всем изученным физико-химическим показателям. Механическая обработка почвы в виде вспашки с оборотом пласта, парование

приводят к изменениям физико-химических свойств почв и качественного состава ОВ в сторону их ухудшения и снижения как содержания углерода, так и величины КУС. Для изученных почв величина КУС меняется в следующем ряду: “косимая степь” ($45.0^\circ \pm 2.8^\circ$) > “бессменная кукуруза” ($35.4^\circ \pm 3.3^\circ$) > “бессменный черный пар” ($32.1^\circ \pm 2.1^\circ$). Таким образом, наблюдается прямая корреляция между гидрофобностью твердой фазы почв и степенью гидрофильности ГВ исходных почв и ЛФ. При этом гидрофильность илистой фракции снижается в ряду: “косимая степь” > “бессменный черный пар” > “бессменная кукуруза”. Различие в степени гидрофильности ГВ ила указывает на большую минерализацию ОВ ила чернозема “бессменного черного пара” по сравнению с черноземом “бессменной кукурузы”, что, по всей видимости, обусловлено отсутствием поступления свежего ОВ в почву “бессменного черного пара”.

Чем выше соотношение площадей 1-го и 4-го пиков, тем больше выражена гидрофильность исследуемых ГВ. Положительная корреляция между КУС и этим соотношением указывает на то, что увеличение гидрофобности поверхности твердой фазы почв происходит одновременно с увеличением доли гидрофильных компонентов в составе ГВ. Это легко объясняется особенностями связей между органическим веществом и минеральной поверхностью, так как последняя является гидрофильной, то устойчивая связь с ней может возникнуть только за счет взаимодействия полярных групп. Таким образом, полярные (гидрофильные) функциональные группы соединяются с минеральной поверхностью, а гидрофобные функциональные группы будут ориентированы наружу (что характерно для илистой фракции). Как мы видим, относительное накопление гидрофильных компонентов ГВ происходит с одновременным увеличением содержания углерода в почве, что может свидетельствовать не только о продуктивности, но и об устойчивости системы в целом. Как уже отмечалось ранее, чувствительность ЛФ к изменению антропогенной нагрузки выше, чем илистой, т. к. она представлена преимущественно свободным ОВ, не связанным с минеральной матрицей почвы. Это утверждение также подтверждается большей интенсивностью изменения степени гидрофильности ГВ ЛФ по сравнению с ГВ ила.

Относительное накопление гидрофильных компонентов ГВ в почве “косимой степи” обусловлено существенно большим поступлением растительных остатков в верхний слой почвы, по сравнению с черноземом “бессменного черного пара” и “бессменной кукурузы”. Различия гидрофобно-гидрофильных свойств ГВ почвы “бессменного черного пара” и “бессменной кукурузы” могут определяться наличием/отсутствием растительных остатков и экссудатов корней кукурузы. Ввиду того, что привнос растительных остатков в почву “бессменного черного пара” длительное время был минимальным, повышение гидрофобности его ОВ, не связанного с минеральной матрицей (ЛФ), обусловлено микробной минерализацией и частично выносом подвижных гидрофильных молекул из пахотного горизонта. В почву под “бессменной кукурузой”, в отличие от почвы “бессменного черного пара”, поступали и корневые выделения, которые приводят к гидрофобизации твердой фазы почв. Данное предположение согласуется с результатами исследования влияния корневых выделений сельскохозяйственных культур, в том числе и корневых выделений кукурузы, на гидрофобно-гидрофильные свойства поверхности твердой фазы почв при моделировании системы с использованием песка и ила с различным содержанием корневых выделений растений ([Ahmed et al., 2016](#); [Moradi et al., 2012](#); [Zickenrott et al., 2016](#)). Отмечалось увеличение гидрофобности поверхности песка при увеличении содержания в нем корневых выделений кукурузы ([Zickenrott et al., 2016](#)). Поверхность растительных остатков, в большом количестве поступающих в почву при выращивании кукурузы, также является гидрофобной. Так увеличение количества гидрофобных выделений в почву способствует сохранению гидрофильных компонентов, что обуславливает устойчивость почвы к деградационным изменениям.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ полученных результатов свидетельствует о том, что гидрофобно-гидрофильные свойства ГВ чернозема и его гранулоденсиметрических фракций зависят от условий землепользования.

Состав ГВ чувствителен к виду антропогенной нагрузки – при большем поступлении растительных остатков и кислорода в

пахотном слое почвы формируется гидрофильное ОВ, которое, в свою очередь, из-за сродства к воде обладает подвижностью и большей доступностью для поглощения почвенной биотой.

Относительное накопление гидрофильных компонентов в составе ГВ при одновременном увеличении гидрофобности поверхности твердой фазы почвы может свидетельствовать об устойчивости почвы в целом.

Состав ГВ почвенных фракций более чувствителен к изменениям нагрузки, чем почва в целом, поэтому изучение их гидрофобно-гидрофильных свойств следует использовать при мониторинге деградационных изменений сельскохозяйственных почв.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Адерихин П.Г., Богатырева З.С. Воздействие защитных лесных насаждений на содержание и состав органического вещества обыкновенных черноземов Каменной Степи // Почвоведение. 1974. № 5. С. 43–53.
2. Артемьева З.С. Органическое вещество и гранулометрическая система почвы // Издательство: ГЕОС. 2010. 240 с.
3. Артемьева З.С., Кириллова Н.П. Роль продуктов органо-минерального взаимодействия в структурообразовании и гумусообразовании основных типов почв центра Русской равнины // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. 2017. Вып. 90. С. 73–95. DOI: [10.19047/0136-1694-2017-90-73-95](https://doi.org/10.19047/0136-1694-2017-90-73-95).
4. Басов Г.Ф., Грищенко М.Н. Гидрологическая роль лесных полос (по данным исследований, проведенных в Каменной Степи). М.: Гослесбумиздат, 1963. 201 с.
5. Беспалов В.А., Чевердин Ю.И., Титова Т.В. Трансформация почвенного поглощающего комплекса черноземных почв каменной степи при длительном постмелиоративном воздействии // Агрофизика. 2018. № 4. С. 9–16.
6. Дымов А.А., Милановский Е.Ю. Изменение органического вещества таежных почв в процессе естественного лесовозобновления растительности после рубок (средняя тайга Республики Коми) // Почвоведение. 2014. № 1. С. 39–47.
7. Дымов А.А., Милановский Е.Ю., Холодов В.А. Состав и гидрофобные свойства органического вещества денситметрических фракций почв Приполярного Урала // Почвоведение. 2015. № 11. С. 1335–1345.
8. Зборишук Ю.Н. Особенности гумуса черноземов обыкновенных

Каменной Степи // Вестник Московского университета. Серия 17: Почвоведение. 2007. № 2. С. 3–9.

9. Козут Б.М., Шульц Э., Титова Н.А., Холодов В.А. Органическое вещество гранулоденсиметрических фракций целинного и пахотного типичного чернозема // Агрохимия. 2010. № 8. С. 3–9.

10. Козут Б.М., Титова Н.А., Булеева В.С. Антропогенная трансформация качественного состава гумуса черноземов Каменной Степи // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. 2009. Вып. 64. С. 41–49.

11. Кононова М.М., Бельчикова Н.П. Процессы превращения органических веществ в обыкновенном черноземе при применении комплекса Докучаева-Костычева-Вильямса // Вопросы травопольной системы земледелия. М.: Изд-во АН СССР, 1953. Т. II. С. 303–360.

12. Лебедева И.И., Базыкина Г.С., Гребенников А.М., Чеве́рдин Ю.И., Беспалов В.А. Опыт комплексной оценки влияния длительности земледельческого использования на свойства и режимы агрочерноземов Каменной степи // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. 2016. Вып. 83. С. 77–102. DOI: [10.19047/0136-1694-2016-83-77-102](https://doi.org/10.19047/0136-1694-2016-83-77-102).

13. Мамонтов В.Г., Соколовская Е.Л. Элементный и молекулярно-массовый состав лабильных гумусовых веществ чернозема обыкновенного каменной степи // Известия ТСХА. 2018. № 1. С. 130–138.

14. Матвеева Н.В., Милановский Е.Ю., Хайдапова Д.Д., Рогова О.Б. Краевой угол смачивания как интегральный показатель физико-химических свойств черноземов Каменной степи // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. 2020. Вып. 101. С. 76–123. DOI: [10.19047/0136-1694-2020-101-76-123](https://doi.org/10.19047/0136-1694-2020-101-76-123).

15. Милановский Е.Ю. Амфифильные компоненты гумусовых веществ почв // Почвоведение. 2000. № 6. С. 706–715.

16. Милановский Е.Ю., Шейн Е.В., Русанов А.М., Засыпкина Д.И., Николаева Е.И., Анилова Л.В. Почвенная структура и органическое вещество типичных черноземов Предуралья под лесом и многолетней пашней // Вестник Оренбургского государственного университета. 2005. № 2. С. 113–117.

17. Милановский Е.Ю. Гумусовые вещества почв как природные гидрофобно-гидрофильные соединения. М.: ГЕОС, 2009. 188 с.

18. Семенов В.М., Тулина А.С., Семенова Н.А., Иванникова Л.А. Гумификационные и негумификационные пути стабилизации органического вещества в почве (обзор) // Почвоведение. 2013. № 4. С. 393–407.

19. Скрыльник Е.В., Шевченко Н.В., Потирный М.А., Николов О.Т.

Конформационные перестройки супраструктуры гуминовых кислот чернозема типичного в зависимости от способов обработки почвы // Известия Национальной академии наук Беларуси. Серия биологических наук. 2018. 63 (2). С. 209–221.

20. *Травникова Л.С.* Закономерности гумусонакопления: новые данные и их интерпретация // Почвоведение. 2002. № 7. С. 832–843. URL: <http://pascal-francis.inist.fr/vibad/index.php?action=getRecordDetail&idt=13839501>.

21. *Чевеердин Ю.И., Беспалов В.А.* Пространственное варьирование содержания гумуса в черноземах Каменной Степи // Плодородие. 2011. № 4. С. 28–29.

22. *Шаймухаметов М.Ш., Тутова Н.А., Травникова Л.С.* Применение физических методов фракционирования для характеристики органического вещества почв // Почвоведение. 1984. № 8. С. 131–141.

23. *Ahmed M.A., Kroener E., Benard P., Zarebanadkouki M., Kaestner A., Carminati A.* Drying of mucilage causes water repellency in the rhizosphere of maize: Measurements and modeling // Plant Soil. 2016. Iss. 407. pp. 161–171. URL: [10.1007/s11104-015-2749-1](https://doi.org/10.1007/s11104-015-2749-1).

24. *Aquino A.J., Tunega D., Pašalić H., Schaumann G.E., Haberhauer G., Gerzabek M.H., Lischka H.* Molecular dynamics simulations of water molecule-bridges in polar domains of humic acids // Environmental science & technology. 2011. Vol. 45. Iss. 19. P. 8411–8419. DOI: [10.1021/es201831g](https://doi.org/10.1021/es201831g).

25. *Bachmann J., Goebel M.-O., Krueger J., Fleige H., Woche S., Dörner J., Horn R.* Aggregate stability of south Chilean volcanic ash soils – A combined XPS, contact angle, and surface charge analysis // Geoderma. 2020. Iss. 361. pp. 114022. DOI: [10.1016/j.geoderma.2019.114022](https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2019.114022).

26. *Baldock J.A., Beare M.H., Curtin D., Hawke B. Stocks.* Composition and vulnerability to loss of soil organic carbon predicted using mid-infrared spectroscopy // Soil Research. 2018. Vol. 56(5). P. 468–480. DOI: [10.1071/SR17221](https://doi.org/10.1071/SR17221).

27. *Balesdent J.* The turnover of soil organic fractions estimated by radiocarbon dating // Science of the Total Environment. 1987. Vol. 62. P. 405–408. DOI: [10.1016/0048-9697\(87\)90528-6](https://doi.org/10.1016/0048-9697(87)90528-6).

28. *Buyanovsky G.A., Aslam M., Wagner G.H.* Carbon turnover in soil physical fractions // Soil Science Society of America Journal. 1994. Vol. 58(4). P. 1167–1173. DOI: [10.2136/sssaj1994.03615995005800040023x](https://doi.org/10.2136/sssaj1994.03615995005800040023x).

29. *Campbell C.A., Biederbeck V.O., Zentner R.P., Lafond G.P.* Effect of crop rotations and cultural practices on soil organic matter, microbial biomass and respiration in a thin Black Chernozem // Canadian Journal of Soil Science. 1991. Vol. 71. Iss. 3. P. 363–376. DOI: [10.4141/cjss91-035](https://doi.org/10.4141/cjss91-035).

30. *Capriel P.* Hydrophobicity of organic matter in arable soils: influence of

management // *European Journal of Soil Science*. 1997. Vol. 48. Iss. 3. P. 457–462.

31. *Chen J., Shang C., Eick M.J., Stewart R.D.* Water repellency decreases vapor sorption of clay minerals // *Water Resources Research*. 2018. Vol. 54. Iss. 9. P. 6114–6125.

32. *Christensen B.T.* Physical fractionation of soil and organic matter in primary particle size and density separates, In: *Advances in soil science*. 1992. P. 1–90. DOI: [10.1007/978-1-4612-2930-8_1](https://doi.org/10.1007/978-1-4612-2930-8_1).

33. *Chung H., Grove J.H., Six J.* Indications for soil carbon saturation in a temperate agroecosystem // *Soil Science Society of America Journal*. 2008. Vol. 72. Iss. 4. P. 1132–1139. DOI: [10.2136/sssaj2007.0265](https://doi.org/10.2136/sssaj2007.0265).

34. *Cihlář Z., Vojtová L., Conte P., Nasir S., Kučerík J.* Hydration and water holding properties of cross-linked lignite humic acids // *Geoderma*. 2014. Vol. 230. P. 151–160. DOI: [10.1016/j.geoderma.2014.04.018](https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2014.04.018).

35. *Curtin D., Beare M.H., Weiwen Q.I.U., Sharp J.* Does particulate organic matter fraction meet the criteria for a model soil organic matter pool? // *Pedosphere*. 2019. Vol. 29. Iss. 2. P. 195–203. DOI: [10.1016/S1002-0160\(18\)60049-9](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(18)60049-9).

36. *Diamantis V., Pagorogon L., Gazani E., Doerr S.H., Pliakas F., Ritsema C.J.* Use of olive mill wastewater (OMW) to decrease hydrophobicity in sandy soil // *Ecological engineering*. 2013. Vol. 58. P. 393–398.

37. *Dungait J.A., Hopkins D.W., Gregory A.S., Whitmore A.P.* Soil organic matter turnover is governed by accessibility not recalcitrance // *Global Change Biology*. 2012. Vol. 18. Iss. 6. P. 1781–1796. DOI: [10.1111/j.1365-2486.2012.02665.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2012.02665.x).

38. *Eusterhues K., Rumpel C., Kleber M., Kögel-Knabner I.* Stabilisation of soil organic matter by interactions with minerals as revealed by mineral dissolution and oxidative degradation // *Organic Geochemistry*. 2003. Vol. 34. Iss. 12. P. 1591–1600. DOI: [10.1016/j.orggeochem.2003.08.007](https://doi.org/10.1016/j.orggeochem.2003.08.007).

39. *Gregorich E.G., Beare M.H.* Physically uncomplexed organic matter // *Soil sampling and methods of analysis*. 2008. P. 607–616.

40. *Gregorich E.G., Beare M.H., McKim U.F., Skjemstad J.O.* Chemical and biological characteristics of physically uncomplexed organic matter // *Soil Science Society of America Journal*. 2006. Vol. 70. Iss. 3. P. 975–985. DOI: [10.2136/sssaj2005.0116](https://doi.org/10.2136/sssaj2005.0116).

41. *Kaiser K., Guggenberger G.* Mineral surfaces and soil organic matter // *European Journal of Soil Science*. 2003. Vol. 54. Iss. 2. P. 219–236.

42. *Kraemer F.B., Hallett P.D., Morras H., Garibaldi L., Cosentino D., Duval M., Galantini J.* Soil stabilisation by water repellency under no-till management for soils with contrasting mineralogy and carbon quality // *Geoderma*. 2019. Vol. 355. P. 1–11. DOI: [10.1016/j.geoderma.2019.113902](https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2019.113902).

43. *Leelamanie D.A.L., Karube J., Yoshida A.* Clay effects on the contact angle and water drop penetration time of model soils // *Soil Science and Plant Nutrition*. 2010. Vol. 56. Iss. 3. P. 371–375.
44. *Moradi A.B., Carminati A., Lamparter A., Woche S.K., Bachmann J., Vetterlein D., Vogel H.J., Oswald S.E.* Is the Rhizosphere Temporarily Water Repellent? // *Vadose Zone Journal*. 2012. Vol. 11. Iss. 3. DOI: [10.2136/vzj2011.0120](https://doi.org/10.2136/vzj2011.0120).
45. *Shakesby R., Doerr S., Walsh R.* The erosional impact of soil hydrophobicity: current problems and future research directions // *Journal of hydrology*. 2000. Vol. 231. P. 178–191.
46. *Shang J., Flury M., Harsh J.B., Zollars R.L.* Comparison of different methods to measure contact angles of soil colloids // *Journal of Colloid and Interface Science*. 2008. Vol. 328. Iss. 2. P. 299–307.
47. *Šimon T., Javůrek M., Mikanova O., Vach M.* The influence of tillage systems on soil organic matter and soil hydrophobicity // *Soil and Tillage Research*. 2009. Vol. 105. Iss. 1. P. 44–48.
48. *Six J., Conant R.T., Paul E.A., Paustian K.* Stabilization mechanisms of soil organic matter: implications for C-saturation of soils // *Plant and soil*. 2002. Vol. 241. Iss. 2. P. 155–176.
49. *Skjemstad J.O., Spouncer L.R., Cowie B., Swift R.S.* Calibration of the Rothamsted organic carbon turnover model (RothC ver. 26.3), using measurable soil organic carbon pools. *Soil Research*. 2004. Vol. 42. Iss. 1. P. 79–88. DOI: [10.1071/SR03013](https://doi.org/10.1071/SR03013).
50. *Whalen J.K., Bottomley P.J., Myrold D.D.* Carbon and nitrogen mineralization from light-and heavy-fraction additions to soil // *Soil Biology and Biochemistry*. 2000. Vol. 32. Iss. 10. P. 1345–1352. DOI: [10.1016/S0038-0717\(00\)00040-7](https://doi.org/10.1016/S0038-0717(00)00040-7).
51. *World Reference Base for soil resources 2014*: international soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps, World Soil Resources Report (106).
52. *Zhang G.S., Chan K.Y., Oates A., Heenan D.P., Huang G.B.* Relationship between soil structure and runoff/soil loss after 24 years of conservation tillage // *Soil and Tillage Research*. 2007. Vol. 92. Iss. 1–2. P. 122–128. DOI: [10.1016/j.still.2006.01.006](https://doi.org/10.1016/j.still.2006.01.006).
53. *Zickenrott I.M., Woche S.K., Bachmann J., Ahmed M.A., Vetterlein D.* An efficient method for the collection of root mucilage from different plant species: A case study on the effect of mucilage on soil water repellency // *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 2016. Iss. 179. P. 294–302. DOI: [10.1002/jpln.201500511](https://doi.org/10.1002/jpln.201500511).
54. *Zimmermann M., Leifeld J., Schmidt M., Smith P., Fuhrer J.* Measured soil organic matter fractions can be related to pools in the RothC model //

European Journal of Soil Science. 2007. Vol. 58(3). P. 658–667. DOI: [10.1111/j.1365-2389.2006.00855.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.2006.00855.x).

REFERENCES

1. Aderihin P.G., Bogatyreva Z.S., Vozdejstvie zashchitnyh lesnyh nasazhdenij na sodержanie i sostav organicheskogo veshchestva obyknovennyh chernozemov Kamennoj Stepi (Impact of protective forest stands on the content and composition of organic matter of ordinary chernozems of the Kamennaya Steppe), *Pochvovedenie*, 1974, Vol. 5, pp. 43–53.
2. Artemyeva Z.S., *Organicheskoe veshchestvo i granulometricheskaya sistema pochvy* (Organic matter and particle size distribution of the soil system), Moscow: Izdatel'stvo GEOS, 2010, 240 p.
3. Artemyeva Z.S., Kirillova N.P., The Role of Organic and Mineralogical Interaction Products in the Structure Forming and Humus Forming of the Basic Types of Soils in the Center of Russian Plain, *Dokuchaev Soil Bulletin*, 2017, Vol. 90, pp.73–95, DOI: [10.19047/0136-1694-2017-90-73-95](https://doi.org/10.19047/0136-1694-2017-90-73-95).
4. Basov G.F., Grishchenko M.N., *Gidrologicheskaya rol' lesnyh polos (po dannym issledovanij, provedennyh v Kamennoj stepi)* (Hydrological role of forest belts (according to research carried out in the Stone Steppe)), Moscow: Goslesbumizdat, 1963, 201 p.
5. Bespalov V.A., CHEverdin Yu.I., Titova T.V., Transformaciya pochvennogo pogloshchayushchego kompleksa chernozemnyh pochv kamennoj stepi pri dlitel'nom postmeliorativnom vozdejstvii (Transformation of the soil absorbing complex of chernozem soils of the Kamennaya steppe under long-term post-meliorative influence), *Agrofizika*, 2018, Vol. 4, pp. 9–16.
6. Dymov A.A., Milanovskij E.Yu., Izmenenie organicheskogo veshchestva taezhnyh pochv v processe estestvennogo lesovozobnovleniya rastitel'nosti posle rubok (srednyaya tajga Respubliki Komi) (Changes in the organic matter of taiga soils in the process of natural reforestation of vegetation after logging (middle taiga of the Komi Republic), *Pochvovedenie*, 2014, Vol. 1, pp. 39–47.
7. Dymov A.A., Milanovskij E.Yu., Holodov V.A., Sostav i gidrofobnye svoystva organicheskogo veshchestva densimetricheskikh frakcij pochv Pripolyarnogo Urala (Composition and hydrophobic properties of organic matter of densimetric fractions of soils of the Circumpolar Urals), *Pochvovedenie*, 2015, Vol. 11, pp. 1335–1345.
8. Zborishchuk Yu.N., Osobennosti gumusa chernozemov obyknovennyh Kamennoj Stepi (Characteristics of the humus of Chernozem ordinary of Kamennaya Steppe), *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 17*:

Pochvovedenie, 2007, Vol. 2, pp. 3–9.

9. Kogut B.M., Shul'ts E., Titova N.A., Kholodov V.A., Organicheskoe veshchestvo granulodensimetricheskikh fraktsii tselinnogo i pakhotnogo tipichnogo chernozema (Organic matter of granulodensimetric fractions of virgin and arable typical chernozem), *Agrohimiya*, 2010, Vol. 8, pp. 3–9.

10. Kogut B.M., Titova N.A., Buleeva V.S., Antropogennaya transformatsiya kachestvennogo sostava gumusa chernozemov Kamennoj Step'i (Anthropogenic transformation of the qualitative composition of the humus of the chernozems of the Stone Steppe), *Dokuchaev Soil Bulletin*, 2009, Vol. 64, pp. 41–49.

11. Kononova M.M., Bel'chikova N.P., Processy prevrashcheniya organicheskikh veshchestv v obyknovennom chernozeme pri primenении kompleksa Dokuchaeva-Kostycheva-Vil'yamsa (The processes of transformation of organic substances in ordinary chernozem when using the Dokuchaev-Kostychev-Williams complex), In: *Voprosy travopol'noj sistemy zemledeliya* (Grass farming issues), Moscow: Izd-vo AN SSSR, 1953, Vol. II, pp. 303–360.

12. Lebedeva I.I., Bazykina G.S., Grebennikov A.M., Cheverdin Yu.I., Bespalov V.A., The experience of the complex assesment of the impact of the length of agricultural use on properties and regimes of agrochernozems of Stony Steppe, *Dokuchaev Soil Bulletin*, 2016, Vol. 83, pp. 77–102, DOI: [10.19047/0136-1694-2016-83-77-102](https://doi.org/10.19047/0136-1694-2016-83-77-102).

13. Mamontov V.G., Sokolovskaya E.L., Elementnyi i molekulyarno-massovyj sostav labil'nykh gumusovykh veshchestv chernozema obyknovennogo kamennoi stepi (The elemental and molecular mass composition of labile humic substances of chernozem of ordinary Kamennaya steppe), *Izvestiya TSKhA*, 2018, Vol. 1, pp. 130–138.

14. Matveeva N.V., Milanovskij E.Yu., Khaidapova D.D., Rogova O.B., The contact angle of wetting as an integral indicator of physical-chemical properties of Chernozems of Kamennaya Steppe, *Dokuchaev Soil Bulletin*, 2020, Vol. 101, pp. 76–123, DOI: [10.19047/0136-1694-2020-101-76-123](https://doi.org/10.19047/0136-1694-2020-101-76-123).

15. Milanovskij E.Yu., Amfifil'nye komponenty gumusovykh veshchestv pochv (Amphiphilic components of humus substances of soils), *Pochvovedenie*, 2000, Iss. 6, pp. 706–715.

16. Milanovskij E.Yu., Shein E.V., Rusanov A.M., Zasypkina D.I., Nikolaeva E.I., Anilova L.V., Pochvennaya struktura i organicheskoe veshchestvo tipichnykh chernozemo Predural'ya pod lesom i mnogoletnej pashnej (Soil structure and organic matter of typical chernozems of the Urals under forest and perennial arable land. Humus substances of soils as natural hydrophobic-hydrophilic compounds), *Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2005, Vol. 2, pp. 113–117.

17. Milanovskij E.Yu., *Gumusovye veshchestva pochv kak prirodnye gidrofobno-gidrofil'nye soedineniya* (Conformational rearrangements of the suprastructure of humic acids of typical chernozem depending on the methods of tillage), Moscow: GEOS, 2009, 188 p.
18. Semenov V.M., Tulina A.S., Semenova N.A., Ivannikova L.A., Gumifikacionnye i negumifikacionnye puti stabilizacii organicheskogo veshchestva v pochve (obzor) (Humification and non-humification ways to stabilize organic matter in the soil (review)), *Pochvovedenie*, 2013, Vol. 4, pp. 393–407.
19. Skryl'nik E.V., Shevchenko N.V., Popirnyi M.A., Nikolov O.T., Konformatsionnye perestroiki suprastruktury guminovykh kislot chernozema tipichnogo v zavisimosti ot sposobov obrabotki pochvy (Conformational rearrangements of the suprastructure of humic acids of chernozem typical depending on soil cultivation methods), *Izvestiya Natsional'noi akademii nauk Belarusi. Seriya biologicheskikh nauk*, 2018, Vol. 63, Iss. 2, pp. 209–221.
20. Travnikova L.S., Zakonomernosti gumusonakopleniya: novye dannye i ih interpretaciya (Regularities of humus accumulation: new data and their interpretation), *Pochvovedenie*, 2002, No. 7, pp. 832–843.
21. Cheverdin Yu.I., Bepalov V.A., Prostranstvennoe var'irovanie soderzhaniya gumusa v chernozemakh Kamennoi Stepi (Spatial variation of the humus content in chernozems of the Kamennaya Steppe), *Plodorodie*, 2011, Vol. 4, pp. 28–29.
22. Shajmuhametov M.Sh., Titova N.A., Travnikova L.S., Primenenie fizicheskikh metodov frakcionirovaniya dlya harakteristiki organicheskogo veshchestva pochv (Application of physical fractionation methods to characterize soil organic matter), *Pochvovedenie*, 1984, Vol. 8, pp. 131–141.
23. Ahmed M.A., Kroener E., Benard P., Zarebanadkouki M., Kaestner A., Carminati A., Drying of mucilage causes water repellency in the rhizosphere of maize: Measurements and modeling, *Plant Soil*, 2016, Iss. 407, pp. 161–171, DOI: [10.1007/s11104-015-2749-1](https://doi.org/10.1007/s11104-015-2749-1).
24. Aquino A.J., Tunega D., Pašalić H., Schaumann G.E., Haberhauer G., Gerzabek M.H., Lischka H., Molecular dynamics simulations of water molecule-bridges in polar domains of humic acids, *Environmental science & technology*, 2011, Vol. 45, Iss. 19, pp. 8411–8419, DOI: [10.1021/es201831g](https://doi.org/10.1021/es201831g).
25. Bachmann J., Goebel M.-O., Krueger J., Fleige H., Woche S., Dörner J., Horn R., Aggregate stability of south Chilean volcanic ash soils – A combined XPS, contact angle, and surface charge analysis, *Geoderma*, 2020, Iss. 361, pp. 114022, DOI: [10.1016/j.geoderma.2019.114022](https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2019.114022).
26. Baldock J.A., Beare M.H., Curtin D., Hawke B. Stocks, Composition and vulnerability to loss of soil organic carbon predicted using mid-infrared spectroscopy, *Soil Research*, 2018, Vol. 56(5), pp. 468–480, DOI:

[10.1071/SR17221](https://doi.org/10.1071/SR17221).

27. Balesdent J., The turnover of soil organic fractions estimated by radiocarbon dating, *Science of the Total Environment*, Vol. 62, pp. 405–408, DOI: [10.1016/0048-9697\(87\)90528-6](https://doi.org/10.1016/0048-9697(87)90528-6).

28. Buyanovsky G.A., Aslam M., Wagner G.H., Carbon turnover in soil physical fractions, *Soil Science Society of America Journal*, 1994, Vol. 58(4), pp. 1167–1173, DOI: [10.2136/sssaj1994.03615995005800040023x](https://doi.org/10.2136/sssaj1994.03615995005800040023x).

29. Campbell C.A., Biederbeck V.O., Zentner R.P., Lafond G.P., Effect of crop rotations and cultural practices on soil organic matter, microbial biomass and respiration in a thin Black Chernozem, *Canadian Journal of Soil Science*, 1991, Vol. 71, Iss. 3, pp. 363–376, DOI: [10.4141/cjss91-035](https://doi.org/10.4141/cjss91-035).

30. Capriel P., Hydrophobicity of organic matter in arable soils: influence of management, *European Journal of Soil Science*, 1997, Vol. 48, Iss. 3, pp. 457–462.

31. Chen J., Shang C., Eick M.J., Stewart R.D., Water repellency decreases vapor sorption of clay minerals, *Water Resources Research*, 2018, Vol. 54, Iss. 9, pp. 6114–6125.

32. Christensen B.T., Physical fractionation of soil and organic matter in primary particle size and density separates, In: *Advances in soil science*, 1992, pp. 1–90, DOI: [10.1007/978-1-4612-2930-8_1](https://doi.org/10.1007/978-1-4612-2930-8_1).

33. Chung H., Grove J.H., Six J., Indications for soil carbon saturation in a temperate agroecosystem, *Soil Science Society of America Journal*, 2008, Vol. 72, Iss. 4, pp. 1132–1139, DOI: [10.2136/sssaj2007.0265](https://doi.org/10.2136/sssaj2007.0265).

34. Cihlár Z., Vojtová L., Conte P., Nasir S., Kučerík J., Hydration and water holding properties of cross-linked lignite humic acids, *Geoderma*, 2014, Vol. 230, pp. 151–160, DOI: [10.1016/j.geoderma.2014.04.018](https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2014.04.018).

35. Curtin D., Beare M.H., Weiwen Q.I.U., Sharp J., Does particulate organic matter fraction meet the criteria for a model soil organic matter pool? *Pedosphere*, 2019, Vol. 29, Iss. 2, pp. 195–203, DOI: [10.1016/S1002-0160\(18\)60049-9](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(18)60049-9).

36. Diamantis V., Pagorogon L., Gazani E., Doerr S.H., Pliakas F., Ritsema C.J., Use of olive mill wastewater (OMW) to decrease hydrophobicity in sandy soil, *Ecological engineering*, 2013, Vol. 58, pp. 393–398.

37. Dungait J.A., Hopkins D.W., Gregory A.S., Whitmore A.P., Soil organic matter turnover is governed by accessibility not recalcitrance, *Global Change Biology*, 2012, Vol. 18, Iss. 6, pp. 1781–1796, DOI: [10.1111/j.1365-2486.2012.02665.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2012.02665.x).

38. Eusterhues K., Rumpel C., Kleber M., Kögel-Knabner I., Stabilisation of soil organic matter by interactions with minerals as revealed by mineral dissolution and oxidative degradation, *Organic Geochemistry*, 2003, Vol. 34, Iss. 12, pp. 1591–1600, DOI: [10.1016/j.orggeochem.2003.08.007](https://doi.org/10.1016/j.orggeochem.2003.08.007).

39. Gregorich E.G., Beare M.H., Physically uncomplexed organic matter, *Soil sampling and methods of analysis*, 2008, pp. 607–616.
40. Gregorich E.G., Beare M.H., McKim U.F., Skjemstad J.O., Chemical and biological characteristics of physically uncomplexed organic matter, *Soil Science Society of America Journal*, 2006, Vol. 70, Iss. 3, pp. 975–985, DOI: [10.2136/sssaj2005.0116](https://doi.org/10.2136/sssaj2005.0116).
41. Kaiser K., Guggenberger G., Mineral surfaces and soil organic matter, *European Journal of Soil Science*, 2003, Vol. 54, Iss. 2, pp. 219–236.
42. Kraemer F.B., Hallett P.D., Morras H., Garibaldi L., Cosentino D., Duval M., Galantini J., Soil stabilisation by water repellency under no-till management for soils with contrasting mineralogy and carbon quality, *Geoderma*, 2019, Vol. 355, pp. 1–11, DOI: [10.1016/j.geoderma.2019.113902](https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2019.113902).
43. Leelamanie D.A.L., Karube J., Yoshida A., Clay effects on the contact angle and water drop penetration time of model soils, *Soil Science and Plant Nutrition*, 2010, Vol. 56, Iss. 3, pp. 371–375.
44. Moradi A.B., Carminati A., Lamparter A., Woche S.K., Bachmann J., Vetterlein D., Vogel H.J., Oswald S.E., Is the Rhizosphere Temporarily Water Repellent? *Vadose Zone Journal*, 2012, Vol. 11, Iss. 3, DOI: [10.2136/vzj2011.0120](https://doi.org/10.2136/vzj2011.0120).
45. Shakesby R., Doerr S., Walsh R., The erosional impact of soil hydrophobicity: current problems and future research directions, *Journal of hydrology*, 2000, Vol. 231, pp. 178–191.
46. Shang J., Flury M., Harsh J.B., Zollars R.L., Comparison of different methods to measure contact angles of soil colloids, *Journal of Colloid and Interface Science*, 2008, Vol. 328, Iss. 2, pp. 299–307.
47. Šimon T., Javůrek M., Mikanova O., Vach M., The influence of tillage systems on soil organic matter and soil hydrophobicity, *Soil and Tillage Research*, 2009, Vol. 105, Iss. 1, pp. 44–48.
48. Six J., Conant R.T., Paul E.A., Paustian K., Stabilization mechanisms of soil organic matter: implications for C-saturation of soils, *Plant and soil*, 2002, Vol. 241, Iss. 2, pp. 155–176.
49. Skjemstad J.O., Spouncer L.R., Cowie B., Swift R.S., Calibration of the Rothamsted organic carbon turnover model (RothC ver. 26.3), using measurable soil organic carbon pools, *Soil Research*, 2004, Vol. 42, Iss. 1, pp. 79–88, DOI: [10.1071/SR03013](https://doi.org/10.1071/SR03013).
50. Whalen J.K., Bottomley P.J., Myrold D.D., Carbon and nitrogen mineralization from light- and heavy-fraction additions to soil, *Soil Biology and Biochemistry*, 2000, Vol. 32, Iss. 10, pp. 1345–1352, DOI: [10.1016/S0038-0717\(00\)00040-7](https://doi.org/10.1016/S0038-0717(00)00040-7).
51. World Reference Base for soil resources 2014: international soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps,

World Soil Resources Report (106).

52. Zhang G.S., Chan K.Y., Oates A., Heenan D.P., Huang G.B., Relationship between soil structure and runoff/soil loss after 24 years of conservation tillage, *Soil and Tillage Research*, 2007, Vol. 92, Iss. 1–2, pp. 122–128, DOI: [10.1016/j.still.2006.01.006](https://doi.org/10.1016/j.still.2006.01.006).

53. Zickenrott I.M., Woche S.K., Bachmann J., Ahmed M.A., Vetterlein D., An efficient method for the collection of root mucilage from different plant species: A case study on the effect of mucilage on soil water repellency, *J. Plant Nutr. Soil Sci.*, 2016, Iss. 179, pp. 294–302, DOI: [10.1002/jpln.201500511](https://doi.org/10.1002/jpln.201500511).

54. Zimmermann M., Leifeld J. Schmidt M., Smith P., Fuhrer J., Measured soil organic matter fractions can be related to pools in the RothC model, *European Journal of Soil Science*, 2007, Vol. 58(3), pp. 658–667, DOI: [10.1111/j.1365-2389.2006.00855.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.2006.00855.x).

УДК 631.44

DOI: 10.19047/0136-1694-2021-106-77-104



Ссылки для цитирования:

Гордиенко О.А., Иванцова Е.А. Морфологические особенности почвенного покрова склоновых земель юга Приволжской возвышенности в пределах урболандшафтов г. Волгограда // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. 2021. Вып. 106. С. 77-104. DOI: 10.19047/0136-1694-2021-106-77-104

Cite this article as:

Gordienko O.A., Ivantsova E.A., Morphological features of the soil cover of slope lands in the south of the Volga uplands within the urban landscapes of Volgograd, Dokuchaev Soil Bulletin, 2021, V. 106, pp. 77-104, DOI: 10.19047/0136-1694-2021-106-77-104

Морфологические особенности почвенного покрова склоновых земель юга Приволжской возвышенности в пределах урболандшафтов г. Волгограда

© 2021 г. О. А. Гордиенко^{1,2*}, Е. А. Иванцова¹

¹Волгоградский государственный университет, Россия,
400062, Волгоград, пр-т Университетский, 100,

*<https://orcid.org/0000-0001-5381-9114>, e-mail: oleg.gordienko.95@bk.ru.

²ФГБНУ “Федеральный научный центр агроэкологии,
комплексных мелиораций и защитного лесоразведения
Российской академии наук”, Россия,
400062, Волгоград, пр-т Университетский, 97.

Поступила в редакцию 13.10.2020, после доработки 20.01.2021,
принята к публикации 15.03.2021

Резюме: В работе рассматриваются морфологические особенности агрогенно-преобразованных каштановых почв склоновых земель юга Приволжской возвышенности в пределах урболандшафтов г. Волгограда. Установлено, что в результате агрогенеза, эрозии, смены землепользования, а также агролесомелиоративных мероприятий сформировались как антропогенные глубоко-преобразованные, так и постагрогенные почвы. Наибольшие изменения под влиянием агрогенеза отмечаются в морфологическом строении профилей. В результате

агрогенеза почвы деградируют за счет усиления процессов плоскостной и линейной эрозии. В эрозионно-деградированных почвах отмечается снижение мощности агрогумусированной толщи, формирование подплужного уплотнения, изменение структуры. Характерной их чертой является наличие на дневной поверхности гомогенного агроабрадированного горизонта глыбистой структуры, в нижней части которого могут находиться вторичные карбонаты, вовлеченные из карбонатного горизонта при его распашке. Почвы слабо подверженные и неподверженные эрозионным процессам имеют на поверхности агрогумусовый горизонт, который в зависимости от обработки почвы может иметь мощность от 19 до 36 см. В настоящее время на стационаре ежегодная сельскохозяйственная обработка почвы заключается в покосе сорной растительности и дисковании до 20 см. В более ранние годы производилась вспашка на глубину до 40 см. Все агрогенно-измененные почвы исследуемого участка характеризуются вскипанием с поверхности. Карбонатные новообразования как в естественных, так и в агрогенных почвах имеют сегрегационную форму, что свидетельствует о быстром летнем иссушении профиля и коротком периоде миграции почвенных растворов. Верхняя граница аккумулятивно-карбонатных горизонтов агрогенных почв в среднем на глубине 42 см. Такое залегание карбонатных горизонтов в целом характерно как для естественных незеродированных почв сухостепной зоны, так и для почв, вовлеченных в с/х землепользование. В результате подготовки почвы к посадке лесных насаждений исходные каштановые почвы трансформировались в агроземы турбированные за счет применения глубокой (до 60 см) мелиоративной обработки. Лесополоса, являясь барьером между полевыми частями, в течение более чем 70-летнего периода за счет постоянного привноса мелкозема, а также разложения листового и травянистого опада способствовала формированию стратифицированного горизонта (признака) мощностью 10 см.

Ключевые слова: агрогенез, трансформация почв, агроземы, каштановые почвы, Cambisols, классификация почв России, WRB.

Morphological features of the soil cover of slope lands in the south of the Volga uplands within the urban landscapes of Volgograd

O. A. Gordienko^{1,2*}, E. A. Ivantsova¹

¹*Volgograd State University*

100 Prospect Universitetsky, Volgograd 400062, Russian Federation,
*<https://orcid.org/0000-0001-5381-9114>, e-mail: oleg.gordienko.95@bk.ru.

²*Federal Scientific Centre of Agroecology, Complex Melioration, and
Protective Afforestation, Russian Academy of Sciences,*
97 Prospect Universitetsky, Volgograd 400062, Russian Federation.

Received 13.10.2020, Revised 20.01.2021, Accepted 15.03.2021

Abstract: The paper deals with morphological properties of agrogenically transformed chestnut soils of slope lands in the south of the Volga upland within the urban landscape of Volgograd. It is established that as a result of agrogenesis, erosion, land use change, as well as of agroforestry reclamation measures performed, both anthropogenic deeply transformed and postagrogenic soils have been formed. The greatest changes under the influence of agrogenesis are noted in morphological structure of profiles. Agrogenesis results in degradation of soils involved in active agricultural use due to intensified sheet and rill erosion. In eroded soils there is noticed a decrease in the thickness of agrohumic layer, formation of furrow bottom compaction and changes in structure. Their characteristic feature is the presence on the surface of a homogeneous agro-abraded horizon with lumpy structure, in the lower part of which secondary carbonates inherited from the carbonate horizon and resulted from deep plowing may occur. Soils slightly exposed and not exposed to erosion processes have an agrohumus horizon on the surface, which depending on soil tillage can have thickness from 19 to 36 cm. At present, the annual agricultural practices at the plot include mowing of weeds and disk plowing to 20 cm depth. Earlier moldboard plowing to 40 cm depth was performed. All agrogenically-modified soils are characterized by HCl reaction with carbonates from the surface. Carbonate accumulations in agrogenic soils, as a rule, have a segregated form that indicates rapid summer drying of the profile and short period of soil solutions migration. Upper boundary of accumulative-carbonate horizons of agrogenic soils on the average is at 42 cm depth. Such occurrence of carbonate horizons in general is typical both of natural non-eroded soils of dry-steppe zone and of soils involved in agricultural land use. Under forest plantations the original chestnut soils were transformed into turbated agrozems due to deep ameliorative cultivation preceded planting of woody and shrub vegetation. Soil preparation practices applied before tree species planting resulted in transformation of original chestnut soils into turbated agrozems, which is due to deep (up to 60 cm) soil reclamation. The forest belt, being a “barrier” between the field parts, contributed to the formation of a stratified small horizon (trait) of 10 cm

thickness for more than 70 years due to the constant inflow of fine-grained soil and decay of leaf and herbaceous debris.

Keywords: agrogenesis, transformation of soils, agrozems, chestnut soils, Cambisols, classification of soils in Russia, WRB.

ВВЕДЕНИЕ

На юге России естественные степные экосистемы практически полностью уничтожены в результате распашки земель. Сухостепные экосистемы за счет использования их в качестве пастбищ испытывают менее интенсивную антропогенную и агрогенную нагрузку. Значительные площади агроландшафтов юга Европейской части России подвержены деградации и опустыниванию. В структуре земельного фонда Волгоградской области преобладают сельскохозяйственные угодья, удельный вес которых равен 77.6% (8 770.3 тыс. га), включая 66.8% пашни и 33.2% сенокосов и пастбищ ([Национальный доклад..., 2019](#)).

В пределах Волгоградской области сухостепная зона располагается на Приволжской и Ергенинской возвышенностях, северной Сарпинской низменности, а также в Заволжье. В работе обсуждаются морфологические изменения в каштановых почвах и их комплексах только в пределах г. Волгограда, поскольку агропочвы общей площадью 174 км² занимают 19% от всей площади города.

Волгоград – город на юго-востоке Европейской части России с населением более 1 млн человек (2018 г.) и с площадью 825 км². Город характеризуется высоким уровнем воздействия на окружающую среду. Волгоград расположен в сухостепной природной зоне. Зональные каштановые почвы (светло-каштановые по К-1977 г. ([Классификация и диагностика почв СССР, 1977](#)), по WRB 2015 ([IUSS, 2015](#)) – Eutric Cambisols (Protocalcic), Eutric Cambisols (Protocalcic, Sodіc)) на автономных позициях образуют трехчленный почвенный комплекс с солонцами светлыми (солонцы каштановые, по К-1977 г., по WRB 2015 – Calcic Solonetz), а также каштановыми квазиглееватыми почвами (лугово-каштановые по К-1977 г., по WRB 2015 – Eutric Gleyic Cambisols (Protocalcic)) ([Гордиенко и др., 2019](#)). На территории г. Волгограда агропочвы входят в состав зоны сельскохозяйственного использо-

вания общей площадью 174 км² (19% от всей площади города). Такая большая доля агрогенных почв в составе городской территории обусловлена тем, что в 2014 г. к Советскому району города административно были присоединены восточные пахотные и залежные земли. Наличие больших ареалов агропочв в пределах города обуславливает актуальность данного исследования.

К зональным свойствам каштановых почв относятся: низкая гумусированность, солонцеватость, характерное распределение по профилю почв и специфическая морфологическая выраженность карбонатов, гипса, легкорастворимых солей ([Горохова и др., 2018, 2020](#); [Национальный доклад..., 2019](#)). Ввиду климатических и геоморфологических особенностей почвы часто подвержены деградации, а именно, смыву талыми и дождевыми водами, а также выдуванию ветром ([Национальный доклад..., 2019](#)). Агрогенные факторы и приемы, осуществляемые в зоне, значительным образом трансформируют верхние гумусово-аккумулятивные и срединные горизонты АJ и ВМК. При глубокой обработке каштановых почв затрагиваются и структурно-метаморфические и текстурно- и аккумулятивно-карбонатные горизонты ВМ, САТ и ВСА, почвы при этом переходят в отдел агроземов в тип агроземов текстурно- или аккумулятивно-карбонатных (P-САТ-Сса или P-ВСА-Сса). При распахке солонцы светлые трансформируются или в турбоземы постсолонцовые светлые (TUR{AJ+SEL+BSN}-ВМК-BCAs,cs-Сса,s) или в агроземы солонцовые светлые (P-TUR{SEL+BSN}-ВМК-BCAs,cs-Сса,s). В случае неглубокой обработки солонцов почвы остаются в отделе щелочно-глинисто-дифференцированных почв, но имеют на дневной поверхности агрогоризонт (P-BSN-ВМК- BCAs,cs-Сса,s) ([Классификация и диагностика почв России, 2004](#); [Полевой определитель почв России, 2008](#)).

Каштановые почвы в комплексе с солонцами в зоне сухих степей и полупустынь, как было сказано ранее, наиболее подвержены эрозионным процессам, которые в результате агрообработки усиливаются, приводя к формированию различных деградированных почвенных типов. К таковым относятся абраземы и агроабраземы. В зависимости от сохранившегося срединного горизонта в сухостепной зоне могут встречаться следующие типы от-

дела абраземов: структурно-метаморфический (ВМ-САТ-Сса или ВМ-ВСА-Сса), а также аккумулятивно- и текстурно-карбонатные типы (ВСА-Сса или САТ-Сса). Отдел агроабраземов, так же как и абраземов, объединяет почвы без верхних диагностических горизонтов, но их характерной особенностью является наличие на дневной поверхности агроабрадированного горизонта, который формируется в результате изменения срединных горизонтов (горизонт РВ) или непосредственно почвообразующей породы (РС) ([Полевой определитель почв России, 2008](#); [Классификация и диагностика почв России, 2004](#)).

Проблема агрогенной трансформации почв актуальна для всех почвенно-климатических зон. Однако в отличие от почв черноземного ([Замотаев и др., 2016](#); [Муха, 2004](#); [Чендев и др., 2012, 2020](#)) или подзолистого типа ([Azaronak, 2005](#); [Volungevicius et al., 2018, 2019](#)) в каштановых почвах из-за небольшой мощности генетических горизонтов при с/х обработке верхние гумусовые и срединные горизонты, а в некоторых случаях и карбонатные горизонты, трансформируются в единый агрогоризонт ([Васильченко, Звягин, 2015](#); [Любимова, Новикова, 2016](#); [Новикова, Конюшкова, 2013](#); [Новикова и др., 2012](#); [Volungevicius et al., 2018](#)). В Классификации почв России среди каштановых почв не выделяются агропочвы, поскольку при распашке естественных почв их верхние диагностические горизонты трансформируются в агрогоризонты, и почвы относятся к отделу агроземов ([Пивоварова и др., 2015](#); [Симакова, 2018](#); [Lebedeva et al., 1996](#)).

Цель данной работы заключается в исследовании морфологических особенностей агрогенно-преобразованных почв склоновых земель юга Приволжской возвышенности.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Объектами настоящего исследования являются агрогенные почвы г. Волгограда и их морфологические особенности. Основные исследования были сосредоточены на землях эрозионно-гидрологического стационара ФНЦ агроэкологии РАН и прилегающих водоразделах (рис. 1). Стационар организован в 1948–1950 гг., расположен между балками Пахотина и Григорова.

Климат территории резко континентальный с жарким за-

сушливым летом и холодной малоснежной зимой. Среднегодовая сумма осадков составляет 300 мм. По годам и сезонам осадки распределяются крайне неравномерно. Высокие летние температуры, длительное отсутствие дождей, сильные жаркие юго-восточные ветры часто вызывают снижение относительной влажности воздуха и иссушение почвы.

Склоны стационара имеют слабовыпуклую форму, протяженностью 1 км, крутизной 2–4°. Склон северной экспозиции (к б. Григорова) выпукло-вогнутый, протяженностью 250–300 м и крутизной 5–15°. Склон южной экспозиции (к б. Пахотина) имеет несколько большую протяженность и меньшую крутизну (3–5°).



Рис. 1. Схема объектов исследования на территории г. Волгограда. А1–7 – номера почвенных разрезов.

Fig. 1. The scheme of study objects on the territory of Volgograd. А1–7 – numbers of soil pits.

Абсолютные высоты поверхности стационара изменяются от 65 до 112 м (рис. 2). В 1947–1948 гг. на Волжском склоне Волго-Донского междуречья, являющегося юго-восточным окончанием Приволжской возвышенности (водораздел балок Григорова и

Пахотина), создана система противоэрозионных насаждений и 12 водорегулирующих и прибалочных лесных полос. В настоящее время на стационаре размещены 5 лесных полос на расстоянии 60–250 м друг от друга. Лесистость территории составляет 8%. Лесополосы из 3–4 рядов шириной 9–12 м преимущественно состоят из ясеня ланцетного (*Fraxinus lanceolata* В.) и смородины золотой (*Ribes aureum* Р.). Сельскохозяйственная обработка почвы (покос сорной растительности и дискование на 20 см) на стационаре ведется только на втором поле (разрезы А3–6). Верхнее поле (разрезы А1–2) представлено залежными землями (с 1990-х гг.).

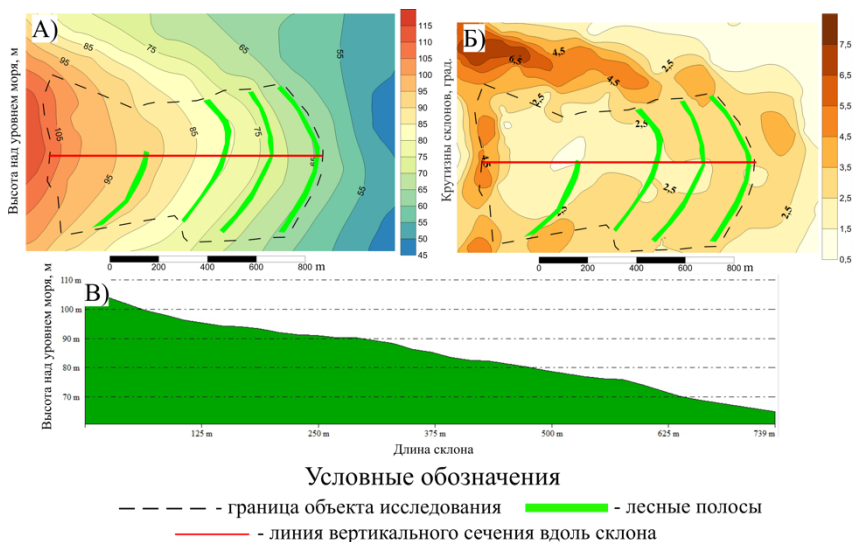


Рис. 2. Карты рельефа (м) (А), крутизны склонов (град.) (Б), и вертикального сечения вдоль склона (В) исследуемой территории.

Fig. 2. Maps of relief (m) (А), slope steepness (degrees) (Б) and vertical section along the slope (В) of the investigated area.

Почвенный покров стоково-эрозионного стационара отличается пестротой. Почвенный покров представлен агроземами аккумулятивно-карбонатными, а также агроземами структурно-метаморфическими разной степени солонцеватости и смывтости, среди которых небольшими пятнами (0.04–0.1 га) встречаются

агроземы солонцовые светлые, а также турбоземы постсолонцовые светлые. На участках интенсивного смыва – агроабраземы аккумулятивно-карбонатные. Литологическая пестрота коренных пород, длительный период водно-транспортирующей денудацией вызвали заметную гипсометрическую ярусность почвообразующих пород. Так в верхней части склона они представлены песками и супесями, в средней – маломощным чехлом (0.5–2.0 м) из чередующихся прослоев песка, супеси, легкого и среднего суглинков мощностью до 0.2–0.6 м, залегающих на меллетовых зеленовато-серых сильнозасоленных глинах харьковского яруса. В нижней части склона кровля глин погружается, уменьшается мощность пестрого супесчано-суглинистого покрова, возрастает мощность делювиальных суглинков глин.

Полевые исследования проводили в мае – июле 2019–2020 гг. после обработки почвы. Для исследования морфологических особенностей естественных каштановых почв были выбраны почвы б. Григорова (К1), целинные территории государственной лесополосы в Светлоярском районе (К6). Разрезы (К2–5) сделаны близ Волгоградского государственного университета, территория которого является нетронутой и практически неизменной. Разрез К7 – на севере города близ поселка Гумрак. Морфологические особенности разрезов К8–12 (южная часть города) были взяты из Красной книги почв Волгоградской области (рис. 3) ([Кулик и др., 2017](#)). Названия почв даны в соответствии с Классификацией и диагностикой почв России 2004 г., полевым определителем почв России 2008 г. и международной классификацией WRB-2014 (update 2015) ([Классификация и диагностика почв России, 2004](#); [Полевой определитель почв России, 2008](#); [IUSS, 2015](#); [Руководство по описанию почв, 2012](#)).

Составление картосхем, а также рисунков осуществлялось с использованием программы CorelDRAW Graphics Suite 19.0, а также Surfer 11. В качестве растровой основы использовался космический снимок спутника Bing 2018 г.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Каштановые почвы, согласно классификации и диагностике почв России 2004 г. и полемому определителю почв России

2008 г., характеризуются сочетанием следующих горизонтов: АJ-
ВМК-ВМ-САТ-Сса.

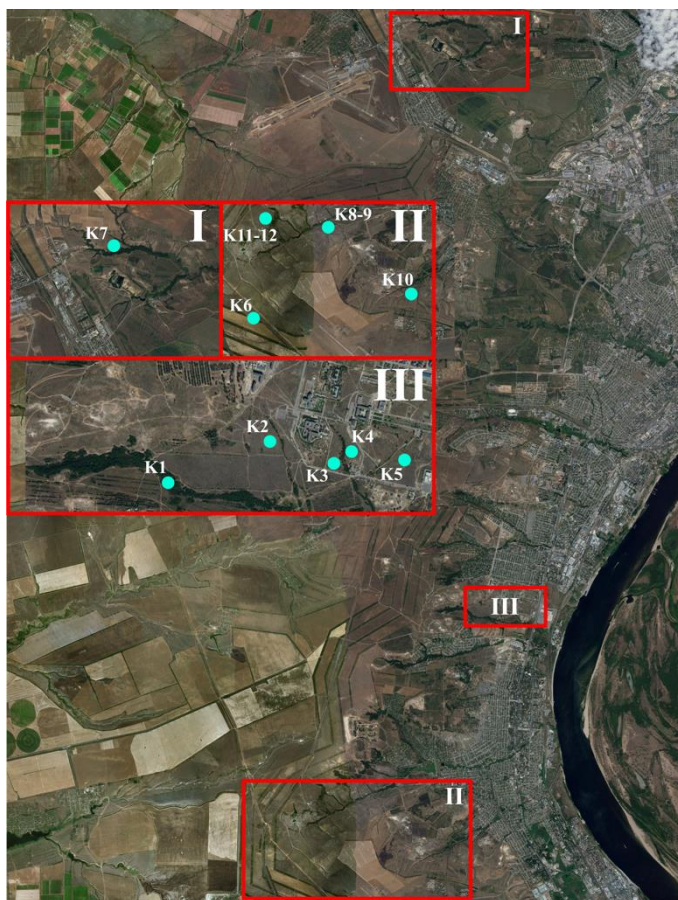


Рис. 3. Местоположение разрезов естественных каштановых почв. K1–12
номера почвенных разрезов

Fig. 3. Location of the sections of natural chestnut soils. K1–12
numbers of soil pits.

Заложенные разрезы в нативных каштановых почвах характеризуются разными морфологическими признаками, мощностью генетических горизонтов, а также верхней границей карбонатного горизонта (рис. 4, табл. 1). Почвообразующие породы представлены карбонатными делювиальными отложениями (разрезы К1, К3, К6) и карбонатными лёссовидными суглинками (разрезы К1–2, К4–5, К7–12).

При морфологическом описании разрезов установлено, что средняя мощность гумусово-аккумулятивного горизонта А1 равна 21.5 см на почвах, сформированных на карбонатных делювиальных отложениях, и 17 см на карбонатных лёссовидных суглинках. Цвет светло-гумусового горизонта варьирует от 10YR до 7.5YR, при этом светлота, как правило, выше 6, а насыщенность не более 3. Структура комковатая, гранулометрический состав варьирует от легко- до среднесуглинистого. Вскипание от 10%-ной HCl фиксируется с поверхности. Ниже горизонта А1 располагается ксерометаморфический горизонт ВМК средней мощностью 39.5 см на почвах, сформированных на карбонатных делювиальных отложениях, и 32.5 см на карбонатных лёссовидных суглинках. Цвет горизонта от рыжевато-бурого (5YR) до каштанового (7.5YR). Структура мелкопризматическая с ясной горизонтальной делимостью и частым вскипанием. В почвах суглинисто-глинистого гранулометрического состава под ксерометаморфическим горизонтом выделяется структурно-метаморфический горизонт ВМ. Мощность его сильно варьирует в зависимости от почвообразующей породы, на которой почва сформирована. Так, в разрезах почв, сформированных на карбонатных делювиальных отложениях, мощность горизонта ВМ составляет 32.5 см и 17.5 см на карбонатных лёссовидных суглинках. Горизонт серовато-бурой окраски (5YR, 7.5YR), структура однопорядковая, вторичные карбонаты отсутствуют, однако фиксируются фрагментарные вскипания. Под структурно-метаморфическим горизонтом залегает палево-бурый (10YR) аккумулятивно-карбонатный горизонт ВСА. Верхняя граница горизонта сильно изменяется в зависимости от почвообразующей породы, а также от наличия выше структурно-метаморфического горизонта разной мощности.

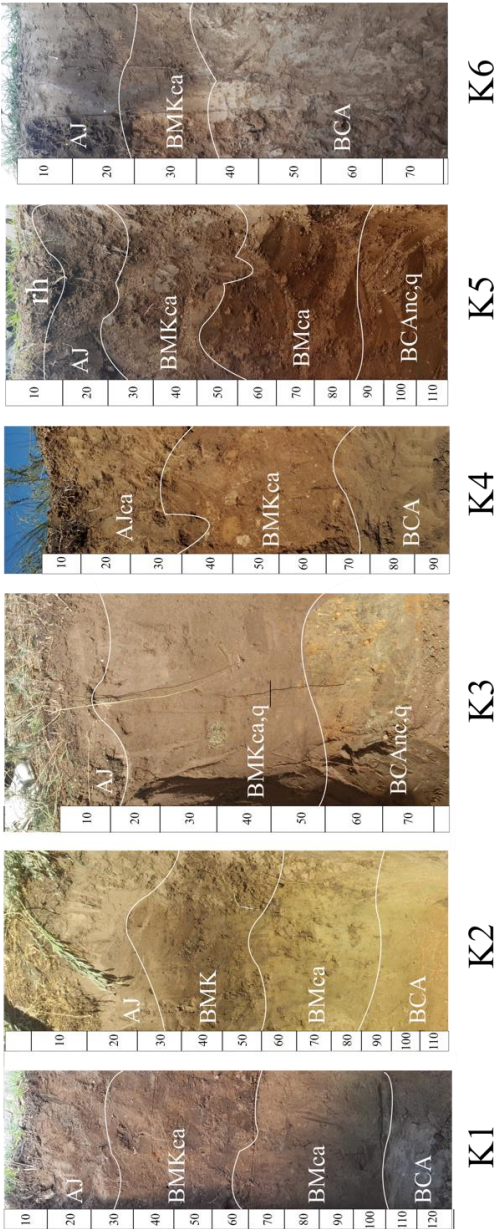


Рис. 4. Пример почвенных профилей естественных каштановых почв K1–6 – номера почвенных разрезов
Fig. 4. Example of soil profiles of natural chestnut soils in control areas. K1–6 – numbers of soil pits.

Таблица 1. Морфологические свойства почв естественных каштановых почв в пределах урбанизированного ландшафта г. Волгограда

Table 1. Morphological properties of natural chestnut soils within the urban landscape of Volgograd

№ разреза	Мощность гор. А ₁	Мощность гор. ВМК	Мощность гор. ВМ	Верхняя граница гор. ВСА	Почвообразующая порода	Название почвы по КшПР и WRB
K1	21	30	35	80	На карбонатных делювиальных отложениях	Каштановая квазилевовага легкосуглинистая, Eutric Gleyic Cambic Calcisols (Loamic)
K2	24	30	40	95	На карбонатных лёссовидных суглинках	Каштановая типичная среднесуглинистая, Eutric Cambisols (Loamic, Protocalcic)
K3	22	41	30	93	На карбонатных делювиальных отложениях	Каштановая квазилевовага легкосуглинистая, Eutric Gleyic Cambisols (Loamic, Protocalcic)
K4	10	13	21	41	На карбонатных лёссовидных суглинках	Каштановая типичная среднесуглинистая, Eutric Cambisols (Loamic, Protocalcic)
K5	35	30	-	65		Каштановая типичная среднесуглинистая, Eutric Cambisols (Loamic, Protocalcic)
K6	22	48	-	90	На карбонатных делювиальных отложениях	Каштановая квазилевовага гумусо-стратифицированная тяжелосуглинистая, Eutric Gleyic Cambisols (Loamic, Protocalcic, Loaminovic)

№ разреза	Мошность гор. АЈ	Мошность гор. ВМК	Мошность гор. ВМ	Верхняя граница гор. ВСА	Почвообразующая порода	Название почвы по КцДР и WRB
K7*	18	15	-	33	На карбонатных лёссовидных суглинках	Каштановая типичная среднесуглинистая, Eutric Cambisols (Loamic, Protocalcic)
K8*	10	15	17	45		Каштановая типичная легкосуглинистая, Eutric Gleyic Cambisols (Loamic, Protocalcic)
K9*	23	9	15	50		Каштановая типичная легкосуглинистая, Eutric Gleyic Cambisols (Loamic, Protocalcic)
K10*	10	13	13	36		Каштановая типичная суглинистая, Eutric Cambisols (Loamic, Protocalcic)
K11*	12	15	7	34		Каштановая солонцеватая тяжелосуглинистая, Eutric Cambisols (Loamic, Protocalcic, Sodic)
K12*	12	20	10	30		Каштановая солонцеватая среднесуглинистая, Eutric Cambisols (Loamic, Protocalcic, Sodic)

Примечание. Морфологические параметры разрезов K7–12 взяты из Красной книги почв Волгоградской области (Кулик и др., 2017).

Так, в разрезах почв, сформированных на карбонатных делювиальных отложениях, верхняя граница горизонта ВСА в среднем находится на уровне 85 см и 47.5 см на карбонатных лёссовидных суглинках. Такое большое различие в верхних границах карбонатного горизонта объясняется более мощными гумусово-аккумулятивными, ксеро- и структурно-метаморфическими горизонтами квазиглееватых подтипов каштановых почв. Структура горизонта ореховато-призматическая, отмечаются карбонатные новообразования сегрегационной (пс) формы. В квазиглееватых подтипах к горизонту САТ добавляется признак q, свидетельствующий о наличии оливковых или грязно-серых пятен. Вскипание в горизонте сплошное, сложение слитное, а также характеризуется отсутствием гумусово-глинистых кутан. Морфологические характеристики разрезов К6–12 взяты из Красной книги почв Волгоградской области ([Кулик и др., 2017](#)).

Почвообразующие породы исследуемых агрогенных почв сильно отличаются (табл. 2). Так в верхней части склона ими являются пески и супеси, в средней – маломощный чехол (0.5–2.0 м) из чередующих прослоев песка, супеси, легкого и среднего суглинков мощностью до 0.2–0.6 м, залегающих на меллетовых зеленовато-серых сильно засоленных глинах харьковского яруса. В нижней части склона кровля глин погружается, уменьшается мощность пестрого супесчано-суглинистого покрова, возрастает мощность делювиальных суглинков и глин.

В результате агрогенной нагрузки естественные каштановые почвы и их комплексы претерпели существенные изменения (рис. 5). Так разрезы А1 и А2, начиная с 1990-х гг., не испытывают на себе агрогенного воздействия. Общим в профилях является наличие супесчаного гомогенного агрогумусового горизонта Рса средней мощностью 24 см. Ниже располагаются легкосуглинистые структурно-метаморфические горизонты ВМса средней мощностью 18 см. Под структурно-метаморфическими расположены легкосуглинистые сегрегационные аккумулятивно-карбонатные горизонты (ВСАпс) светло-коричневого цвета. Верхняя граница залегания карбонатных горизонтов находится на уровне 42 см, что близко к границе их залегания в естественных почвах.

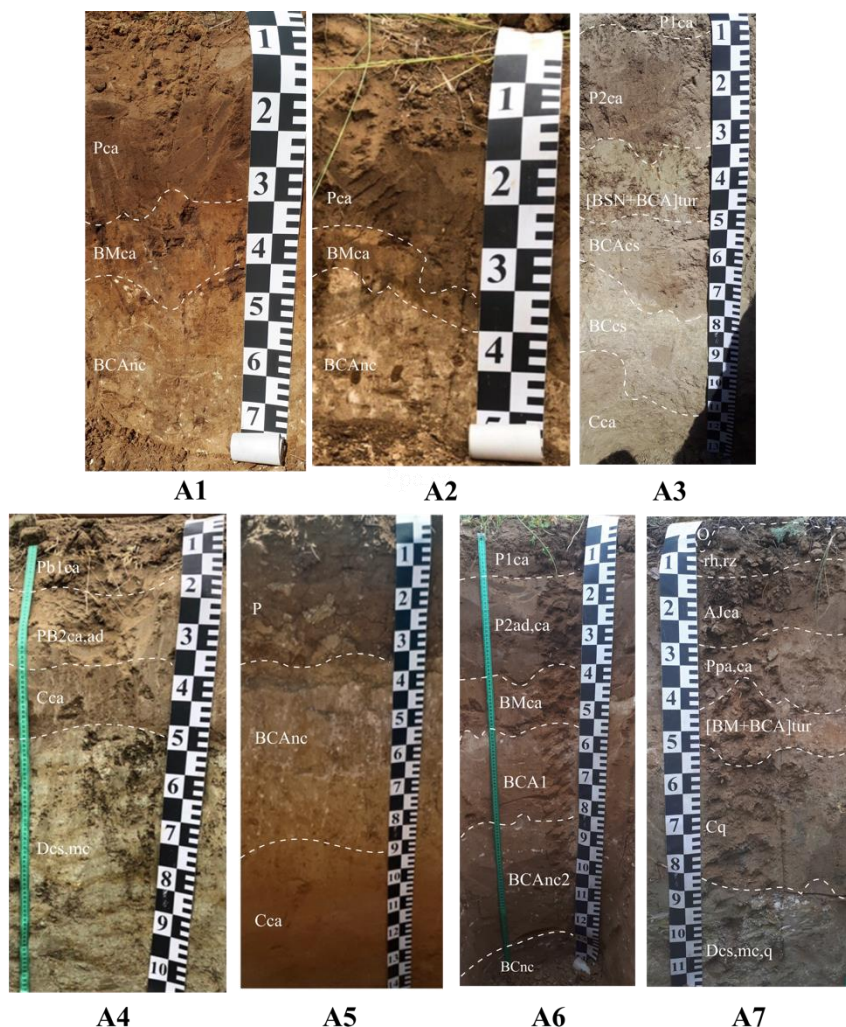


Рис. 5. Агрогенные почвы исследуемой территории. А1–7 – номера почвенных разрезов.

Fig. 5. Agroogenic soils of the investigated territory. А1–7 – numbers of soil pits.

Непродолжительная обработка почвы, а затем ее прекращение напрямую отразилась на их морфологических характери-

ках. Так, структура агрогенных и срединных горизонтов стала преимущественно крупно- и мелкоглыбистой, а сложение – слитным. Вскипание в обоих почвенных разрезах фиксируется с поверхности и имеет сплошной характер, в структурно-метаморфических горизонтах вскипание фрагментарное, в текстурно-карбонатных – сплошное. Таким образом, почвенный профиль можно выразить следующим сочетанием почвенных горизонтов: Pca-BMca-BCAnc-Cca. Согласно КиДПР, данный почвенный профиль относится к отделу агроземов, к типу агроземов структурно-метаморфических, к сегрегационному подтипу (по WRB-2015 – Eutric Cambisols (Loamic, Aric, Protocalcic)). В целом для верхнего поля характерна однородность почвенного покрова

Почвенные разрезы АЗ–6, заложенные на втором поле, морфологически сильно отличаются друг от друга и представлены почвами как разных отделов, так и разных типов внутри одних отделов. Так, разрезы АЗ, А5–6 представлены почвами отдела турбоземов, разрез А4 – отделом агроабраземов.

Как было отмечено ранее, на территории стационара небольшими пятнами (0.04–0.1 га) встречаются солонцы светлые. При глубокой мелиорации солонцов светлых происходит перемешивание большинства генетических горизонтов вплоть до аккумулятивно-карбонатных. Затем при неглубокой распашке происходит формирование гомогенного агрогумусового горизонта над нижележащим турбированным ([Любимова, Мотузов, 2005](#)). Разрез АЗ состоит из агрогумусового горизонта общей мощностью 31 см (квалификатор Aric). Горизонт подразделен нами на два подгоризонта. Верхний, мощностью 12 см, характеризуется бурным вскипанием и пылеватой структурой, нижний – крупно-глыбистой структурой и плотным сложением. Разделение агрогоризонта на два подгоризонта обусловлено разным временем их с/х обработки, плотностью, а также отсутствием вскипания во втором подгоризонте. Ниже залегает слой с признаком tur, состоящий из разного размера морфонов солонцового и аккумулятивно-карбонатного горизонтов.

Таблица 2. Морфологические свойства агрогенных почв исследуемой территории
Table 2. Morphological properties of agrogenic soils in the study area

№ разреза	Мощность гор. Р	Мощность гор. РВ	Мощность гор. ВМ	Мощность признака fur	Верхняя граница гор. ВСА	Почвообразу- ющая порода	Название почвы по Кп, ЦПР и WRB
A1	25	-	25	-	48	Карбонатные лёссовидные суглинки	Агрозем структурно-метаморфический серегатионный, Eutric Cambisols (Loamic, Aгіc, Protocalcic)
A2	25	-	10	-	35		
A3	31	-	-	15	46	Мелетовые глины и суглинки	Турбозем аккумулятивно-карбонатный гипс-содержащий, Eutric Sodic Cambisols (Loamic, Aгіc, Protocalcic)
A4	-	35	-	-	-		Агрообразем аккумулятивно- карбонатный дисперсно-карбонатный, Eutric Cambisols (Loamic, Aгіc, Protocalcic, Densic)
A5	35	-	-	-	35		Агрозем аккумулятивно-карбонатный типичный, Eutric Cambisols (Loamic, Aгіc, Protocalcic)
A6	36	-	16	-	52		Агрозем структурно-метаморфический серегатионный, Eutric Cambisols (Loamic, Aгіc, Protocalcic)
A7	19	-	-	9	-		Агрозем турбированный гумусово- стратифицированный, Eutric Cambisols (Loamic, Aгіc, Loaminovic)

С 46 см – палево-бурый аккумулятивно-карбонатный горизонт BCАcs с вкраплениями гипса. Почвообразующая порода представлена засоленными суглинистыми отложениями с вкраплениями гипса. Таким образом, почвенный профиль можно выразить следующим сочетанием почвенных горизонтов: P1ca-P2ca-[BSN+BCA]tur-BCАcs-BCcs-Сса. Наличие агрогоризонта и ниже аккумулятивно-карбонатного горизонта позволяет нам отнести данный профиль, по КиДПР 2004 г., к отделу агроземов, типу агроземов аккумулятивно-карбонатных, к гипс-содержащему и турбированному подтипам (по WRB-2015 – Eutric Sodic Cambisols (Loamic, Aric, Protocalcic)).

Разрез А4 сформирован на двучленных отложениях, представленных меллетовыми легкими суглинками. Для разреза характерно наличие агроабразионных горизонтов общей мощностью 35 см, которые отличаются высокой степенью смывости и бурным вскипанием с поверхности. Агрогоризонт нами разбит на два подгоризонта, поскольку в гор. PB2ca,ad морфологически (очень плотное сложение), а также лабораторно (значения плотности составляют 1.64 г/см^3) выявлено агропереуплотнение (квалификатор Densic). Ниже залегает плотный горизонт почвообразующей породы среднесуглинистого гранулометрического состава. Подстилающая порода начинается с 43 см и представлена меллетовыми легкими суглинками, характеризующимися плотным сложением, присутствием новообразований гипса и лабильных форм карбонатов. Таким образом, почвенный профиль можно выразить следующим сочетанием почвенных горизонтов: PB1ca-PB2ca,ad-Сса-Dcs,mc. Наличие только агроабразионного горизонта расположенного непосредственно на почвообразующей породе позволяет отнести данный профиль к отделу агроабраземов, к типу собственно агроабраземов, к агропереуплотненному подтипу (по WRB-2015 – Eutric Cambisols (Loamic, Aric, Protocalcic, Densic)).

Наиболее типичными почвами агроландшафтов сухостепной зоны являются агроземы аккумулятивно-карбонатные (P-BCАnc-Сса). На исследуемой территории также выделяется данный почвенный тип (разрез А5). Профиль состоит из агрогумусового и аккумулятивно-карбонатного горизонтов. Агрогумусовый горизонт, мощностью 35 см, имеет буровато-рыжеватою окраску, не-

прочную пылевато-глыбистую структуру, рыхлый на поверхности и уплотненный в нижней части, бурное вскипание фиксируется во всем горизонте, начиная с поверхности. Под агрогумусовым горизонтом залегает плотный почти слитный аккумулятивно-карбонатный, ореховатой структуры и с сегрегационными формами карбонатных новообразований. Почвообразующими породами выступают карбонатные лёссовидные суглинки. Таким образом, почвенный профиль можно выразить следующим сочетанием почвенных горизонтов: P-BCAnc-Cca. Согласно КиДПР, данный почвенный профиль относится к отделу агроземов, к типу агроземов аккумулятивно-карбонатных, к сегрегационному подтипу (по WRB-2015 – Eutric Cambisols (Loamic, Aric, Protocalcic)).

В случае суглинистого и глинистого гранулометрического состава в естественных каштановых почвах выделяется структурно-метаморфический горизонт BM. При неглубокой обработке почвы и наличии горизонта BM естественные каштановые почвы трансформируются в агроземы структурно-метаморфические (P-BM-BCA-Cca). Они диагностируются по наличию агрогумусового горизонта, залегающего над структурно-метаморфическим горизонтом. На территории эрозионного стационара в северной его части можно встретить такие агропочвенные типы (разрез А6). Профиль состоит из агрогумусового горизонта буровато-рыжеватой окраски, мощностью 36 см, горизонт пылеватый в верхней части и глыбистый в нижней. Вскипание отмечается с поверхности, в нижней части наблюдаются отдельные фрагменты структурно-метаморфического горизонта. Граница между агрогумусовым и структурно-метаморфическим горизонтами ровная, переход резкий. Под агрогумусовым залегает структурно-метаморфический горизонт рыжеватого цвета с однопорядковой комковатой структурой. Фиксируется сплошное вскипание во всем горизонте. На глубине 52 см нами выделен аккумулятивно-карбонатный горизонт. Горизонт BCA1 (52–72 см) содержит единичные карбонатные вкрапления преимущественно в форме белоглазки. Под ним расположен второй аккумулятивно-карбонатный горизонт BCA2nc (72–127 см) с обильными сегрегационными (nc) формами карбонатных новообразований. Ниже него (со 127 см) расположен переходный к почвообразующей породе горизонт

(BCnc) также с обильными сегрегационными (nc) формами карбонатных новообразований, однако, отличающийся от вышележащего более темной окраской. Таким образом, почвенный профиль можно выразить следующим сочетанием почвенных горизонтов: P1ca-P2ad,ca-BMca-BCA1-BCA2nc-BCnc. Согласно КиДПР, данный почвенный профиль относится к отделу агроземов, к типу агроземов структурно-метаморфических, к сегрегационному подтипу (по WRB-2015 – Eutric Cambisols (Loamic, Aric, Protocalcic)).

Отдельно были изучены почвы под защитными лесными насаждениями. Мнения различных авторов о влиянии лесных полос на почвы разделились. В работах Тумина Г.М. и его последователей отмечено положительное влияние насаждений, поскольку под насаждениями происходит увеличение гумусо-аккумулятивных горизонтов, выщелачивание карбонатов во всем профиле и т. д. ([Чендев и др., 2012](#), [2020](#)). Однако рядом авторов приводятся факты негативного влияния ЛП. К негативным последствиям защитного лесоразведения следует отнести переувлажнение почв и возникновение мочарных ландшафтов ([Chendev et al., 2012](#)). На территории стационара нами был заложен почвенный разрез (А7) под трехрядной стокорегулирующей лесополосой. Перед посадкой лесной полосы почвы подверглись мощному агрогенному воздействию – плантажной вспашке (до 60 см) в результате чего были перемешаны все почвенные горизонты, включая глубинные карбонатные. Почвенный профиль представлен собственно агроземом турбированным гумусово-стратифицированным (WRB-2015 – Eutric Calcaric Cambisols (Loamic, Aric, Loaminovic)). Отличительной особенностью является наличие на поверхности лесной подстилки, а также слоя, окрашенного в серые тона гумусированного материала мощностью 10 см, привнесенного талыми водами и дефляционными процессами (квалификатор Loaminovic). Под ним залегает уплотненный легко-суглинистый светло-гумусовый горизонт мощностью 16 см, характеризующийся сплошным вскипанием, а также комковатой структурой. Ниже глыбистый постагрогенный агрогумусовый горизонт, мощностью 19 см. С 49-го по 58-й см находится турбированный горизонт, состоящий из отдельных морфонов горизонтов BM и BCA.

Начиная с 58 см расположена почвообразующая порода, представленная средним суглинком, характеризующаяся плотным сложением, отсутствием сегрегационных форм карбонатов, а также наличием зеленоватых тонов окраски, свидетельствующих о переувлажнении (малый признак q). Материнская порода в виде меллетовых легких суглинков начинается с глубины 82 см. Таким образом, почвенный профиль можно выразить следующим сочетанием почвенных горизонтов: O-rh,rz-AJca-Ppa,ca-[BM+BCA]tur-Cq-Dcs,mc,q.

Под влиянием активных агротехнических мероприятий и мелиоративного влияния лесных полос в течение 70 лет произошли качественные изменения исходной сухостепной экосистемы и естественных каштановых почв. Почвы трансформировались в новые типы – агроземы и агроабраземы. Для них характерно особое морфологическое строение, которое обусловлено как антропогенными, так и природными факторами. Так в бывших почвах солонцового комплекса при глубокой мелиорации естественные солонцовые горизонты оказались перемешаны с аккумулятивно-карбонатными горизонтами и образовали особый турбированный горизонт. Аналогичные горизонты отмечались для других мелиорированных солонцов ([Любимова, Мотузов, 2005](#)). В зависимости от обработки почвы, а также от гранулометрического состава нативные каштановые почвы трансформировались или в агроземы аккумулятивно-карбонатные, или в агроземы структурно-метаморфические. При подготовке почвы к посадке лесных насаждений естественные каштановые почвы подверглись сильному воздействию, при котором большинство горизонтов до глубины 60 см было перемешано и превращено в пахотный. Однако после высадки насаждений агрогенное воздействие на них снизилось до минимума (естественный рост насаждений без какой-либо с/х обработки), в результате чего к настоящему моменту за счет постоянного привноса ветром мелкозема, а также разложения листового и травянистого опада сформировался достаточно мощный 30-сантиметровый слой гумусированного материала.

Таким образом, проанализировав морфологические особенности почвенных разрезов, заложенных на территории стоково-эрозийного стационара ФНЦ агроэкологии РАН, можно сделать

вывод о пестроте почвенного покрова, которая обусловлена как антропогенными (агрогенными) факторами (различное землепользование – залежь и обрабатываемое поле), так и природными эрозийными факторами, а именно: смывом почвенных горизонтов талыми и дождевыми водами, а также привносом из полевой части в лесную полосу гумусированного материала.

ВЫВОДЫ

1. Длительное агрогенное воздействие (более 70 лет) значительно изменило морфологические свойства почв эрозийного стационара как под лесными насаждениями, так и на пашне.

2. При распашке светло-гумусовый горизонт естественных каштановых почв трансформируется в агрогумусовый гор. Р. При более глубокой распашке затрагиваются также и срединные ксерометаморфические горизонты ВМК, а также часть структурно-метаморфических гор. ВМ.

3. Все агрогенно-измененные почвы полевой части характеризуются наличием на дневной поверхности агрогумусового горизонта со средней мощностью 28 см. Отличительными его особенностями является вскипание с поверхности и пылеватая структура. Структура постагрогенных подтипов почв, в настоящее время не испытывающих антропогенное воздействие, как привило, глыбистая.

4. Сильносмытые агроабраземы за счет распахиwania срединных горизонтов и части почвообразующей породы имеют более мощный (до 35 см) агроабразионный горизонт, отличающийся бурным вскипанием с поверхности, а также плотным сложением.

5. Под лесными насаждениями (при применении глубокой мелиоративной обработки) исходные каштановые почвы трансформировались в агроземы турбированные гумусово-стратифицированные, в которых с 49-го по 58-ой см находится турбированный горизонт, состоящий из отдельных морфонов срединных горизонтом ВМ и ВСА.

6. В нативных каштановых почвах глубина вскипания варьирует от 15 до 25 см. В условиях распашки агрогенные почвы в настоящее время вскипают от НС1 с поверхности за счет наличия карбонатной пропитки во всех почвенных горизонтах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Васильченко Н.И., Звягин Г.А.* Проявление агрогенной трансформации в почвах сухостепной зоны Республики Казахстан // Вестник Томского государственного университета. Биология. 2015. № 1 (29). С. 6–15.
2. *Гордиенко О.А., Манаенков И.В., Холоденко А.В., Иванцова Е.А.* Картографирование и оценка степени запечатанности почв города Волгограда // Почвоведение. № 11. 2019. С. 1383–1392.
3. *Горохова И.Н., Хитров Н.Б., Кравченко Е.И.* Изменение засоленности орошаемых почв участка Червленое за четверть века (Волгоградская область) // Почвоведение. 2020. № 4. С. 463–472.
4. *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. 1033–1044.
5. *Замотаев И.В., Белобров В.П., Курбатова А.Н., Белоброва Д.В.* Агрогенная и постагрогенная трансформация почв Львовского района Курской области // Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева. 2016. № 85. С. 97–114. DOI: [10.19047/0136-1694-2016-85-97-114](https://doi.org/10.19047/0136-1694-2016-85-97-114).
6. Классификация и диагностика почв России. Смоленск: Ойкумена, 2004. 342 с.
7. Классификация и диагностика почв СССР. М.: Колос, 1977. 223 с.
8. *Кулик К.Н., Кретицин В.М., Рулев А.С., Шишкунов В.М.* Красная книга почв Волгоградской области. Волгоград, 2017. 224 с.
9. *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.
10. *Любимова И.Н., Новикова А.Ф.* Влияние различных антропогенных воздействий на изменение почв солонцовых комплексов сухостепной зоны // Почвоведение. 2016. № 5. С. 633–643.
11. *Муха В.Д.* Естественно-антропогенная эволюция почв (общие закономерности и зональные особенности). М.: Колос, 2004. 271 с.
12. Национальный доклад “Глобальный климат и почвенный покров России: опустынивание и деградация земель, институциональные, инфраструктурные, технологические меры адаптации (сельское и лесное хозяйство)” / под редакцией Р.С.-Х. Эдельгериева. Том 2. М.: ООО “Издательство МБА”, 2019. 476 с.
13. *Новикова А.Ф., Конюшкова М.В.* Антропогенная трансформация почв северных Ергеней (исследования на первом опытном участке Аршань-Зельменского стационара) // Почвоведение. 2013. № 3. С. 268–281.
14. *Новикова Н.М., Новикова А.Ф., Конюшкова М.В.* Антропогенная трансформация почв и растительность в результате лесоразведения в

опустыненных степях // Поволжский экологический журнал. 2012. № 2. 2012. С. 216–230.

15. Пивоварова Е.Г., Грибов С.И., Кононцева Е.В., Хлуденцов Ж.Г., Домникова Е.Ю., Комякова Е.М. Современные процессы почвообразования в условиях умеренно засушливой и Колочной степи – Алтайского края // Вестник алтайской науки. 2015. № 1 (23). С. 230–235.

16. Полевой определитель почв России. М.: Почв. ин-т им. В.В. Докучаева, 2008. 182 с.

17. Росликowa В.И., Матюшкина Л.А. Диагностика агрогенно-преобразованных почв центральной части Среднеамурской низменности. Региональные проблемы. 2016. Т. 19. № 2. С. 43–46.

18. Руководство по описанию почв. Рим: Продовольственная и сельскохозяйственная организация объединенных наций. 2012. 101 с.

19. Симакова М.С. О принципах классификации пахотных почв России // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. 2018. Вып. 92. С. 95–121. DOI: [10.19047/0136-1694-2018-92-95-121](https://doi.org/10.19047/0136-1694-2018-92-95-121).

20. Чендев Ю.Г., Геннадиев А.Н., Лукин С.В., Соэр Т.Д., Заздравных Е.А., Белеванцев В.Г., Смирнова М.А. Изменение лесостепных черноземов под влиянием лесополос на юге среднерусской возвышенности // Почвоведение. № 8. 2020. С. 934–947.

21. Чендев Ю.Г., Петин А.Н., Новых Л.Л., Заздравных Е.А., Соэр Т.Д., Холл Р.Б. Тенденции и закономерности антропогенной эволюции черноземов в агролесомелиоративных ландшафтах на территории лесостепи центра восточной Европы // Проблемы региональной экологии. 2012. № 2. С. 7–13.

22. Azaronak T. The agrogenic evaluation of soddy-podzolic loamy soils of Soligorsk region // Proc Natl Acad Sci Belarus, Agrarian Sci. 2005. Ser. 5. P. 82–84.

23. Chendev Y.G., Burras C.L., Sauer T.J. Transformation of forest soils in Iowa (United States) under the impact of longterm agricultural development // Eurasian Soil Sci. 2012. No. 45(4). P. 357–367.

24. IUSS Working Group 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.

25. Lebedeva I.I., Tonkonogov V.D., Shishov L.L., Sukhanov P.A., Pertsovich A.Yu. Agrogenically transformed soils: evolution and taxonomy // Eurasian Soil Science. 1996. Vol. 29. No. 3. P. 311–317.

26. Volungevicius J., Amaleviciute K., Feiziene D., Feiza V., Slepeliene A., Liaudanskiene I., Versulienė A., Vaisvalavicius R. The effects of agrogenic transformation on soil profile morphology, organic carbon and

physicochemical properties in Retisols of Western Lithuania // Archives of Agronomy and Soil Science. 2018. Vol. 64(13). P. 1910–1923.

27. Volungevičius J., Feiza V., Amalevičiūtė-Volungė K., Liaudanskienė I., Šlepetienė A., Kuncevičius A., Vengalis R., Vėlius G., Prapiestienė R., Poškienė J. Transformations of different soils under natural and anthropogenized land management // Zemdirbyste-Agriculture. 2019. Vol. 106(1). P. 3–14.

REFERENCES

1. Vasil'chenko N.I., Zvyagin G.A., Proyavlenie agrogennoj transformacii v pochvah su-hostepnoj zony Respubliki Kazakhstan (Agrogenic transformation of soils in the dry steppe zone of the republic of Kazakhstan), *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Biologiya*, 2015, No. 1 (29), pp. 6–15.
2. Gordienko O.A., Manaenkov I.V., Kholodenko A.V., Ivantsova E.A., Kartografirovaniye i ocenka stepeni zapechatannosti pochv goroda Volgograda (Mapping and Assessment of Sealing Rate of Soils in the City of Volgograd), *Pochvovedenie*, 2019, No. 11, pp. 1383–1392.
3. Gorohova I.N., Hitrov N.B., Kravchenko E.I., Izmeneniye zasolennosti oroshaemykh pochv uchastka Chervlenoe za chetvert' veka (Volgogradskaya oblast') (Changes in soil salinity at the Chervlenoe irrigation massive during a quarter of the century (Volgograd region)), *Pochvovedenie*, 2020, No. 4, pp. 463–472.
4. Gorohova I.N., Hitrov N.B., Prokop'eva K.O., Harlanov V.A., Pochvennyy pokrov Svetloyarskoj orositel'noj sistemy cherez polveka meliorativnykh vozdeystviy (Soil cover of the Svetloyarsk irrigation system after 50 years of reclamation practices), *Pochvovedenie*, 2018, No. 8, pp. 1033–1044.
5. Zamotaev I.V., Belobrov V.P., Kurbatova A.N., Belobrova D.V., Agrogennaya i postagrogennaya transformaciya pochv L'govskogo rajona Kurskoj oblasti (Anthropogenic and post-anthropogenic transformation of soils of l'gov region of Kursk oblast), *Dokuchaev Soil Bulletin*, 2016, Vol. 85, pp. 97–114. DOI: [10.19047/0136-1694-2016-85-97-114](https://doi.org/10.19047/0136-1694-2016-85-97-114).
6. *Klassifikatsiya i diagnostika pochv Rossii* (Classification and diagnostics of Russian soils), Smolensk: Oikumena, 2004, 342 p.
7. *Klassifikatsiya i diagnostika pochv SSSR* (Classification and diagnostics of soils of the USSR), Moscow: Kolos, 1977, 223 p.
8. Kulik K.N., Kretinin V.M., Rulev A.S., Shishkunov V.M., *Krasnaya kniga pochv Volgogradskoj oblasti* (Volgograd Region Soil Red Data Book), Volgograd, 2017, 224 p.
9. Lyubimova I.N., Motuzov V.Ya., Postmeliorativnaya evolyuciya

soloncovyh kompleksov suhostepnoj zony (Postmeliorative evolution of soils of dry-step solonetz complexes), *Dokuchaev Soil Bulletin*, 2005, Vol. 57, pp. 3–9.

10. Lyubimova I.N., Novikova A.F., Vliyanie razlichnyh antropogennyh vozdeystvij na izmenenie pochv soloncovyh kompleksov suhostepnoj zony (Changes in the properties of solonetzic soil complexes in the dry steppe zone under anthropogenic impacts), *Pochvovedenie*, 2016, No. 5, pp. 633–643.

11. Mukha V.D., *Estestvenno-antropogennaya evolyuciya pochv (obshchie zakonomernosti i zonal'nye osobennosti)* (Natural-anthropogenic evolution of soils (general regularities and zonal features)), Moscow: Kolos, 2004, 271 p.

12. Edelgeriev R.S.-H. (Ed.), National report “Global climate and soil cover in Russia: land desalinization and degradation, institutional, infrastructural, technological adaptation measures (agriculture and forestry)”, Vol. 2, Moscow: ООО “Izdatel'stvo MBA”, 2019, 476 p.

13. Novikova A.F., Konyushkova M.V., Antropogennaya transformaciya pochv severnyh Ergenej (issledovaniya na pervom opytном uchastke Arshan'-Zel'menskogo stacionara) (Anthropogenic transformation of soils in the northern Ergeni upland (studies at the first experimental plot of the Arshan'-Zelmen research station), *Pochvovedenie*, 2013, No. 3, pp. 268–281.

14. Novikova N.M., Novikova A.F., Konyushkova M.V., Antropogennaya transformaciya pochv i rastitel'nost' v rezul'tate lesorazvedeniya v opustynennyh stepyah (Anthropogenic transformation of soils and vegetation as a result of afforestation in deserted steppes), *Povolzhskij ekologicheskij zhurnal*, 2012, No. 2, 2012, pp. 216–230.

15. Pivovarova E.G., Gribov S.I., Kononцева E.V., Hludencov Zh.G., Domnikova E.Yu., Komyakova E.M., Sovremennye processy pochvoobrazovaniya v usloviyah umerenno zasushlivoj i Kolochnoj stepi – Altajskogo kraja (The modern processes of soilformation in the conditions of moderately droughty and Kolochnysteppe of Altai krai), *Vestnik altajskoj nauki*, 2015, No. 1 (23), pp. 230–235.

16. *Polevoy opredelitel pochv Rossii* (Field determinant of soils of Russia), Moscow: V.V. Dokuchaev Soil Science Institute, 2008, 182 p.

17. Roslikova V.I., Matyushkina L.A., Diagnostika agrogenno-preobrazovannyh pochv central'noj chasti Sredneamurskoj nizmennosti (Diagnostics of agrogenic-transformed soils in the central part of middle Amur lowland), *Regional'nye problemy*, 2016, Vol. 19, No. 2, pp. 43–46.

18. *Rukovodstvo po opisaniyu pochv* (Soil description guide), Rim: Prodoval'stvennaya i sel'skohoz'jajstvennaya organizaciya ob"edinennyh nacij, 2012, 101 p.

19. Simakova M.S., O principah klassifikacii pahotnyh pochv Rossii (On the principles of classification of arable soils in Russia), *Dokuchaev Soil Bulletin*,

- 2018, Vol. 92, pp. 95–121, DOI: [10.19047/0136-1694-2018-92-95-121](https://doi.org/10.19047/0136-1694-2018-92-95-121).
20. Chendev Yu.G., Gennadiev A.N., Lukin S.V., Soer T.D., Zazdravnyh E.A., Belevancev V.G., Smirnova M.A., *Izmenenie lesostepnyh chernozemov pod vliyaniem lesopolos na yuge srednerusskoj vozvyshennosti* (Forest-steppe chernozem change under the influence of forest belt in the south of the central Russian upland), *Pochvovedenie*, No. 8, 2020, pp. 934–947.
21. Chendev Yu.G., Petin A.N., Novyh L.L., Zazdravnyh E.A., Soer T.D., Holl R.B., *Tendencii i zakonomernosti antropogennoj evolyucii chernozemov v agrolesomeliorativnyh landshaftah na territorii lesostepi centra vostochnoj Evropy* (Trends and patterns of the anthropogenic evolution of chernozems in lands of agricultural afforestation within the territory of forest-steppe in the center of the eastern Europe), *Problemy regional'noj ekologii*, 2012, No. 2, pp. 7–13.
22. Azaronak T., The agrogenic evaluation of soddy-podzolic loamy soils of Soligorsk region, *Proc. Natl. Acad. Sci. Belarus, Agrarian Sci.*, 2005, Ser. 5, pp. 82–84.
23. Chendev Yu.G., Burras C.L., Sauer T.J., Transformation of forest soils in Iowa (United States) under the impact of longterm agricultural development, *Eurasian Soil Sci.*, 2012, No. 45(4), pp. 357–367.
24. IUSS Working Group 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.
25. Lebedeva I.I., Tonkonogov V.D., Shishov L.L., Sukhanov P.A., Pertsovich A.Yu., Agrogenically transformed soils: evolution and taxonomy, *Eurasian Soil Science*, 1996, Vol. 29, No. 3, pp. 311–317.
26. Volungevicius J., Amaleviciute K., Feiziene D., Feiza V., Slepeticene A., Liaudanskiene I., Versulienė A., Vaisvalavicius R., The effects of agrogenic transformation on soil profile morphology, organic carbon and physicochemical properties in Retisols of Western Lithuania, *Archives of Agronomy and Soil Science*, 2018, Vol. 64(13), pp. 1910–1923.
27. Volungevičius J., Feiza V., Amalevičiūtė-Volungė K., Liaudanskienė I., Šlepeticienė A., Kuncevičius A., Vengalis R., Vėlius G., Prapiestienė R., Poškienė J., Transformations of different soils under natural and anthropogenized land management, *Zemdirbystė-Agriculture*, 2019, Vol. 106(1), pp. 3–14.

УДК 631.4

DOI: 10.19047/0136-1694-2021-106-105-129



Ссылки для цитирования:

Росликова В.И., Матюшкина Л.А. Дифференциация почвенного покрова поймы Среднеамурской низменности в связи с эволюцией форм рельефа // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. 2021. Вып. 106. С. 105-129. DOI: 10.19047/0136-1694-2021-106-105-129

Cite this article as:

Roslikova V.I., Matyushkina L.A., Differentiation of the soil cover of the floodplain of the Middle-Amur Lowland in connection with the evolution of the relief forms, Dokuchaev Soil Bulletin, 2021, V. 106, pp. 105-129, DOI: 10.19047/0136-1694-2021-106-105-129

Дифференциация почвенного покрова поймы Среднеамурской низменности в связи с эволюцией форм рельефа

© 2021 г. В. И. Росликова*, Л. А. Матюшкина

*Институт водных и экологических проблем ДВО РАН, Россия,
680000, Хабаровск, ул. Дикопольцева, 56,*

**e-mail: Roslikova@ivep.as.khb.ru.*

*Поступила в редакцию 11.01.2019, после доработки 23.09.2020,
принята к публикации 15.03.2021*

Резюме: Статья основана на многолетнем изучении пойменных почв долины реки Амура в пределах северо-восточной части Среднеамурской низменности. Обсуждаются результаты полевых работ на почвенно-геоморфологическом профиле через остров Славянский, расположенный в 200 км от Хабаровска вниз по Амуру. Проанализированы приуроченность почв поймы острова к релочным¹ формам рельефа и их свойства с акцентом на морфологию и литолого-гранулометрический состав. Показаны особенности почвообразования на релках разного генезиса – аллювиальных и эоловых. На супесчаных и легкосуглинистых отложениях аллювиальных релок (“лугово-лесных” гривах) формируются слаборазвитые дерновые глееватые почвы. На суглинисто-

¹Древние, заросшие растительностью, протяженные дюны называются в Приамурье релками.

глинистом аллювии “луговых” грив, ежегодно затапливаемых паводковыми водами, под вейниковым травостоем развиваются дерново-луговые глееватые почвы. Песчаные отложения высоких эоловых релок отличаются однородным тонко- и мелкозернистым строением без прослоев, признаков органического вещества и значительным количеством слюды. На них под высокоствольными дубняками описаны слабозбитые дерново-лесные почвы. Формирование текстурно-дифференцированных почв на всех типах релок не выявлено. При выходе поймы в положение первой надпойменной террасы различия в литолого-гранулометрическом составе, сложении, высоте над урезом воды, характере растительности на унаследованных релках обеспечивают разнонаправленную эволюцию почвообразования. При этом развитие идет в соответствии с зональными типами почв (дерново-лесными, буроземными, текстурно-дифференцированными – подбелами). Последние преимущественно формируются на суглинисто-глинистом аллювии, который может покрывать не только аллювиальные, но и некоторые эоловые релки.

Ключевые слова: Амур, пойма, аллювий, песчаные гривы, релки, эоловые процессы, предпочтенные образования, лугово-дерновые почвы, буроземы, текстурно-дифференцированные (подбелы).

Differentiation of the soil cover of the floodplain of the Middle-Amur Lowland in connection with the evolution of the relief forms

V. I. Roslikova*, L. A. Matyushkina

*Institute of Water and Ecology Problems,
Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences,
56 Dikopoltsev St., Khabarovsk 68000, Russian Federation,
e-mail: Roslikova@ivep.as.khb.ru.

Received 11.01.2019, Revised 23.09.2020, Accepted 15.03.2021

Abstract: The article is based on a long-term study of floodplain soils of the Amur River valley within the north-eastern part of the Middle-Amur Lowland. The results of field work on the soil-geomorphological profile across the Slavyansky Island, located 200 km from Khabarovsk down the Amur River, are discussed. The study analyzes the occurrence of the island's floodplain

soils on riolkas² and their properties, with an emphasis on morphology and lithological and particle-size composition. The features of soil formation on riolkas of different genesis – alluvial and aeolian – are shown. On sandy and sandy-loam deposits of alluvial riolkas (“meadow-forest” ridges) poorly developed sod gley soils are formed. On heavy loam and clay alluvium of the “meadow” ridges, annually flooded by river waters, sod-meadow gley soils develop under the woodreed grass stand. Sand deposits of high aeolian riolkas are characterized by a homogeneous fine-grained structure without interlayers, signs of organic matter and with a significant amount of mica. They describe poorly developed sod-forest soils under high-trunk oak forests. The formation of texture-differentiated soils on all types of riolkas was not revealed. When the floodplain reaches the position of the first terrace above the floodplain, the differences in the lithological composition and particle-size distribution, soil texture, height above the water edge and the nature of vegetation on the inherited riolkas provide a multidirectional evolution of soil formation. At the same time, the development is taking place in accordance with the zonal types of soils (sod-forest, brown-earth, texture-differentiated – soil with a bleached horizon (podbel)). The last are mainly formed on clay-loam alluvium, which can overlay not only alluvial, but also some aeolian riolkas.

Keywords: the Amur river, floodplain, alluvium, sand ridges, riolkas, aeolian processes, preferred formations, meadow-sod soils, brown soils, texture-differentiated (podbels).

ВВЕДЕНИЕ

Среднеамурская низменность сложена разновозрастными рыхлыми отложениями, среди которых важную роль играют голоценовые пойменные отложения р. Амур, формирующие в нижнем течении обширные поймы по берегам (местами шириной 15–30 км) и множество островов в русле ([Махинов, 2006](#)). Особенно динамичен режим осадконакопления на островных поймах. Во время паводков и крупных наводнений на них откладывается большое количество песчаных, суглинистых и илистых наносов, формируются разнообразные формы рельефа.

Изучая почвы и процессы почвообразования в пойме среднего Амура, В.А. Ковда с соавторами ([1960](#)) показал их теснейшую связь со спецификой водной динамики этой реки, особенно с

²Riolkas are ancient, relatively high sand ridges (extended dunes) with plant cover found in Amur region (Russian Far East).

формированием многоступенчатого строения поймы и характерного чередования гривистых (релочных), ложбинных и старичных форм рельефа на всех пойменных уровнях. Подчеркивалось, что общими и главными особенностями аллювиальных отложений в пойме Амура являются слоистая и микрослоистая текстура и облегченный гранулометрический состав (пески, супеси и легкие суглинки).

Впоследствии Э.Н. Сохина ([1973](#)) и А.Н. Махинов ([2006, 2017](#)) показали, что для амурской поймы характерно формирование разнотипических релок – аллювиальных и эоловых. Эоловые релки отличаются однородным монотонным строением без прослоев. Их отложения представлены косослоистыми однородными тонко- и мелкозернистыми песками с небольшим количеством слюды, что обусловлено выносом ее ветром во внутренние части поймы ([Махинов, 2017](#)). Аллювиальные релки в пойме Амура представлены отложениями неясно слоистых среднезернистых и мелкозернистых песков с прослоями супесей, суглинков, погребенного гумуса. Вдоль протоков преобладают тонкозернистые пески, супеси с прослоями суглинков и косой слоистостью.

Первая систематизация пойменных почв в Приамурье была осуществлена А.И. Качияни и Г.А. Трегубовым ([1960](#)). Авторы выделяли дерново-аллювиальные почвы горных речных долин, дерновые слоисто-аллювиальные, пойменные, лесные, луговые и болотные слоисто-аллювиальные. Г.И. Ивановым ([1966](#)) пойменные почвы долин рек Приморского края были подразделены на свежие песчано-галечниковые отложения, слабо задернованные слоистые, пойменные слоистые, дерново-аллювиальные, буроземно-аллювиальные, бурые лесные почвы на речном аллювии, заболоченные и болотные задернованные иловато-глеевые, торфянисто-перегнойно-глеевые, торфяно-глеевые. Н.А. Крейда и З.В. Шатохина ([1967](#)) выделяли пойменные, остаточнопойменные, пойменные болотные почвы. Ю.И. Ершов ([1970](#)) пойменные почвы нижнего Приамурья разделил на 4 подтипа: слабо-здернованные с интенсивной аккумуляцией аллювия (береговые валы и песчаные косы); слабо развитые лугово-глеевые, приуроченные к днищам межгривных понижений с отложениями старичного и пойменного аллювия; иловато-глеевые днища протоков и ста-

риц (зона влияния паводков); лугово-дерновые и дерново-луговые на наиболее повышенных и выположенных участках внутренней поймы. Л.Г. Шелест ([2001](#)) для горных долин Приморского края разработала типологию почв, в основу которой положена стадийность осадконакопления по уровням поймы и степень развитости почвенного профиля. Как видно из данного обзора, почвы на эоловых отложениях пойменных релок ранее не описывались и не выделялись.

Характерными почвами надпойменных террас среднего Приамурья являются буроземы с недифференцированным профилем и текстурно-дифференцированные почвы – подбелы. На первой надпойменной террасе эти почвы, несмотря на разный генезис, формируются на сходных возвышенных формах рельефа (релках) под лесной растительностью ([Крейда, Шатохина, 1967](#); [Иванов, 1976](#); [Росликова, Матюшкина, 1975](#)). В настоящее время накоплен значительный материал, раскрывающий многие особенности почв в субэразальных условиях как в эволюционном, генетическом плане, так и в практическом их использовании ([Ковда и др., 1960](#); [Ливеровский и др., 1962](#); [Иванов, 1966](#); [Росликова, 1996](#)). Однако процессам развития текстурной дифференциации почв, начиная с пойменных ландшафтов, исследователи практически не уделяли внимания. Материалы, освещающие процессы трансформации почв в результате выхода их из пойменного режима Амура, в литературе отсутствуют.

Во время полевого изучения аллювиальных почв в пойме Амура и других крупных рек Среднеамурской низменности нами (как и предыдущими исследователями) не наблюдалось текстурной дифференциации почвенных профилей на повышенных формах рельефа поймы. Почвы на остатках пойменного рельефа при выходе пойм в положение первых надпойменных террас сохраняют пойменные признаки и развиваются в соответствии с изменившимися условиями почвообразования (смена гидрологического режима, растительности и др.) в направлении зональных типов – буроземов и подбелов. Все вышесказанное определило цель данной работы – на примере анализа дифференциации ландшафтов и почвенного покрова поймы р. Амур (о. Славянский) определить возможные пути его эволюции при переходе поймы в режим

надпойменной террасы. При этом особое внимание уделяется выяснению причин (факторов) формирования на внешне сходных формах рельефа (релках) надпойменных террас текстурно-дифференцированных подбелов и недифференцированных буроземов.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Основным объектом исследования послужили почвы острова Славянский поймы нижнего Амура в районе села Троицкое (Нанайский район Хабаровского края; N: 49°30', E: 136°30'). На острове проводились многолетние стационарные исследования Института водных и экологических проблем ДВО РАН. Выбор участка обусловлен тем, что он, как многие другие острова в долине Амура, имеет большое значение в качестве кормовой базы в Приамурье, а в экологическом аспекте относится к незагрязненным территориям. Участок расположен в пределах расширения поймы Амура в Среднеамурской низменности. Как отмечает А.Н. Махинов ([2017](#)), на этих участках “пойма реки имеет наибольшую ширину, множество обширных островов и крупных по размерам рукавов, в которых идет интенсивная аккумуляция наносов...” (стр. 54).

От русла, вглубь поймы исследуемого острова, наблюдается дифференциация аллювиальных отложений и образованных ими форм рельефа: прирусловая отмель на отложениях крупнозернистого песка с гравием; современный прирусловой вал, сложенный тонкозернистым песком; гривы (древние прирусловые валы) прирусловой поймы, сложенные переслаивающимися тонкозернистыми песками и супесями; гривы центральной поймы на суглинисто-глинистых отложениях с супесчаными прослоями; старицы (бывшие протоки) с иловато-глинистыми осадками (рис. 1).

На пойме Амура в пределах Среднеамурской низменности часто встречаются древние эоловые релки. Их особенностью является асимметричность склонов и косослоистость тонкозернистого песка. Высота релок колеблется от 3 до 13 м над средним уровнем поймы. Исследования геоморфологов раскрыли основные факторы формирования эоловых форм рельефа в пойме Амура: климатические – незначительное количество атмосферных осадков вес-

ной и поздней осенью и характерные для этих сезонов большая сила и продолжительность ветра; гидрологические – весной и в конце осени водный режим отличается низкими уровнями воды, при этом из-под воды обнажаются обширные песчаные косы и осередки в русле реки; литолого-геоморфологические – песчаный состав русловой и прибрежно-русловой фаций ([Махинов, 2017](#)).

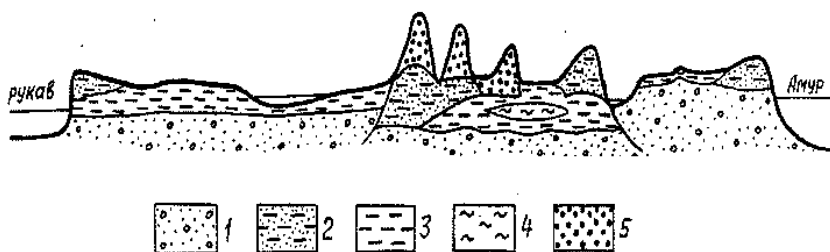


Рис. 1. Схема строения пойменных отложений р. Амур в пределах Среднеамурской низменности, сформировавшихся в течение длительного времени в условиях направленной аккумуляции наносов. Отложения фаций: 1– руслового песка (песок с гравием); 2 – прирусловых валов (тонкозернистый песок); 3 – пойменной (легкие и средние суглинки); 4 – старичной (суглинки с илистыми прослоями); 5 – эоловых релок (тонко и мелкозернистый песок ([Махинов, 2006](#)).

Fig. 1. Scheme of the structure of floodplain deposits of the Amur River within the Middle-Amur Lowland, formed over a long period of time under the conditions of directed sediment accumulation. Deposits of facies: 1 – channel sand (sand with gravel); 2 – levee (fine sand); 3 – floodplain (sandy loam and loam); 4 – old riverbed (loam with silty interlayers); 5 – eolian rielkas (relatively high fine sand ridges) ([Makhinov, 2006](#)).

Изучение почв проводилось на геоморфологическом профиле, заложенном вкрест простираения острова (рис. 2). Описано 25 разрезов; также исследовался характер наилок, приуроченных к определенным формам рельефа. Вне геоморфологического профиля на расстоянии 200–300 м исследованы эоловые залесенные релки, сложенные косослоистыми тонкозернистыми песками. Их почвенный покров охарактеризован разрезами 2В1 и 3В. На рисунке 2 они не обозначены.

Рассмотрены также почвы на сходных элементах рельефа (релках) первых надпойменных террас в южной части Средне-амурской низменности вдоль р. Кия (притока Уссури) и р. Уссури (разрезы 162, 169/329 на голоценовых аллювиальных отложениях). Для сравнения изучен разрез 330 на позднеплейстоценовых озерно-речных отложениях второй надпойменной террасы р. Уссури.

Применялись методы, широко используемые в науках о Земле и в почвоведении: литолого-геоморфологический, профилно-генетический, сравнительно-исторический, морфологический, гранулометрический, физико-химические. Обозначения диагностических горизонтов и признаков даны в соответствии с новой субстантивно-генетической классификацией почв России ([Классификация и диагностика..., 2004](#); [Полевой определитель..., 2008](#)). Названия почв – авторские и/или названия, предлагавшиеся в общесоюзной классификации ([Классификация и диагностика..., 1977](#)).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Рассмотрим почвы, формирующиеся в автономном положении на речных формах пойменного рельефа. Ниже приведены морфологические описания почвенных разрезов, заложенных в разных частях поймы острова (рис. 2).

Прирусловая пойма, береговой вал характеризуются повышенными отметками и преимущественно луговой растительностью.

Разрез 1-1. Вершина песчаного прирусового вала ($h_{абс}$ 27.0 м) р. Амур с ивняково-красноталовой ассоциацией и вейниковым лугом. Почва – слоисто-аллювиальная песчаная. Профиль: O^3 (0.2 см) – $C_{\sim}$ (14 см) – $Cg_{\sim}[hh]$ (5 см) – $C_{\sim}$ (11 см). На поверхности отмечается эфемерный листовой опад. Почвообразование практически не развито. В дальнейшем, по мере накопления на прирусовых валах аллювия, ивняки усыхают, развивается вейниковый

³Для обозначения ветоши и лесной подстилки авторы используют индекс O , а для наилок – al .

травостой ([Куренцова, 1973](#)) и начинается примитивное почвообразование.

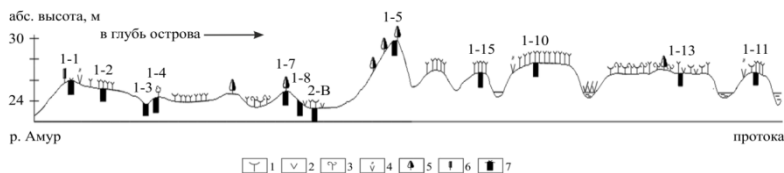


Рис. 2. Схематический геоморфологический профиль поймы р. Амур на о. Славянский и характер растительности. 1 – веерная трава; 2 – тростник; 3 – луговое разнотравье; 4 – ива; 5 – дуб; 6 – черемуха; 7 – почвенный разрез и номера разрезов.

Fig. 2. Schematic geomorphological profile of the Amur River floodplain on Slavyanskiy Island and vegetation character. 1 – reedgrass; 2 – sedge; 3 – meadow grasses; 4 – willow; 5 – oak; 6 – bird cherry; 7 – soil profile and section numbers.

Разрез 1-11. Вершина прируслового вала протоки ($h_{\text{абс}}$ 25.8 м), веерный луг с примесью полыни. Почва – слоисто-аллювиальная слабообразованная дерновая супесчаная. Профиль: *al* (9 см) – *W* (3 см) – *Cg*~ (3 см) – *Cg*[hh] (8 см) – *Cg*[hh]~ (59 см) – *Cg*~ (47 см). На поверхности – свежий настил, плотный супесчаный, слоегато-комковато-плитчатый с мелкими охристыми пятнами. В целом в профиле чередуются супесчаные слои, и отмечен погребенный слабогумусированный слой. В слоях со скоплением мелких корней фиксируется педообразование (плоско-комковатая и мелко-ореховато-зернистая структура). Реакция среды нейтральная.

Низкая пойма острова с ложбинно-грядистым рельефом. Характерны “лугово лесные” гряды, на которых формируются почвы с более развитым профилем.

Разрез 1-7. Плоская гряда ($h_{\text{абс}}$ 26.1 м) за береговым валом, разнотравно-осоковый луг с отдельными деревьями осины, дуба. Почва – лугово-дерновая слабообразованная глееватая (слоисто-аллювиальная гумусовая) на песчаных отложениях. Профиль: *al* (1 см) – *W* (16.5 см) – *Cg*~ (34 см) – *Cg*~ (14 см). Небольшой пыле-

вато-легкосуглинистый наилок перекрывает неоднородный, состоящий из слоев 3–6 см, гумусово-аккумулятивный слой W. Характерной особенностью профиля является заметная проработанность почвообразованием (гумусированность, наличие структуры: от мелкозернистой до плоско-комковатой и непрочной комковато-ореховатой). Исследования М.Х. Ахтямова с соавторами (1988) на о. Славянский показали, что наибольший объем корней приходится на погребенные наилковые прослои в пределах 15 (45) – 23 (67) см. Здесь и отмечается накопление органического вещества и формирование структуры.

Разрез 1-8. Неширокая грива ($h_{абс}$ 26.8 м), разнотравно-леспедецевый дубняк с амурским бархатом. Почва – лугово-дерновая слабообразованная глееватая (слоисто-аллювиальная гумусовая) на супесчано-песчаных отложениях. Профиль: O (3 см) – W (3 см) – C $\sim\sim$ (27 см) – Cg $\sim\sim$ (13 см) – Cg $\sim\sim$ (63 см). На поверхности подстилка из сухих листьев трав и древесного опада. Для этого почвенного образования характерен слабовыраженный микропрофиль (всего 3 см), он имеет слабовыраженную пылевато-порошистую структуру.

Разрез 1-5. Грива с плоской поверхностью ($h_{абс}$ 26.4 м) с осоково-разнотравно-вейниковым лугом. Почва – дерново-луговая глееватая (слоисто-аллювиальная) легкосуглинистая на песчаных отложениях. Профиль: al (0.5 см) – W (2.5 см) – C $\sim\sim$ (4 см) – C[hh] $\sim\sim$ (13 см) – Cg $\sim\sim$ (3 см) – Cg $\sim\sim$ (45 см) – Cg $\sim\sim$ (11 см). В отдельных горизонтах прослеживается зарождение элементов листоватой и творожисто-крупитчатой структуры.

Центральная (внутренняя) пойма острова. На плоских “луговых” гривах, регулярно затопляемых паводковыми водами, описаны почвы с преобладанием в верхней части профиля легко- и тяжелосуглинистых слоев.

Разрез 1-10. Широкая гряда с плоской поверхностью ($h_{абс}$ 25.6 м), луг с господством вейника Лангсдорфа и примесью кро-вохлебки. Почва – дерново-луговая глееватая слабообразованная легко суглинистая на песках. Профиль: al (0.5 см) – W (7 см) – Cg $\sim\sim$ (33 см) – Cg $\sim\sim$ (99 см). Почвообразованием охвачен приповерхностный пылевато-легкосуглинистый слой мощностью около 10 см. В нем формируется зернисто-порошистая структура. В ниже-

лежащих тяжелосуглинистых прослоях ясно выражена мелко-ореховато-зернистая и комковато-творожистая структура.

Как следует из морфологических описаний, на пойме исследуемого острова преобладают слаборазвитые аллювиальные почвы, что обусловлено высокой интенсивностью отложения свежего пойменного аллювия и периодическим прерыванием процесса почвообразования. На прирусловом валу (разрез 1-1), сложенном мелкозернистым песком, почвообразование практически не выявлено, поэтому на прирусловом валу целесообразнее выделять предпочтенное слоистое образование, по В.И. Шрагу (1961). На береговых валах крупных протоков и рукавов почвенные образования сложены уже слоистыми легкосуглинистыми отложениями с супесчаными и иловато-суглинистыми прослойками (разрез 1-11) и представлены слаборазвитыми дерновыми почвами. В прирусловой ложбинно-гривистой части поймы на плоских гривах (разрез 1-7) для профиля почв характерны мелкозернистые пески с суглинисто-иловатыми прослоями, что создает условия для наложения на дерновый процесс лугового и появления признаков глееватости. Верхняя часть гряд центральной поймы (разрез 1-10) отличается более тяжелым гранулометрическим составом аллювиальных отложений (от легких до тяжелых суглинков), что создает условия для развития лугового процесса.

На поверхности почв пойменных грив почти ежегодно откладывается свежий аллювий – наилки. Они характеризуются легким гранулометрическим составом. Количество частиц <0.001 мм в различных участках поймы колеблется в пределах 14–24%. По содержанию частиц физической глины (31–61%) наилки относятся к легким и средним суглинкам (табл. 1).

На высоких эоловых релках в центре острова вне влияния регулярных паводков формируются почвы, имеющие слаборазвитый профиль с маломощным гумусовым горизонтом, несколько отличающиеся от пойменных грив аллювиального генезиса с наилками. Примером являются следующие разрезы:

Разрез 3В. Релка ($h_{\text{абс}}$ 33.0 м), разнотравно-леспедцевый дубняк. Поверхность изрезана заросшими балками. Почва – дерново-лесная слаборазвитая на песках. Профиль: О – W (4 см) – C[^] (63 см) – C[~] (80 см и ниже). Верхняя метровая толща пред-

ставлена однородными тонкозернистыми не слоистыми песками (эолового происхождения). В нижней части разреза отчетливо выражена аллювиальная слоистость, местами подчеркнутая прослоями органических остатков и разрозненных гумусированных пятен. Дерновый горизонт гумусирован, рыхлый, песчаный.

Разрез 2В¹. Плоская вершина древней релки ($h_{абс}$ 27.0 м), разнотравное высокоствольное дубовое редколесье. Почва – дерново-лесная слаборазвитая на эоловых отложениях. Профиль: О – W (3–5 см) – C^{^^} (160 см). На поверхности лесной опад из свежих листьев. Хорошо выраженный маломощный (3–5 см) дерновый горизонт переходит в косослоистую толщу отсортированных мелкозернистых песков.

Дерново-лесные слаборазвитые почвы, формирующиеся на эоловых релках (разрезы 3В и 2В¹), характеризуются однотипным литологическим составом – тонко и мелкозернистым сортированным песком. Однако в разрезе 3В косая слоистость не выявлена, хотя она является характерной для эоловых релок. Ее отсутствие свидетельствует о кратковременности формирования эоловой дюны, образованной в течение нескольких десятков лет, что обычно характерно для обширных осередков и молодых островов в русле Амура ([Махинов, 2017](#)). Почвы эоловых релок по гранулометрическому составу характеризуются выдержанностью облегченного состава (табл. 1). Содержание частиц >0.01 мм достигает 95%. Другая характерная особенность почв и песчаных отложений эоловых релок состоит в незначительном количестве слюды, что объясняется, по-видимому, ветровым выносом частиц слюды из прирусловых валов и прибрежных кос во внутренние части поймы ([Махинов, 2017](#), с. 58).

Далее рассмотрим почвы на релках, широко распространенных в условиях *первых* надпойменных террас долины Амура и его притоков.

Разрез 187 (описан совместно с Г.И. Ивановым). Район им. Лазо Хабаровского края. Первая надпойменная терраса р. Кии, изрезанная старыми руслами. Релка с разнотравным березово-дубовым редколесьем. Почва – бурозем остаточно-пойменный на голоценовых суглинистых аллювиальных отложениях.

Таблица 1. Гранулометрический состав почв на пойменных, голоценовых и позднелейстоценовых отложениях террас р. Амур
Table 1. Particle-size distribution of soils on floodplain, Holocene and Late Pleistocene deposits of the Amur River terraces

Горизонт	Глубина, см	Содержание фракций, %; размер частиц, мм						Сумма частиц, мм	
		1-0.25	0.25-0.05	0.05-0.01	0.01-0.005	0.005-0.001	<0.001	>0.01	<0.01
Слабоэрозивная аллювиальная слоистая, р. 1-2									
al (налок)	0-4	-	-	-	-	-	23,92	-	-
C~W	4-18	0.2	5.7	46.5	10.3	13.7	23.6	52.4	47.6
C~	18-25	0.5	11.6	44.9	10.6	14.2	18.1	57.0	43.0
Cg~	25-31	0.1	18.4	47.9	6.2	10.0	17.0	66.7	33.3
Cg~	45-55	0.2	27.4	36.7	6.8	10.8	18.2	64.3	35.7
Cg~	65-75	0.4	12.3	49.1	9.8	13.3	15.0	61.9	38.1
Слабоэрозивная аллювиальная слоистая, р. 1-3у									
al (налок)	0-1(2)	1.12	0.12	39.85	15.57	22.13	21.21	41.09	58.91
W	1(2)-10	1.59	3.27	35.92	13.62	21.58	24.02	40.78	59.22
C~	10-30	0.20	4.00	40.58	13.70	18.22	23.30	44.78	55.22
Слабоэрозивная аллювиальная слоистая, р. 1-11									
al (налок)	0-9	0.17	22.11	45.52	3.37	13.57	14.26	68.80	32.20
Пойменные отложения р. Амур (Махмудов, 2017)									
Русловые косы		88.4*	4.2*	1.1	1.8	1.7	2.8	94.7	6.0
Прирусловые валы		84.8*	5.8*	1.0	1.9	2.8	3.6	91.6	9.4
Пойменная фашия		-	22.9*	1.8	16.9	15.4	43.0	24.7	75.3
Эоловые реликты		90.5*	2.0*	2.7	1.5	1.7	1.6	95.2	4.8

Горизонт	Глубина, см	Содержание фракций, %; размер частиц, мм						Сумма частиц, мм	
		1-0.25	0.25-0.05	0.05-0.01	0.01-0.005	0.005-0.001	<0.001	>0.01	<0.01
Бурозем остаточно-пойменный, р. 187									
AU	0-4	1.0	30	23	14	19	13	54	46
AY/B	5-15	1.0	32	18	17	19	13	51	49
Bm1	15-30	1.0	29	19	8	22	21	49	51
Bm1/C	45-55	4.0	67	9	2	4	14	80	20
C	90-100	1.0	71	12	3	5	8	84	16
D	150-160	13.0	77	3	0	2	5	93	7
Лесной подбел на голоеновом аллювии, р. 162/329									
AY	0-12	10	12	23	17	21	17	55	45
ELg,mn	15-30	7	20	20	16	29	19	36	64
BTg1	30-47	3	6	12	15	25	39	21	79
BTg2/C	60-85	2	7	3	17	26	45	12	88
Cg	90-110	-	-	-	-	-	-	-	-
Лесной подбел на позднечетвертичных озерно-аллювиальных отложениях, р. 330									
O	0-3	-	-	-	-	-	-	-	-
AY	3-9	8	7	44	15	16	9	59	40
ELg,mn	13-33	6	11	33	18	17	16	50	49
ELg,mn /BT	33-41	4	3	32	14	21	26	40	61
BTg1	41-53	7	2	35	12	25	19	44	55
BTg2/C [hh]	53-97	1	5	29	10	22	34	34	66
Cg	115-140	1	3	26	12	23	35	30	70

Примечание. Прочерк означает "не определялось". Показатели, отмеченные звездочкой, относятся к фракциям крупного (0.5-0.1 мм) и среднего (0.1-0.05 мм) песка, как принято в литологии.

Профиль: AU (0–4 см) – AY/BM1 (4–16 см) – BM1 (16–35 см) – BM2/C (35–85 см) – C (85–110 см) – D (170–190 см). Горизонты: AU – темно-гумусовый, пылевато-суглинист, непрочно комковат; AY/BM1 – серовато-бурый, средний суглинок, комковат; BM – бурый, суглинок, порошистый⁵, на педах чешуйки слюды; B/C бурый, суглинок легкий; C – светло-бурая супесь; C/D – серый среднезернистый влажный песок; D – мелкая галька с песком.

Примером подбелов являются разрезы 162/329 и 330. Первый описан с Г.И. Ивановым, второй – с Л.А. Матюшкиной ([Росликова, Матюшкина, 1975](#)).

Разрез 162/329. Вяземский район Хабаровского края. Первая надпойменная терраса р. Уссури. Древний береговой вал, дубовый широколиственный лес. В подлеске лещина, много лиановых, в наземном покрове лесное разнотравье. Почва – подбел на голоценовых аллювиальных отложениях. Профиль: O (0–1 см) – AY (0–12 см) – AY/Eg,n (12–15 см) – ELg,n (15–30 см) – BTg1 (30–47 см) – BTg2 (47–60 см) – BTg2/C – (60–85 см) Cg (85–110 см). Горизонты: O – сухой лесной опад; AY – светло-серый, тяжелый суглинок, порошисто-комковат; AY/Eg,n – серовато-палевый, средний суглинок, мелкокомковат; ELg,n – буровато-палевый, легкая глина, слоистый, уплотнен, много Mn-Fe конкреций; BTg1 – палево-буроватый, средняя глина, слоисто-пластинчат, конкреции; BTg2 – бурый с темно-сизоватыми пятнами, тяжелый суглинок, угловато комковат, отдельные тонкозернистые песчаные линзы, плотный; BTg2/C – чередование темно-шоколадных и охристых микрослоев (типа рыбьей чешуи), глина тяжелая, комковато-угловат, тонко опесчаненные линзы, единично галька; Cg – опесчаненная тяжелая глина, много включений гальки и дресвы, глинистых окатышей, углей.

Разрез 330. Южная окраина г. Вяземский Хабаровского края. Вторая надпойменная терраса р. Уссури. Плоская вершина увала, окаймленная глубокими балками и оврагами. Акатниково – дубовое редколесье с примесью березы, липы, ясеня, с богатым

⁵ Структура полностью обусловлена составом материнских пород. На аллювиальных отложениях она порошистая, а на базальтах – ореховатая.

подлеском, лесное разнотравье. Почва – лесной подбел на позднеплейстоценовых озерно-речных отложениях. Профиль: О (0–3 см) – АУ (3–9 см) – АУ/ЕLg_{nn} (9–13 см) – ЕLg_{nn} (13–33(37) см) – ЕLg_{nn}/ВТg₁ (33(37)–41 см) – ВТg₁ (41–53 см) – ВТg₂/С [hh] (53–97 см) – ВТg₃/С (97–115 см) – Сg (115–140 см). Горизонты: О – опад и лесная подстилка; АУ – светло-серый, среднесуглинистый, комковат, включения углей и конкреций; АУ/ЕLg_{nn} – светло-серый с палевыми участками, среднесуглинистый, мелкопластинчато-ребристый, конкреции; ЕLg_{nn} – палевый, среднесуглинистый мелко пластинчат, много Mn-Fe конкреций; ЕLg_{nn}/ВТg₁ – буровато-палево-сизый, тяжело-суглинистый, плотный, пластинчатый, конкреции; ВТg₁ – сизовато-бурый, глинистый, плотный, вязкий; ВТg₂ [hh]/С – бурый с темной расплывчатой линзой, глинистый, белесоватая присыпка, бесструктурный; ВТg₃/С – бурый с обилием сизых аппликаций, глинистый, вязкий, сырой, скопления Mn гнезд; Сg – бурый, глинистый, плотный, сырой, марганцевые прожилки. Кроме палевой элювиально-глеевой толщи типичным для подбелов является серая окраска аккумулятивного горизонта. Она характерна и для буроземов. На эту особенность дальневосточных почв в свое время обращал внимание Ю.А. Ливеровский, и не случайно им тогда были выделены серые лесные почвы. Серые тона аккумулятивной части в них обусловлены активной деятельностью микроорганизмов, чему способствует совмещение в летне-осенний период максимального увлажнения и наиболее высоких температур воздуха. Результатом этих же процессов является обедненность палинологическим материалом плейстоценовых толщ Приамурья.

Как видно из приведенных описаний, почвы на релках первых надпойменных террас (буроземы, подбелы), по сравнению с почвами релок поймы, отличаются полно развитым профилем. Они, с одной стороны, несут все признаки зональных почв, а с другой – остаточные признаки пойменного режима (погребенные линзы песка, наличие обломков слюды, остатки аллювиальной слоистости, гумусированные прослои). Эти признаки аллювиальных релок отсутствуют в отложениях эоловых релок.

Буроземы первой надпойменной террасы (разрез 187, табл. 1) имеют типичный слабодифференцированный профиль

среднесуглинистого состава. Характерно оглинивание верхней и средней части профиля бурозема, где доля фракций <0.01 мм составляет 46–51%; в нижней части структурно-метаморфического горизонта ВМ и в почвообразующей и подстилающей породе заметно облегчение состава – фракция >0.01 мм достигает 80–90%. В отличие от бурозема, лесной подбел на первой надпойменной голоценовой аллювиальной террасе (разрез 162/329) имеет четко дифференцированный профиль с заметным утяжелением гранулометрического состава в текстурном горизонте. Содержание фракций <0.01 мм достигает 79% в верхней части текстурного горизонта (30–47 см) и 88% в его нижней части на переходе к почвообразующей породе (60–85 см). Однако в этом горизонте уже встречаются тонко опесчаненные линзы и единично галька. Ниже идет опесчаненный суглинок с обилием гальки и слабо окатанной дресвы (горизонт D). Элювиально-глеевая толща светло-палевых тонов, тонкослоистого сложения, со значительным количеством Mn-Fe конкреций.

В лесном подбеле на позднечетвертичных озерно-речных отложениях второй террасы р. Уссури (разрез 330), как и в подбеле на аллювиальных отложениях первой террасы р. Уссури, отмечаются сходные закономерности: двучленность почвенного профиля и утяжеление гранулометрического состава в его нижней части.

Почвенные образования поймы характеризуются наибольшим содержанием гумуса в наилковых отложениях (3–6%), pH близок к нейтральной реакции, а степень насыщенности достигает 99%. В химическом отношении буроземы первой террасы, как и почвы высоких уровней поймы, имеют почти нейтральную реакцию среды (6.2–6.8), высокую гумусированность поверхностного горизонта, степень насыщенности по всему профилю составляет 96–100% (табл. 2).

Таблица 2. Физико-химические свойства почв поймы острова и первой надпойменной террасы
Table 2. Physico-chemical properties of soils of the island floodplain and the first terrace above the floodplain

Горизонт	Глубина, см	рН водн.	Гумус, %	Поглощенные катионы, ммоль-экв./100 г почвы				Степень насыщенности оснований-ами, %
				Ca ²⁺	Mg ²⁺	H ⁺	Сумма	
Слабоэрозивная аллювиальная слоистая, р. 1-1								
al (нанток)	0-2	7.0	0.0	1.8	0.0	-	1.8	-
C~	2-5	6.3	0.9	2.8	0.4	-	3.2	-
Слабоэрозивная аллювиальная слоистая, р. 1-11								
al (нанток)	0-9	6.5	1.7	12.2	4.7	0.02	16.9	99.9
W	10-13	5.8	2.0	9.6	2.4	0.42	12.4	96.8
Cg~	13-16	6.3	1.2	7.7	2.0	0.08	9.7	99.5
Cg[hh]~	16-22	6.4	2.6	17.1	4.7	0.10	21.9	99.2
Cg~	26-44	6.4	1.8	11.5	4.5	0.15	16.1	99.1
Cg[hh]~	44-57	6.3	2.3	14.0	4.1	0.45	18.5	97.5
Cg[hh]~	57-94	6.4	2.1	13.5	3.7	0.42	17.6	97.6
Cg~	94-141	6.5	-	-	-	-	-	-
Слабоэрозивная аллювиальная слоистая глееватая, р. 1-8								
W	0-3	6.4	3.8	12.0	0.1	0.02	12.1	98.8
C~	3-7	5.0	-	1.2	0.2	3.5	4.9	28.6
Cg~	11-30	5.8	-	1.0	0.2	0.2	1.4	85.7
Cg~	43-70	6.4	-	-	-	-	-	-
Слабоэрозивная аллювиальная слоистая глееватая, р. 1-10								
al (нанток)	0-0.5	6.0	6.0	17.5	5.4	0.4	23.3	98.3
W	3-10	5.6	3.4	10.8	2.9	4.0	14.7	77.4
Cg~	10-21	5.6	3.6	12.4	4.1	2.4	18.9	87.3
Cg~	21-41	6.1	1.9	10.5	4.7	1.1	16.3	93.2

$C_{g\sim}$	41-58	6.2	0.9	7.7	2.0	0.3	10.0	97.0
$C_{g\sim}$	58-104	6.8	0.2	-	-	-	-	-
W	0-4	7.6	5.6	24.1	4.5	-	28.6	-
$C^{\sim}$	10-15	5.9	-	0.8	0.0	0.7	1.5	53.3
AU	0-4	6.8	6.6	22.6	5.4	0.1	28.1	99.6
AY/B1	5-12	6.8	1.5	9.6	4.2	0.2	14.0	98.6
B1m	15-30	6.5	0.8	8.0	7.0	0.6	15.0	96.2
B1m/C	45-55	6.2	0.4	6.0	4.6	0.4	11.0	96.4
C	90-100	6.3	0.3	6.1	6.3	0.4	12.8	96.8
D	150-160	6.5	0.2	6.0	5.5	0.1	9.8	99.1
AY	0-12	5.7	-	12.8	2.8	3.0	18.6	83.9
ELg _{nm}	15-30	5.5	-	4.2	2.4	3.2	9.6	67.3
BTg1	30-47	5.6	-	6.6	3.5	3.5	13.6	74.3
BTg2/C	60-85	5.4	-	10.7	4.5	4.5	19.7	77.1
C_g	90-110	-	-	-	-	-	-	-
O	0-3	-	-	-	-	-	-	-
AY	3-9	5.9	7.5	10.2	4.3	2.4	16.9	85.8
ELg _{nm}	13-33	5.1	-	2.7	2.1	4.5	9.3	51.6
ELg _{nm} /BT	33-41	5.0	0.5	4.7	3.6	10.2	18.5	44.9
BTg1	41-53	5.0	1.1	7.4	5.6	12.8	25.8	50.4
BTg2/C[hh]	53-97	5.2	-	7.6	8.8	-	-	-
C_g	115-140	5.6	0.3	12.6	0.8	4.7	18.1	74.0

Примечание. Прочерк означает "не определялось".

В лесном подбеле на аллювиальных отложениях первой надпойменной террасы (разрез 162/329) по значениям pH (водн.) прослеживается тенденция увеличения кислотности с глубиной. По сумме поглощенных оснований и степени насыщенности фиксируются два максимума – в аккумулятивной и нижней частях профиля (84–77%). Элювиально-глеевая толща насыщена только на 67%. В лесном подбеле на озерно-аллювиальных отложениях второй террасы (разрез 330) минимальная кислотность отмечается в аккумулятивной части профиля. Кривая распределения степени насыщенности сходна с таковой в подбелах на аллювии. Однако степень насыщенности элювиально-глеевой толщи значительно ниже, что отмечалось в более ранних работах ([Росликова, 1996](#)).

Почвы, идентичные рассмотренным буроземам и подбелам, привлекали внимание исследователей и в других районах Приамурья. Так, на релках первых надпойменных террас под широколиственными лесами Н.А. Крейдой и З.В. Шатохиной ([1967](#)) они были описаны соответственно как буроземы остаточнопойменные и буро-подзолистые почвы. Эти авторы предприняли попытку раскрыть специфику их развития. Было отмечено, что на легких по гранулометрическому составу отложениях молодых релок формируются буроземы, а на релках тяжелого гранулометрического состава (древних) – уже буро-подзолистые (т. е. подбелы). Однако связи эволюционного развития почв с возрастом релок в ходе формирования первой надпойменной террасы не так однозначны, как полагали авторы. Для решения этого вопроса понадобились детальные исследования литолого-геоморфологических особенностей пойменного рельефа, что позволило дифференцировать развитие почв пойм в связи с эволюцией форм рельефа.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Релочно-ложбинный ландшафт является характерным для пойменных условий долин крупных рек Приамурья и их притоков, где релки – важнейшая форма рельефа. По генезису они могут быть аллювиальные и эоловые и различаются высотой, характером склонов, гранулометрическим составом, литологическими признаками и сложением. Релки образуются из материала молодых кос и постепенного превращения их во фрагменты поймы в

глубине пойменных массивов ([Махинов, 2017](#)), где воздушно-песчаные потоки их не достигают. Высокие аллювиальные (бывшие береговые валы) и золовые релки не затапливаются. Они постепенно покрываются зональной растительностью (дуб, кедр, липа, бархат амурский, элеутерококк колючий, барбарис, виноград, лимонник). Низкие дюны “погружаются” в отложения суглинистых осадков пойменной фации. Они вначале накапливаются на склонах, а затем и на вершинах релок, что приводит к изменению гранулометрического состава, выположенности склонов, выравниванию вершин. Поверхность поймы постепенно повышается со средней скоростью около 1.5 мм/год ([Махинов, 2006](#)). При этом происходит смена растительности – исчезают таежные виды, но сохраняется дуб, тополь, бархат и др. В связи с высокой динамикой рельефа почвенный покров поймы слабо развит.

На современных прирусловых валах преобладают слаборазвитые слоисто-аллювиальные песчаные почвы (предпочвенные образования). На “лугово-лесных” гривах (низких релках) прирусловой поймы формируются слаборазвитые лугово-дерновые глееватые супесчано-песчаные и легкосуглинистые почвы. На “луговых” гривах (плоских релках) центральной поймы острова Славянский под вейниковыми лугами формируются слаборазвитые дерново-луговые глееватые легко- и среднесуглинистые почвы. На высоких песчаных релках (золовых и аллювиальных) под дубняками – дерново-лесные почвы. Ни на одном из выделенных элементов рельефа в пойме острова не сформированы развитые почвы.

После смены пойменного режима надпойменным на релках (аллювиальных и золовых), перекрытых суглинисто-глинистым плащом пойменной фации, развиваются зональные почвы: под разнотравно-березово-дубовым редколесьем на легко- и среднесуглинистом аллювии – недифференцированные буроземы остаточного-пойменные; под дубово-широколиственными лесами на тяжелосуглинистом и глинистом голоценовом аллювии – текстурно-дифференцированные (подбелы). Кроме того, подбелы в пределах Среднеамурской низменности формировались и на озерно-речных позднечетвертичных отложениях, генезис которых был связан с существованием крупных озерных водоемов ([Разрез новейших](#)

[отложений... 1978\).](#)

Следует отметить, что Н.А. Крейда и З.В. Шатохина (1967) в основу классификационного разделения почв на надпойменные террасы положили гранулометрический состав и возраст релок. По их мнению, на молодых релках, сложенных легкими отложениями, формируются буроземы, а на старых релках (тяжелого состава) – буро-подзолистые почвы (по старой классификации). Однако это положение справедливо только в отношении гранулометрического состава. Что касается возраста, то он к этому примеру прямого отношения не имеет. Геоморфологи считают, что возраст релок проявляется в изменении их формы и степени заселения их растительностью. Эти изменения проявляются уже в условиях центральной поймы, а при выходе из пойменного режима они усиливаются. На развитие подобного рода преобразований необходимо 3–4 тыс. лет, при этом генезис релок постепенно “стирается” (Махинов, 2017) и на них может развиваться любой зональный тип почвообразования.

Обзор морфодиагностических признаков исследованных почвенных образований на геоморфологическом профиле острова Славянский свидетельствует о том, что дальнейшее развитие почв после выхода их из пойменного режима обусловлено литолого-геоморфологической основой. В целом представленные материалы свидетельствуют о том, что эволюционно-генетические соотношения пойменных почв с почвами материковой части (первые надпойменные террасы) обусловлены, с одной стороны, гидролого-геоморфологическими факторами (на фоне климатических), а с другой – литолого-генетическими.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ахтямов М.Х., Кремлев С.М., Ким Ен Гель. Пойменные луга Среднеамурской равнины: синтаксономия, динамика, экологическая физиология. Владивосток, 1988. 121 с.
2. Ершов Ю.И. Особенности почвообразования и эволюция почв поймы нижнего Амура в пределах Удиль-Кизинской низменности // Науч. докл. высш. школы. Биол. науки. 1970. № 7. С. 121–126.
3. Иванов Г.И. Классификация почв равнин Приморья и Приамурья. Владивосток: Дальневосточ. кн. изд-во, 1966. 47 с.

4. Качияни А.И., Трегубов Г.А. Классификация почв Приамурья и Приморья // Амурский сборник. Том II. 1960. С. 277–295.
5. Классификация и диагностика почв СССР. М.: Колос, 1977. 224 с.
6. Классификация и диагностика почв России. Смоленск: Ойкумена, 2004. 342 с.
7. Ковда В.А., Зимовец Б.А., Зырин Н.Г. Почвы и процессы почвообразования в поймах Верхнего и Среднего Амура // Почвоведение. 1960. № 11. С. 11–23.
8. Крейда Н.А. Шатохина З.В. О происхождении почв “релок” в долинах рек Иман и Уссури // Проблемы агрохимии и почвоведения на Дальнем Востоке: Тезисы докладов на первом совещании агрохимиков и почвоведов на Дальнем Востоке. Хабаровск, 1967. С. 21–22.
9. Куренцова Г.Э. Естественные и антропогенные смены растительности Приморья и Нижнего Приамурья. Новосибирск: Наука, 1973. 232 с.
10. Ливеровский Ю.А., Росликова В.И. Генезис некоторых луговых почв Приморья // Почвоведение. 1962. № 8. С. 36–42.
11. Махинов А.Н. Современное рельефообразование в условиях аллювиальной аккумуляции. Владивосток: Дальнаука, 2006. 232 с.
12. Махинов А.Н. Эоловые формы рельефа в пойме реки Амур // Геоморфология. 2017. № 2. С. 52–62.
13. Полевой определитель почв России. М.: Почвенный ин-т им. В.В. Докучаева РАСХН, 2008. 182 с.
14. Разрез новейших отложений Нижнего Приамурья / авт. Э.Н. Сохина, Т.Д. Боярская, А.П. Окладников, В.И. Росликова, А.И. Чернюк. М.: Наука, 1978. 104 с.
15. Росликова В.И. Марганцево-железистые новообразования в почвах равнинных ландшафтов гумидной зоны. Владивосток: Дальнаука, 1996. 272 с.
16. Росликова В.И., Матюшкина Л.А. Особенности конкрециеобразования в почвах Среднеамурской впадины в связи с литолого-геоморфологическими условиями // Вопросы географии Дальнего Востока. Сб. 16. Хабаровск, 1975. С. 128–142.
17. Росликова В.И., Матюшкина Л.А. Текстурно-дифференцированные почвы равнин юга Дальнего Востока и их ландшафтно-географические особенности // Региональные проблемы. 2017. Т. 20. № 4. С. 53–60.
18. Сохина Э.Н. Руслловые процессы и формирование современного аллювия в низовьях Амура // Вопросы геологии осадочных формаций юга Дальнего Востока. Владивосток, 1973. С. 55–66.
19. Шелест Л.Г. Почвы пойм горных долин Приморского края: Дисс. ... канд. биол. наук (02.03.08 – почвоведение). Владивосток, 2001. 159 с.

20. *Шраг В.И.* Классификация пойменных почв и краткая агромелиоративная характеристика. М.: Изд-во Росгипроводхоза, 1961. 97 с.

REFERENCES

1. Akhtyamov M.Kh., Kremlev S.M., Kim En Gel', *Poimennye luga Sredneamurskoi ravniny: sintaksonomiya, dinamika, ekologicheskaya fiziologiya* (Floodplains of the Middle-Amur Plain are synthaxonomy, dynamics, ecological physiology), Vladivostok, 1988, 121 p.
2. Ershov Yu.I., Osobennosti pochvoobrazovaniya i evolyutsiya pochv poimy nizhnego Amura v predelakh Udy'l'-Kizinskoi nizmennosti (Soil formation features and soil evolution of lower Amur floodplains within Udul-Kizin lowland), *Nauch. dokl. vyssh. Shkoly, Biol. nauki*, 1970, No. 7, pp. 121–126.
3. Ivanov G.I., *Klassifikatsiya pochv ravnin Primor'ya i Priamur'ya* (Classification of soils of the plains of Primorye and Priamurya), Vladivostok: Dal'nevost. kn. izd-vo, 1966, 47 p.
4. Kachiyani A.I., Tregubov G.A., *Klassifikatsiya pochv Priamur'ya i Primor'ya* (Classification of soils of Priamurye and Primorye), In: *Amurskij sbornik, II* (Amur collection, II), Khabarovsk, 1960, pp. 277–295.
5. *Klassifikatsiya i diagnostika pochv SSSR* (Classification and diagnostics of soils of the USSR), Moscow: Kolos, 1977, 224 p.
6. *Klassifikatsiya i diagnostika pochv Rossii* (Classification and diagnostics of soils of Russia), Smolensk: Oikumena, 2004, 324 p.
7. Kovda V.A., Zimovets B.A., Zyrin N.G., *Pochvy i protsessy pochvoobrazovaniya v poimakh Verkhnego i Srednego Amura* (Soils and soil formation processes in Upper and Upper Amur catches), *Pochvovedenie*, 1960, No. 11. pp. 11–23.
8. Kreida N.A. Shatokhina Z.V., *O proiskhozhdenii pochv "riolkas" v dolinakh rek Iman i Ussuri* (On the origin of "riolkas" soils in the valleys of the Iman and Ussuri rivers), *Problemy agrokhimii i pochvovedeniya na Dal'nem Vostoke: Tezisy dokladov na pervom soveshchanii agrokhimikov i pochvovedov na Dal'nem Vostoke* (Problems of agrochemicals and soil science in the Far East, Book of Abstracts: The first meeting of agrochemists and soil scientists in the Far East), Khabarovsk, 1987, pp. 21–22.
9. Kurentsova G.E., *Estestvennye i antropogennye smeny rastitel'nosti Primor'ya i Nizhnego Priamur'ya* (Natural and man-made changes of vegetation of Primorye and Lower Priamurye), Novosibirsk: Nauka, 1973, 232 p.
10. Liverovskii Yu.A., Roslikova V.I., *Genezis nekotorykh lugovykh pochv Primor'ya* (Genesis of some meadow soils of Primorye), *Pochvovedenie*, 1962,

No. 8, pp. 36–42.

11. Makhinov A.N., *Sovremennoe rel'efoobrazovanie v usloviyakh alluvial'noi akkumulyatsii* (Modern relief formation under conditions of alluvial accumulation), Vladivostok: Dal'nauka, 2006, 232 p.

12. Makhinov A.N., Eolovye formy rel'efa v poime reki Amur (Aeolian forms of relief in river floodplain), *Geomorfologiya*, 2017, No. 2, pp. 52–62.

13. Polevoi opredelitel' pochv Rossii (Russia's Field Soil Determiner), Moscow: V.V. Dokuchaev Soil Science Institute RASKHN, 2008, 182 p.

14. Sokhina E.N., Boyarskaya T.J., Okladnikov A.P., Roslikova V.I., Chernyuk A.I., *Razrez noveishikh otlozhenii Nizhnego Priamur'ya* (Section of the newest deposits of the Lower Priamuriye), Moscow: Nauka, 1978, 104 p.

15. Roslikova V.I., Margantsevo-zhelezistye novoobrazovaniya v pochvakh ravninnykh landshaftov gumidnoi zony (Manganese-iron neoplasms in soils of lowland landscapes of the humid zone), Vladivostok: Dal'nauka, 1996, 272 p.

16. Roslikova V.I., Matyushkina L.A., Osobennosti konkretnieobrazovaniya v pochvakh Sredneamurskoi vpadiny v svyazi s litologo-geomorfologicheskimi usloviyami (Features of nodulation in the soils of the Middle-Amur Valley due to lithological-geomorphological conditions), In: *Voprosy geografii Dal'nego Vostoka* (Geography of the Far East, book 16), Khabarovsk, 1975, pp. 128–142.

17. Roslikova V.I., Matyushkina L.A., Teksturno-differentsirovannyye pochvy ravnin yuga Dal'nego Vostoka i ikh landshaftno-geograficheskie osobennosti (Texture-differentiated soils of plains of the South Far East and their landscape-geographical features), *Regional'nye problemy*, 2017, Vol. 20, No. 4, pp. 53–61.

18. Sokhina E.N., Ruslovye protsessy i formirovanie sovremennogo allyuviya v nizov'yakh Amura (Channel processes and formation of modern alluvium in the lower Amur), In: *Voprosy geologii osadochnykh formatsii yuga Dal'nego Vostoka* (Geology of sedimentary formations of the South of the Far East), 1973, pp. 55–66.

19. Shelest L.G., *Pochvy poim gornyykh dolin Primorskogo kraya: Diss. ... kand. biol. nauk* (02.03.08 – pochvovedenie) (Soil floodplains of mountain valleys of Primorsky Krai: Cand. biol. sci. thesis (02.03.08 – pochvovedenie)), Vladivostok, 2001, 159 p.

20. Shrag V.I., *Klassifikatsiya poimennykh pochv i kratkaya agromeliativnaya kharakteristika* (Classification of floodplains and short agromeliational characteristic), Moscow: Izd-vo Rosgiprovodhoza, 1961, 97 p.

УДК 631.4

DOI: 10.19047/0136-1694-2021-106-130-162



Ссылки для цитирования:

Романовская А.Ю., Шумакова К.Б. Регулирование водного режима дерново-подзолистей почвы в условиях плодового питомника и характер распределения влаги в почвенном профиле при различных режимах увлажнения // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. 2021. Вып. 106. С. 130-162. DOI: 10.19047/0136-1694-2021-106-130-162

Cite this article as:

Romanovskaya A.Yu., Shumakova K.B., Regulation of water regime of sod-podzolic soil in fruit tree nursery and water distribution pattern in the soil profile under different irrigation regimes, Dokuchaev Soil Bulletin, 2021, V. 106, pp. 130-162, DOI: 10.19047/0136-1694-2021-106-130-162

Регулирование водного режима дерново-подзолистей почвы в условиях плодового питомника и характер распределения влаги в почвенном профиле при различных режимах увлажнения

© 2020 г. А. Ю. Романовская^{1*}, К. Б. Шумакова^{2**}

¹ФИЦ “Почвенный институт им. В.В. Докучаева”, Россия,
119017, Москва, Пыжевский пер., 7, стр. 2,
* e-mail: burmistrovaann13@mail.ru.

²РГАУ – МСХА имени К.А. Тимирязева, Россия,
127550, Москва, Тимирязевская ул., 49,
** e-mail: kshum@bk.ru.

Поступила в редакцию 16.02.2020, после доработки 05.03.2021,
принята к публикации 15.03.2021

Резюме: По результатам полевого опыта, проведенного в питомнике Мичуринского сада РГАУ–МСХА имени К.А. Тимирязева, разработаны и обоснованы рациональные режимы орошения саженцев яблони разного возраста (одно-, двух- и трехлетних). Избыточные воды отводились с опытного участка закрытой дренажной системой, а для полива использовалась система капельного орошения, позволяющая поддерживать влажность в узком диапазоне за счет регулярных поливов небольшими нормами. Режимы орошения оценивались по отзывчивости

саженцев, а именно: измерялись биометрические параметры, впоследствии определяющие урожайность яблони во взрослом саду (средние высота растений, диаметр штамба на высоте 20 см, площадь листовой поверхности), а также рассчитывался выход стандартных саженцев. Для выращивания однолетних саженцев яблони рекомендовано поддерживать влажность почвы в интервале 70–90% НВ. При таком режиме орошения обеспечивается максимальный выход стандартных саженцев (1-ой и 2-ой категории) – 25.9 тыс. штук га⁻¹, средняя площадь листовой поверхности составляет 1 468 см², диаметр штамба – 1.8 см, высота – 140 см. Для двух- и трехлетних саженцев разработан дифференцированный режим орошения, при котором влажность и глубина увлажняемого слоя изменяются по мере развития корневой системы. В первый год при слабо развитой корневой системе влажность почвы следует поддерживать в диапазоне 70–90% НВ в слое 0–30 см, для саженцев второго и третьего года – 60–80% НВ в слое 0–40 см и 0–50 см соответственно. Высота двухлетних саженцев составила в среднем 174 см, площадь листовой поверхности – 3 715 см², диаметр штамба на высоте 20 см – 2.3 см, выход стандартных саженцев – 25 тыс. штук с 1 га. Трехлетние саженцы в высоту достигали 214 см, характеризовались площадью листовой поверхности 5 973 см², диаметром штамба на высоте 20 см – 2.8 см, выход стандартных саженцев – также 25 тыс. штук с 1 га. Кроме того, для двух вариантов орошения (60–80% НВ и 70–90% НВ) получены контуры увлажнения почвы сразу после полива, через сутки и перед началом следующего полива, рассчитаны площади сегментов в вертикальном сечении контура, позволяющие определить характер распределения влаги по профилю и дать сравнительную характеристику орошаемым вариантам. Полученные контуры увлажнения свидетельствуют об отсутствии непроизводительных потерь оросительной воды на инфильтрацию в нижележащие горизонты при рассмотренных режимах капельного орошения.

Ключевые слова: капельное орошение, дифференцированный режим орошения, контур увлажнения, саженцы яблони, посадочный материал.

Regulation of water regime of sod-podzolic soil in fruit tree nursery and water distribution pattern in the soil profile under different irrigation regimes

A. Yu. Romanovskaya^{1*}, K. B. Shumakova^{2**}

¹*Federal Research Centre “V.V. Dokuchaev Soil Science Institute”,
7 Bld. 2 Pyzhevskiy per., Moscow 119017, Russian Federation,
e-mail: burmistrovaann13@mail.ru.

²*Russian State Agrarian University –
Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev,
49 Timirayzevskaya Str., Moscow 127550, Russian Federation,
**e-mail: kshum@bk.ru.*

Received 16.02.2020, Revised 05.03.2021, Accepted 15.03.2021

Abstract: Based on the results of field experiments carried out in the nursery of Michurin garden of Russian State Agrarian University named after K.A. Timiryazev, rational irrigation schedules for apple-tree seedlings of different age (1-, 2- and 3-year-old) were developed and scientifically substantiated. Excess water was diverted from the experimental plot by underground drainage system, and the drip irrigation system was used for watering plants. With its characteristic low rate of water usage and highly frequent irrigation applications it allows the moisture content to be maintained within a narrow range. The effectiveness of irrigation schedules was evaluated by the response of seedling – their biometric characteristics, determining the productivity of apple trees in orchard in future, such as average plant height, stem diameter at 20 cm height, leaf surface area, which were measured. The amount of high-quality planting stock was recorded in each variant as well. In order to obtain 1-year-old apple seedlings it is recommended to maintain soil moisture within the range of 70–90% of field capacity (FC). This irrigation schedule results in the maximum amount of standard planting stock (1-st and 2-nd category) – 25.9 thousand seedlings per ha, with the average leaf surface area of 1 468 cm², trunk diameter – 1.8 cm, plant height – 140 cm. For 2- and 3-year-old seedlings the differentiated irrigation schedule was developed, whereby the moisture content and depth of the wetted layer varies as the root system grows. In the first year of growth soil moisture should be maintained within the range of 70–90% FC in 0–30 cm layer because of the poorly developed root system; for 2- and 3-year-old nurslings soil moisture can be reduced to 60–80% FC in 0–40 cm and 0–50 cm layer respectively. The height of 2-year-old seedlings was on average 174 cm, leaf surface area – 3 715 cm², stem diameter at 20 cm height was 2.3 cm, the amount of standard planting stock was 25 thousand seedlings per ha. The 3-year-old seedlings reached the height of 214 cm, were characterized by leaf surface area of 5 973 cm², stem diameter at 20 cm of 2.8 cm, the yield of standard seedlings was also 25 thousand seedlings per ha. Moreover, for two variants of irrigation (60–80% FC and 70–90% FC) moisture distribution contours immediately after irrigation, 24 hours after irrigation and before the next irrigation application were designed. The areas of segments with different moisture content in

vertical section of contours were calculated, thus, revealing the character of moisture distribution down the soil profile and allowing performance of comparative characteristic of irrigation schedules. The obtained wetting contours indicate the absence of unproductive losses of irrigation water for infiltration into the underlying horizons when the considered drip irrigation schedules were applied.

Keywords: drip irrigation, differentiated irrigation schedule, vertical moisture distribution contour lines, apple tree seedlings, planting stock.

ВВЕДЕНИЕ

В Центральном районе и непосредственно в Подмоскowie реализуются главным образом саженцы яблони, доля которых составляет 67.5% ([Иволгин, 2002](#)), чем и объясняется необходимость интенсивного развития плодовых питомников с целью обеспечения садоводов посадочным материалом высокого качества.

Влагообеспеченность плодовых растений в период вегетации – один из важнейших факторов, обеспечивающих их нормальное развитие и высокую продуктивность ([Шугай, 2005](#)). Несмотря на избыточное увлажнение, Московская область характеризуется крайне неравномерным распределением осадков в течение вегетационного периода, что негативно сказывается на качестве посадочного материала ([Иволгин, 2002](#); [Рожнов, 2004](#); [Сергиенко, 2008](#)). Все это указывает на необходимость грамотного подбора способов и режимов орошения, разработанных и адаптированных на основании результатов научных исследований, проведенных с саженцами различных видов плодовых культур в конкретной природно-климатической зоне.

Орошение способствует увеличению выхода стандартных саженцев в питомниках, находящихся в зонах неустойчивого, неравномерного и недостаточного увлажнения. Прежде всего, это объясняется поверхностной корневой системой большинства саженцев.

Непрерывное влагообеспечение саженцев в течение вегетационного периода – основное условие функционирования любого из подразделений питомника, вне зависимости от конечной задачи, стоящей перед каждым из них. Дефицит влаги на любой стадии выращивания посадочного материала негативно сказывается

на его качестве.

Правильно проводимые осушительно-оросительные мелиорации способствуют созданию оптимального водного режима и связанных с ним воздушного, питательного, микробиологического, температурного режимов почвы для полноценного роста и развития растений. Рациональные научно обоснованные режимы орошения, разработанные для почвенно-климатических условий конкретных территорий, должны обеспечивать повышение продуктивности сельскохозяйственных культур при сохранении почвенного плодородия или его улучшении за счет оптимизации различных процессов, протекающих в почве.

Капельный полив является перспективным не только в южных регионах страны, но и в Нечерноземной зоне, поскольку, несмотря на избыточное увлажнение, распределение осадков здесь крайне неравномерно, особенно в летние месяцы. При этом в рамках концепции устойчивого развития следует внедрять в практику научно-технические достижения, осваивать технологии, отвечающие принципам ресурсосбережения, и в целом модернизировать производство.

Отмечаемая в последнее время в Московской области флуктуация погодных условий подтверждает в принципе необходимость проведения оросительных мероприятий в данном регионе и актуальность капельного полива как наиболее технологичного способа. Более того, по литературным данным, даже в условиях влажного климата Нидерландов капельное орошение улучшило приживаемость саженцев и на 30–40% ускорило рост побегов ([Сабилов, Раззаков, 1990](#)).

Исходя из приведенных данных, можно утверждать, что даже в зоне избыточного увлажнения в течение вегетации наблюдаются декады с неравномерной и недостаточной влагообеспеченностью, которые могут совпадать с критическими фазами развития саженцев, когда растения особенно сильно нуждаются в оптимальном увлажнении корнеобитаемого слоя для нормального роста и развития. А избыточное увлажнение должно регулироваться осушительной сетью. Таким образом, для условий Московской области наиболее актуальными становятся системы двустороннего регулирования.

Необходимо отметить, что для почвенно-климатических условий Московской области на данный момент отсутствуют научно обоснованные рекомендации по режиму орошения саженцев яблони при капельном поливе.

Цель работы состоит в обосновании рационального режима орошения при капельном поливе питомника для получения высококачественного посадочного материала яблони на дерново-подзолистых почвах Московской области, при условии отведения избыточных поверхностных вод посредством закрытой дренажной системы.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Объектом исследования стала почва опытного участка Мичуринского сада РГАУ–МСХА имени К.А. Тимирязева. Почвенный покров опытного орошаемого участка представлен дерново-среднеподзолистой, среднесуглинистой, глубокопахотной, глееватой, окультуренной почвой на моренном суглинке, который на глубине 140–160 см подстилается подморенными песками. Рисунок 1 представляет собой морфологическое описание почвенного разреза, заложенного на участке постановки опыта.

Почва опытного участка хорошо окультурена и характеризуется мощным пахотным горизонтом (30 см), при этом содержание гумуса достигает в среднем 2.7%. В результате регулярного внесения больших доз органических удобрений и систематического известкования почва имеет слабокислую реакцию в пахотном горизонте ($\text{pH}_{\text{сол}}$ 5.7) с дальнейшим ее снижением вниз по профилю. Почва хорошо обеспечена подвижным фосфором и обменным калием и средне обеспечена азотом. Содержание легкогидролизуемого азота в пахотном слое составляет 76 мг/100 г почвы и резко снижается в нижних горизонтах.

Причиной повышенного плодородия почвы в Мичуринском саду является то, что начиная с 1971 г. ежегодно вносятся в большом количестве органические удобрения в виде полуперепревшего двухлетнего компоста из конского навоза, опилок, древесной золы и нитроаммофоски.

$A_{\text{пах}}$	$\frac{0 - 30}{30}$	Серый, среднесуглинистый, комковатый, рыхлый, включения корней травянистых растений, железа и марганца, четкий переход по цвету.
A_2	$\frac{30 - 46}{16}$	Белесовато-серый, комковато-пылеватый, легкосуглинистый, плотный, включения железа (железистые пятна), постепенный переход по цвету.
A_2B	$\frac{46 - 62}{16}$	Окрашен неоднородно, бурый с серыми белесыми пятнами языковидной формы, легкосуглинистый, плотный, комковато-призматический, марганцевые включения, переход постепенный по цвету и плотности.
B	$\frac{62 - 97}{24}$	Рыжевато-бурый, ореховато-призматический, опесчаненный средний суглинок, плотный, марганцевые включения, сизые глееватые затеки, переход постепенный.
BC	$\frac{97 - 124}{27}$	Рыжевато-бурый, призматический, опесчаненный средний суглинок, плотный, глинистые включения, переход постепенный
C	$\frac{124 \text{ и глубже}}$	Рыжевато-бурый, бесструктурный, опесчаненный средний суглинок, плотный с включениями песчаных линз.



Рис. 1. Описание разреза, заложенного на участке постановки опыта.
Fig. 1. Description of the soil profile laid at the experimental site.

Поскольку оросительные мероприятия планируются и рассчитываются исходя из физических свойств почвы, Н.А Качинский выделил целый ряд параметров, изучение которых необходимо для ирригационной характеристики орошаемой территории: механический состав почвы, плотность почвы, плотность твердой фазы, водопроницаемость и наименьшая влагоемкость почвы, максимальная гигроскопичность и влажность завядания растений, скважность почвы. В связи с этим основные показатели водно-физических свойств почвы исследуемого участка приведены в таблице 1.

Таблица 1. Водно-физические свойства дерново-подзолистей почвы опытного участка

Table 1. Water-physical properties of sod-podzolic soil of the experimental plot

Почвенный горизонт, см	Плотность, г/см ³	Плотность твердой фазы, г/см ³	Общая пористость, %	НВ	МГ	ВЗ
				% от массы почвы		
A _{пах} (0–30)	1.19	2.47	51.82	31.9	8.7	13.1
A ₂ (30–46)	1.45	2.61	44.44	26.4	3.7	5.6
A ₂ B (46–62)	1.51	2.68	43.66	21.3	4.2	6.3
B (62–97)	1.53	2.72	43.75	20.8	3.9	5.9
BC (97–124)	1.56	2.70	42.22	19.8	4.1	6.2
C (124 и ниже)	1.61	2.72	40.81	18.6	3.8	5.7

Исследовались четыре варианта (табл. 2):

I вариант – влажность почвы поддерживалась в диапазоне 70–90% НВ;

II – влажность почвы поддерживалась в диапазоне 60–80% НВ;

III вариант – дифференцированный (по годам) режим орошения, а именно: в первый год (2011 г.) влажность почвы поддерживалась в интервале 70–90% НВ, а на второй (2012 г.) и третий (2013 г.) годы исследований уровень увлажнения снижался до 60–80% НВ;

IV вариант – контроль, без орошения.

Кроме того, орошаемый слой с каждым годом увеличивается на 10 см по мере развития корневой системы, таким образом, в 2011 г. расчет поливных норм осуществлялся для горизонта 0–30 см, в 2012 г. – 0–40 см, в 2013 г. – 0–50 см.

Таким образом, ни в одном из вариантов влажность почвы не доводилась поливными нормами до 100% НВ, поскольку в результате рекогносцировочных исследований предыдущих лет при насыщении почвы влагой до 100% НВ капельным способом наблюдалась фильтрация поливной воды в нижележащие горизонты, вероятно, ввиду относительно легкого гранулометрического состава почвы опытного участка.

Таблица 2. Схема опыта

Table 2. Scheme of the experiment

Вариант опыта	Диапазон увлажнения почвы и мощность орошаемого слоя		
	2011 г.	2012 г.	2013 г.
I	70–90% НВ; 0–30 см	70–90% НВ; 0–40 см	70–90% НВ; 0–50 см
II	60–80% НВ; 0–30 см	60–80% НВ; 0–40 см	60–80% НВ; 0–50 см
III (дифференцированный)	70–90% НВ; 0–30 см	60–80% НВ; 0–40 см	60–80% НВ; 0–50 см
Контроль	без орошения	без орошения	без орошения

Поскольку увлажнение в регионе очень неравномерное, то в одни периоды требуется отвод избыточных вод с территории, а в другие – орошение, чтобы компенсировать недостаток влаги и обеспечить оптимальные условия для развития растений. В связи с этим на опытном участке функционирует оросительно-осушительная сеть. Осушительная сеть представлена закрытой дренажной системой, пластиковые дрены уложены на глубине 1–1.5 м. Для полива использовалась многолетняя капельная линия

MULTIBAR, оснащенная системой автокомпенсации, которая при изменении рабочего давления за счет силиконовой мембраны обеспечивает постоянный расход 3.8 л/час.

Кроме того, эффективность изучаемых режимов орошения определяли по отзывчивости саженцев яблони, для чего определяли их биометрические показатели, поскольку одно- и двухлетние саженцы еще не способны к плодоношению и невозможно оценить их продуктивность через урожайность. Следовательно, еще одним объектом исследования были саженцы яблони в питомнике (в статье приводятся данные по одному из сортов – Белый налив), где изучались особенности их формирования в зависимости от разных условий влагообеспеченности.

Методика проведения исследований составлена с учетом “Программно-методических указаний по агротехническим опытам с плодовыми и ягодными культурами” под редакцией Н.Д. Спиваковского ([Спиваковский, 1956](#)), “Программой и методикой исследований по орошению плодовых и ягодных культур” С.Н. Маркова ([Марков, 1985](#)), “Методикой полевого опыта в условиях орошения” В.Н. Плешакова ([Плешаков, 1983](#)), “Методикой постановки опытов с плодовыми, ягодными и цветочно-декоративными растениями” под ред. В.А. Комиссарова ([Комиссаров, 1982](#)), “Методикой полевого опыта” Б.А. Доспехова ([Доспехов, 2011](#)).

Для установления оптимального режима орошения в опыте измерялись биологические параметры, характеризующие развитие надземной части растений (высота, площадь листовой поверхности, диаметр штамба, прирост однолетних побегов), которые оказывают влияние на развитие плодовых деревьев и на урожайность садов в дальнейшем, а также оценивалось развитие корневой системы. Площадь листовой поверхности определялась в соответствии с “Программой и методикой исследований по вопросам почвенной агротехники в интенсивном садоводстве” под редакцией В.А. Потапова ([Каширская, 2011](#); [Потапов, 1976](#)), которая позволяет проследить развитие листовой поверхности саженцев в динамике. Корневая система исследовалась по методике В.А. Колесникова, описанной в работе “Корневая система плодовых и ягодных культур и методы ее изучения” ([Колесников, 1962](#); [Рожков и др., 2004](#)).

Определение физико-химических и водно-физических свойств почвы в Мичуринском саду проводилось по общепринятым методикам.

Влажность почвы контролировалась ежедневно, а также до и после поливов, с помощью тензиометров и почвенного влагомера-термометра TR 46908 di Turoni & c. Snc (Италия) с различными щупами для проведения измерений на разной глубине, оттарированных на основании результатов более точного, но более трудоемкого термостатно-весового метода. Более того, ежедекадно и после выпадения обильных осадков отбирались образцы почвы во всех вариантах на определение влажности термостатно-весовым методом.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Наибольший контраст между орошаемыми вариантами и контрольным неорошаемым вариантом отмечен в 2011 г., где в силу засушливых метеорологических условий года в течение всего периода вегетации наблюдается острый дефицит запасов продуктивной влаги в почве. Влажность почвы орошаемых вариантов колеблется в узких пределах и относительно постоянна, что же касается контрольного варианта, то в начале вегетации влажность почвы во всех вариантах поддерживалась на уровне 75% НВ и выше благодаря приживочным поливам. В дальнейшем в контрольном варианте после прекращения приживочных поливов содержание влаги в почве неукоснительно падало, опускаясь ниже значения 40% НВ (рис. 1). Резкие скачки влажности в этом варианте приурочены к выпадению продуктивных осадков, которых в 2011 г. было немного, особенно в период вегетации. Увеличению этих запасов способствовали осадки, выпавшие во второй декаде августа и в сентябре.

В целом за три года исследований орошаемые варианты отмечены как наиболее благоприятные для развития растений ввиду отсутствия циклов сильного иссушения с последующим перувлажнением почвы, что характерно для контрольного варианта (рис. 1).

Подпитывание грунтовыми водами было незначительным предположительно в силу относительного легкого гранулометри-

ческого состава почвы и глубокого залегания грунтовых вод. В 2011 г. при залегании грунтовых вод на уровне около 3 м практически в течение всей вегетации приход влаги либо отсутствовал, либо в среднем за декаду составлял $0.7\text{--}3\text{ м}^3/\text{га}$, в 2012 г. – $1.3\text{--}6\text{ м}^3/\text{га}$, в 2013 г. – $2.7\text{--}11\text{ м}^3/\text{га}$. Объем дренажного стока за период с конца августа по сентябрь включительно был минимальным в 2011 г. – $492\text{ м}^3/\text{га}$, в 2012 г. – $640\text{ м}^3/\text{га}$, максимальных значений дренажный сток достиг в 2013 г. – $1\,886\text{ м}^3/\text{га}$, причем основной сток отмечен в 3-й декаде августа – сентябре, когда выпало 244.7 мм осадков.

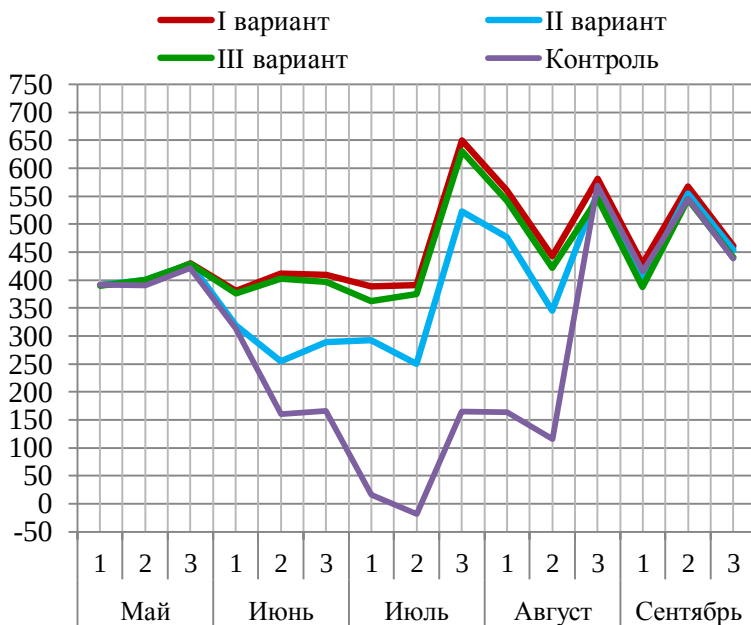


Рис. 1. Динамика запасов продуктивной влаги в пахотном горизонте дерново-подзолистого почвенного горизонта (0–30 см) в 2011 г., $\text{м}^3/\text{га}$.

Fig. 1. Dynamics of productive moisture reserves in the arable horizon of sod-podzolic soil (0–30 cm) in 2011, m^3/ha .

Поступление воды в почву, ее передвижение по профилю и распределение имеют большое значение для жизни растений. При

капельном орошении вода поступает в почву небольшими дозами, впитываясь в почву, она становится ее частью и перемещается по законам, общим для всех способов полива ([Ахмедов и др., 2010](#)). Вода из капельницы проходит определенное расстояние в почве, при этом формируется постоянная зона увлажнения, величина и конфигурация которой зависят от свойств почвы, поливной нормы, конструкции и расходных характеристик капельниц. Остается не выясненным, как сильно изменяется контур увлажнения в дерново-подзолистых почвах при различных поливных нормах, как распределяется влага в почве после полива. Эти вопросы непосредственно связаны с оптимизацией капельного способа полива для условий Московской области, поскольку элементы технологии капельного орошения в первую очередь включают параметры контура увлажнения: его наибольшую глубину, ширину, горизонтальную и вертикальную площадь, а также влагонасыщенность.

Поскольку вопрос о распределении влаги в почве имеет большое значение для роста и развития растений, а подвижность и доступность влаги тесно связаны с уровнем увлажнения почвы, в настоящем исследовании были изучены контуры увлажнения дерново-подзолистой почвы при капельном орошении и характер распределения почвенной влаги после поливов в зависимости от поливных норм и мощности орошаемого горизонта.

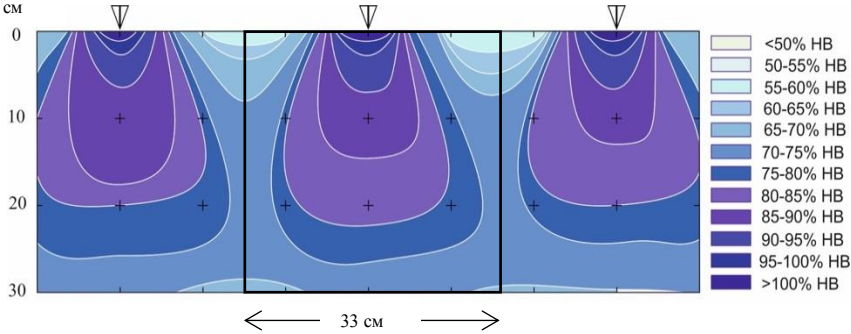
Для оценки соответствия водного режима почвы биологическим требованиям культуры некоторые исследователи ([Бородычев и др., 2009, 2012](#)) предложили сопоставить долю оптимального увлажнения до и после полива. В результате ими было установлено, что при частых поливах небольшими нормами доля площади зон с биологически оптимальным влагосодержанием до и после орошения практически одинакова. Повышение поливной нормы приводит к перераспределению зон с различной степенью увлажнения, значительным изменением их площади и места расположения. Это вызвано ростом числа элементарных участков, которые расположены на периферии контура увлажнения и характеризуются содержанием влаги, близким к нижнему порогу биологически оптимального уровня. В результате испарения и транспирации они переходят в состояние с неблагоприятным для растения водным режимом почвы. Таким образом, доля площади контура

увлажнения с оптимальным водно-воздушным режимом переходит в состояние, когда влага становится труднодоступной растениям, увеличивается пропорционально возрастанию поливной нормы ([Бородычев и др., 2009, 2012](#)). Однако следует отметить, что эти выводы сделаны для почв южных регионов (преимущественно для Нижнего Поволжья), что же касается Московской области, то попытки изучить контуры увлажнения были предприняты профессором А.В. Шуравилиным и его учениками, что нашло отражение в работе А.М. Елсайеда ([2011](#)) по обоснованию режима капельного орошения земляники.

На основании результатов полевых и лабораторных изысканий были получены следующие контуры увлажнения при капельном поливе для каждого варианта орошения по трем годам исследований. Сетка точек отбора проб на влажность размечена с интервалом в 10 см, эти точки на рисунках отмечены крестиками.

На рисунках 2, 3 приведены контуры увлажнения для вариантов орошения 70–90% НВ и 60–80% НВ соответственно, сформировавшиеся сразу после полива. В 2011 г. поливная норма в среднем составила 41 м³/га для обоих вариантов, поскольку интервал увлажнения составлял 20% НВ, а варианты отличались нижним и верхним пределом влажности почвы. Мощность орошаемого слоя составила 0–30 см. Нижняя граница контуров имеет выположенный характер, вероятно, ввиду резкого увеличения плотности подпахотного горизонта (1.45 г/см³), который начинается с глубины около 30 см. Непосредственно под капельницами сразу после полива образуются небольшие “лужицы” – зоны с избыточной влажностью 100–105% НВ ([Бурмистрова, 2013](#)). Подобные контуры увлажнения были получены в 2012 и 2013 гг. для слоя почвы 0–40 см и 0–50 см соответственно, подробно они описаны в работе А.Ю. Бурмистровой ([2013](#)). В данной статье приводятся результаты за 2011 г.

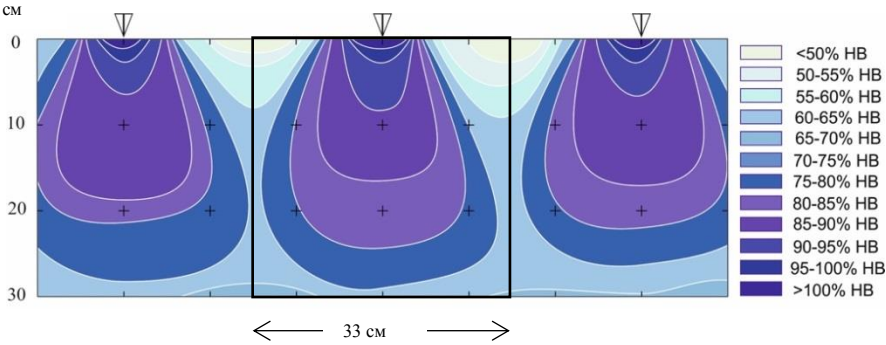
Изолинии, отделяющие сегменты с разной влажностью, проведены методом интерполяции на основе точек с известной влажностью. Безусловно, эти контуры не являются абсолютно точной характеристикой распределения влаги в почве, тем не менее, они весьма наглядны и позволяют сравнить рассматриваемые режимы орошения.



Влажность, % НВ	>100	95–100	90–95	85–90	80–85	75–80	70–75	55–70
Площадь доли, см ²	9	19	44	127	233	202	252	104

Рис. 2. Распределение влаги в дерново-подзолистой почве (0–30 см) сразу после полива в I варианте (70–90% НВ) в 2011 г. (Бурмистрова, 2013).

Fig. 2. Moisture distribution in sod-podzolic soil (0–30 cm) immediately after irrigation in variant I (70–90% of field capacity) in 2011 (Burmistrova, 2013).



Влажность, % НВ	>100	95–100	90–95	85–90	80–85	75–80	60–65	<60
Площадь доли, см ²	11	15	54	161	228	237	172	112

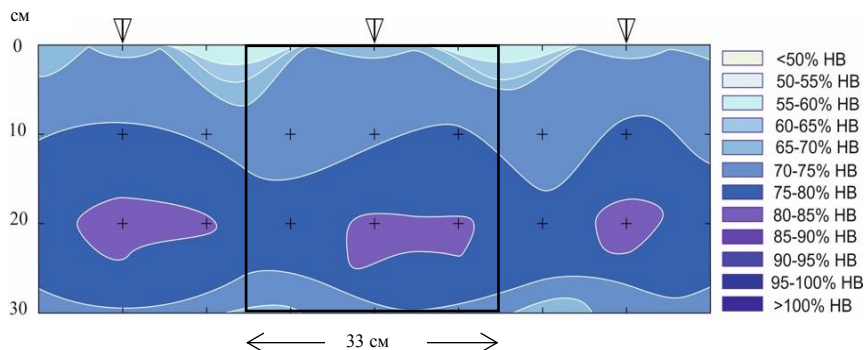
Рис. 3. Распределение влаги в дерново-подзолистой почве (0–30 см) сразу после полива во II варианте (60–80% НВ) в 2011 г. (Бурмистрова, 2013).

Fig. 3. Moisture distribution in sod-podzolic soil (0–30 cm) immediately after irrigation in variant II (60–80% of field capacity) in 2011 (Burmistrova, 2013).

Например, непосредственно после орошения контуры весьма схожи во всех орошаемых вариантах с той лишь разницей, что во II варианте (60–80% НВ) почва более иссушена между капельницами и влага распространяется преимущественно вниз по профилю, а не в боковом направлении, формируя таким образом более четкий контур. В этом контуре отсутствует доля с влажностью 65–75% НВ, зато между капельницами встречаются зоны с влажностью менее 60% НВ и их площадь в вертикальном сечении составляет 112 см². В более увлажненных I и III вариантах (70–90% НВ), наоборот, сегмент с влажностью 70–75% НВ имеет достаточно большую площадь – 252 см², и именно при этом уровне влажности наблюдается слияние контуров между капельницами. Площади сегментов вертикального сечения рассчитывались в программе AutoCAD.

По результатам исследований Д.А. Ахмедова и Е.Ю. Галиуллиной ([Ахмедов и др., 2010](#)) наибольшая площадь контура увлажнения для всех поливных норм наблюдается через сутки после окончания полива, поэтому ниже приведены рисунки (рис. 4 и 5), отражающие распределение влажности через 24 часа после полива. В данном исследовании капельницы располагались близко друг к другу (33 см), поэтому через сутки после полива наблюдалось слияние большинства сегментов соседних контуров увлажнения ([Ахмедов и др., 2010](#)).

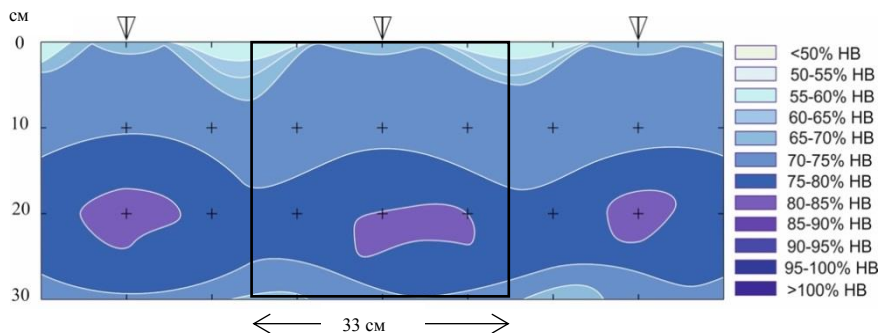
Рисунки 4 и 5 характеризуют распределение влаги в почве для тех же вариантов через сутки после полива, на которых в вертикальном сечении отчетливо видно окончательное смыкание контуров увлажнения, а также послойное распределение влаги, а под капельницами наблюдаются очаги с несколько большим увлажнением. Так, для I варианта в верхнем слое почвы на глубине 5–15 см влажность колеблется в пределах 70–75% НВ (общей площадью сечения 349 см²), под ним полоса с влажностью 75–80% НВ (425 см²), ширина которой увеличивается под капельницами и уменьшается между капельницами. Внутри данной полосы наблюдаются очаги с влажностью 80–85% НВ (93 см²). Таким образом, основная масса корней сосредоточена в зоне с влажностью более 75% НВ.



Влажность, % НВ	80–85	75–80	70–75	65–70	60–65	55–60
Площадь доли, см ²	93	425	349	59	28	35

Рис. 4. Распределение влаги в дерново-подзолистой почве (0–30 см) через 24 часа после полива в I варианте (70–90% НВ) в 2011 г. ([Бурмистрова, 2013](#)).

Fig. 4. Moisture distribution in sod-podzolic soil (0–30 cm) in 24 hours after irrigation in variant I (70–90% of field capacity) in 2011 ([Burmistrova, 2013](#)).



Влажность, % НВ	80–85	75–80	70–75	65–70	60–65	55–60
Площадь доли, см ²	74	356	438	59	31	32

Рис. 5. Распределение влаги в дерново-подзолистой почве (0–30 см) через 24 часа после полива во II варианте (60–80% НВ) в 2011 г. ([Бурмистрова, 2013](#)).

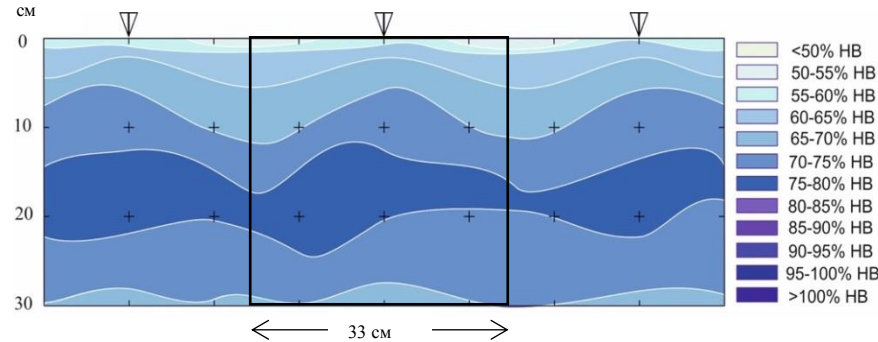
Fig. 5. Moisture distribution in sod-podzolic soil (0–30 cm) in 24 hours after irrigation in variant II (60–80% of field capacity) in 2011 ([Burmistrova, 2013](#)).

Похожая ситуация складывается и в варианте II, однако полоса с влажностью 75–80% НВ несколько уже и глубже и ее площадь в поперечном сечении меньше – 356 см², и очаги с влажностью 80–85% НВ также по площади меньше – 74 см². Основной сегмент в данном случае характеризуется влажностью 70–75% НВ и площадью 438 см².

Перед началом очередного полива влага в почве также распределяется слоями с тенденцией к увеличению вниз по профилю (рис. 6). Подпахотный горизонт во всех вариантах отличается относительной стабильностью по содержанию влаги (на уровне 65–70% НВ). В I варианте межполивной период составил в среднем 2 дня, в целом в слое 5–25 см наблюдается оптимальный уровень увлажнения выше 70% – доля с влажностью 70–75% НВ составила 428 см², с максимум на глубине 15–25 см (75–80% НВ, площадь сегмента 235 см²).

Кроме того, в это же время проводились работы по изучению развития корневой системы однолетних саженцев. Средняя длина корней диаметром 1–2 мм составляет 13–17 см, эти корни и расположенные на них корневые волоски выполняют основную всасывающую функцию и главным образом сосредоточены в зоне оптимального увлажнения (>70% НВ) в I варианте даже в предполивной период. Необходимо отметить, что время перед поливом – период наибольшего иссушения почвы в орошаемых вариантах. Более мощные корни диаметром 3–4 мм имеют длину 23–31 см, количество их существенно меньше (от 4 до 15 шт на одно растение), они выполняют преимущественно проводящую функцию, позволяют растению закрепляться в почве и также расположены в зоне увлажнения >70% НВ. Минимальная влагообеспеченность отмечается в поверхностных слоях и особенно выражена между капельницами и в междурядьях (рис. 6).

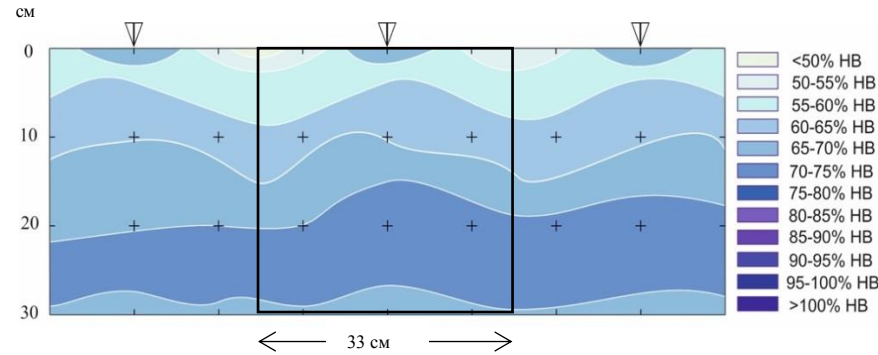
Во II варианте (рис. 7) влага распределяется аналогичным образом, только максимальная влажность наблюдается уже на глубине 20–27 см и составляет 70–75% НВ, что меньше по сравнению с вариантом I, поскольку предполивной порог влажности в данном варианте ниже и поливы проводились реже (межполивной период варьировал от 3 до 7 дней).



Влажность, % HB	75–80	70–75	65–70	60–65	55–60	50–55
Площадь доли, см ²	235	428	197	87	27	16

Рис. 6. Распределение влаги в дерново-подзолистой почве (0–30 см) перед началом следующего полива в I варианте (70–90% HB) в 2011 г. ([Бурмистрова, 2013](#)).

Fig. 6. Moisture distribution in sod-podzolic soil (0–30 cm) before the next irrigation in variant I (70–90% of field capacity) in 2011 ([Burmistrova, 2013](#)).



Влажность, % HB	70–75	65–70	60–65	55–60	50–55	<50
Площадь доли, см ²	332	235	190	156	50	27

Рис. 7. Распределение влаги в дерново-подзолистой почве (0–30 см) перед началом следующего полива во II варианте (60–80% HB) в 2011 г. ([Бурмистрова, 2013](#)).

Fig. 7. Moisture distribution in sod-podzolic soil (0–30 cm) before the next irrigation in variant II (60–80% of field capacity) in 2011 ([Burmistrova, 2013](#)).

При этом в зоне наибольшего распространения тонких корней влажность держится на уровне 55–65% НВ, эта зона включает два сегмента (55–60% и 60–65% НВ) суммарной площадью 206 см², что уже не так благоприятно сказывается на развитии надземной массы однолетних саженцев (табл. 3). Хотя корни большего диаметра концентрируются ниже в сегментах 65–70% НВ (235 см²) и 70–75% НВ (площадь сегмента – 332 см²).

Биометрические показатели свидетельствуют о том, что однолетние растения, у которых еще только формируется корневая система, даже при таком увлажнении начинают страдать от недостатка воды в поверхностных слоях.

Полученные контуры увлажнения свидетельствуют о том, что “поливная вода концентрируется в пределах орошаемого слоя в каждый год исследований, тем самым исключаются потери поливной воды на фильтрацию в нижележащие горизонты” ([Бурмистрова, 2013](#)). Такого эффекта удалось достигнуть более частыми поливам небольшими нормами.

По данным Поспишиловой Л. ([1989](#)), при капельном орошении на формирование контура увлажнения и на глубинный отток влияют не только значения давления в глубине почвы под капельницей, но и давление влаги в междурядье и в межкапельной зоне ([Поспишилова, 1989](#)). Чем ниже будет это давление, тем слабее будет выражен поток влаги в стороны от оси капельницы и значительнее направлен в глубинные слои почвы. Распространение влаги в горизонтальном направлении затруднено иссушенными зонами междурядий, глубинные слои почвы более влажные, распределение давления в них более равномерное, что определяет лучшее распространение в них влаги в стороны и по вертикальной оси капельницы. Сильное иссушение междурядий обычно имеет место при низких предполивных порогах. Контур увлажнения, сформировавшийся в таких условиях, является предпосылкой к появлению глубинного оттока влаги ([Assouline, 2002](#); [Поспишилова, 1989](#); [Бурмистрова, 2013](#)). Приведенные контуры увлажнения подтверждают эти данные, и влага весьма интенсивно распространяется в горизонтальном направлении вдоль капельной линии (особенно в варианте I), поскольку расстояние между капельницами небольшое (33 см) и иссушение пространств между растениями

(капельницами) происходит только с поверхности. Вероятно, этим объясняются некоторые закономерности развития корневой системы.

В данном случае необходимо отметить общую тенденцию для всех орошаемых вариантов – это специфическое расположение корневой системы, когда основная масса корней сконцентрирована ближе к поверхности почвы (по сравнению с неорошаемым вариантом) и вытягивается вдоль капельной линии, где создаются наиболее благоприятные водно-воздушные почвенные условия. Такое поверхностное расположение корней существенно облегчает работу по выкапыванию саженцев, при этом снижая вероятность механического повреждения и обрыва корней при подготовке к продаже или пересадке. В контрольном варианте, напротив, большинство корней устремляется вниз к более влажным глубоким горизонтам, тем самым затрудняя извлечение саженцев из почвы и увеличивая риск их повреждения.

Биометрические показатели однолетних саженцев яблони свидетельствуют о наиболее благоприятном режиме увлажнения в интервале 70–90% НВ (табл. 3). Для двух- и трехлетних саженцев наиболее рационален выбор дифференцированного режима орошения, поскольку снижение уровня увлажнения на 2-ой и 3-ий год до 60–80% НВ не оказывает отрицательного воздействия на качество и выход саженцев, при этом экономия поливной воды, по сравнению с вариантом I, составила 777 и 1 500 м³/га соответственно в 2012 и 2013 гг. Из таблицы 3 следует, что в вариантах I и III формируются высокие, хорошо облиственные саженцы с площадью ассимилирующей поверхности 1 433–1 448 см², 3 715–3 997 см² и 5 973–6 033 см² в 2011, 2012 и 2013 гг. соответственно, а также с обильным приростом однолетних побегов.

Во II варианте, где в 1-ый и последующие годы влажность поддерживалась на заданном уровне (60–80% НВ), биометрические параметры оказались несколько ниже (табл. 3) по причине того, что перед проведением следующего полива активная зона (где сконцентрирована основная масса корней) подвергалась иссушению до 55–60% НВ, что, по нашему мнению, и оказало негативное воздействие на формирование надземной части саженцев.

Таблица 3. Формирование надземной части растений и суммарный выход стандартных саженцев яблони (1-ого и 2-ого сорта) в питомнике
Table 3. Formation of above-ground plant part and the total output of standard apple-tree seedlings (of the 1st and 2nd quality categories) in the nursery garden

Вариант орошения	Средние значения по вариантам			
	Высота растений, см	Прирост однолетних побегов, см	Площадь листовой поверхности одного саженца, см ²	Выход стандартных саженцев, тыс. шт./га
2011 год				
I вариант (70–90% НВ)	135.8	86.4	1 448	25.9
II вариант (60–80% НВ)	115.7	61.7	1 181	22.9
III вариант (дифф., 70–90% НВ)	139.9	84.1	1 433	25.8
Контроль (без орошения)	100.3	45.7	892	13.1
НСР _{0.5} для фактора режим орошения	6.6	8.1	166.1	-
2012 год				
I вариант (70–90% НВ)	181.3	295.1	3 997	25.3
II вариант (60–80% НВ)	156.6	253.2	3 145	21.9
III вариант (дифф., 60–80% НВ)	173.8	301.1	3 715	25.0
Контроль (без орошения)	146.3	193.9	2 899	12.1
НСР _{0.5} для фактора режим орошения	11.7	20.5	308.8	-
2013 год				
I вариант (70–90% НВ)	215.3	406.6	6 033	25.3
II вариант (60–80% НВ)	181.8	272.3	5 199	21.9
III вариант (дифф., 60–80% НВ)	213.7	371.5	5 973	24.9
Контроль (без орошения)	169.3	224.7	4 182	12.5
НСР _{0.5} для фактора режим орошения	21.1	33.8	472.1	-

У растений, произрастающих в условиях недостаточного и неравномерного увлажнения (контрольный вариант), уменьшается листовая поверхность, уменьшается размер отдельного листа и число листьев на дереве, а также наблюдаются волны роста. Волны роста в неорошаемом варианте приурочены к выпадению осадков, которые, как правило, выпадают в конце вегетационного периода. Таким образом, нарушается процесс подготовки растения к перезимовке, поскольку при повышении влажности почвы начинается активный компенсаторный вегетативный прирост, хотя в этот период ростовые процессы должны замедляться, а механизмы перераспределения ассимилированного органического вещества должны инициироваться, обеспечивая готовность растения пережить зимние холода. Наименьшие значения площади листовой поверхности характерны для контрольного варианта – 892, 2 899 и 4 182 см² в 2011, 2012 и 2013 гг.

Наиболее отрицательное влияние ограниченной влажности почвы проявляется в период интенсивного роста растений (май-июнь).

Еще одним важным показателем является выход стандартных саженцев в пересчете на 1 га, максимальный выход саженцев 1-ой и 2-ой категории (по качеству) отмечен в вариантах I и III – около 25 тыс. штук на 1 га, чуть ниже значения во II варианте – около 22 тыс. штук на 1 га, а в контрольном варианте без орошения этот показатель в два раза меньше – около 13 тыс. штук на 1 га. Безусловно, это не означает, что в контрольном варианте половина растений засохла и погибла, однако их качество не соответствовало требованиям, предъявляемым к посадочному материалу для ведения интенсивного садоводства. Кроме того, часть растений, не попавших в 1-ую и 2-ую категории по качеству, не смогли возобновить свое развитие на второй год после зимовки.

В опытах М.Т. Тарасенко (1978 г.) яблони, выращенные из саженцев с диаметром 15–16 мм, были слабее яблонь, выращенных из саженцев с диаметром 19–20 мм, и за 19 лет дали более низкую урожайность ([Мережко, 1991](#)). В другом опыте увеличение диаметра штамба на 1 мм повышало урожайность в первые два года плодоношения в среднем на 16 ц/га ([Мережко, 1991](#)).

Максимальные величины диаметра штамба характерны для I и III вариантов: 1.78 и 1.72 см в 2011 г., 2.38 и 2.30 см в 2012 г., 2.91 и 2.84 см в 2013 г. Во II варианте значения диаметра штамба оказались несколько ниже: 1.63, 1.91 и 2.49 см в 2011, 2012 и 2013 гг. соответственно. Минимальный диаметр штамба зарегистрирован в контрольном варианте: 1.30, 1.55 и 2.23 см.

Также необходимо отметить, что в 2013 г. некоторые саженцы уже вступили в фазу плодоношения, в вариантах I и III их доля составила 17–18%, во II варианте – 12%, в контроле – 6%. В общей сложности урожай достиг в I варианте 4.6 кг, в III – 4.4 кг, во II – 3.1 кг, в контроле – 2 кг. Эти показатели конечно же очень невелики, чтобы на их основе доказательно говорить о продуктивности саженцев из различных вариантов, однако по факту такая тенденция намечена.

Усиленный рост и ранняя продуктивность саженцев яблони при рассмотренных режимах капельного орошения обусловлены постоянным обеспечением их достаточным количеством доступной влаги и питательными веществами в корнеобитаемой зоне благодаря частым поливам небольшими нормами. При традиционных способах полива запас легкодоступной почвенной влаги быстро истощается, что является причиной замедленного роста и низкой урожайности молодых деревьев. Например, в соответствии с существующими рекомендациями по орошению питомников дождеванием, поливные нормы составляют 300–350 м³/га, число поливов – 5–6, а межполивной период – 20–25 дней, при таком режиме орошения растения испытывают стресс от цикличности избыточного увлажнения такими большими нормами непосредственно при поливе и после него, а затем – от недостаточного увлажнения к концу межполивного периода. Капельный полив при рассмотренных режимах позволяет постоянно поддерживать влажность в оптимальных пределах, таким образом обеспечивая баланс воздушного, питательного и других связанных с ней режимов.

С 1940 г. роль дополнительного увлажнения плодовых садов и ягодников даже в зоне так называемого избыточного увлажнения начинает осознаваться благодаря работе Шитта П.Г., в которой кратко отмечается влияние орошения на главные факторы

роста. Шитт П.Г. указывал, что полив молодых насаждений должен производиться более осторожно и заканчиваться раньше, чем полив взрослых деревьев. Он также подчеркивал необходимость более частых поливов при мелком залегании корневой системы и утверждал, что наиболее простым и единственно правильным способом конкретного определения в практических условиях сроков полива является наблюдение за влажностью почвы.

В соответствии с литературными данными ([Сабиров, Раззаков, 1990](#); [Трунов, 2004, 2010](#)) степень увлажнения почвы для питомников может варьировать в широких пределах – от 80% НВ и почти до уровня влажности завядания (Шитт, 1940), безусловно, такой низкий предел влажности целесообразен только в конце вегетационного периода. Основной период роста саженцев должен проходить при более высоком увлажнении почвы. Учитывая многолетний опыт по орошению с.-х. культур, можно полагать, что влажность почвы в большинстве случаев не должна быть ниже 60% НВ. Для выращивания саженцев в питомниках многие исследователи рекомендуют поддерживать влажность почвы в пределах 70–80% или 75–80% НВ ([Борисова, 1983](#); [Технология орошения ..., 1987](#); [Грязев, 1999](#); [Рожков и др., 2002](#); [Трунов, 2004, 2010](#); [Шугай, 2005](#)). В зависимости от гранулометрического состава почвы допускается снижение влажности до 80–75% НВ на тяжелых, 75–70% НВ – на средних и 60–65% НВ – на легких почвах. ([Трунов, 2004, 2010](#)). В течение всего периода вегетации плодовые культуры используют значительное количество воды, в южных регионах при падении влажности ниже 70% НВ начинается угнетение роста ([Шугай, 2005](#)). Однако и тут следует упомянуть, что все эти рекомендации относятся преимущественно к более засушливым регионам, где распространены другие типы почв. Тем более долгое время было распространено негласное мнение, что в Московской области в условиях избыточного увлажнения орошение как таковое в принципе нецелесообразно. Проведенные исследования доказали, что увлажнение в этой зоне крайне неравномерно в течение вегетации и проведение поливов просто необходимо, особенно в критические ювенильные фазы развития саженцев. Кроме того, полученные результаты позволили выбрать, уточнить и обосновать наиболее благоприятные уровни увлажне-

ния почвы из выше перечисленных применительно к конкретным почвенным и природно-климатическим условиям Москвы и Подмосковья. При этом отличительной особенностью изученных режимов орошения было то, что влажность не доводилась до 100% НВ ни в одном из вариантов. А также было доказано, что саженцы разного возраста (одно-, двух- и трехлетки) отличаются по требовательности к содержанию доступной влаги в почве.

ВЫВОДЫ

1. Существующие рекомендации по орошению питомников носят несколько неопределенный характер, рекомендуемая влажность почвы варьирует в широких пределах и требует уточнения, кроме того эти рекомендации неактуальны для зоны избыточного увлажнения и дерново-подзолистых почв.
2. На основании выполненных исследований для условий Московской области разработаны и обоснованы рациональные режимы орошения одно-, двух- и трехлетних саженцев яблони при капельном поливе.
3. Биометрические показатели однолетних саженцев яблони свидетельствуют о наиболее благоприятном режиме увлажнения в интервале 70–90% НВ, где отмечена максимальная сила роста саженцев: средняя площадь листовой поверхности составляет 1 433–1 468 см², диаметр штамба – 1.72–1.78 см, высота – 136–140 см. Выход стандартных саженцев 25.9 тыс. штук с 1 га.
4. Для двух- и трехлетних саженцев разработан дифференцированный режим орошения, при котором влажность и глубина увлажняемого слоя изменяется по мере развития корневой системы. В первый год при слабо развитой корневой системе влажность почвы следует поддерживать в диапазоне 70–90% НВ в слое 0–30 см, для саженцев второго и третьего года – 60–80% НВ в слое 0–40 см и 0–50 см соответственно. Такой режим обеспечил максимальный выход стандартного посадочного материала и экономию воды за вегетационный период от 777 (для двухлеток.) до 1500 м³/га (для трехлеток). Высота двухлетних саженцев составила 174 см, площадь листовой поверхности – 3 715 см², диаметр штамба на высоте 20 см – 2.3 см, выход стандартных саженцев – 25 тыс. штук с 1 га. Трехлетние саженцы в высоту достигали 214 см, ха-

рактизовались площадью листовой поверхности $5\,973\text{ см}^2$, диаметром штамба на высоте 20 см – 2.84 см, выход стандартных саженцев – также 25 тыс. штук с 1 га.

5. Полученные контуры увлажнения свидетельствуют об отсутствии непроизводительных потерь оросительной воды на инфильтрацию в нижележащие горизонты.

6. Контуры увлажнения, полученные сразу после полива, в обоих вариантах 60–80% и 70–90% НВ очень похожи, однако при меньшем пороге увлажнения контур более четкий. В этом контуре отсутствует доля с влажностью 65–75% НВ, зато между капельницами встречаются зоны с влажностью менее 60% НВ и их площадь в вертикальном сечении составляет 112 см^2 . В более увлажненных вариантах (70–90% НВ), наоборот, присутствует сегмент с влажностью 70–75% НВ и имеет достаточно большую площадь – 252 см^2 , и именно при этом уровне влажности наблюдается слияние контуров между соседними капельницами. Остальные сегменты в обоих контурах имеют схожую площадь вертикального сечения.

7. Через сутки после полива в вертикальном сечении отчетливо видно окончательное смыкание контуров увлажнения, а также послойное распределение влаги. Для I (70–90% НВ) варианта в верхнем слое почвы на глубине 5–15 см влажность колеблется в пределах 70–75% НВ (общей площадью сечения 349 см^2), под ним полоса с влажностью 75–80% НВ (425 см^2), ширина которой увеличивается под капельницами и уменьшается между капельницами. Внутри данной полосы наблюдаются очаги с влажностью 80–85% НВ (93 см^2). Таким образом, основная масса корней сосредоточена в зоне с влажностью более 75% НВ. Во II варианте влага перераспределяется несколько иначе: полоса с влажностью 75–80% НВ становится уже и залегает глубже, и ее площадь в поперечном сечении меньше – 356 см^2 , очаги с влажностью 80–85% НВ также по площади меньше – 74 см^2 . Основной сегмент в данном случае характеризуется влажностью 70–75% НВ и площадью 438 см^2 .

8. Наибольшая разница между вариантами заметна перед началом очередного полива. В I варианте в целом в слое 5–25 см наблюдается оптимальный уровень увлажнения выше 70% – доля с влажностью 70–75% НВ составила 428 см^2 , с максимум на глу-

бине 15–25 см (75–80% НВ, площадь сегмента 235 см²). Во II варианте максимальная влажность наблюдается уже на глубине 20–27 см и составляет 70–75% НВ. При этом в зоне наибольшего распространения тонких корней влажность держится на уровне 55–65% НВ, эта зона включает два сегмента (55–60% и 60–65% НВ) суммарной площадью 206 см². Хотя корни большего диаметра концентрируются ниже в сегментах 65–70% НВ (235 см²) и 70–75% НВ (332 см²).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

21. *Ахмедов А.Д., Темерев А.А., Галиуллина Е.Ю.* Надежность систем капельного орошения // Известия нижеволжского агроуниверситетского комплекса: наука и профессиональное образование. 2010. № 3 (19). С. 84–89.
22. *Борисова А.А.* Вопросы ускоренного производства и повышения выхода привитых саженцев яблони в питомниках средней зоны РСФСР: Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. М., 1981. 25 с.
23. *Бородычев В.В.* Современные технологии капельного орошения овощных культур. Коломна: ФГНУ ВНИИ “Радуга”, 2010. 241 с.
24. *Бородычев В.В., Дубенок Н.Н., Лытов М.Н., Белик О.А.* Особенности водного режима почвы при капельном орошении сельскохозяйственных культур // Достижения науки и техники АПК. 2009. № 4. С. 22–25.
25. *Бородычев В.В., Кривоуцкая Н.В., Кривоуцкий А.А., Стрижакова Е.А.* Продуктивность яблоневого сада интенсивного типа на капельном орошении // Известия нижеволжского агроуниверситетского комплекса: наука и профессиональное образование. 2012. № 3 (27). С. 8–14.
26. *Бурмистрова А.Ю.* Регулирование водного режима почвы при капельном орошении плодовых питомников в Нечерноземной зоне: Дис. ... канд. с.-х. наук. М., 2013. 229 с.
27. *Григоров М.С., Овчинников А.С., Боровой Е.П., Ахмедов А.Д.* Современные перспективные водосберегающие способы полива в Нижнем Поволжье. Волгоград: “Нива”, 2010. 244 с.
28. *Грязев В.А.* Выращивание саженцев для высокопродуктивных садов. Ставрополь, 1999. 208 с.
29. *Дашков В.Н., Радюк И.И., Дегтерев Д.В., Снежко Э.К.* Анализ способов орошения садовых культур в условиях республики Беларусь // Агропанорама. 2010. № 1. С. 11–16.
30. *Доспехов Б.А.* Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: ИД Альянс, 2011. 352 с.

31. *Елсайед А.М.* Обоснование режимов капельного орошения земляники на дерново-подзолистых почвах: Дис. ... к. с.-х. н. М., 2011. 192 с.
32. *Иволгин В.С.* Оптимизация по критериям ресурсосбережения производственных процессов в плодово-ягодных питомниках: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. М., 2002. 19 с.
33. *Каширская О.В.* Совершенствование технологии выращивания посадочного материала для интенсивных садов яблони в ЦЧР: Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. М., 2011. 22 с.
34. *Колесников В.А.* Корневая система плодовых и ягодных культур и методы ее изучения. М., 1962. 191 с.
35. *Марков Ю.А.* Программа и методика исследований по орошению плодовых и ягодных культур. Мичуринск: ВНИИС им. И.В. Мичурина, 1985. 117 с.
36. *Мережко И.М.* Качество посадочного материала и продуктивность плодовых насаждений. Киев: “Урожай”, 1991. 152 с.
37. Программно-методические указания по агротехническим опытам с плодовыми и ягодными культурами / под ред. *Н.Д. Спиваковского*. Мичуринск, 1956. 184 с.
38. Методика постановки опытов с плодовыми, ягодными и цветочно-декоративными растениями / под ред. *В.А. Комиссарова*. М.: Просвещение, 1982. 240 с.
39. *Плешаков В.Н.* Методика полевого опыта в условиях орошения. Волгоград: ВНИИОЗ, 1983. 148 с.
40. *Постишилова Л.* Передвижение воды в почве при дождевании и капельном способе полива: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. М., 1989. 25 с.
41. *Потапов В.А.* Программа и методика исследований по вопросам почвенной агротехники в интенсивном садоводстве (методические рекомендации). Мичуринск: ВНИИС им. И.В. Мичурина, 1976. 100 с.
42. *Рожков В.А., Кузнецова И.В., Рахматуллоев Х.Р.* Методы изучения корневых систем растений в поле и лаборатории. М.: Почв. ин-т им. В.В. Докучаева, Моск. гос. ун-т леса, 2004. 40 с.
43. *Рожков В.А., Бондарев А.Г., Кузнецова И.В., Рахматуллоев Х.Р.* Физические и водно-физические свойства почв. М.: Почв. ин-т им. В.В. Докучаева, Моск. гос. ун-т леса, 2002. 73 с.
44. *Рожнов С.И.* Разработка технологии капельного орошения саженцев яблони в условиях Нижнего Поволжья: Дис. ... канд. с.-х. наук. М., 2004. 204 с.
45. *Сабиров М.К., Раззаков М.Д.* Влияние капельного орошения на рост и урожайность садов (обзор). Ташкент, 1990. 24 с.

46. Сергиенко А.В. Капельное орошение молодого яблоневого сада на слаборослых подвоях: Дисс. ... канд. с.-х. наук. Волгоград, 2008. 226 с.
47. Сычев В.Г. Кузнецова Е.И. и др. Орошение и применение удобрений в Нечерноземной зоне РФ. Монография. М.: ЦИНАО, 2004. 276 с.
48. Технология орошения садов, ягодников и питомников (рекомендации). М.: Агропромиздат, 1987. 61 с.
49. Трунов Ю.В. Минеральное питание клоновых подвоев и саженцев яблони: научное издание. Мичуринск: Изд. Мич. ГАУ, 2004. 175 с.
50. Трунов Ю.В. Минеральное питание и удобрение яблони. Воронеж, Кварта, 2010. 400 с.
51. Шугай П.Ю. Режим капельного орошения школки плодовых культур при повышенных температурах окружающей среды: Дисс. ... канд. техн. наук. Краснодар, 2005. 173 с.
52. Assaf R., Levin I., Bravdo B. The effect of soil water distribution in drip irrigation of apple trees on their growth and yield // Proc. International Round-table Conference on microirrigation. Budapest, 1986. Vol. 1, pp. 19–25.
53. Assouline S. The Effects of Microdrip and Conventional Drip Irrigation on Water Distribution and Uptake // Soil Science Society of America Journal. 2002. Vol. 66. No. 5. pp. 1630–1636.
54. Zebe J.A., Serna-Perez A. Partial rootzone drying to save water while growing apples in a semi-arid region // Irrigation and Drainage. Managing water for sustainable agriculture. 2012. Vol. 61. No. 2. pp. 251–259.

REFERENCES

1. Akhmedov A.D., Temerev A.A., Galiullina E.Yu., Nadezhnost' sistem kapel'nogo orosheniya (Reliability of drip irrigation systems), *Izvestiya nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i professional'noe obrazovanie*, 2010, No. 3 (19), pp. 84–89.
2. Borisova A.A., *Voprosy uskorenного proizvodstva i povysheniya vykhoda privykh sazhentsev yabloni v pitomnikakh srednei zony RSFSR: Avtoref. diss. ... kand. s.-kh. nauk* (Issues of accelerated production and increase in the yield of grafted apple seedlings in nurseries of the middle zone of RSFSR, Extended abstract of cand. agric. sci. thesis), Moscow, 1981, 25 p.
3. Borodychev V.V., *Sovremennye tekhnologii kapel'nogo orosheniya ovoshchnykh kul'tur* (Modern technology of drip irrigation of vegetable crops), Kolomna: FGNU VNII "Raduga", 2010, 241 p.
4. Borodychev V.V., Dubenok N.N., Lytov M.N., Belik O.A., Osobennosti vodnogo rezhima pochvy pri kapel'nom oroshenii sel'skokhozyaistvennykh kul'tur (Features of soil water regime at drip irrigation of agricultural crops), *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*, 2009, No. 4, pp. 22–25.

5. Borodychev V.V., Krivolutskaya N.V., Krivolutskii A.A., Strizhakova E.A., Produktivnost' yablonevogo sada intensivnogo tipa na kapel'nom oroshenii (Productivity of intensive apple orchard on drip irrigation), *Izvestiya nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i professional'noe obrazovanie*, 2012, No. 3 (27), pp. 8–14.
6. Burmitsrova A.Yu., *Regulirovanie vodnogo rezhima pochvy pri kapel'nom oroshenii plodovykh pitomnikov v Nechernozemnoi zone: Diss. ... kand. s.-kh. Nauk* (Regulation of soil water regime under drip irrigation of fruit nurseries in Non-Chernozem zone, Cand. agric. sci. thesis), Moscow, 2013, 229 p.
7. Grigorov M.S., Ovchinnikov A.S., Borovoi E.P., Akhmedov A.D., *Sovremennye perspektivnye vodoberegayushchie sposoby poliva v Nizhnem Povolzh'e* (Modern perspective water-saving methods of irrigation in Lower Volga region), Volgograd: "Niva", 2010, 244 p.
8. Gryazev V.A., *Vyrashchivanie sazhentsev dlya vysokoproduktivnykh sadov* (Cultivation of seedlings for highly productive gardens), Stavropol', 1999, 208 p.
9. Dashkov V.N., Radyuk. I.I., Degterov D.V., Snezhko E.K., *Analiz sposobov orosheniya sadovykh kul'tur v usloviyakh respubliky Belarus'* (Analysis of irrigation methods of garden crops in conditions of Republic of Belarus), *Agropanorama*, 2010, No. 1, pp. 11–16.
10. Dospikhov B.A., *Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoi obrabotki rezul'tatov issledovaniy)* (Methodology of field experience (with the basics of statistical processing of research results)), Moscow: ID Al'yans, 2011, 352 p.
11. Elsaied A.M., *Obosnovanie rezhimov kapel'nogo orosheniya zemlyaniki na dernovo-podzolistykh pochvakh: Diss. ... k. s.-kh. Nauk* (Justification of drip irrigation regimes of strawberry on sod-podzolic soils, Cand. agric. sci. thesis), Moscow, 2011, 192 p.
12. Ivolgin V.S., *Optimizatsiya po kriteriyam resursosberezheniya proizvodstvennykh protsessov v plodovo-yagodnykh pitomnikakh: Avtoref. diss. ... kand. tekhn. nauk* (Optimization by criteria of resource-saving production processes in fruit and berry nurseries, Extended abstract of cand. techn. sci. thesis), Moscow, 2002, 19 p.
13. Kashirskaya O.V., *Sovershenstvovanie tekhnologii vyrashchivaniya posadochnogo materiala dlya intensivnykh sadov yabloni v TsChR: Avtoref. diss. ... kand. s.-kh. nauk* (Improvement of cultivation technology of planting material for intensive apple orchards in CCR, Extended abstract of cand. agric. sci. thesis), Moscow, 2011, 22 p.
14. Kolesnikov V.A., *Kornevaya sistema plodovykh i yagodnykh kul'tur i metody ee izucheniya* (Root system of fruit and berry crops and methods of its study), Moscow, 1962, 191 p.

15. Markov Yu.A., *Programma i metodika issledovaniy po orosheniyu plodovykh i yagodnykh kul'tur* (Program and methods of research on irrigation of fruit and berry crops), Michurinsk: VNIIS im. I.V. Michurina, 1985, 117 p.
16. Merezko I.M., *Kachestvo posadochnogo materiala i produktivnost' plodovykh nasazhdenii* (Quality of planting material and productivity of fruit plantations), Kiev: "Urozhai", 1991, 152 p.
17. Spivakovskiy N.D., *Programmno-metodicheskie ukazaniya po agrotekhnicheskim opytam s plodovymi i yagodnymi kul'turami* (Program-methodical instructions on agrotechnical experiments with fruit and berry crops), Michurinsk, 1956, 184 p.
18. Komissarov V.A., *Metodika postanovki opytov s plodovymi, yagodnymi i tsvetochno-dekorativnymi rasteniyami* (Methodology of experiments with fruit, berry and floral and ornamental plants), Moscow: Prosveshchenie, 1982, 240 p.
19. Pleshakov V.N., *Metodika polevogo opyta v usloviyakh orosheniya* (Methodology of field experiments under irrigation conditions), Volgograd: VNIIOZ, 1983, 148 p.
20. Pospishilova L., *Peredvizhenie vody v pochve pri dozhddevanii i kapel'nom sposobe poliva: Avtoref. diss. ... kand. biol. nauk* (Water movement in soil under sprinkling and drip irrigation method, Extended abstract of cand. biol. sci. thesis), Moscow, 1989, 25 p.
21. Potapov V.A., *Programma i metodika issledovaniy po voprosam pochvennoi agrotekhniki v intensivnom sadovodstve (metodicheskie rekomendatsii)* (Program and methodology of research on soil agrotechnics in intensive horticulture (methodical recommendations)), Michurinsk: VNIIS im I.V. Michurina, 1976, 100 p.
22. Rozhkov V.A., Kuznetsova I.V., Rakhmatulloev Kh.R., *Metody izucheniya kornevykh sistem rastenii v pole i laboratorii* (Methods of studying root systems of plants in field and laboratory), Moscow: Pochv. in-t im. V.V. Dokuchaeva, Mosk. gos. un-t lesa, 2004, 40 p.
23. Rozhkov V.A., Bondarev A.G., Kuznetsova I.V., Rakhmatulloev Kh.R., *Fizicheskie i vodno-fizicheskie svoistva pochv* (Physical and water-physical properties of soils), Moscow: Pochv. in-t im. V.V. Dokuchaeva, Mosk. gos. un-t lesa, 2002, 73 p.
24. Rozhnov S.I., *Razrabotka tekhnologii kapel'nogo orosheniya sazhentsev yabloni v usloviyakh Nizhnego Povolzh'ya: Diss. ... kand. s.-kh. nauk* (Development of drip irrigation technology for apple-tree seedlings in the Lower Volga region, Cand. agric. sci. thesis), Moscow, 2004, 204 p.
25. Sabirov M.K., Razzakov M.D., *Vliyanie kapel'nogo orosheniya na rost i urozhainost' sadov (obzor)* (Influence of drop irrigation on growth and yield of orchards (review)), Tashkent, 1990, 24 p.

26. Sergienko A.V., *Kapel'noe oroshenie molodogo yablonevogo sada na slaboroslykh podvoyakh: Diss. ... kand. s.-kh. nauk* (Drip irrigation of young apple orchards on low-growing tree stocks, Cand. agric. sci. thesis), Volgograd, 2008, 226 p.
27. Sychev V.G., Kuznetsova E.I. et al., *Oroshenie i primeneniye udobrenii v Nechernozemnoi zone RF* (Irrigation and fertilizer application in Non-Chernozem zone of the Russian Federation), Moscow: TsINAO, 2004, 276 p.
28. *Tekhnologiya orosheniya sadov, yagodnikov i pitomnikov (rekomentatsii)* (Technology of irrigation of gardens, berries and nurseries (recommendations)), Moscow: Agropromizdat, 1987, 61 p.
29. Trunov Yu.V., *Mineral'noe pitaniye klonovykh podvoev i sazhentsev yabloni* (Mineral nutrition of clonal rootstock and apple-tree seedlings), Michurinsk: Izd. Mich. GAU, 2004, 175 p.
30. Trunov Yu.V., *Mineral'noe pitaniye i udobreniye yabloni* (Mineral nutrition and fertilization of apple trees), Voronezh, Kvarta, 2010, 400 p.
31. Shugai P.Yu., *Rezhim kapel'nogo orosheniya shkolki plodovykh kul'tur pri povyshennykh temperaturakh okruzhayushchei sredy: Diss. ... kand. tekhn. nauk* (Mode of drip irrigation of fruit crops school at increased ambient temperatures, Cand. techn. sci. thesis), Krasnodar, 2005, 173 p.
32. Assaf R., Levin I., Bravdo B., The effect of soil water distribution in drip irrigation of apple trees on their growth and yield, *Proc. International Round-table Conference on microirrigation*, Budapest, 1986, Vol. 1, pp. 19–25.
33. Assouline S., The Effects of Microdrip and Conventional Drip Irrigation on Water Distribution and Uptake, *Soil Science Society of America Journal*, 2002, Vol. 66, No. 5, pp. 1630–1636.
34. Zebe J.A., Serna-Perez A., Partial rootzone drying to save water while growing apples in a semi-arid region, *Irrigation and Drainage. Managing water for sustainable agriculture*, 2012, Vol. 61, No. 2, pp. 251–259.

УДК 631.4

DOI: 10.19047/0136-1694-2021-106-163-175



Ссылки для цитирования:

Савич В.И., Гукалов В.В., Сорокин А.Е., Конах М.Д. Агроэкологическая оценка взаимосвязей свойств почв во времени и в пространстве // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. 2021. Вып. 106. С. 163-175. DOI: 10.19047/0136-1694-2021-106-163-175

Cite this article as:

Savich V.I., Gukalov V.V., Sorokin A.E., Konakh M.D., Agroecological evaluation of interrelationships of soil properties in time and space, Dokuchaev Soil Bulletin, 2021, V. 106, pp. 163-175, DOI: 10.19047/0136-1694-2021-106-163-175

Агроэкологическая оценка взаимосвязей свойств почв во времени и в пространстве

© 2021 г. В. И. Савич^{1*}, В. В. Гукалов^{2**}, А. Е. Сорокин^{3***},
М. Д. Конах^{1****}

¹РГАУ – МСХА имени К.А. Тимирязева, Россия,
127550, Москва, ул. Тимирязевская, 49,

*e-mail: savich.mail@gmail.com,

****e-mail: marinakonah.mk@gmail.com.

²Северо-Кубанская сельскохозяйственная опытная станция – филиал
ФГБНУ “Национальный центр зерна имени П.П. Лукьяненко”, Россия,
353610, Краснодарский край, Ленинградский р-н,
ст. Ленинградская, ул. Хлеборобов, 301 а,

**e-mail: champion1985@yandex.ru.

³Московский авиационный институт
(национальный исследовательский университет), Россия,
125993, Москва, Волоколамское шоссе, 4,

***e-mail: mai614@mail.ru.

Поступила в редакцию 06.08.2020, после доработки 28.01.2021,
принята к публикации 15.03.2021

Резюме: В работе оценены взаимосвязи физико-химических и агрохимических свойств дерново-подзолистых почв Московской области и черноземов обыкновенных тяжелосуглинистых Краснодарского края в пределах катен и по почвенному профилю. Свойства почв существенно

изменялись в сезонной динамике. Так, с конца апреля до середины июня в почвенном растворе дерново-подзолистых почв величина E_h изменялась от 534 до 759 мВ, отношение NO_3^-/NH_4^+ – от 0.2 до 15.4; содержание водорастворимого марганца – от 4.0 до 10.1. При этом проявлялось запаздывание изменения свойств почв в зависимости от влажности и температуры и изменения одних свойств почв в зависимости от других. Показано, что в разных интервалах свойств почв между отдельными показателями плодородия проявляются эффекты синергизма и антагонизма. Степень взаимовлияния свойств почв зависела как от степени удобрения почв, так и от степени их окультуренности. Информационные взаимосвязи проявлялись не только между свойствами почв, но и между протекающими процессами. Так, временное избыточное увлажнение почв приводило при промывном типе водного режима к подкислению почв, а при непромывном – к подщелачиванию. Показано отличие этих взаимосвязей для почв, развитых на разных элементах катены, почв разной степени окультуренности, оподзоленности, оглеенности. Отмечено, что во взаимосвязях свойств почв проявляются эффекты синергизма и антагонизма, статического и динамического гистерезиса. Они изменяются при разном чередовании воздействия внешних факторов и процессов почвообразования на почву. Предлагается учитывать взаимосвязи свойств почв с влажностью, температурой, pH, E_h для корректировки составляющих систем земледелия.

Ключевые слова: почва, взаимосвязи, корреляция, генезис, плодородие.

Agroecological evaluation of interrelationships of soil properties in time and space

V. I. Savich^{1*}, V. V. Gukalov^{2}, A. E. Sorokin^{3***},
M. D. Konakh^{1****}**

¹Russian State Agrarian University -
Moscow Timiryazev Agricultural Academy,
49 Timiryazevskaya str., Moscow 127550, Russian Federation,

*e-mail: savich.mail@gmail.com,

****e-mail: marinakonah.mk@gmail.com.

²North-Kuban Agricultural Experimental Station of P.P. Lukyanenko
Krasnodar Research and Development Institute of Agriculture,
301 a Khleborobov str., Leningradskaya settlement,

Krasnodar territory 353742, Russian Federation,

** e-mail: champion1985@yandex.ru.

³Moscow Aviation Institute (National Research University),

4 Volokolamskoe shosse, 125993 Moscow, Russian Federation,

*** e-mail: mai614@mail.ru.

Received 06.08.2020, Revised 28.01.2021, Accepted 15.03.2021

Abstract: This paper assesses the relationship between the physico-chemical and agro-chemical properties of sod-podzolic soils in the Moscow region and ordinary heavy-loamy chernozems in the Krasnodar region within the catenas and down the soil profile. Soil properties changed significantly through seasonal dynamics. From the end of April to the middle of June in the soil solution of sod-podzolic soils, the value of Eh varied from 534 to 759 mv, the ratio of NO_3/NH_4 – from 0.2 to 15.4; the content of water-soluble manganese – from 4.0 to 10.1. At the same time, there was a delay in change of soil properties, as humidity and temperature varied. It is shown that in different intervals of soil properties between individual indicators of fertility, the effects of synergism and antagonism are manifested. The degree of mutual influence of soil properties depended on both the degree of soil fertilization and the degree of their cultivation. Information relationships were manifested not only between the soil properties, but also between the processes. Temporary excessive moistening of the soil led to acidification of the soil in the washing type of water mode, and to alkalization in the non-washing type. It is proposed to account for the relationship of soil properties with humidity, temperature, pH, and Eh to adjust the components of farming systems.

Keywords: soil, relationships, correlation, genesis, soil fertility.

ВВЕДЕНИЕ

Взаимосвязи между свойствами почв в значительной степени определяют их агроэкологическое состояние и являются индикатором генезиса и классификационной принадлежности почв. Их изучению посвящено значительное количество исследований ([Безуглова и др., 2000](#); [Воробьева, 1986](#); [Гришин, 1998](#); [Полуэктов, 1993](#); [Фрид, 2008](#)). Однако эти взаимосвязи отличаются не только для типов почв, но и для таксономических единиц более низкого иерархического уровня. Во взаимосвязях нескольких свойств почв проявляются эффекты синергизма и антагонизма. К сожалению, эти вопросы изучены недостаточно.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Объектом исследования выбраны дерново-подзолистые среднесуглинистые почвы Московской области, развитые на покровных суглинках ([Духанин и др., 2006](#); [Замараев и др., 2005](#)), и обыкновенные глинистые карбонатные черноземы Краснодарского края ([Гукалов и др., 2015](#); [Гукалов и др., 2019](#)).

Методика исследования состояла в определении физико-химических и агрохимических свойств почв методами, рекомендованными агрохимической службой ([Замараев и др., 2005](#); [Кулаковская, 1998](#)), оценка взаимосвязей между свойствами почв ([Безуглова и др., 2000](#); [Воробьева, 1986](#); [Гришин, 1998](#); [Полужков, 1993](#); [Седых и др., 2014](#)) осуществлялась с вычислением уравнений парной корреляции, уравнений регрессии. Принятый уровень вероятности – 0.95.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Свойства почв взаимосвязаны друг с другом, и при изменении одного свойства почвы изменяются и другие. Эти закономерности характерны для отдельных типов почв и более мелких таксономических единиц почв. Пример информативной оценки таких взаимосвязей приведен в таблице 1.

Таблица 1. Влияние pH среды на содержание водорастворимых Fe, Mn, Zn в дерново-подзолистых почвах, $n = (43-111) \cdot 10^{-5}$ моль/л

Table 1. Effect of pH on the content of water-soluble Fe, Mn, Zn in sod-podzolic soils, $n = (43-111) \cdot 10^{-5}$ mol/L

pH (H ₂ O)	Fe	Zn	Mn
5.7 ± 0.3	24.5 ± 5.9	0.10 ± 0.03	3.6 ± 0.7
7.3 ± 0.01	7.3 ± 1.6	0.05 ± 0.01	1.0 ± 0.3

Как видно из представленных данных, при увеличении pH почв уменьшается содержание подвижных форм железа, цинка, марганца, что необходимо учитывать при расчете доз извести.

Взаимосвязи между свойствами почв отличаются не только для разных типов почв, но и для разных хозяйств ([Духанин и др., 2006](#)). Так, для почв Московской области с преобладанием в хо-

зайствах дерново-подзолистых почв величина $\Delta P_2O_5/\Delta pH$ составляла при $pH = 4.6-5.6$ и содержании гумуса 1–2% в одном хозяйстве 72.3, в другом – 150.1. При $pH = 5.5-6.2$ – соответственно 316.7 и 79.4.

С нашей точки зрения, целесообразно рассчитывать дозы извести не только для изменения pH , но и для оптимизации содержания в почвах биофильных элементов, микробиологической активности и т. д.

Отличие взаимосвязей свойств почв в пределах катены

Почвы катены любой почвенно-климатической зоны существенно отличаются на плато, склоне и в депрессиях. Это определяет и отличие взаимосвязей почв в отдельных элементах катены. Иллюстрацией данного заключения являются и полученные нами данные, представленные в таблице 2.

На отдельных элементах катены отличаются и коэффициенты корреляции содержания подвижных форм тяжелых металлов и свойств почв. Так, для катены обыкновенных черноземов корреляция подвижных форм тяжелых металлов с гумусом колебалась от 0.88 ± 0.02 в аккумулятивном рельефе до 0.68 ± 0.10 – на южном склоне. Корреляция содержания тяжелых металлов с физической глиной колебалась от -0.48 ± 0.06 на северном плато до -0.04 ± 0.02 – на северном склоне.

Как видно из представленных данных, зависимость содержания подвижного цинка (в вытяжке CH_3COONH_4 с $pH = 4.8$) от свойств почв отличается в почвах разных элементов катены. Положительная зависимость от P_2O_5 больше в почве северного водораздела. Положительная зависимость подвижного цинка от содержания гумуса больше в почве южного водораздела, положительная зависимость от физической глины больше в почвах северного и южного водоразделов ([Гукалов и др., 2015](#)).

Свойства почв и взаимосвязи между ними отличаются в эродированных и намытых почвах, что иллюстрируют данные таблицы 3.

Таблица 2. Зависимость содержания подвижного цинка от сочетания свойств почв обыкновенного чернозема в пределах катены

Table 2. Dependence of the content of mobile zinc on the combination of properties of soils of ordinary chernozem within catena

Элемент катены	Уравнение регрессии	r	F
южный водораздел	$Zn = 57.0 + 4.0X_1 + 0.16X_2 - 0.7X_3 + 0.45X_4 + 0.12X_5$	0.86	2.4
северный водораздел	$Zn = 66.8 + 1.1X_1 + 0.2X_2 - 1.1X_3 + 0.03X_4 + 0.62X_5$	0.99	5.2
южный склон	$Zn = 2.4 + 0.2X_1 + 0.01X_2 + 0.02X_3 - 0.02X_4 + 0.05X_5$	0.96	10.8
северный склон	$Zn = 1.4 + 0.4X_1 + 0.03X_2 + 0.02X_3 - 0.04X_4 + 0.03X_5$	0.99	62.7
балка	$Zn = 5.4 + 0.1X_1 - 0.03X_2 + 0.17X_3 - 0.2X_4 + 0.02X_5$	0.99	15.5

Примечание. X_1 – гумус, %; X_2 – содержание частиц <0.1 мм; X_3 – NO_3 ; X_4 – NH_4 ; X_5 – содержание подвижных форм P_2O_6 .

Таблица 3. Отличие взаимосвязей между свойствами почв в смытых и намытых дерново-подзолистых почвах (A_n)

Table 3. Distinction of interrelations between soil properties in eroded and accumulated sod-podzol soils in plough layer (A_n)

Почва	pH	S мг-экв/ 100 г	V, %	Гумус, %	P_2O_5 , мг/100 г	K_2O , мг/100 г
средне-смытая	4.3	9.2	69.2	1.8	12.5	5.0
намытая	5.1–5.2 6.1	16.6 16.8	88.6 94.9	2.2 2.0	25.0 2.5	2.5 10.0

Отличие взаимосвязей в отдельных горизонтах как индикатор генезиса и плодородия почв

Свойства почв существенно отличаются в отдельных горизонтах почвенного профиля, что важно учитывать при разработке приемов оптимизации плодородия почв ([Гукалов и др., 2020](#); [Гукалов и др., 2019](#)). Так, по полученным нами данным, в дерново-

подзолистых почвах в $A_{\text{п}}$ величина pH была 5.2 ± 0.2 , содержание подвижных фосфатов – 16.8 ± 1.9 , содержание обменного калия – 9.9 мг/100 г ; а в подпахотном слое $\text{pH} = 3.8 \pm 0.1$; содержание P_2O_5 – $8.2 \pm 0.6 \text{ мг/100 г}$, K_2O – $5.4 \pm 0.5 \text{ мг на 100 г}$.

Как видно из представленных данных, подпахотные слои резко отличаются по pH от пахотного слоя. Кислая реакция среды подпахотного слоя неблагоприятна для развития растений и приводит к резкому уменьшению содержания подвижных фосфатов и обменного калия в этом слое по сравнению с $A_{\text{п}}$. В ряде стран принято известкование подпахотного горизонта.

В намытых почвах величина pH в $A_{\text{п}}$ составляла 5.2 ± 0.3 , содержание подвижных фосфатов – $16.8 \pm 5.3 \text{ мг/100 г}$, в подпахотном слое величина pH составляла 4.2 ± 0.2 , содержание подвижных фосфатов – $13.5 \pm 1.8 \text{ мг/100 г}$. В намытых почвах уменьшение содержания P_2O_5 в подпахотном слое, по сравнению с пахотным, наименее резко выражено, чем в автоморфных почвах.

Изменение взаимосвязей свойств почв в сезонной динамике

Свойства почв и взаимосвязи между ними существенно изменяются в сезонной динамике. Это иллюстрируют данные следующей таблицы (табл. 4).

Как видно из представленных данных, свойства почв в течение вегетационного периода существенно меняются (pH – от 4.2 до 8.5; Eh – от 534 до 759 мВ по ХСЭ). Это приводит к изменению других свойств почв. Максимальное значение Eh соответствует максимальному отношению $\text{N-NO}_3/\text{N-NH}_4$, максимальному содержанию N-NO_3 . Низкие значения Eh соответствуют максимальному значению Mn^{2+} .

Синергизм и антагонизм взаимовлияния свойств почв при эффектах последовательных корреляций

При протекании последовательных реакций проявляется синергизм и антагонизм ионов в процессах комплексообразования, ионного обмена, осадкообразования в почвах и в корневых системах растений. Как правило, это сочетается с кинетическим и ста-

тическим гистерезисом, зависящим от плотности заряда сорбционных мест и их конфигурации. При поглощении ППК одного иона происходит изменение плотности заряда других сорбционных мест – проявляется индуктивный и мезомерный эффект (Гукалов и др., 2019). В конечном счете протекание последовательных реакций определяется изменением состояния вещества, энергии и информации. Движущей силой процессов является как изменение ΔG , так и изменение ΔH и ΔS .

Таблица 4. Изменение содержания водорастворимых NO_3 , NH_4 , Mn, Fe от величины pH и Eh почвенных растворов в дерново-подзолистой почве в сезонной динамике (площадка 1)

Table 4. Changes in the seasonal dynamics of water-soluble NO_3 , NH_4 , Mn, Fe content depending on the pH value and Eh of soil solutions in sod-podzolic soil (experimental site 1)

Показатели	29.IV	4.V	11.V	14.V	21.5	25.V	29.V	1.VI	10.VI
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Eh	659	629	661	759	744	687	565	581	534
rH ₂	32.6	30.2	34.2	37.2	36.8	34.8	30.8	30.8	29.2
N-NH ₄	4.0	5.8	10.2	15.4	2.2	0.2	0.7	1.4	0.9
N-NO ₃	7.1	6.8	9.1	10.0	2.3	1.5	0.7	1.1	1.1
Mn ²⁺	4.1	7.7	6.6	4.7	6.1	6.8	10.1	4.0	8.9
Fe ₂ O ₃	51.5	54.5	39.2	29.7	42.5	41.0	49.4	40.5	59.9
Fe ³⁺ /Fe ²⁺	2.8	3.6	1.9	3.0	3.8	3.9	2.3	5.7	6.3
pH	4.9	4.2	5.5	6.5	5.6	5.6	5.7	5.4	5.4

Например, увеличение pH почв от 4.5 до 5.5 приводит к увеличению подвижности фосфатов, а при изменении от 6.0 до 8.0 – к уменьшению их подвижности. При этом увеличение pH почв от 4.2 до 5.5 сопровождается уменьшением содержания подвижных форм железа, марганца, алюминия, а также увеличением подвижности фосфатов, т. е. $[\text{Fe}, \text{Al}, \text{Mn}] = f(\text{pH})^{-1}$, P_2O_5 в этом интервале = $f(\text{Fe}, \text{Al}, \text{Mn})^{-1}$ (Никиточкин и др., 2015; Панов и др., 2014).

Взаимовлияние проявляется не только между свойствами почв, но и между протекающими в почвах процессами и режимами ([Никиточкин и др., 2015](#); [Панов и др., 2014](#); [Савич и др., 2019](#); [Седых и др., 2014](#)).

Увеличение содержания в почве подвижных фосфатов уменьшает содержание подвижных форм железа, марганца, цинка, никеля. Так, по полученным нами данным, при содержании гумуса в дерново-подзолистых почвах 1.2% и $P_2O_5 - 4.8 \pm 1.5$ мг/100 г содержание марганца в почвенном растворе составляло $(0.3 \pm 0.21) \cdot 10^{-5}$ моль/л; а при содержании $P_2O_5 = 24.5 \pm 1.8$ мг/100 г – соответственно $(0.03 \pm 0.03) \cdot 10^{-5}$ моль/л.

При большем содержании гумуса в почвах (1.8%) отмечается аналогичная тенденция. Например, при содержании P_2O_5 4.6 ± 0.9 и 55.4 ± 20.1 мг/100 г содержание водорастворимого Mn составляло соответственно $(1.4 \pm 0.4) \cdot 10^{-5}$ и $(0.3 \pm 0.2) \cdot 10^{-5}$ моль/л.

Оглеение почв приводит к существенному изменению подвижности элементов в почвах. Согласно литературным данным, при $Eh = 400$ мВ Mn^{4+} переходит в Mn^{2+} , а при 300 мВ – Fe^{3+} в Fe^{2+} , что сопровождается увеличением подвижности Fe и Mn в почвах. Таким образом, полученные авторами данные свидетельствуют о том, что в автоморфной дерново-подзолистой почве содержание подвижных форм Fe и Mn (в вытяжке CH_3COONH_4 с pH = 4.8) в A_2 , $A_2B + B$ составляло 7.7 ± 1.3 , 7.0 ± 1.9 мг/л и 0.9 ± 0.2 , 0.7 ± 0.1 мг/л соответственно. В оглеенной почве концентрация Fe в A_2 , A_2B и в B составляла 40.2 ± 26.2 и 30.3 ± 14.9 мг/л; а Mn – 3.6 ± 0.3 и 2.7 ± 0.7 мг/л.

Степень взаимовлияния свойств почв зависит от удобрённости почв. Действительно, по результатам исследований ([Гукалов и др., 2019](#)), в дерново-подзолистых среднесуглинистых почвах без внесения NPK и при внесении NPK зависимость содержания гумуса от pH была представлена соответственно следующими коэффициентами корреляции – 0.43 и 0.64; зависимость содержания фосфора от pH – 0.49 и 0.75; зависимость содержания подвижного калия от pH – 0.13 и 0.7; зависимость подвижного фосфора от гумуса – 0.48 и 0.61; зависимость содержания обменного калия от гумуса – 0.32 и 0.47 соответственно.

Степень удобренности почв коррелирует и с зависимостью урожая от свойств почв. Например, по полученным экспериментальным данным, коэффициенты корреляции урожая озимой пшеницы на дерново-подзолистых почвах составляли для контроля и + NPK соответственно: $Y = f(\text{pH}) - 0.74$ и 0.87 ; $Y = f(S) - 0.46$ и 0.80 ; $Y = f(\text{P}_2\text{O}_5) - 0.63$ и 0.71 ; $Y = f(\text{K}_2\text{O}) - 0.37$ и 0.83 ; $Y = f(\text{гумус}) - 0.15$ и 0.20 .

Реакция среды (pH) почв зависит от суммы поглощенных оснований и от содержания гумуса (%). Однако для дерново-подзолистых почв таежно-лесной зоны при большем содержании гумуса и $C_{\text{гк}}/C_{\text{фк}} < 0.7$ увеличение содержания гумуса приводит к более интенсивному развитию подзолообразования, но чаще в подпахотных слоях. Это подтверждают и полученные нами данные. В слабоокультуренной дерново-подзолистой почве $\text{pH} = 0.035 \cdot S + 0.06 \cdot \Gamma + 4.1$, а в хорошо окультуренных – $\text{pH} = 0.057 \cdot S - 0.15 \cdot \Gamma + 5.4$.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Взаимосвязи свойств почв во времени и в пространстве влияют на выбор оптимальных вариантов – составляющих систем земледелия (севооборотов, удобрений и обработки). Так, увеличение pH среды выше 6.0 в дерново-подзолистых почвах приводит к уменьшению подвижности микроэлементов – Fe, Zn, Mn. Зафосфачивание почв также сопровождается уменьшением подвижности этих катионов. Взаимосвязи свойств почв изменяются по почвенному профилю, в пределах катены, в сезонной динамике и служат индикатором протекающих в почвах процессов и формирующихся режимов. Для повышения эффективности систем земледелия необходима оптимизация свойств почв не только пахотного, но и подпахотного слоев, корректировка приемов воздействия на почву с учетом взаимосвязей свойств почв и их изменения при антропогенном воздействии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Безуглова О.С., Юдина Н.В. Взаимосвязь физических свойств и гумусированности на черноземах юга Европейской части России // Почвоведение. 2000. № 2. С. 211–219.

2. Воробьева Л.А. Методические указания по расчету диаграмм растворимости труднорастворимых соединений. М.: МГУ, 1986. 100 с.
3. Гришин П.Н. Методология системного анализа взаимосвязей почвенного плодородия: Автореф. дис. ... докт. с.-х. наук. Саратов, 1998. 47 с.
4. Гукалов В.Н., Савич В.И., Белюченко И.С. Информационно-энергетическая оценка состояния тяжелых металлов в компонентах агроландшафта. М.: РГАУ-МСХА, ВНИИА, 2015. 400 с.
5. Гукалов В.В., Савич В.И. Интегральная оценка кислотно-основного состояния почв таежно-лесной и лесостепной зон. М.: РГАУ-МСХА, ВНИИА, 2019. 408 с.
6. Гукалов В.В., Баршадская С.И., Сорокин А.Е., Савич В.И., Суккар Л. Изменение эффективности применения минеральных удобрений на черноземах и дерново-подзолистых почвах при неоправданном увеличении их доз // Международный Сельскохозяйственный Журнал. 2020. № 1. С. 83–86.
7. Гукалов В.В., Савич В.И., Панова П.Ю. Интегральная оценка кислотно-основного состояния почв // Международный Сельскохозяйственный Журнал. 2019. № 3. С. 64–68.
8. Духанин Ю.А., Савич В.И. и др. Информационная оценка плодородия почв. М.: ФГНУ “Росинформагротех”, 2006. 476 с.
9. Замараев А.Г., Савич В.И., Сычев В.Г. Энергомассообмен в звене полевого севооборота. Ч. 2. М.: РГАУ-МСХА, ВНИИА, 2005. 336 с.
10. Кулаковская Т.Н. Оптимизация агрохимической системы почвенного питания растений. М.: Агропромиздат, 1998. 219 с.
11. Никиточкин Д.Н., Савич В.И., Наумов В.Д., Байбеков Р.Ф. Модели плодородия почв под яблоню во времени и в пространстве. М.: РГАУ-МСХА, ВНИИА, 2015. 272 с.
12. Панов Н.П., Савич В.И., Родионова Л.П. Экологически и экономически обоснованные модели плодородия почв. М.: РГАУ-МСХА, ВНИИА, 2014. 380 с.
13. Полуэктов Р.А. Динамические модели систем. СПб: Гидрометеиздат, 1993. 341 с.
14. Савич В.И., Смаригин С.Н., Гукалов В.В. Интегральная оценка окислительно-восстановительного состояния системы почва-растение // Известия ТСХА, 2019. № 4. С. 19–31.
15. Седых В.А., Савич В.И. Агроэкологическая оценка почвообразовательных процессов. М.: РГАУ-МСХА, ВНИИА, 2014. 400 с.
16. Фрид А.С. Пространственное варьирование и временная динамика плодородия почв в длительных полевых опытах. М.: РАСХН, 2008. 79 с.

REFERENCES

1. Bezuglova O.S., Yudina N.V., *Vzaimosvyaz' fizicheskikh svoystv i gumusirovannosti na chernozemakh yuga Evropeiskoi chasti Rossii* (Relationship between physical properties and humusivity in the chernozems of southern European Russia), *Pochvovedenie*, 2000, No. 2, pp. 211–219.
2. Vorob'eva L.A., *Metodicheskie ukazaniya po raschetu diagramm rastvorimosti trudnorastvorimyykh soedinenii* (Methodical instructions for calculating solubility diagrams for difficult to soluble compounds), Moscow: MGU, 1986, 100 p.
3. Grishin P.N., *Metodologiya sistemnogo analiza vzaimosvyazei pochvennogo plodo-roditya: Avtoref. diss. ... dokt. s.-kh. nauk* (Methodology for the system analysis of the relationships of soil fertility, Extended abstract of Dr. agric. sci. thesis), Saratov, 1998, 47 p.
4. Gukalov V.N., Savich V.I., Belyuchenko I.S. *Informatsionno-energeticheskaya otsenka sostoyaniya tyazhelykh metallov v komponentakh agrolandshafta*, (Information and energy assessment of heavy metals in agricultural landscape components), Moscow: RGAU-MSKhA, VNIIA, 2015, 400 p.
5. Gukalov V.V., Savich V.I., *Integral'naya otsenka kislotno-osnovnogo sostoyaniya pochv taezhno-lesnoi i lesostepnoi zon* (Integral assessment of the acidic basic state of soils in taiga and forest-steppe zones), Moscow, RGAU-MSKhA, VNIIA, 2019, 408 p.
6. Gukalov V.V., Barshadskaya S.I., Sorokin A.E., Savich V.I., Sukkar L., *Izmenenie effektivnosti primeneniya mineral'nykh udobrenii na chernozemakh i dernovo-podzolistykh pochvakh pri neopravdannom uvelichenii ikh doz* (Change of efficiency of application of mineral fertilizers on chernozem and sod-podzolic soils at unjustified increase of their doses), *Mezhdunarodniy sel'skokhozyaistvenniy zhurnal*, 2020, No. 1, pp. 83–86.
7. Gukalov V.V., Savich V.I., Panova P.Yu., *Integral'naya otsenka kislotno-osnovnogo sostoyaniya pochv* (Integral assessment of the acidic basic state of soils), *Mezhdunarodniy sel'skokhozyaistvenniy zhurnal*, 2019, No. 3, pp. 64–68.
8. Dukhanin Yu.A., Savich V.I. et al., *Informatsionnaya otsenka plodoroditya pochv*, (Informational assessment of soil fertility), Moscow: FGNU "Rosinformagrotekh", 2006, 476 p.
9. Zamaraev A.G., Savich V.I., Sychev V.G., *Energomassoobmen v zvene polevogo sevooborota* (Energy and mass exchange in the field crop rotation link), Part 2, Moscow: RGAU-MSKhA, VNIIA, 2005, 336 p.

10. Kulakovskaya T.N., *Optimizatsiya agrokhimicheskoi sistemy pochvennogo pitaniya rastenii* (Optimization of the agrochemical system of soil plant nutrition), Moscow: Agropromizdat, 1998, 219 p.
11. Nikitochkin D.N., Savich V.I., Naumov V.D., Baibekov R.F., *Modeli plodorodiya pochv pod yablonyu vo vremeni i v prostranstve* (Models of soil fertility under an apple tree in time and space), Moscow: RGAU-MSKhA, VNIIA, 2015, 272 p.
12. Panov N.P., Savich V.I., Rodionova L.P., *Ekologicheski i ekonomicheski obosno-vannye modeli plodorodiya pochv* (Environmentally and economically sound soil fertility models), Moscow: RGAU-MSKhA, VNIIA, 2014, 380 p.
13. Poluektov R.A., *Dinamicheskie modeli system* (Dynamic system models), Saint-Petersburg: Gidrometeoizdat, 1993, 341 p.
14. Savich V.I., Smarygin S.N., Gukalov V.V., Integral'naya otsenka oksislitel'no-vosstanovitel'nogo sostoyaniya sistemy pochva – rastenie (Integral assessment of the redox state of the soil – plant system), *Izvestiya TSKhA*, 2019, No. 4, pp. 19–31.
15. Sedykh V.A., Savich V.I., *Agroekologicheskaya otsenka pochvoobrazovatel'nykh pro-tsessov* (Agroecological assessment of soil-forming processes), Moscow: RGAU-MSKhA, VNIIA, 2014, 400 p.
16. Frid A.S., *Prostranstvennoe var'irovanie i vremennaya dinamika plodorodiya pochv v dlitel'nykh polevykh opytakh* (Spatial variation and temporal dynamics of soil fertility in long-term field experiments), Moscow: RASKhN, 2008, 79 p.

Научное издание

Бюллетень Почвенного института
имени В.В. Докучаева

Выпуск 106

Главный редактор *А.Л. Иванов*

Заместитель главного редактора *И.Ю. Савин*

Редактор, компьютерная верстка *А.Ю. Романовская*

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
Почвенный институт имени В.В. Докучаева
119017, Москва, Пыжевский пер., 7, стр. 2
<https://bulletin.esoil.ru>
e-mail: bulletin@esoil.ru

Сдано в набор 25.03.2021 г.
Подписано в печать 25.03.2021 г.
Формат 60×84/16. Бумага офсетная.
Усл. печ. л. 10,4 Тираж 75 экз. Заказ №

Цена договорная.

Отпечатано с готового макета по заказу
Почвенного института имени В.В. Докучаева
ИП Ерховой И.М. (ОГРНИП 319774600080241)
Тел. (495) 799-48-85
e-mail: apr-rpa@list.ru