

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

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

БЮЛЛЕТЕНЬ

ПОЧВЕННОГО ИНСТИТУТА

имени В.В. ДОКУЧАЕВА

Выпуск 102

Москва
2020

<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 102

**Moscow
2020**

<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”, 2020 г.

© Federal Research Centre “V.V. Dokuchaev Soil Science Institute”, 2020

СОДЕРЖАНИЕ

Развитие базовой классификации почв В.М. Фридланда в классификации почв России

Герасимова М.И., Хитров Н.Б., Лебедева И.И. 5

Актуализация содержания почвенной карты РСФСР масштаба 2.5 млн в формате классификации почв России для создания новой цифровой карты

Конюшков Д.Е., Ананко Т.В., Герасимова М.И., Лебедева И.И. 21

Субаквальные почвы Антарктиды: условия формирования и перспективы микробиологических исследований

Никитин Д.А., Семенов М.В. 49

Изменение засоленности почв и грунтовых вод рисовых систем Присивашской низменности после прекращения орошения

Хитров Н.Б., Роговнева Л.В., Паштейцкий В.С. 70

Оценка насыщенности почвы органическим углеродом

Когут Б.М., Семенов В.М. 103

Влияние технологий земледелия на морфометрические признаки черноземов

Белобров В.П., Дридигер В.К., Юдин С.А. 125

О выделении особо ценных сельскохозяйственных земель

Савин И.Ю., Псарёва А.П. 143

Часто встречающиеся неточности и ошибки применения статистических методов в почвоведении

Самсонова В.П., Мешалкина Ю.Л. 164

CONTENTS

Development of the basic soil classification of Vladimir Fridland in the classification of soils of Russia 2004/2008

Gerasimova M.I., Khitrov N.B., Lebedeva I.I. 5

Actualization of the contents of the soil map of Russian Federation (1 : 2.5 M scale) in the format of the classification system of Russian soils for the development of the new digital map of Russia

Konyushkov D.E., Ananko T.V., Gerasimova M.I., Lebedeva I.I. 21

Subaqual soils of Antarctica: conditions of formation and perspectives of microbiological research

Nikitin D.A., Semenov M.V. 49

Changes of soil salinity and ground waters at the rice systems in Sivash lowland after irrigation cease

Khitrov N.B., Rogovneva L.V., Pashtetskiy V.S. 70

Estimation of soil saturation with organic carbon

Kogut B.M., Semenov V.M. 103

Influence of agricultural technologies on the morphological properties of chernozems

Belobrov V.P., Dridiger V.K., Yudin S.A. 125

On the mapping of especially valuable agricultural lands

Savin I.Yu., Psareva A.P. 143

Common inaccuracies and errors in the application of statistical methods in soil science

Samsonova V.P., Meshalkina J.L. 164

УДК 638.47

DOI: 10.19047/0136-1694-2020-102-5-20



Ссылки для цитирования:

Герасимова М.И., Хитров Н.Б., Лебедева И.И. Развитие базовой классификации почв В.М. Фридланда в классификации почв России // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. 2020. Вып. 102. С. 5-20. DOI: 10.19047/0136-1694-2020-102-5-20

Cite this article as:

Gerasimova M.I., Khitrov N.B., Lebedeva I.I., Development of the basic soil classification of Vladimir Fridland in the classification of soils of Russia 2004/2008, Dokuchaev Soil Bulletin, 2020, V. 102, pp. 5-20, DOI: 10.19047/0136-1694-2020-102-5-20

Развитие базовой классификации почв В. М. Фридланда в классификации почв России

© 2020 г. М. И. Герасимова*, Н. Б. Хитров**, И. И. Лебедева

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

*<https://orcid.org/0000-0002-1815-4476>,

e-mail: maria.i.gerasimova@gmail.com,

**<https://orcid.org/000-0001-5151-5109>, e-mail: khitrovn@gmail.com.

Поступила в редакцию 15.02.2020, после доработки 08.03.2020,
принята к публикации 22.06.2020

Резюме: Базовая классификация почв мира В.М. Фридланда 1982 г. включает три компонента, и ее профильный компонент является основой современной классификации почв России (1997–2004–2008). В отличие от предшествующих классификаций в классификации В.М. Фридланда критериями деления почв приняты их свойства, даны определения диагностических элементов и реализована их связь с типами и подтипами почв. Введены три надтиповых уровня, расширен круг объектов классифицирования, впервые в России составлен ключ-определитель для почв высших таксономических уровней. В классификации почв России эти положения сохранены, они строже формализованы и детализированы применительно к почвам страны. Со времени первого издания постоянно предлагаются изменения и дополнения, проводятся верификации классификации разными способами. Как и в случае трех опубликованных изданий

классификации, предложения пользователей предполагается учесть в следующей версии.

Ключевые слова: преемственность классификации, субстантивные принципы, таксономическая структура, диагностические горизонты, генетические признаки.

Development of the basic soil classification of Vladimir Fridland in the classification of soils of Russia 2004/2008

M. I. Gerasimova^{*}, N. B. Khitrov^{}, I. I. Lebedeva**

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

^{}<https://orcid.org/0000-0002-1815-4476>,*

e-mail: maria.i.gerasimova@gmail.com,

*^{**}<https://orcid.org/000-0001-5151-5109>, e-mail: khitrovnv@gmail.com.*

Received 15.02.2020, Revised 08.03.2020, Accepted 22.06.2020

Abstract: The basic three-component classification system of soils of the world was published by V.M. Fridland in 1982, and its profile-genetic component was taken as a basis for the classification of soils of Russia (1997–2004–2008). Unlike the former systems, in that of Fridland the priority is given to soil properties, and this conceptual background is transferred into the new Russian system. The substantive-genetic principles of both systems are implemented in diagnostic horizons and genetic properties; both systems have similar hierarchy of taxa, nomenclature, keys. Changes introduced in the classification of soils of Russia derive either of proposals forwarded in the course of its application, or of information accumulated. They concern the improvement of definitions and introduction of new diagnostic elements; however, the main principles are preserved in the existing and forthcoming versions.

Keywords: continuity of soil classification, priority of properties, hierarchy, diagnostic horizons, genetic features.

ВВЕДЕНИЕ

Владимиром Марковичем Фридландом был создан рабочий документ “для обсуждения и дополнения”, опубликованный Почвенным институтом им. В.В. Докучаева и Межведомственной ко-

миссией по классификации и диагностике почв в 1982 г. Он назывался: “Основные принципы и элементы базовой классификации почв и программа работы по ее созданию”¹.

Напомним, что книга содержит краткое изложение принципов и структуры классификации (53 стр.) и конкретную программу работ по ее созданию (3 стр.), а также 2 приложения объемом около 100 стр. Первое приложение – “Индексы и определения почвенных горизонтов” было разработано совместно с М.А. Глазовской, И.А. Соколовым и В.О. Таргульяном; второе представляет собой классификатор почвенных свойств и факторов почвообразования, его авторы – В.М. Фридланд, В.А. Рожков и С.В. Овечкин.

Собственно классификация почв основана на многолетней работе большого коллектива почвоведов СССР, т.е. на огромном фактическом материале. Десятью годами раньше этим же коллективом под руководством В.М. Фридланда была создана программа к Почвенной карте РСФСР масштаба 1 : 2.5 млн, содержавшая краткие характеристики почв – 205 единиц легенды карты. Вероятно, программа выполняла функцию инвентаризации почв, с одной стороны, и выражения свойств почв с помощью “формулы профиля”, с другой стороны, тем самым организуя объект будущей классификации. Не исключено также, что на создание структуры классификации и отношения к генетическим горизонтам могло повлиять распространение в СССР американской [Soil Taxonomy, 1975](#). В итоге стало очевидно, что базовая классификация В.М. Фридланда явилась настоящей инновацией в отечественном классификационном поле.

Владимир Маркович считал, что классификация должна обновляться каждые 10–15 лет. Через 15 лет (в 1997) появилась версия классификации почв России как первый шаг в создании новой субстантивно-генетической системы, унаследовавшей многое из “Белой книги”.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Базовая классификация почв В.М. Фридланда в качестве

¹ Почвоведы называли его Белой книгой.

объекта рассматривает почвы мира и состоит из трех компонентов: профилльно-генетического, режимного и петрографо-минералогического.

Первый компонент представляет собой собственно классификацию почв по их свойствам и объект рассмотрения² в данной статье. В отличие от официальных систем ([Указания..., 1967](#); [Классификация и диагностика почв СССР, 1977](#)) классификация В.М. Фридланда включает широкий круг почв (и не только обычных почв), содержит изложение ряда общих теоретических вопросов, например, определение почвы и генетических горизонтов как критериев диагностики почв, ключ-определитель почв двух высших таксономических уровней. Для сравнительного анализа используются две версии классификации почв России: основная подробная версия ([Классификация и диагностика..., 2004](#)) и [Полевой определитель почв России 2008 г.](#), в котором по понятным причинам отсутствуют элементы диагностики почв, определяемые в лаборатории. Обе версии рассматриваются как единое произведение, представляющее современную классификацию почв России.

Классификации В.М. Фридланда и почв России сравниваются по следующим линиям: *классифицируемые объекты, принципы классификации, таксономическая структура, диагностические элементы и их таксономические функции, факторы почвообразования, алгоритм диагностики почв.*

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Новым для отечественных классификаций элементом является введение определения почвы как ***классифицируемого объекта*** в обеих системах. Оно имеет значение с точки зрения упорядоченности или определенности всей работы, формулирования темы и реальности предмета, к которому обращены усилия. Определение почвы у В.М. Фридланда представляется достаточно широким, исходящим из взаимодействия трех геосфер, в результате которого образуются горизонты, и формируется плодородие. Это определение позволяет расширить привычные представления о

² Рассматривается книга 1982 г., иногда с обращением к соответствующей статье в сборнике избранных трудов В.М. Фридланда 1986 г.

почвах, к которым добавлены подводные почвы и почвоподобные тела – поверхностные слои рыхлых отложений, техногенные и разные искусственные субстраты, на которых поселились растения, так что эти тела выполняют функции почвы (хотя и не обладают плодородием, упоминаемым в определении Фридланда). Они названы им парапочвами – будущими почвами.

Определение почвы в классификации почв России уже и больше ориентировано на процессы и горизонты; как следствие, в почвы не включаются почвоподобные тела и подводные отложения. Первые резко отделены от почв В.Д. Тонконоговым как техногенные поверхностные образования (ТПО), и им даны нарочито неуклюжие искусственные названия, например, артиурбистраты, токсиабралиты ([Тонконогов, 2001](#)). Основанием для отделения ТПО от почв является отсутствие генетических связей между слоями ТПО в отличие от почвенных горизонтов.

Различия в объектах между двумя классификациями заключаются также и в охвате почв: почвы мира и почвы России.

Классификация почв В.М. Фридланда и классификация почв России по *принципам* и содержанию являются субстантивно-генетическими или профилно-генетическими. В обеих системах в основе идентификации почв лежит профиль как совокупность генетических горизонтов.

В системе Фридланда для диагностики почвы по ее профилю и составляющих профиль горизонтов рекомендуется использовать также и характеристики современных режимов. Несмотря на важность информации о режимах для понимания современного функционирования и диагностики почв, использование показателей режимов почв для конкретных почвенных разрезов в момент их наблюдения затруднено в связи с невозможностью длительных измерений в ареале диагностируемой почвы. Поэтому в классификации почв России показатели режимов в явном виде не используются.

Вторым принципом в системе Фридланда является “взаимосвязь между свойствами почв и почвообразовательными процессами”, которая служит основой для выбора диагностических признаков. В классификации почв России аналогичный подход обозначен термином “генетичность”. Представления о почвообразо-

вательных процессах и наличие генетических связей между горизонтами профиля предполагают разграничение базовой профильно-генетической классификации и других почвенных классификаций, использующих в качестве диагностических критериев условия почвообразования или современное функционирование почв.

В.М. Фридланд считал, что классификация должна быть динамичной, постоянно развиваться и совершенствоваться, однако сохранять принципы построения и язык (терминологию).

В классификации почв России главные принципы сохранены, но изложены более детально, к ним добавлены принципы воспроизводимости и иерархичности. Последний принцип, на наш взгляд, относится больше к структуре системы.

Обе рассматриваемые классификации объединяет наличие надтиповых уровней в их *иерархической структуре*, что отличает их от официальных систем 1967 и 1977 гг. и свойственно авторским классификациям (В.Р. Волобуева, М.А. Глазовской, В.А. Ковды и др.). В классификации В.М. Фридланда есть три надтиповых таксономических уровня: ствол, отдел, порядок. Содержание и названия большинства стволов и отделов были приняты в классификации почв России, а таксономический уровень порядков исключен для упрощения структуры системы.

Категория верхнего уровня – ствол – по сути не изменилась, хотя в новую классификацию был добавлен ствол первичного почвообразования для слаборазвитых почв на плотных породах и техногенных субстратах. В отечественных классификациях 1967 и 1977 гг. аналогами стволов были группы типов солонцов, солончаков, аллювиальных почв, торфяных болотных почв, орошаемых почв. Следующий таксономический уровень – отдел – как генетическая общность почв с определенным типом строения профиля, сформированного определенными процессами, введен В.М. Фридландом. Отделам были даны названия, отражающие свойства почв, например, аккумулятивно-гумусовые, щелочно-глинисто-дифференцированные, криотурбированные мерзлотные; некоторые из них перешли в классификацию почв России. Смысл этой категории мы видим преимущественно в обобщенном восприятии разными специалистами огромного мира почв; отделы составляют содержание обзорных и мелкомасштабных почвенных

карт. По объему и количеству отделы близки Реферативным почвенным группам WRB, они, как и последние, удобны для оценок разнообразия почв. В “Белой книге” многие отделы делились на порядки по индивидуальным критериям: химическим или физическим особенностям процессов, диагностирующих отдел; например, отдел дерновых органо-аккумулятивных почв включал кислые и нейтральные почвы, отдел гумусово-железо-миграционных имел порядок подзолов (вместе с подбурами) и порядок потечно-железо-гумусовых почв.

Следующий таксономический уровень – *тип почв* – основа всех отечественных классификаций был определен В.М. Фридландом с позиций генетических горизонтов и формирующих их процессов. Факторам почвообразования в определении отведена роль отражения условий протекания процессов, сформировавших свойства почв. В классификации почв России дается более строгая формулировка, в которой подчеркивается единство комбинации генетических (диагностических, в варианте 1997 г. даже “типодиагностических”) горизонтов, и, конечно, обращение к процессам. В определении типа в новой классификации факторы заменены “общностью режимов” ([Полевой определитель..., 2008](#)); его краткое определение – формула профиля. Следующие таксономические уровни – подтип и род – в обеих классификациях близки по существу, при том, что критериев выделения подтипов больше в классификации почв России, а рода – в классификации Фридланда. Так, особенности почв, связанные с почвообразующими породами и с переувлажнением, в первом случае учитываются на уровне подтипа, во втором – рода, поэтому для классификации почв России характерно большое количество подтипов, простых и сложных.

Одной из новых и важных общих особенностей обеих классификаций является способ реализации принципа субстантивности – приоритета свойств, который реализуется через систему и функции **диагностических элементов**. В системе В.М. Фридланда они представлены основными генетическими горизонтами и “малыми индексами, дополняющими индексы основных горизонтов”, что по содержанию, форме и частично названиям соответствует *диагностическим горизонтам и генетическим*

признакам классификации почв России. Именно в использовании диагностических элементов, их сущности и функций особенно отчетлива прее́мственность концептуальной основы новой классификации. Однако состав горизонтов несколько различен, что объясняется объектами классифицирования и объемом информации о почвах и их свойствах, имевшимся в конце 1970-х и ранних 2000-х годах.

По сравнению с “Белой книгой”, выросло число горизонтов (24 и 51), они получили статус диагностических, введены уточнения в их содержание и значение в диагностике типов почв.

Как показал опыт использования классификации почв России за прошедшие 15 лет, в том числе обсуждения на сайте soils/narod.ru, в on-line дискуссиях по отдельным темам и в печати, именно диагностические горизонты и генетические признаки признаются и используются широким кругом специалистов. Более того, постоянно поступают предложения об уточнении и совершенствовании имеющихся определений обоих диагностических элементов и введении новых. Часть предложений, поступивших в период 2004...2008 гг., была использована при подготовке последнего варианта классификации – Полевого определителя почв России. Примером относительно недавнего предложения ввести новый горизонт может послужить диагностический горизонт городских почв – “урбиковый”, формулировка определения которого отшлифовывалась весьма тщательно инициативной группой “городских почвоведов” ([Прокофьева и др., 2014](#)).

Тем не менее в отношении диагностических горизонтов остается ряд нерешенных вопросов; отметим только два, имеющих отношение к диагностическим элементам второго порядка, к которым в классификации почв России отнесены генетические признаки, представляющие *модификации* диагностических горизонтов. В классификации В.М. Фридланда такие элементы условно названы малыми индексами, имеющими целью уточнить свойства основных горизонтов.

Если в профиле почвы выделяется два диагностических горизонта, верхних или срединных, среди которых для диагностики типа следует выбрать один, то оставшийся горизонт выполняет функцию генетического признака (малого индекса). Критериями

выбора может быть положение в профиле и/или степень выраженности ([Герасимова и др., 2013](#)). Второй вопрос касается строгости соблюдения правила формулы профиля типа, предполагающего использование индексов только горизонтов. Например, формула профиля типа подзолистых почв O-EL-BEL-BT-C, типа подзолисто-глеевых O-EL-BEL-BT-G-CG. Однако в подзолисто-глеевых почвах обычно оглеены не только нижние горизонты, но и другие – BEL и BT, иногда и EL, что целесообразно отметить как реальное свойство профиля малым индексом g: O-EL-BELg-BTg-G-CG. Однако, отражая существующую ситуацию, это дополнение нарушает строгое правило составления типовой формулы, поскольку малые индексы, т. е. обозначения генетических признаков, указывают на подтиповой уровень почвы. По другому правилу, присутствие диагностического горизонта в профиле (в приведенном примере, гор. G) предполагает выделение особого типа почв и исключает необходимость выделения подтипа на основании более слабо выраженных похожих генетических признаков в других горизонтах профиля (в примере признак g).

Одним из часто дискутируемых вопросов и даже упреков в отношении классификации почв России является вопрос об отсутствии упоминания *факторов почвообразования* среди классификационных критериев, как это было в официальных факторно- или эколого-генетических классификациях. Мы считаем, что введение факторов почвообразования в критерии диагностики почв нецелесообразно по нескольким причинам.

Во-первых, в соответствии с принципами субстантивной классификации, диагностика почвы должна основываться на характеристиках самого объекта классифицирования, а не на условиях его современного существования.

Во-вторых, факторы почвообразования в каждой конкретной точке пространства имеют свою историю эволюции во времени. Поэтому их современное проявление не всегда становится полностью адекватным сформированной в этой точке пространства почве.

В-третьих, одна из задач классификации почв заключается в четкой и однозначной идентификации исследуемого почвенного тела в каждой точке опробования. Используемая же информация о

климате и гидрологическом режимах функционирования ландшафта, как правило, имеет обобщенный характер, основанный на измерениях в редких пунктах наблюдений и последующей экстраполяции данных на большие территории. Это приводит к увеличению ошибок диагностики конкретной почвы. Более того, на формирование почвы влияет не отдельный фактор, а конкретное сочетание совокупности разнородных по своей природе факторов. По этой причине конкретное проявление одного из факторов (например, форма рельефа) в разных сочетаниях с другими факторами (например, почвообразующая порода и климат) может оказывать разное влияние на почвообразование, дифференцируя влияние этих и других факторов.

Вместе с тем важно отметить, что информация о сочетании факторов почвообразования становится чрезвычайно важной именно при ее использовании совместно с субстантивной диагностикой почв в качестве особого инструмента ландшафтного анализа территории для решения разнообразных фундаментальных и прикладных задач. В таком подходе субстантивная диагностика почв способствует получению информации о почвах независимо от условий современного существования почвы, что повышает информационную емкость используемых в анализе данных.

Обратимся к опыту наших западных коллег при работе с субстантивной классификацией WRB, где отказ от привлечения факторов еще более категоричен. Интересны попытки заполнить этот пробел: “Mind the gap”, которым считается отсутствие в системе WRB почвообразующих пород, а также форм гумуса. Обе попытки заключались в создании отдельных классификаций для пород и гумуса в формате WRB. Предложения по породам были сформулированы группой бельгийских почвоведов ([Juilleret et al., 2015](#)); формы гумуса в формате WRB обсуждались, начиная с 2000-х годов большой интернациональной группой почвоведов с активным участием французских и немецких ([Jabiol et al., 2013](#)). В итоге полные названия почв становятся громоздкими и чрезмерно сложными, как и в ситуации с использованием дополнительных сведений о факторах почвообразования в форме компонентов в системе В.М. Фридланда или факторных ветвей в классификации 2004 г., и “экологических ниш” в Полевом определителе почв Рос-

сии. Из этого следует, что, с одной стороны, нецелесообразно перегружать классификацию почв сопутствующей информацией о факторах почвообразования, а с другой стороны, необходима разработка подходов совместного использования результатов субстантивной диагностики почв и независимой оценки параметров факторов почвообразования для разных исследовательских и практических задач.

Вопрос об обособлении пахотных почв иногда рассматривается как обращение к “шестому антропогенному фактору почвообразования”, по выражению Р. Дюдалья, представившего разные формы антропогенного воздействия на почвы в системе почвенных профилей и горизонтов ([Dudal et al., 2002](#)). Выделение разных “агро-” типов почв в классификации почв России производится на основе конкретных свойств агрогумусового (Р), агротемногумусового (РU), агроабразионного (РВ), агроторфяного (РТ) и агроторфяно-минерального (РТR) горизонтов, а не по показателям “антропогенного фактора почвообразования”. В свою очередь, используя информацию о характере, интенсивности и длительности антропогенного воздействия в сочетании со свойствами самой почвы, находящейся под этим воздействием, возможно решение разных задач генетического почвоведения, с одной стороны, и прикладных задач земледелия и мелиорации почв, с другой.

Алгоритмы диагностики почв

В качестве одного из алгоритмов диагностики почвы используются ключи-определители, представляющие последовательность действий, обеспечивающих получение правильного результата. Подобные ключи давно известны ботаникам, у почвоведов они служат основой диагностики почв в американской и международной классификациях и не использовались в отечественных. В советских и российских системах независимая диагностика типов почв проводилась по их уникальному сочетанию факторов почвообразования и свойств почв, отраженному в описательной характеристике каждого типа почв. Можно предположить, что в работе над “Белой книгой” Владимир Маркович обращался к опыту американской Таксономии почв с ее отдельными изданиями ключей (например, [Ключи..., 1977](#)), которых на сегодня уже 12. В

результате новым элементом “Белой книги” стал ключ-определитель стволов и отделов. В классификации почв России этот подход имел развитие. Предложено 3 ключа-определителя: для диагностических горизонтов, стволов и отделов ([Полевой...., 2008](#)). Причем классификация почв России является пока единственной системой, в которой можно произвести идентификацию диагностических горизонтов, используя ключ-определитель. Во всех остальных классификационных системах почв мира подобные определители диагностических горизонтов отсутствуют.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, классификация почв России по существу построена на принципах, не только сформулированных В.М. Фридландом, но и реализованных им в реальной классификации с новой структурой, частично новой терминологией и “новыми” почвами, в том числе измененными деятельностью людей. Создание классификации почв России можно оценить как результат выполнения (пока еще неполного) первого пункта Программы работ по базовой классификации, намеченного В.М. Фридландом: развитие ее профильно-генетического компонента. Конкретные дополнения и изменения:

- Уточнена, расширена, по-новому упорядочена система диагностических горизонтов и признаков. Ряд признаков (малых индексов В.М. Фридланда) “повысили уровень”, т. е. они вошли в диагностику горизонтов, особенно срединных. Горизонтов было только 4 (EL, B, G, GO), стало 17 собственно срединных + еще 4 гидрогенных и 2 галоморфных. Это позволяет дать более четкую диагностику отделов почв.

- Изменена таксономическая система верхних уровней: ликвидированы порядки; для почв Мира, возможно, их и стоило бы сохранить в той или иной форме, но для почв России они излишни – деления отделов на типовом уровне вполне достаточно.

- Уточнен и расширен (для России) список отделов почв, получивших более четкую диагностику и новый ключ-определитель. Впервые введены отделы криометаморфических почв, гидрометаморфических почв, литоземов, турбоземов, абраземов, стратоземов, агроземов и др.

- Существенно расширен ряд типов почв внутри отделов. Все выделяемые типы получили отчетливую “профильную” диагностики. Из названий типов почв исключены “факторные” термины. Для отражения специфики типов почв используются исключительно диагностические горизонты (расширенный список которых позволяет это сделать). Впервые в отечественных классификациях в систему типов почв включены агро-типы; они “не равны” предлагавшимся в классификации 1977 г. культурным и окультуренным почвам.

- Разработана подробная система классификации почв на подтиповом уровне. Она оказалась весьма сложной, “тяжеловесной”, “разнокачественной”, но позволяющей отразить специфику почв на этом уровне достаточно детально. Имеются предложения по пересмотру содержания этого таксономического уровня. Однако важен сам факт появления и детальной проработки подтипового уровня, для которого в “Белой книге” были только намечены основы диагностики и который рассматривался как переходный между типами в различных фактически “факторных” рядах, например, фациальные подтипы, подтипы по степени гидроморфизма, засоленности, и т. д.

После публикации “Белой книги” изменения, внесенные в классификацию почв России (версии 2004 и 2008 гг.), а также последующие предложения направлены на ее совершенствование, являясь следствием верификации концепций классификации и их адаптации к конкретным проблемам и современным запросам научного сообщества.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Герасимова М.И., Лебедева И.И., Хитров Н.Б. Индексация почвенных горизонтов: состояние вопроса, проблемы и предложения // Почвоведение. 2013. № 5. С. 627–638.
2. Классификация и диагностика почв России / Авторы и составители: Л.Л. Шишов, В.Д. Тонконогов, И.И. Лебедева, М.И. Герасимова. Смоленск: Ойкумена, 2004. 341 с.
3. Классификации и диагностика почв СССР. М.: Колос, 1977. 223 с.
4. Классификация почв России / Л.Л. Шишов, В.Д. Тонконогов, И.И. Лебедева. М.: Почв. ин-т им. В.В. Докучаева. 1997. 231 с.

5. Ключи к Таксономии Почв. Линкольн, Небраска. Департамент сельского хозяйства США. Пер. Г.Г. Мажитовой, И.А. Соколова (ред.). (Keys to Soil Taxonomy. Soil Survey Staff. NRCS). 1997. 410 с.
6. Лебедева И.И., Тонконогов В.Д., Герасимова М.И. Диагностические горизонты в субстантивно-генетических классификациях почв // Почвоведение. 1999. № 9. С. 1068–1075.
7. Полевой определитель почв России. М.: Почв. ин-т им В.В. Докучаева, 2008. 182 с.
8. Почвенная карта РСФСР. Масштаб 1 : 2.5 млн / В.М. Фридланд. М.: ГУГК, 1988.
9. Прокофьева Т.В., Герасимова М.И., Безуглова О.С. и др. Введение почв и почвоподобных городских образований в классификацию почв России // Почвоведение. 2014. № 10. С. 1155–1164.
10. Тонконогов В.Д. Эволюционно-генетическая классификация почв и непочвенных поверхностных образований суши // Почвоведение. 2001. № 6. С. 653–659.
11. Указания по классификации и диагностике почв. М.: Колос, 1967. 5 выпусков.
12. Фридланд В.М. Основные принципы и элементы базовой классификации почв и программа работ по ее созданию. М.: Почв. ин-т им. В.В. Докучаева, 1982, 149 с.
13. Фридланд В.М. Проблемы географии, генезиса и классификации почв. М.: Наука. 1986. 245 с.
14. Фридланд В.М., Караваева Н.А., Руднева Е.Н. и др. Программа почвенной карты СССР масштаба 1 : 2 500 000. М.: Почв. ин-т. им. В.В. Докучаева, 1972. 160 с.
15. Dudal R., Nachtergaele F., Purnell M. The human factor of soil formation. Symposium 18, Vol. II, paper 93. Proc. 17th World Congress of Soil Science, Bangkok. 2002.
16. Jabiol B., Zanella A., Ponge J.-F. et al. A proposal for including humus forms in the World Reference Base for Soil Resources (WRB-FAO) // Geoderma. 2013. V. 192. 286–294.
17. Juilleret J., Dondeyne S., Vancampenhout K., Deckers J., Hissler C. Mind the gap: A classification system for integrating the subsolum into soil surveys // Geoderma. 2015. Vol. 264. P. 332–339.
18. Soil Taxonomy. A Basic System of Soil Classification for Making and Interpreting Soil Surveys. Agricult. Handbook 436. 1975. 754 p.
19. IUSS Working Group WRB. World Reference Base for Soil Resources 2014. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. World Soil Resources Reports 106. 2014. FAO, Rome, 181 p.

REFERENCES

1. Gerasimova M.I., Lebedeva I.I., Khitrov N.B., Indeksatsiya pochvennykh gorizontov: sostoyanie voprosa, problemy i predlozheniya (Indexation of soil horizons: state of the issue, problems and suggestions), *Pochvovedenie*, 2013, No. 5, pp. 627–638.
2. *Klassifikatsiya i diagnostika pochv Rossii* (Classification and diagnostics of Russian soils), L.L. Shishov, V.D. Tonkonogov, I.I. Lebedeva, M.I. Gerasimova (eds), Smolensk: Oikumena, 2004, 341 p.
3. *Klassifikatsii i diagnostika pochv SSSR* (Classifications and soil diagnostics of the USSR), Moscow: Kolos, 1977, 223 p.
4. *Klassifikatsiya pochv Rossii* (Classification of Soils of Russia), L.L. Shishov, V.D. Tonkonogov, I.I. Lebedeva (eds), Moscow: V.V. Dokuchaev Soil Science Institute, 1997, 231 p.
5. *Keys to Soil Taxonomy*, Soil Survey Staff, Lincoln, Nebraska. US Department of Agriculture, 1997, 410 p.
6. Lebedeva I.I., Tonkonogov V.D., Gerasimova M.I., Diagnosticheskie gorizonty v substantivno-geneticheskikh klassifikatsiyakh pochv (Diagnostic horizons in the substantive genetic classifications of soils), *Pochvovedenie*, 1999, No. 9, pp. 1068–1075.
7. *Polevoi opredelitel' pochv Rossii* (Field determinant of Russian soils), Moscow: V.V. Dokuchaev Soil Science Institute, 2008, 182 p.
8. *Pochvennaya karta RSFSR* (Soil map of the RSFSR. Scale 1 : 2.5 million), V.M. Friedland (ed.), Moscow: GUGK, 1988.
9. Prokofieva T.V., Gerasimova M.I., Bezuglova O.S. et al., Vvedenie pochv i pochvopodobnykh gorodskikh obrazovaniy v klassifikatsiyu pochv Rossii (Introduction of soils and soil-like urban formations in the classification of soils in Russia), *Pochvovedenie*, 2014, No. 10, pp. 1155–1164.
10. Tonkonogov V.D., Evolyutsionno-geneticheskaya klassifikatsiya pochv i nepochvennykh poverkhnostnykh obrazovaniy sushi (Evolutionary-genetic classification of soils and non-surface surface land formations), *Pochvovedenie*, 2001, No. 6, pp. 653–659.
11. *Ukazaniya po klassifikatsii i diagnostike pochv* (Guidelines for soil classification and diagnostics), Moscow: Kolos, 1967, 5 issues.
12. Friedland V.M., *Osnovnye printsipy i elementy bazovoi klassifikatsii pochv i programma rabot po ee sozdaniyu* (The basic principles and elements of the

basic classification of soils and the program of work for its creation), Moscow: V.V. Dokuchaev Soil Science Institute, 1982, 149 p.

13. Fridland V.M., *Problemy geografii, genezisa i klassifikatsii pochv* (Problems of geography, genesis and classification of soils), Moscow: Nauka, 1986, 245 p.

14. Fridland V.M., Karavaeva N.A., Rudneva E.N. et al., *Programma pochvennoi karty SSSR masshtaba 1 : 2 500 000* (The program of the soil map of the USSR, scale 1 : 2 500 000), Moscow: V.V. Dokuchaev Soil Science Institute, 1972, 160 p.

15. Dudal R., Nachtergaele F., Purnell M., *The human factor of soil formation*, Symposium 18, Vol. II, paper 93, Proc. 17th World Congress of Soil Science, Bangkok, 2002.

16. Jabiou B., Zanella A., Ponge J.-F. et al., A proposal for including humus forms in the World Reference Base for Soil Resources (WRB-FAO), *Geoderma*, 2013, Vol. 192, pp. 286–294.

17. Juilleret J., Dondeyne S., Vancampenhout K., Deckers J., Hissler C., Mind the gap: A classification system for integrating the subsolum into soil surveys, *Geoderma*, 2015, Vol. 264, pp. 332–339.

18. *Soil Taxonomy. A Basic System of Soil Classification for Making and Interpreting Soil Surveys*, Agriculture, Handbook 436, 1975, 754 p.

19. IUSS Working Group WRB. *World Reference Base for Soil Resources 2014*, International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps, World Soil Resources Reports 106, 2014, FAO, Rome, 181 p.

УДК 631.47

DOI: 10.19047/0136-1694-2020-102-21-48



Ссылки для цитирования:

Конюшков Д.Е., Ананко Т.В., Герасимова М.И., Лебедева И.И. Актуализация содержания почвенной карты РСФСР масштаба 2.5 млн в формате классификации почв России для создания новой цифровой карты // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. 2020. Вып. 102. С. 21-48. DOI: 10.19047/0136-1694-2020-102-21-48

Cite this article as:

Konyushkov D.E., Ananko T.V., Gerasimova M.I., Lebedeva I.I., Actualization of the contents of the soil map of Russian Federation (1 : 2.5 M scale) in the format of the classification system of Russian soils for the development of the new digital map of Russia, Dokuchaev Soil Bulletin, 2020, V. 102, pp. 21-48, DOI: 10.19047/0136-1694-2020-102-21-48

Актуализация содержания почвенной карты РСФСР масштаба 2.5 млн в формате классификации почв России для создания новой цифровой карты

© 2020 г. Д. Е. Конюшков^{1*}, Т. В. Ананко¹,
М. И. Герасимова^{1,2**}, И. И. Лебедева¹

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

²МГУ им. М.В. Ломоносова, Россия,
119991, Москва, Ленинские горы, 1,
**<https://orcid.org/0000-0002-1815-4476>,
e-mail: maria.i.gerasimova@gmail.com.

Поступила в редакцию 28.02.2020, после доработки 17.03.2020,
принята к публикации 22.06.2020

Резюме: Почвенная карта РСФСР масштаба 1 : 2.5 млн (1988) нуждается в обновлении с целью отразить накопленные за последние десятилетия сведения о почвах, реальные изменения в почвенном покрове, включая результаты антропогенной трансформации почв, обеспечить топографическую точность карты и ее увязку с материалами космических снимков. Концептуальной основой обновления содержания карты является субстантивно-генетическая классификация почв России

(2004, 2008). Обновление информации карты 1988 года ведется по полигонам ее оцифрованной версии. Оно основано на анализе разнообразных источников и включает как нахождение аналогов названий почв легенды карты в новой классификации, так и корректировку состава почв полигонов; введены новые природные почвы, а также пахотные и городские почвы. Наибольшее число новых природных почв появилось в разделах легенды “Почвы тундр” и “Почвы тайги и широколиственных лесов”. Впервые вводимые на карту антропогенные почвы (119 единиц) имеют максимальное представительство (36 единиц) в разделе “Почвы степей”; оно близко к количеству природных почв, выделяемых в этой зоне (37 единиц). Значительная доля антропогенных почв (> 50% от природных) отмечается также для разделов “Почвы широколиственных лесов и лесостепей”, “Почвы сухих степей и полупустынь”, “Засоленные и солонцеватые почвы”. Общее количество почвенных единиц в легенде новой карты (425) увеличилось более чем в два раза по сравнению с базовой картой (205 почв). Результаты работы фиксируются в отдельном разделе атрибутивной базы данных и будут использованы при создании новой карты методами цифровой почвенной картографии.

Ключевые слова: база данных, легенда карты, состав полигонов.

Actualization of the contents of the soil map of Russian Federation (1 : 2.5 M scale) in the format of the classification system of Russian soils for the development of the new digital map of Russia

D. E. Konyushkov^{1*}, T. V. Ananko¹, M. I. Gerasimova^{1,2},
I. I. Lebedeva¹**

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

²*Lomonosov Moscow State University,
1 Leninskie Gori, Moscow 119234, Russian Federation,
**<https://orcid.org/0000-0002-1815-4476>,
e-mail: maria.i.gerasimova@gmail.com.*

Received 28.02.2020, Revised 17.03.2020, Accepted 22.06.2020

Abstract: The Soil Map of the Russian Federation, 1 : 2.5 M scale (1988) requires updating to include soil data that have been accumulated in the past

decades, reflect real changes in the soil cover, including anthropogenic transformation, and ensure precise localization of soil objects and correspondence of the map to satellite data with the use of digital soil mapping technologies. The substantive-genetic classification system of Russian soils (2004, 2008) provides the conceptual basis for this updating. The conversion of soil information from the initial map of 1988 into the new classification system is being performed for each polygon of the digitized map. It is based on the analysis of a vast body of diverse information and includes both the search for analogues of the names of mapping units in the new classification system (renaming of the soils) and the correction of the composition of soils in the polygons: new natural soils, cultivated soils (agrosoils), and urban soils are added to the attribute database. The largest number of new natural soils has appeared in legend sections “Soils of tundra” and “Soils of taiga and broadleaved forests”. Anthropogenic soils (119 legend units) that are shown on the map for the first time, have their maximum representation (36 units) in the section “Soils of steppes”; it is close to the number of natural soils (37 units) in this zone. A considerable percent of anthropogenic soils (> 50% of the natural soils) is also typical of legend sections “Soils of broadleaved forests and forest-steppes,” “Soils of dry steppes and semideserts,” “Salt-affected and solonetzic soils”. The total number of natural and anthropogenic soil units (425) in the new legend is more than twice as large as the initial number of natural soil units in the base map (205). The results of the renaming and updating of soils for each soil polygon are fixed in a separate section of the attribute database to the map and will be used for generating the new map by the methods of digital soil mapping.

Keywords: attribute database, map legend, composition of soil polygons.

ВВЕДЕНИЕ

Почвенная карта РСФСР ([ПКРФ](#)) масштаба 1 : 2.5 млн под редакцией В.М. Фридланда (1988) – наиболее подробная почвенная карта, созданная по единой программе на всю территорию России. Она является уникальным картографическим произведением по полноте информации о почвах страны и основана на географо-генетических представлениях о почвенном покрове, сложившихся к 1980-м годам. Зональный принцип, доминирующий на мелкомасштабных отечественных почвенных картах, сочетается в концепции ПКРФ с субстантивным, предполагающим акцент на почвенных свойствах. Легенда ПКРФ организована по зональному принципу, названия ряда почв

включают ландшафтную составляющую, однако сама система картографических единиц построена на основе устойчивых сочетаний свойств почв, отражаемых в почвенном профиле как определенные комбинации генетических горизонтов и диагностических признаков. Морфологические описания, аналитические данные и формулы почвенных профилей введены в Программу карты ([Фридланд и др., 1972](#)), что способствовало лучшему пониманию вводимых на карту новых названий почв.

Почвенная часть легенды состоит из 205 единиц почв и 83 единиц почвенных комплексов. Большое количество почв, выходящих за рамки классического зонального ряда, позволило отразить на карте формировавшуюся в те годы концепцию географии почв в форме уровней организации почвенного покрова ([Фридланд, 1977](#)), особенно для малоизученных труднодоступных территорий Средней и Восточной Сибири. К таким почвам, введенным в содержание карты, относятся подбуры, буротаежные и дерново-таежные, палевые, гранулемы, охристые вулканические и другие.

Впервые для карты такого масштаба была разработана детальная легенда микроструктур почвенного покрова: криогенных комплексов тундры и тайги и преимущественно галогенных комплексов степей и полупустынь. На карте представлены 5 групп “северных” мерзлотных комплексов, 6 групп болотных и 5 групп “южных” комплексов. Детально для данного масштаба показаны почвообразующие рыхлые и плотные породы: 22 единицы рыхлых пород и 8 единиц плотных пород (в варианте карты “для служебного пользования”).

Изначально карта готовилась на всю территорию СССР. К этому времени на все союзные республики, кроме РСФСР, уже были изданы листы Государственной почвенной карты (ГПК) масштаба 1 : 1 млн. Однако огромные пространства Севера и Сибири оставались фактически “белым пятном” на имевшихся мелкомасштабных картах (точнее, отражали представления, сложившиеся к 1950-м годам). Результаты исследований 1950–1970-х годов на них отражены не были; они вносились лишь на авторские макеты будущих листов ГПК. В этих условиях было принято решение о составлении Почвенной карты масштаба 1 : 2.5

млн на территорию РСФСР.

В январе 1976 года Почвенный институт (совместно с Главным управлением землепользования и землеустройства и Росземпроектom) получил соответствующий наряд-заказ от Минсельхоза РСФСР. Необходимо было свести воедино разнородные картографические материалы, представленные 88 авторами. Эта гигантская работа была выполнена в Почвенном институте под руководством главного редактора карты В.М. Фридланда и его заместителей: Л.П. Будиной и Е.Н. Рудневой. Следует отметить, что на карту, вплоть до ее издания, постоянно вносились исправления, добавлялись новые почвы. Е.Н. Руднева живо интересовалась результатами полевых исследований, стремилась по возможности отразить их на карте, придерживаясь той системы картографических единиц, которая была заложена в Программе 1972 года и была практически полностью сохранена в легенде карты. В связи с этим ряд почв и почвенных комплексов, присутствовавших в легенде, не нашел отражения на карте, поскольку они были предусмотрены для территорий за пределами РСФСР. Так, из 205 единиц легенды почв на карте представлено 200; из 83 единиц легенды почвенных комплексов – 56.

Результат многолетнего труда – карта исключительно высокой информационной емкости, сохранившейся в целом до нашего времени. Оцифровка ПКРФ, выполненная в 1990-х годах в Лаборатории почвенной информатики Почвенного института вдохнула в нее “вторую жизнь”. Этот вариант карты лежит в основе [Единого государственного реестра почвенных ресурсов \(2013\)](#), [Национального Атласа почв Российской Федерации \(2011\)](#), используется при создании тематических карт (почвенно-эрозионной, засоления почв, почвенно-географического районирования и др.). Оцифрованный вариант карты позволяет проводить ее актуализацию, вносить на нее новые сведения путем дополнения атрибутивной базы данных, не меняя при этом контурную часть.

На современном этапе развития почвенной картографии с активным внедрением цифровых технологий, появлением цифровых моделей рельефа, климата, растительности, использования земель, материалов дистанционного зондирования,

разработкой алгоритмов автоматизированного обновления карт ([Жоголев, Савин, 2016](#)), а также с наличием новой информации о почвах и современных педогенетических концепций представляется перспективным создание новой цифровой модели почвенного покрова России. Она способна обеспечить возможность регулярной актуализации не только атрибутивной, но и контурной (“пиксельной”) части карты, ее топографическую точность и увязку с материалами космических снимков. Работа по созданию такой модели начата в Почвенном институте ([Савин и др., 2017](#)). Ее первый этап – обновление содержания карты 1988 года.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Объект исследования – современный почвенный покров России и информация о нем, содержащаяся в самой ПКРФ, изданных и неизданных листах ГПК, новых мелкомасштабных региональных почвенных картах и атласах, литературных источниках и в полевых материалах авторов.

Задача исследования – актуализация имеющейся информации с переводом ее в формат новой классификации почв России ([Классификация и диагностика..., 2004](#); [Полевой определитель..., 2008](#)). Первый этап работ имеет целью анализ и уточнение почвенного содержания имеющихся на ПКРФ картографических единиц (полигонов) без изменения их границ. На втором этапе предусмотрена трансформация геометрической части карты и создание цифровой модели почвенного покрова России. В статье рассматривается первый этап.

Актуализация содержания карты обусловлена следующими причинами: (1) накоплением новых фактических сведений о почвах малоизученных территорий; (2) уточнением существовавших и обоснованием новых географо-генетических концепций почвообразования; (3) реальной трансформацией почвенного покрова в связи с природными процессами и антропогенным воздействием.

Актуализация содержания карты ведется на основе субстантивно-генетической классификации почв России (КПР), позволяющей отразить в единой системе естественные и

антропогенно-измененные почвы, диагностируемые по набору горизонтов и признаков, зафиксированных в описаниях почвенных профилей.

Перевод содержания каждого контура карты на язык КПП является принципиально новой задачей. Имеющийся опыт “прочтения” ПКРФ в терминах классификации почв мира ФАО-ЮНЕСКО ([Столбовой, Шерemet, 2000](#)) и международной реферативной базы (WRB) ([Stolbovoi, 2000](#); [Jones et al., 2009](#)), нельзя назвать вполне удачным. В данных работах перевод на иную классификационную систему осуществлялся на уровне прямой корреляции легенд, основанных на разных классификационных принципах, с разными критериями диагностики почв. Составленные таким путем карты давали упрощенное, а в ряде случаев искаженное представление о почвенном покрове России. Вместе с тем эта работа способствовала включению отечественной почвенной информации в мировые базы данных ([Столбовой и др., 2001](#); [Goryachkin et al., 2002](#); [Tarnocai et al., 2002](#)).

Принципиальным отличием нашей работы по актуализации содержания карты является перевод названий почв в систему КПП индивидуально для каждого полигона или их групп, с возможным уточнением и дополнением почвенной информации по вышеупомянутым источникам. Данная работа облегчается общностью “идейного фундамента” КПП и подходов к выделению почв – единиц легенды карты 1988 года: будучи построенной на основе устойчивых сочетаний свойств почв, она отражает “связь признаков с процессами и через них с факторами среды” ([Герасимов и др., 1974](#)). При этом сам набор диагностических горизонтов и признаков, используемых в КПП, существенно шире, чем их набор в Программе карты, что позволяет более точно характеризовать и определять классификационное положение почвы (при наличии первичной и дополнительной информации). Организация легенды карты, сохранившая традиционный зональный подход, предопределила известный дуализм содержания: некоторые почвы с определенным типом строения профиля различались по зональной принадлежности; например, подбуры и глееземы разделялись на тундровые и таежные и,

напротив, почвы, принадлежащие одной природной зоне, но сформированные на разных породах и имеющие разное строение профиля, относились к одному типу (дерново-подзолистые на песках и суглинках).

Методом перевода содержания карты в формат КПР служит экспертный анализ информации по каждой единице исходной легенды для определения ее классификационного положения в КПР на основе морфологической и аналитической диагностики. Приводимые в Программе карты (1972) “формулы профиля” для каждой единицы легенды интерпретируются и корректируются в соответствии с правилами КПР. Используются дополнительные материалы (статьи, монографии, различные региональные публикации, изданные и неизданные листы ГПК с объяснительными записками к ним, тематические карты, космические снимки); проводятся консультации со специалистами по почвам отдельных территорий.

Если почва или почвенный комплекс на карте имеет широкий ареал с разнообразными климатическими и/или литологическими условиями, то предполагается, что одноименные почвы в разных его частях будут иметь значимые диагностические различия. В таких случаях после проверки по региональным материалам единица исходной легенды делится на несколько почвенных единиц с соответствующими изменениями в содержании картографических единиц. Выявленные изменения фиксируются в базе данных (БД) по полигонам векторизованного варианта карты. Для простых однокомпонентных и относительно крупных полигонов вводятся дополнительные почвы, исходя из наличия двух пород в полигоне, особенностей рельефа, или дополнительной информации, полученной из публикаций и при дешифрировании космических снимков. Так, в горах на крутых скалистых склонах с выходами пород в качестве дополнительных почв вводятся различные варианты литоземов и петроземов.

Кроме изменений в отношении природных почв разработана методика включения в полигоны БД агропочв и агроземов, в том числе измененных в результате орошения или осушения, и городских почв. Сведения о распаханности почв России были введены в БД ранее путем наложения глобальной базы данных

наземного покрова, построенной по спутниковым данным MODIS за 2015 год, на ПКРФ с дальнейшей экспертной проверкой по полигонам ([Савин и др., 2018](#)). В нашей работе проводилось уточнение наименования пахотных почв по КПР; в некоторых случаях уточнялась доля пашни в полигоне, оценивалась вероятность земледельческого использования тех или иных почв, например, болотных или песчаных. Аналогичным образом рассматривались и городские почвы.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Детальное обсуждение особенностей поконтурного перевода всех единиц легенды цифровой версии карты (200 почв и 70 почвенных комплексов) в формат КПР выходит за рамки данной статьи. Частично, эти материалы были опубликованы ([Ананко и др., 2015](#); [2017а](#), [2017б](#); [2018](#), [2020](#); [Герасимова и др., 2020](#); [Конюшков и др., 2019](#)). Подчеркнем, что для ряда почв такой перевод является многовариантным, зависящим от совокупности местных (в конкретном полигоне) условий.

Рассмотрим предварительные итоги работы по переводу почвенного содержания карты в систему КПР. Включение в новую легенду антропогенно-измененных почв, а также почв, обоснование выделения которых пришлось на последние полвека (например, почв отделов криоземов, железисто-метаморфических, крио- и структурно-метаморфических, литоземов, пелоземов, псаммоземов и петроземов привело к существенному расширению списка почвенных единиц. Количество почвенных единиц легенды по основным ее разделам на исходной карте и в новом варианте приведено в таблице 1.

Как видим, количество природных почв в новой легенде увеличилось примерно в 2 раза. Впервые на карте подробно показаны антропогенно-преобразованные почвы (агропочвы, в меньшей мере агроземы). Отметим, что почти каждая из многих единиц черноземов, дерново-подзолистых и серых почв имеет агрогенный аналог.

Таблица 1. Количество единиц легенды Почвенной карты РСФСР (1988) и ее актуализированного варианта (2020)

Table 1. Number of units in the legend of the RSFSR Soil map (1988) and in its updated version (2020)

Легенда исходной карты (1988)		Актуализированный вариант легенды (2020)	
разделы легенды	природные почвы	природные почвы	антропогенные почвы
Почвы тундр	16	28	0
Почвы тайги и хвойно-широколиственных лесов	79	114	28
Почвы широколиственных лесов и лесостепей	20	29	14
Почвы степей	27	37	36
Почвы сухих степей и полупустынь	17	28	15
Почвы субтропиков	3	6	2
Гидроморфные почвы	16	20	8
Засоленные и солонцеватые почвы	8	13	8
Пойменные и маршевые почвы	8	11	8
Почвы горных территорий	11	20	0
Итого	205	306	119

Коротко прокомментируем логику решений по основным разделам легенды.

В разделе “**тундровые почвы**” отделение почв Высокой Арктики (арктические типичные, арктические пустынные, арктические карбонатные) от почв типичных и южных тундр в новой легенде основано на введении почв из ствола первичного почвообразования – отдела слаборазвитых почв: *петроземов, карбопетроземов, пелоземов, псаммоземов* (в зависимости от свойств почвообразующих пород). Арктические гидроморфные неглеевые почвы однозначно переведены в *криоземы протогумусовые*³, а глееземы арктические соответствуют по диагностическим признакам *криоземам грубогумусовым глееватым* в относительно дренированных позициях и *глееземам типичным* в условиях постоянного переувлажнения. Восточно-сибирские глееземы отделены от европейских и западно-сибирских указанием на присутствие в них окисленно-глеевого признака (*глееземы окисленно-глеевые*). Значительная часть исходных тундровых глеевых почв переведена в криоземы грубогумусовые и перегнойные глееватые; к названиям почв с глеевым горизонтом добавлен характерный для тундровых почв признак “криотурбированные”; лучше дренированные глееземы южной тундры и лесотундры определены по свойствам как *глееземы криометаморфические*. Группа подбуров тундровых ПКРФ дополнена *подбурами оподзоленными* и *подбурами надмерзлотно-глееватыми*; на плотных породах выделены *литоземы грубогумусовые* ([Ананко и др., 2020](#)). Агропочвы в этом разделе легенды отсутствуют.

Самый обширный раздел легенды “**Почвы тайги и хвойно-широколиственных лесов**” (79 единиц) включает почвы как с дифференцированным, так и с недифференцированным профилем. Большая часть текстурно-дифференцированных почв на рыхлых породах имеет свои типовые аналоги в соответствующем отделе КПР. Добавление подтиповых признаков (*потечно-гумусовые,*

³ Горизонт и признак, соответственно W и w, предлагается называть “протогумусовым” вместо “гумусово-слаборазвитого” в КПР (Герасимова, Лебедева, Хитров, 2020).

конкреционные, с микропрофилем подзола) позволило отразить местные особенности этих почв более подробно. Однако в ряде полигонов текстурно-дифференцированные почвы показаны в ареалах плотных пород, на которых срединный горизонт по определению не может быть текстурным (ВТ). Судя по описаниям, он диагностируется как альфегумусовый или метаморфический, либо вообще отсутствует. Следовательно, почвы переводились в *подзолы, дерново-подзолы, подбуры оподзоленные, дерново-элювиально-метаморфические и элювоземы*; на плотных карбонатных породах добавлялся подтиповой признак “остаточно-карбонатные”. Часть текстурно-дифференцированных почв, а также глееземов таежных дифференцированных, в том числе оподзоленных северной тайги европейской России и Западной Сибири, по материалам [В.Д. Тонконогова \(2010\)](#), интерпретировались по КПП как почвы криометаморфического отдела – *органо-криометаморфические и светлосеземы*. Таким образом, в большинстве случаев причиной разделения исходной единицы легенды на несколько почв оказываются особенности почвообразующих пород, что можно проиллюстрировать на примере глееподзолистых почв (рис. 1).

Дерново-подзолистые почвы широко представлены на ПКРФ: природным почвам вместе с оглеенными вариантами отдано 18 единиц легенды, часть которых соответствует по КПП уровню вида, выделяемого по глубине нижней границы элювиального горизонта. В актуализированной версии легенды число видов было уменьшено из соображений значительного варьирования этого показателя в зависимости от рельефа, пород и давнего использования основного массива дерново-подзолистых почв. В итоге количество единиц природных дерново-подзолистых почв уменьшилось, при том, что количество производных от них агропочв и агроземов составило 15 единиц.

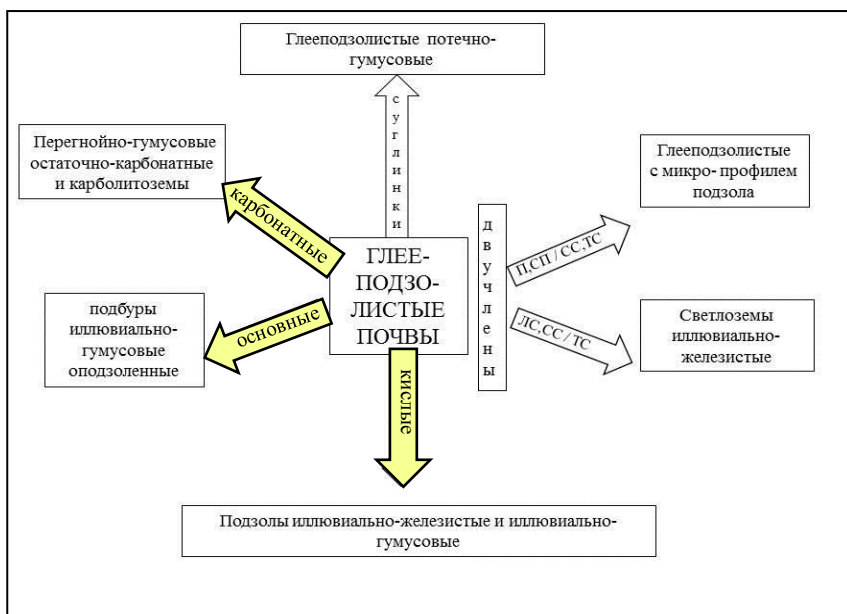


Рис. 1. Варианты разделения единицы легенды “глееподзолистые почвы” в зависимости от почвообразующих пород. Желтой заливкой показаны плотные почвообразующие породы.

Fig. 1. Interpretation of the legend unit “gley-podzolic soils” based on their occurrence on different parent rocks. Yellow fill indicates hard parent rocks.

Дерново-палево-подзолистые и подзолисто-буроземные почвы легенды на карте отмечены в трех разных ареалах, получивших более подробную характеристику в новой легенде. *Дерново-палево-подзолистые почвы* распространены в северо-западной части России, *дерново-буро-подзолистые почвы* выделены в Калининградской области ([Герасимова, Гаврилова, 2005](#)) и *подбелы* (на ПКРФ – подзолисто-буроземные почвы) – на юге Дальнего Востока под широколиственными и хвойно-широколиственными лесами. Для почв Калининградской области использованы подтиповые признаки, отражающие, с одной стороны, проявления оглеения и результаты дренажа (*окисленно-глеевые*), с другой – высокую в прошлом окультуренность (*вторично-насыщенные*) ([Анциферова,](#)

[2008](#)). Дальневосточные лесные подбелы, по имеющимся описаниям ([Иванов, 1976](#); [Росликова и др., 2010](#); [Костенков, Жарикова, 2018](#)), неоднородны: на севере и северо-западе их ареала они соответствует по КПП *дерново-подзолистым сегрегационно-отбеленным почвам* (или подбелам светлым), а в южной части – *подбелам темногумусовым*. Для глееватых и глеевых подбелов характерны гумусово-перегнойные верхние горизонты. На тяжелосуглинистом щебнистом элювии и делювии плотных пород текстурные горизонты заменяются метаморфическими при сохранении элювиальных горизонтов, и почвы были диагностированы как *дерново-элювиально-метаморфические конкреционные*. Наличие марганцево-железистых конкреций свойственно многим почвам Дальнего Востока ([Росликова, 1996](#)).

Альфегумусовые почвы (подзолы, подбуры) таежной зоны переведены в КПП с минимальными изменениями. В полигонах с плотными породами, в БД иногда вводились в качестве сопутствующих *литоземы* и *петроземы*; на песках – *подбуры оподзоленные*, *подбуры надмерзлотно-глееватые*. Тундровые и таежные подбуры ПКРФ разделены по преобладающему характеру верхних горизонтов: *подбуры типичные* и *грубогумусовые* в тундрах и *подбуры торфянистые* и *перегнойно-торфянистые* в таежных областях.

Более сложным оказался перевод в КПП таежных почв с бурым недифференцированным профилем. Их диагностика по литературным материалам часто оказывалась пограничной между почвами разных отделов КПП: железисто-метаморфическими (ржавоземы), структурно-метаморфическими (буроземы), палево-метаморфическими и криометаморфическими. Так, палевые типичные (бескарбонатные) почвы переведены в палево-ржавоземы и палево-криометаморфические; бурые лесные почвы разделились на буроземы и ржавоземы, а буро-таежные иллювиально-гумусовые – на ржавоземы грубогумусовые иллювиально-гумусированные и буроземы грубогумусовые (в сочетании с литоземами); дерново-таежные почвы разделены на ржавоземы дерновые и серогумусовые ожелезненные.

В таежно-лесной зоне агрогенные почвы занимают небольшие площади (за исключением агродерново-подзолистых); они

введены в БД как сопутствующие почвы, третьим-четвертым компонентом. Однако их разнообразие оказалось значительным (табл. 1).

В разделе легенды ПКРФ “*Почвы широколиственных лесов и лесостепей*” увеличение количества единиц природных почв незначительно. *Серые и темно-серые почвы* на суглинках и глинах в новой легенде полностью соответствуют традиционным, включая почвы со вторым гумусовым горизонтом; они распространены в европейской России, предгорьях Алтая и Западного Саяна, Кузнецкого Алатау, в Предбайкалье. Исходные светло-серые лесные почвы в соответствии с правилами классификации переведены в дерново-подзолистые, однако карбонатные тяжелые суглинки и глины в Зауралье “сдвигают” почвообразование в южную сторону: светло-серые лесные отнесены к серым.

Во многих почвах на склонах, сложенных плотными породами, и на рыхлых отложениях легкого гранулометрического состава отсутствует ясно диагностируемый срединный горизонт. Такие почвы в исходной легенде представлены как обычные зональные, либо как зональные неполноразвитые. В систему КПП они переводятся как *серогумусовые и темногумусовые* почвы органо-аккумулятивного отдела или как *серые и темно-серые метаморфические* почвы структурно-метаморфического отдела (при наличии гумусово-элювиального (AEL) и метаморфического (BM) горизонтов). При малой мощности профиля и близком подстилании плотных пород почвы переименовываются в *литоземы* или в *карболитоземы* (если почвообразующей породой служат известняки или доломиты).

В аналогичном положении оказываются почвы с относительно простым недифференцированным профилем, срединные горизонты которых являются метаморфическими. Их маломощные и/или сильно скелетные разности отнесены к различным *литоземам*, почвы же с нормальным профилем и метаморфическим горизонтом либо сохраняются как *буроземы* (горизонт BM), либо интерпретируются как *ржавоземы* (горизонт BFM). К ржавоземам отнесены ненасыщенные, в том числе оподзоленные буроземы исходной легенды, приуроченные к кислым изверженным породам в горах Южной Сибири и Дальнего Востока под широколист-

венно-хвойными и хвойными лесами, в том числе в пределах мерзлотной области.

Интенсивное земледельческое использование лесных и лесостепных почв сказалось на необходимости введения их агрогенных вариантов. Если агрогенные модификации серых и темно-серых почв выражаются в форме агропочв (сохранивших остатки верхних горизонтов над срединными), то буроземы и ржавоземы превращаются в агроземы с верхними агрогоризонтами и срединным ВМ или ВФМ. Количество единиц агрогенных почв примерно в два раза меньше, чем природных (табл. 1).

Раздел легенды ПКРФ *“Почвы степей”* в актуализированной легенде претерпел сравнительно мало изменений в отношении генетической интерпретации почв. Как и в предыдущем разделе, изменения касаются почв на плотных породах, на склонах и “неполноразвитых” зональных почв, а также введения агрогенных аналогов различных черноземов. Первые были переведены в почвы органо-аккумулятивного отдела, поскольку они не соответствуют диагностическим критериям черноземов. По КПП черноземы рассматриваются как полнопрофильные почвы с разнокачественными срединными горизонтами. Соответственно, выделено три их типа: *глинисто-иллювиальные* (ВГ), *текстурно-карбонатные* (САТ) и собственно *черноземы* (ВСА) с широким спектром подтипов, диагностируемых по характеру карбонатного профиля, отражающего особенности функционирования почв и контролируемого современным климатом.

В пределах европейской России распространены *глинисто-иллювиальные* черноземы, примерно сопоставимые с выщелоченными, черноземы *миграционно-мицелярные*, соответствующие черноземам типичным, черноземы *сегрегационные* и *миграционно-сегрегационные*, входящие в объем черноземов обыкновенных, и черноземы *текстурно-карбонатные* (Лебедева и др., 1986). Прямая корреляция между выделами не прослеживается из-за разных принципов выделения, а также в связи с неопределенностью и региональной несогласованностью традиционной подтиповой диагностики.

В актуализированной версии карты сокращены ареалы оподзоленных глинисто-иллювиальных черноземов. Площади ми-

грационно-мицелярных черноземов шире, чем площади черноземов типичных за счет почв с пониженным уровнем карбонатов, но без признаков иллювиирования. Такие почвы по свойствам не отличаются от типичных черноземов, хотя рассматривались как черноземы выщелоченные.

Черноземы текстурно-карбонатные распространены на юго-востоке Восточно-Европейской равнины в Сыртовом Заволжье, занимая как склоны, так и водораздельные поверхности. На ПКРФ почвы водоразделов были показаны как обыкновенные черноземы, однако они имеют текстурно-карбонатный срединный горизонт и отличаются лишь небольшим увеличением гумусовых аккумуляций. Соответственно, массив сегрегационных черноземов меньше ареала обыкновенных черноземов на ПКРФ.

Черноземы с признаками текстурной дифференциации окаймляют с севера, востока и юга Окско-Донскую низменность, занятую миграционно-мицелярными и сегрегационными (типичными и обыкновенными) черноземами, срединные горизонты которых не имеют текстурных признаков. В Заволжье такие почвы присутствуют исключительно по террасам крупных рек ([Лебедева, 1993](#)).

Для Восточного Предкавказья характерны миграционно-сегрегационные черноземы, в карбонатном профиле которых сочетаются признаки лесостепных и степных черноземов. Эти почвы отражают специфику регионального климата, не имеют аналогов на Восточно-Европейской равнине, и для них нецелесообразно использовать разделение на подзональные подтипы. Важно подчеркнуть, что эти почвы не отличаются сверхмощными гумусовыми горизонтами, характерными только для черноземов Западного Предкавказья. Эта особенность – следствие стадии плавневого гидроморфизма, обусловившего формирование мощной органогенной толщи, нижняя часть которой унаследована современным профилем ([Иозефович, 1931](#)). Миграционные формы карбонатов прослеживаются в верхней современной части гумусового горизонта. Черноземы Азово-Кубанской низменности отнесены к черноземам миграционным и черноземам глинисто-иллювиальным, среди которых в ложбинах и западинах встречаются их квазиглееватые разности ([Черноземы](#)

[СССР. Предавказье и Кавказ, 1985\).](#)

Сибирские черноземы существенно отличаются от своих европейских формальных аналогов, и их перевод в формат КНР тоже зависит от форм карбонатных новообразований. В профиле черноземов, названных на ПКРФ обыкновенными, формы карбонатных новообразований связаны с присутствием льдистой мерзлоты ([Верещенко, 1961](#)). Длительное увлажнение средней части профиля и равномерное распределение в ней карбонатов с мицелярными формами определяет название “*криогенно-мицелярные*”, и они не имеют ничего общего с обыкновенными черноземами европейской России ([Лебедева и др., 1987](#)). Черноземы глинисто-иллювиальные отличаются от среднерусских аналогов наличием надмерзлотной глееватости в нижней части профиля, что отражается соответствующим названием.

Профили южных черноземов Сибири не сопоставимы с профилем европейских южных черноземов. Из-за недостатка влаги подгумусовая часть профиля не увлажняется, и она слабо затронута современным педогенезом. В результате почвенная масса пропитана карбонатами, которые морфологически не выражены или образуют расплывчатые пятна или полосы, что определяет их название “*пропиточно-карбонатные*”. В Забайкалье на подгорных равнинах распространены локальные сазовые аккумуляции карбонатов в виде сплошной мучнистой пропитки. При их глубоком залегании в профиле формируются *глинисто-иллювиальные криогенно-глееватые черноземы*, соответствующие черноземам промытым в исходной легенде. На территориях, где сазовые аккумуляции обнаруживаются на глубине примерно 60–100 см, присутствуют *криогенно-мицелярные* (мучнисто-карбонатные в легенде ПКРФ) *черноземы*. В случае близкого к поверхности залегания сазовых карбонатов почвы определяются как *темногумусовые остаточно-карбонатные*.

Черноземы языковатые и карманистые, введенные в исходную легенду для отражения фациальных особенностей черноземов Западной и Средней Сибири, в действительности отражают криогенную специфику почвенного покрова, его гетерогенность. Клинья и карманы представляют собой псевдоморфозы по ледяным жилам шириной 60–100 см, выполненные гумусированным мате-

риалом и формирующие полигональный микрорельеф, состоящий из полигонов с ненарушенными почвами и грунтовых тел с рыхлым бескарбонатным материалом ([Колесниченко, 1971](#); [Лещиков, 1978](#); [Семина, 1984](#)).

Среди агрогенных модификаций черноземов абсолютно преобладают агрочерноземы, поскольку гумусовые профили черноземов имеют достаточную мощность, чтобы под агрогоризонтом сохранился природный темногумусовый горизонт, переходящий в срединный. Агроземы формируются из почв органо-аккумулятивного отдела (3 единицы), из сильно смытых черноземов или мало- и среднемощных сибирских черноземов (агроземы аккумулятивно-карбонатные). Количество агрогенных вариантов почв степной зоны максимально (36). В большинстве районов они являются преобладающими в почвенном покрове и отмечены в БД как основная почва.

Работа по блокам легенды **“почвы сухих степей и полупустынь”**, **“почвы субтропиков”**, **“гидроморфные почвы”**, **“засоленные и солонцеватые почвы”** продолжается. Приводимые в таблице 1 цифры являются предварительными.

Названия **пойменных почв** в легенде ПКРФ (7 единиц легенды, 713 полигонов) ориентированы на центральную пойму, учитывают кислотность, карбонатность, засоление, увлажнение. При переводе в формат КПП эти свойства интерпретируются как диагностические горизонты и признаки. Для крупных речных долин в БД, как правило, заносятся вторые и третьи компоненты состава полигонов, что позволяет отразить на карте реальную сложность строения почвенного покрова пойм. Указываются также и агроварианты пойменных почв ([Савицкая, Ананко, 2019](#)). На ПКРФ ареалы пойменных почв зачастую преувеличены и, в силу искаженной топосновы, плохо согласуются с космическими снимками. Представляется, что эти недостатки могут быть исправлены при создании новой цифровой модели почвенного покрова; ее планируемое разрешение (500 м/пиксел) достаточно, чтобы отразить хозяйственно-значимые ареалы пойменных почв.

Перевод специфических **“почв горных территорий”** в систему КПП подробно рассмотрен ранее ([Ананко и др., 2018](#)).

Следует отметить, что в данной работе мы рассмотрели основные результаты актуализации ПКРФ и переименования почв в систему КПР по существующим блокам легенды карты, отражающим традиционный зональный подход. Предполагается, что организация новой легенды будет проведена в соответствии со структурой КПР по отделам почв. Вместе с тем информация о зональных и провинциальных условиях почвообразования может быть представлена в БД самостоятельно и в более полном виде, с включением количественных показателей.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проводимая актуализация содержания Почвенной карты РСФСР масштаба 1 : 2.5 млн (1988) в формате субстантивно-генетической классификации почв России (2004, 2008) рассматривается как необходимый предварительный этап для создания новой картографической модели почвенного покрова России, охватывающей естественные и антропогенно-модифицированные почвы, топографически точной и увязанной с материалами космических снимков и создаваемой методами цифровой почвенной картографии. Качество такой модели будет зависеть от детальности базовых почвенных данных.

Новая классификация почв России позволяет в единой системе отразить реальное разнообразие почв страны более детально, чем это сделано на карте 1988 года, с учетом накопленных за последние десятилетия материалов и новых географо-генетических концепций.

Предварительные результаты показывают, что первоначальный список почвенных единиц легенды увеличивается примерно в 1.5 раза; к нему добавляются отсутствующие на базовой карте 1988 года антропогенно-трансформированные почвы. Общий объем легенды увеличивается примерно в два раза.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Ананко Т.В., Герасимова М.И., Конюшков Д.Е.* Арктические и тундровые почвы на новой почвенной карте России масштаба 1 : 2.5 млн // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. 2020. Вып. 101. С. 46–75. DOI: [10.19047/0136-1694-2020-101-46-75](https://doi.org/10.19047/0136-1694-2020-101-46-75).

2. *Ананко Т.В., Герасимова М.И., Конюшков Д.Е.* Опыт обновления почвенной карты РСФСР масштаба 1 : 2.5 млн в системе классификации почв России // Почвоведение. 2017а. № 12. С. 1411–1420.
3. *Ананко Т.В., Герасимова М.И., Конюшков Д.Е.* Палевые почвы с осветленным горизонтом на бескарбонатных породах в классификации почв России // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. 2017б. Вып. 87. С. 22–38. DOI: [10.19047/0136-1694-2017-87-22-38](https://doi.org/10.19047/0136-1694-2017-87-22-38).
4. *Ананко Т.В., Герасимова М.И., Конюшков Д.Е.* Палевые почвы Средней Сибири на бескарбонатных породах в классификации почв России // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. 2015. Вып. 77. С. 29–50. DOI: [10.19047/0136-1694-2015-77-29-50](https://doi.org/10.19047/0136-1694-2015-77-29-50).
5. *Ананко Т.В., Герасимова М.И., Конюшков Д.Е.* Почвы горных территорий в классификации почв России // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. 2018. Вып 92. С. 122–146. DOI: [10.19047/0136-1694-2018-92-122-146](https://doi.org/10.19047/0136-1694-2018-92-122-146).
6. *Анциферова О.А.* Почвы Замландского полуострова и их антропогенное изменение. Калининград: ФГОУ ВПО “КГТУ”, 2008. 399 с.
7. *Вередченко Ю.П.* Агрофизическая характеристика почв центральной части Красноярского края. М.: Изд-во АН СССР, 1961. 231 с.
8. *Гаврилюк Ф.Я. и др.* Научные основы рационального использования и повышения производительности почв Северного Кавказа. Ростов-на-Дону: Изд. Ростовского Гос. Ун-та, 1983. 208 с.
9. *Герасимов И.П., Егоров В.В., Караваева Н.А., Руднева Е.Н., Соколов И.А., Таргульян В.О., Фридланд В.М.* Новая почвенная карта СССР // Труды X международного конгресса почвоведов. 1974. Т. VIII. С. 36–43.
10. *Герасимова М.И., Ананко Т.В., Савицкая Н.В.* Разработка подходов к введению антропогенно-измененных почв в содержание почвенной карты Российской Федерации (на примере Московской области) // Почвоведение. 2019. № 1. С. 19–30.
11. *Герасимова М.И., Гаврилова И.П.* Автономные суглинистые почвы центральной части Калининградской области: проблемы генезиса // Почвоведение. 2005. № 1. С. 5–15.
12. *Герасимова М.И., Лебедева И.И., Хитров Н.Б.* Развитие базовой классификации почв В.М. Фридланда в классификации почв России // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. 2020. Вып. 102. С. 5–20. DOI: [10.19047/0136-1694-2020-102-5-20](https://doi.org/10.19047/0136-1694-2020-102-5-20).
13. Единый государственный реестр почвенных ресурсов России. Версия 1.0. М.: Почв. ин-т им. В.В. Докучаева, 2014. 768 с.

14. *Жоголев А.В., Савин И.Ю.* Автоматизированное обновление среднемасштабных почвенных карт // Почвоведение. 2016. № 11. С. 1319–1327.
15. *Иванов Г.И.* Почвообразование на юге Дальнего Востока. М.: Наука, 1976. 200 с.
16. *Иозефович Л.И.* О возрасте и эволюции гидрогенных почв в связи с их использованием. М.: Сельхозгиз, 1931. 61 с.
17. Классификация и диагностика почв России. Смоленск: Ойкумена. 2004, 342 с.
18. *Колесниченко В.Т.* Криогенные процессы и генетические особенности лесостепных почв Предбайкалья // Информ. Бюллетень СИФИБР. 1971. Вып. 9. С. 68–70.
19. *Конюшков Д.Е., Герасимова М.И., Ананко Т.В.* Корреляция дерново-карбонатных почв на почвенной карте РСФСР масштаба 1 : 2.5 млн и в системе классификации почв России // Почвоведение. 2019. № 3. С. 276–289.
20. *Костенков Н.М., Жарикова Е.А.* Почвы прибрежной территории юго-западной части Приморья // Почвоведение. 2018. № 2. С. 141–154.
21. *Лебедева И.И.* Новые подходы к географии черноземов Восточной Европы // География и картография почв. М.: Наука, 1993. С. 56–69.
22. *Лебедева И.И., Ахтырцев Б.П., Коковина Т.П., Самойлова Е.М.* Черноземы умеренной фации // 100 лет генетического почвоведения. М.: Наука, 1986. С. 218–227.
23. *Лебедева И.И., Овечкин С.В., Семина Е.В.* К вопросу о подтиповом разделении черноземов СССР // Почвы СССР. Прикладные и генетико-географические аспекты исследований. Научн. тр. Почвенного ин-та им. В.В. Докучаева. М, 1987. С. 143–152.
24. *Леициков Ф.Н.* Мерзлые породы Приангарья и Прибайкалья. Новосибирск: Наука, 1978. 201 с.
25. Национальный атлас почв Российской Федерации / Под ред. Шобы С.А. М.: Астрель, 2011. 632 с.
26. Полевой определитель почв России. М.: Почв. ин-т им В.В. Докучаева, 2008. 182 с.
27. Почвенная карта РСФСР масштаба 1 : 2 500 000 / Под ред. В.М. Фридланда. М.: ГУГК, 1988. 16 листов.
28. Почвы и почвенный покров Печоро-Илычского заповедника (Северный Урал) / Отв. ред. С.В. Дёгтева, Е.М. Лаптева, Сыктывкар: ИБ Коми НЦ УрО РАН, 2013. 328 с.
29. *Росликова В.И.* Марганцево-железистые новообразования в почвах равнинных ландшафтов гумидной зоны. Владивосток: Дальнаука, 1996. 272 с.

30. Росликова В.И., Рыбачук Н.А., Короткий А.М. Атлас почв юга Дальнего Востока (Приханкайская низменность). Владивосток: Дальнаука, 2010. 246 с.
31. Савин И.Ю., Герасимова М.И., Лебедева И.И., Ананко Т.В., Конюшков Д.Е., Белоусова Н.И., Королюк Т.В., Шубина И.Г., Хохлов С.Ф., Шишконокова Е.А., Савицкая Н.В. О создании новой версии цифровой почвенной карты России масштаба 1 : 2.5 млн // Современные проблемы изучения почвенных и земельных ресурсов. М.: Почв. ин-т им. В.В. Докучаева, 2017. С. 23–26.
32. Савин И.Ю., Столбовой В.С., Аветян С.А., Шишконокова Е.А. Карта распаханности почв России // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. 2018. Вып. 94. С. 38–56. DOI: [10.19047/0136-1694-2018-94-38-56](https://doi.org/10.19047/0136-1694-2018-94-38-56).
33. Савицкая Н.В., Ананко Т.В. Обновление почвенной карта Российской федерации масштаба 1 : 2.5 млн: пойменные почвы // Современные проблемы изучения почвенных и земельных ресурсов. Сб. докл. Третьей Всероссийской открытой конференции. М.: Почв. ин-т им. В.В. Докучаева, 2019. С. 110–114.
34. Семина Е.В. Гетероморфность черноземов Средней Сибири // Почвы и почвенный покров лесной и степной зон СССР и их рациональное использование. М., 1984. С. 150–159.
35. Столбовой В., Монтанарелла Л., Медведев В., Смян Н., Шишов Л., Унгуриян В., Добровольский В., Жамань М., Кинг Д., Рожков В., Савин И. Интеграция данных о почвах России, Белоруссии, Молдавии и Украины в почвенную географическую базу данных Европейского Союза // Почвоведение. 2001. № 7. С. 773–790.
36. Столбовой В.С., Шеремет Б.В. Корреляция легенд почвенной карты СССР масштаба 1 : 2.5 млн и почвенной карты мира ФАО // Почвоведение. 2000. № 3. С. 277–287.
37. Тонконогов В.Д. Автоморфное почвообразование в тундровой и таежной зонах Восточно-Европейской и Западно-Сибирской равнин. М.: Почв. ин-т им. В.В. Докучаева, 2010. 287 с.
38. Фридланд В.М. Об уровнях организации почвенного покрова в системе закономерностей географии // Вопросы географии. 1977. Вып. 104. С. 139–153.
39. Фридланд В.М., Караваева Н.А., Руднева Е.Н., Соколов И.А., Таргульян В.О. и др. Программа Почвенной карты СССР масштаба 1 : 2 500 000. М.: Почв. ин-т им. В.В. Докучаева, 1972. 160 с.
40. Черноземы СССР (Предкавказье и Кавказ). М.: Агропромиздат, 1985. 256 с.

41. Goryachkin S., Stolbovoi V., Tarnocai C., Kimble J., Broll G., Jakobsen B., Montanarella L., Naumov E., Arnoldussen A., Lacelle B., Waltman S. Northern circumpolar soil database and derived soil maps in different classification systems. 17 World Congress of Soil Science. Bangkok, Thailand. Transactions. 2002. Vol. II. P. 838–919.
42. Jones A., Stolbovoi V., Tarnocai C., Broll G., Spaargaren O., Montanarella L. (eds.). Soil Atlas of the Northern Circumpolar Region. Europ. Commission Office Official Publ., Luxembourg, 2009. 142 p.
43. Stolbovoi V.S. Soils of Russia: Correlated with the revised legend of the FAO soil map of the World and World Reference Base for soil resources. Research Report RR-00-13. International Institute for Applied Systems Analysis, IIASA, Laxenburg, Austria, 2000. 112 p.
44. Tarnocai C., Kimble J., Swanson D., Goryachkin S., Naumov Y.M., Stolbovoi V., Jakobsen B., Broll G., Montanarella L., Arnoldussen A., Arnalds O., Yli-Halla M. Northern Circumpolar Soils Map. Ottawa, Canada: Research Branch, Agriculture and Agri-Food Canada, 2002.

REFERENCES

1. Ananko T.V., Gerasimova M.I., Konyushkov D.E., Arctic and tundra soils on the new digital soil map of Russia, 1 : 2.5 M scale, *Dokuchaev Soil Bulletin*, 2020, Vol. 101, pp. 46-75, DOI: [10.19047/0136-1694-2020-101-46-75](https://doi.org/10.19047/0136-1694-2020-101-46-75).
2. Ananko T.V., Gerasimova M.I., Konyushkov D.E., Opyt obnovleniya pochvennoi karty RSFSR masshtaba 1:2.5 mln. v sisteme klassifikatsii pochv Rossii (Experience in updating the soil map of the Russian Federation on a scale of 1 : 2.5 M with the use of the new Russian soil classification system), *Pochvovedenie*, 2017a, No. 12, pp. 1411–1420.
3. Ananko T.V., Konyushkov D.E., Gerasimova M.I., Palevye soils with a bleached horizon developing from carbonate-free rocks in the classification System of Russian Soils, *Dokuchaev Soil Bulletin*, 2017b, No. 87, pp. 22–38, DOI: [10.19047/0136-1694-2017-87-22-38](https://doi.org/10.19047/0136-1694-2017-87-22-38).
4. Ananko T.V., Gerasimova M.I., Konyushkov D.E., Pale soils on carbonate-free deposits in Central Siberia and their taxonomic position in the Soil Classification of Russia, *Dokuchaev Soil Bulletin*, 2015, Vol. 77, pp. 29–50, DOI: [10.19047/0136-1694-2015-77-29-50](https://doi.org/10.19047/0136-1694-2015-77-29-50).
5. Ananko T.V., Gerasimova M.I., Konyushkov D.E., The soils of mountainous territories, *Dokuchaev Soil Bulletin*, 2018, Vol. 92, pp. 122–146, DOI: [10.19047/0136-1694-2018-92-122-146](https://doi.org/10.19047/0136-1694-2018-92-122-146).

6. Antsiferova O.A., *Pochvy Zamlandskogo poluostrova i ikh antropogennoe izmenenie* (Soils of the Zamland Peninsula and their anthropogenic change), Kaliningrad: FGOU VPO "KGTU", 2008, 399 p.
7. Veredchenko Yu.P., *Agrofizicheskaya kharakteristika pochv tsentral'noi chasti Krasnoyarskogo kraya* (Agrophysical characteristics of soils in the central part of the Krasnoyarsk Territory), Moscow: Izd-vo AN SSSR, 1961, 231 p.
8. Gavriluk F.Ya. et al., *Nauchnye osnovy ratsional'nogo ispol'zovaniya i povysheniya proizvoditel'nosti pochv Severnogo Kavkaza* (Scientific foundations of the rational use and increase of soil productivity in the North Caucasus), Rostov-na-Donu: Izd. Rostovskogo Gos. Un-ta, 1983, 208 p.
9. Gerasimov I.P., Egorov V.V., Karavaeva N.A., Rudneva E.N., Sokolov I.A., Targulian V.O., Fridland V.M., *Novaya pochvennaya karta SSSR* (New Soil Map of the Soviet Union), *Trudy X mezhdunarodnogo kongressa pochvovedov* (Proc. the 10th Int. Congress of Soil Science), Moscow, 1974, Vol. VIII, pp. 36–42.
10. Gerasimova M.I., Ananko T.V., Savitskaya N.V., Approaches to the introduction of human-modified soils in the updated version of the soil map of Russia, *Eurasian Soil Sci.*, 2020, Vol. 53(1), 16–26.
11. Gerasimova M.I., Gavrilova I.P., *Avtonomnye suglinistye pochvy tsentral'noi chasti Kaliningradskoi oblasti: problemy genezisa* (Autonomous loamy soils of the central part of the Kaliningrad region: problems of genesis), *Pochvovedenie*, 2005, No. 1, pp. 5–15.
12. Gerasimova M.I., Khitrov N.B., Lebedeva I.I., Development of the basic soil classification of Vladimir Fridland in the classification of soils of Russia 2004/2008, *Dokuchaev Soil Bulletin*, 2020, Vol. 102, pp. 5–20, DOI: [10.19047/0136-1694-2020-102-5-20](https://doi.org/10.19047/0136-1694-2020-102-5-20).
13. *Edinyi gosudarstvennyi reestr pochvennykh resursov Rossii. Versiya 1.0* (Unified State Registry of Soil Resources of Russia. Version 1.0), Moscow: V.V. Dokuchaev Soil Science Institute, 2014, 768 p.
14. Zhogolev A.V., Savin I.Yu., Automated updating of medium-scale soil maps, *Eurasian Soil Sci.*, 2016, Vol. 49, No. 11, pp. 1241–1249.
15. Ivanov G.I., *Pochvoobrazovanie na yuge Dal'nego Vostoka* (Soil Formation in the South of the Far East), Moscow: Nauka, 1976, 200 p.
16. Iozefovich L.I., *O vozraste i evolyutsii gidrogennykh pochv v svyazi s ikh ispol'zovaniem* (On the age and evolution of hydrogenic soils in connection with their use), Moscow: Sel'khozgiz, 1931, 61 p.
17. *Klassifikatsiya i diagnostika pochv Rossii* (Classification and Diagnostic System of Russian Soils), Smolensk: Oikumena, 2004. 342 p.
18. Kolesnichenko V.T., *Kriogennye protsessy i geneticheskie osobennosti lesostepnykh pochv Predbaikal'ya* (Cryogenic processes and genetic features

of forest-steppe soils of the Prebaikalia), *Inform. Byulleten' SIFIBR*, 1971, Iss. 9, pp. 68–70.

19. Konyushkov D.E., Gerasimova M.I., Ananko T.V., Correlation of soddy calcareous soils on the soil map of the Russian Federation (1 : 2.5 M scale, 1988) and in the Russian soil classification system, *Eurasian Soil Sci.*, 2019, Vol. 52, No. 3, pp. 244–257,

20. Kostenkov N.M., Zharikova E.A., Soils of the southwestern part of the Pacific Coast of Russia, *Eurasian Soil Sci.*, 2018, Vol. 51, No. 2, pp. 140–152.

21. Lebedeva I.I., *Novye podkhody k geografii chernozemov Vostochnoi Evropy* (New approaches to the geography of chernozems of Eastern Europe), In: *Geografiya i kartografiya pochv* (Geography and cartography of soils), Moscow: Nauka, 1993, pp. 56–69.

22. Lebedeva I.I., Akhtyrsev B.P., Kokovina T.P., Samoilova E.M., Chernozemy umerennoi fatsii (Temperate facies chernozems), In: 100 let geneticheskogo pochvovedeniya (100 years of genetic soil science), Moscow: Nauka, 1986, pp. 218–227.

23. Lebedeva I.I., Ovechkin S.V., Semina E.V., K voprosu o podtipovom razdelenii chernozemov SSSR (To the question of subtype separation of chernozems of the USSR), In: *Pochvy SSSR. Prikladnye i genetiko-geograficheskie aspekty issledovaniya* (Soil of the USSR. Applied and genetic-geographical aspects of research), Nauchn. tr. Pochvennogo in-ta im. V.V. Dokuchaeva, Moscow, 1987, pp. 143–152.

24. Leshchikov F.N., *Merzlye porody Priangar'ya i Pribaikal'ya* (Frozen rocks of Angara and Pribaikalye), Novosibirsk: Nauka, 1978, 201 p.

25. *Natsional'nyi atlas pochv Rossiiskoi Federatsii* (National Soil Atlas of the Russian Federation), Shoba S.A. (Ed.), Moscow, 2011, 632 p.

26. *Polevoi opredelitel' pochv* (Field Guide on Soil Correlation), Moscow: Pochv. inst. im V.V. Dokuchaeva, 2008, 182 p.

27. *Pochvennaya karta RSFSR masshtaba 1 : 2 500 000 pod red. V.M. Fridlanda* (Soil Map of the Russian Federation, 1 : 2.5 M scale), V.M. Fridland (Ed.), Moscow: GUGK, 1988, 16 sheets.

28. *Pochvy i pochvennyi pokrov Pechoro-Ilychskogo zapovednika (Severnyi Ural)* (Soils and the Soil Cover of the Pechora-Ilych Reserve, Northern Urals), S.V. Degteva, E.M. Lapteva (Eds), Syktyvkar, 2013, 328 p.

29. Roslikova V.I., *Margantsevo-zhelezistye novoobrazovaniya v pochvakh ravninnykh landshaftov gumidnoi zony* (Mn-Fe newly formed structures in the soils of flat landscapes of the humid zone), Vladivostok: Dal'nauka, 1996, 272 p.

30. Roslikova V.I., Rybachuk N.A., Korotkii A.M., *Atlas pochv yuga Dal'nego Vostoka (Prihankaiskaya nizmennost')* (Soil Atlas of the South of Far East, Khanka Lowland), Vladivostok: Dal'nauka, 2010, 246 p.

31. Savin I.Yu., Gerasimova M.I., Lebedeva I.I., Ananko T.V., Konyushkov D.E., Belousova N.I., Korolyuk T.V., Shubina I.G., Khokhlov S.F., Shishkonakova E.A., Savitskaya N.V., O sozdanii novoi versii tsifrovoi pochvennoi karty Rossii masshtaba 1:2.5 mln (On the creation of a new version of the digital soil map of Russia at a scale of 1 : 2.5 million), In: *Sovremennye problemy izucheniya pochvennykh i zemel'nykh resursov* (Modern problems of studying soil and land resources), Moscow: Pochv. inst im. V.V. Dokuchaeva, 2017, pp. 23–26.
32. Savin I.Yu., Stolbovoy V.S., Avetyan S.A., Shishkonakova E.A., Map of plowed soils of Russia, *Dokuchaev Soil Bulletin*, 2018, Vol. 94, pp. 38–56, DOI: [10.19047/0136-1694-2018-94-38-56](https://doi.org/10.19047/0136-1694-2018-94-38-56).
33. Savitskaya N.V., Ananko T.V., Obnovlenie pochvennoi karty Rossiiskoi federatsii masshtaba 1 : 2.5 mln: poimennyye pochvy (Updating the soil map of the Russian Federation on a scale of 1: 2.5 million: floodplain soils), *Dokl. III Vserossiiskoi Konf. "Sovremennye problemy izucheniya pochvennykh i zemel'nykh resursov"* (Proc. III All-Russian Conf. "Modern problems of studying soil and land resources"), Moscow: Pochv. Inst. im. V.V. Dokuchaeva, 2019, pp. 110–114.
34. Semina E.V., Geteromorfnost' chernozemov Srednei Sibiri (Heteromorphism of chernozems of Central Siberia), In: *Pochvy i pochvennyi pokrov lesnoi i stepnoi zon SSSR i ikh ratsional'noe ispol'zovanie* (Soils and soil cover of the forest and steppe zones of the USSR and their rational use), Moscow, 1984, pp. 150–159.
35. Stolbovoi V., Montanarella L., Medvedev V., Smeyan N., Shishov L., Unguryan V., Dobrovol'skii V., Jamagne M., King D., Rozhkov V., Savin I. Integration of data on the soils of Russia, Belarus, Moldova, and Ukraine into the soil geographic database of the European Community, *Eurasian Soil Sci.*, 2001, Vol. 34, No. 7, pp. 687–703.
36. Stolbovoi V.S., Sheremet B.V., Correlation between the legends of the 1 : 2.5 M soil map of the Soviet Union and the FAO soil map of the world, *Eurasian Soil Sci.*, 2000, Vol. 33, No. 2, pp. 239–248.
37. Tonkonogov V.D., *Avtomorfnoe pochvoobrazovanie v tundrovoi i taezhnoi zonakh Vostochno-Evropeiskoi i Zapadno-Sibirskoi ravnin* (Automorphic pedogenesis in tundra and taiga zones of the East European and West Siberian plains), Moscow: Pochv. Inst. im. V.V. Dokuchaeva, 2010, 287 p.
38. Fridland V.M., Ob urovnyakh organizatsii pochvennogo pokrova v sisteme zakonomernostei geografii (On the levels of the soil cover arrangement in the system of geographic regularities), *Voprosy geografii*, 1977, Iss. 104, pp. 139–153.

39. Fridland V.M., Karavaeva N.A., Rudneva E.N. et al., *Programma Pochvennoi karty SSSR masshtaba 1 : 2 500 000* (Program of the Soil Map of the USSR on a Scale of 1 : 2.5 M), Moscow: Pochv. in-t im. V.V. Dokuchaeva, 1972, 160 p.
40. Chernozemy SSSR (Predkavkaz'e i Kavkaz), (Chernozems of the USSR (Ciscaucasia and the Caucasus)), Moscow: Agropromizdat, 1985, 256 p.
41. Goryachkin S., Stolbovoi V., Tarnocai C., Kimble J., Broll G., Jakobsen B., Montanarella L., Naumov E., Arnoldussen A., Lacelle B., Waltman S., Northern circumpolar soil database and derived soil maps in different classification systems. *Proc. 17 World Congress of Soil Science*, 2002, Vol. II, pp. 838–919.
42. Jones A., Stolbovoi V., Tarnocai C., Broll G., Spaargaren O., Montanarella L. (Eds). *Soil Atlas of the Northern Circumpolar Region*. Europ. Commission Office Official Publ., Luxembourg, 2009, 142 pp.
43. Stolbovoi V.S., *Soils of Russia: Correlated with the revised legend of the FAO soil map of the World and World Reference Base for soil resources*. Research Report RR-00-13. International Institute for Applied Systems Analysis, IIASA, Laxenburg, Austria, 2000, 112 p.
44. Tarnocai C., Kimble J., Swanson D., Goryachkin S., Naumov Y.M., Stolbovoi V., Jakobsen B., Broll G., Montanarella L., Arnoldussen A., Arnalds O., Yli-Halla M., *Northern Circumpolar Soils Map*, Ottawa, Canada: Research Branch, Agriculture and Agri-Food, Canada, 2002.

УДК 579.26:631.46

DOI: 10.19047/0136-1694-2020-102-49-69



Ссылки для цитирования:

Никитин Д.А., Семенов М.В. Субаквальные почвы Антарктиды: условия формирования и перспективы микробиологических исследований // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. 2020. Вып. 102. С. 49-69. DOI: 10.19047/0136-1694-2020-102-49-69

Cite this article as:

Nikitin D.A., Semenov M.V., Subaqual soils of Antarctica: conditions of formation and perspectives of microbiological research, Dokuchaev Soil Bulletin, 2020, V. 102, pp. 49-69, DOI: 10.19047/0136-1694-2020-102-49-69

Благодарность:

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-04-00328.

Acknowledgments:

The studies were carried out with the financial support of the Russian Foundation for Basic Research (RFBR) in the framework of the scientific project No. 20-04-00328.

Субаквальные почвы Антарктиды: условия формирования и перспективы микробиологических исследований

© 2020 г. Д. А. Никитин*, М. В. Семенов

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

*e-mail: dimnik90@mail.ru.

Поступила в редакцию 10.03.2020, после доработки 27.03.2020,
принята к публикации 22.06.2020

Резюме: Актуальность исследования полярных регионов постоянно возрастает в связи с более активным откликом экосистем Арктики и Антарктики на глобальное потепление климата по сравнению с другими областями планеты. Повышение среднегодовой температуры приводит к таянию ледников, затоплению части территории и, соответственно, расширению ареалов субаквальных (подводных) осадков. В последние годы значительно увеличилось число исследований, в которых подводные грунты не только признаются в качестве объектов почвоведения, но и рассматриваются как полноценные составляющие

почвенного покрова планеты. Стабильное существование почв и экосистем на территории Антарктиды возможно лишь в местных базисах эрозии – озерах, где биота, зачастую, представлена лишь микроорганизмами. Их жизнедеятельность приводит к преобразованию геологических пород *in situ* и формированию существенных запасов органического вещества. Поэтому микробиом, по-видимому, является определяющим фактором почвообразования именно в субаквальных антарктических биотопах, для которых характерно протекание элементарных процессов почвообразования в восстановительных условиях. Тем не менее для субаквальных почв Антарктиды до сих пор остаются неизвестны количественные параметры их микробиома (биомасса, численность клеток, количество рибосомальных генов прокариот и грибов, базальное дыхание), хотя данные показатели необходимы для оценки продуктивности экосистем, в том числе интенсивности цикла углерода и биологической активности почвы. В данном обзоре рассмотрено современное состояние исследований микробных сообществ антарктических биотопов, обсуждена роль микроорганизмов в почвообразовательных процессах субаквальных почв Антарктиды и объяснена необходимость микробиологических исследований данного типа почв.

Ключевые слова: Антарктида, экстремальные экосистемы, субаквальные почвы, микроорганизмы.

Subaqual soils of Antarctica: conditions of formation and perspectives of microbiological research

D. A. Nikitin*, M. V. Semenov

*Federal Research Centre “V.V. Dokuchaev Soil Science Institute”,
7 Bld. 2 Pyzhevskiy per., Moscow 119017, Russian Federation,
e-mail: dimnik90@mail.ru.

Received 10.03.2020, Revised 27.03.2020, Accepted 22.06.2020

Abstract: The relevance of polar research is constantly increasing due to the higher response of Arctic and Antarctic ecosystems to global climate warming compared to other areas of the planet. The increase in average annual temperatures leads to the melting of glaciers, inundation of a part of the territory and, consequently, to the expansion of areas of subaqual (underwater) precipitation. In recent years, there has been a significant increase in the number of studies in which underwater soils are not only recognized as objects

of soil science, but are also considered as full-fledged components of the soil cover of the planet. The sustainable existence of soils and ecosystems in Antarctica becomes possible only in local erosion bases – lakes, where biota is often represented only by microorganisms. Biota activity results in the transformation of geological rocks *in situ* and accumulation of significant organic matter stock. Microbiome seems to be a determining factor of soil formation, namely in subaqueous Antarctic biotopes, which are characterized by all the elementary processes of soil formation in reducing and, often, anaerobic conditions. Nevertheless, quantitative parameters of their microbiome (biomass, cell counts, number of ribosomal genes of prokaryotes and fungi, basal respiration) are still unknown for subaqual soils of Antarctica, although these parameters are necessary for evaluation of ecosystem productivity, including the intensity of the C cycle and biological activity of soil. This review examines the current state of research on microbial communities in Antarctic biotopes, discusses the role of microorganisms in soil formation processes of subaqual soils in Antarctica, and explains the need for microbiological studies of this soil type.

Keywords: Antarctica, extreme ecosystems, subaerial and subaqual soils, microorganisms.

ПОЧВООБРАЗОВАНИЕ В ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ СУБАЭРАЛЬНЫХ БИОТОПОВ АНТАРКТИДЫ

Функционирование биогеоценозов и почвообразование в Антарктиде идет в экстремальных условиях по целому ряду причин. Во-первых, почвы на материке формируются лишь в пределах небольших прибрежных оазисов, со всех сторон окруженных безжизненным ледовым щитом ([Мергелов и др., 2016](#); [Lupachev et al., 2020](#)). Отсутствие цветковых растений с развитой корневой системой приводит к сокращению мощности и бесструктурности почвенного профиля ([Мергелов, 2014](#)). Кроме того, органическое вещество антарктических почв практически полностью представлено мортмассой мхов или микроорганизмов, а не гумусом ([Almeida et al., 2019](#)). Наконец, в биотопах без растительного покрова водоросли и цианобактерии становятся единственными продуцентами органического вещества, а гетеротрофные микроорганизмы, по-видимому, – ведущими преобразователями горных пород *in situ* ([Никитин и др., 2017](#); [Soina et al., 2018](#); [Mergelov et al., 2018](#); [Heindel et al., 2018](#)).

Часть специалистов не признают значительные территории антарктических оазисов почвами, поскольку в них отсутствуют “классические” макро-горизонты, а все слои представлены простой механической смесью органического вещества и минералов ([Soina et al., 2018](#)). Кроме того, за исключением отдельных агрегатов мелкозема на ризоидах мохообразных, в них отсутствует почвенная структура ([Lupachev et al., 2020](#)). Однако исследования, проведенные с помощью электронной микроскопии, показали, что многие грунты в Антарктиде являются почвами, поскольку на зернах минералов присутствуют органо-минеральные пленки – продукты взаимодействия микроорганизмов с горными породами *in situ* ([Мергелов и др., 2014](#); [Heindel et al., 2018](#); [Sedov et al., 2019](#); [Lupachev et al., 2020](#)). Выявлены существенные отличия формы поверхности и элементного состава минералов с такими пленками и без них. И, наконец, в составе пленок обнаружено значительное содержание углерода и азота, доказывающее их биогенный генезис ([Мергелов, 2014](#); [Soina et al., 2018](#)). Долгое время исследователи пренебрегали органо-минеральными пленками как объектом исследования. Однако, учитывая, что такие пленки – главный агент биологического выветривания в Антарктиде ([Sedov et al., 2019](#)), полагаем уместным считать наиболее биогенные грунты оазисов материка почвами ([Мергелов, 2014](#); [Soina et al., 2018](#)).

Почвы Антарктиды распространены на территориях свободных ото льда – оазисах, которые занимают лишь 1–5% от площади материка. Доля почв от этой области составляет только 5–10%, и они мозаично расположены по всему антарктическому побережью ([Абакумов, Лупачев, 2012](#)), поэтому эти оазисы справедливо названы “островами педосферы в океане холодных пустынь” ([Горячкин и др., 2012](#)). Ввиду практически полного отсутствия высших растений и редуцированного профиля почвы материка не вписываются ни в одну из существующих классификаций, поэтому отечественными почвенными географами ([Горячкин и др., 2012](#)) предложено выделять следующие их основные группы, располагающиеся на разных элементах ландшафта (рис. 1):

I. Почвы с гиполитными (от др. греч. ὑπό – “снизу, под”, λίθος – “камень”) органогенными горизонтами, в которых обитают первичные продуценты – цианобактерии и зеленые водоросли.

Органогенные горизонты формируются под покровом естественных “каменных мостовых”, обеспечивающих защиту от ветра, удержание влаги и уменьшение интенсивности ультрафиолетового излучения (УФ) ([Chan et al., 2012](#)). Представлены во влажных долинах оазисов или в небольших ветровых “убежищах” при периодическом увлажнении талыми водами снежников.

II. Почвы с поверхностными (эпиздафическими) органогенными горизонтами – моховым и лишайниковым покровом, под которым возможно формирование оторфованных горизонтов. Встречаются во влажных долинах или ветровых “убежищах” с обильным увлажнением талыми водами снежников ([Мергелов, 2014](#); [Dolgikh et al., 2015](#)).

III. Почвы с поверхностными органогенными горизонтами в виде альго-бактериальных матов. Формируются в субаквальных условиях на берегах озер на богатых органическим веществом сапропелевых отложениях. В них активно развиваются глеевые процессы ([Dolgikh et al., 2015](#); [Mergelov et al., 2016](#)). Сочетания макрогоризонтов окисленного и редуцированного глея образуют профили, схожие с профилями глееземов на других континентах;

IV. Почвы без макроскопических органогенных горизонтов, так называемые “безгумусные почвы” (по [Tedrow, Ugolini, 1966](#)), которые российские исследователи иногда относят к почвоподобным телам. Функционирование организмов, осуществляющих первичную продукцию органического вещества, в таких образованиях невозможно или сильно заторможено из-за недостатка увлажнения. Однако они могут содержать органический углерод в небольших количествах.

V. Эндолитные почвоподобные тела, формирующиеся на поверхности скальных пород.

VI. Субаквальные грунты, формирующиеся в переувлажненных биотопах.

Ввиду того, что наиболее биогенными считаются субаквальные биотопы, рассмотрим последнюю группу почв Антарктиды более подробно.

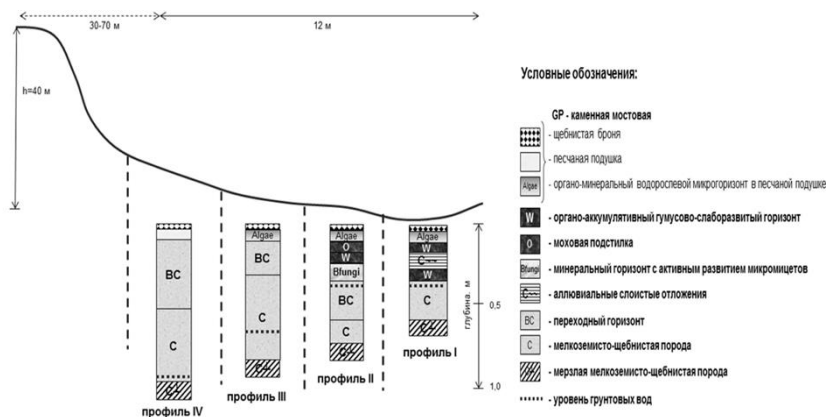


Рис. 1. Распределение групп антарктических почв по катене влажной долины антарктического оазиса ([Мергелов, 2014](#)).

Fig. 1. Distribution of Antarctic soil groups along the catena of the wet valley of the Antarctic oasis ([Mergelov, 2014](#)).

СУБАКВАЛЬНЫЕ ПОЧВЫ АНТАРКТИДЫ

Для антарктических оазисов характерно обилие пресных озер, частично пересыхающих в летний период ([Gajananda et al., 2019](#)). Их прибрежные экосистемы обладают пульсирующим режимом (то субаэральным, то субаквальным), поэтому данные территории можно отнести к амфибиальным ландшафтам, где развиты аквапочвы ([Erich et al., 2010](#)). Они полностью покрыты мощными альго-бактериальными матами и, по-видимому, являются одними из наиболее биогенных ценозов на материке ([Pinseel et al., 2017](#); [Никитин и др., 2017](#)). К настоящему времени начаты работы по исследованию микроорганизмов вод антарктических озер ([Pinseel et al., 2017](#); [Krishnan, Sinha, 2019](#)), но не аквапочв в их пределах; относительно полно изучены окислительно-восстановительные режимы данных ландшафтов ([Мергелов, 2014](#); [Мергелов и др., 2016](#); [do Vale Lopes et al., 2019](#)); особенности их гранулометрического состава и механизмы осадконакопления; распределение органического углерода по профилю озерных почв шестого континента ([Ball et al., 2018](#)).

На протяжении длительного времени в мировом сообществе обсуждается вопрос отнесения субаквальных (подводных) осадков с почвоподобным профилем к почвам ([Полинов, 1948](#); [Kubiena, 1953](#); [Батоян, 1983](#); [Bradley, Stolt, 2003](#); [Ивлев, Нестерова, 2004](#); [Erich et al., 2010](#); [Ткаченко и др., 2019](#); и др.). За последнее десятилетие выросло число исследований, в которых субаквальные грунты не только признаются в качестве объектов почвоведения и включаются в почвенно-классификационные схемы, но наряду с традиционными субаэральными почвами, рассматриваются как полноценные составляющие почвенного покрова планеты ([Erich et al., 2010](#)). Субаквальные почвы по происхождению водной толщи над ними можно разделить на морские и пресноводные (озерные и речные); по времени нахождения под водой – на постоянно затопленные и периодически затопляемые; по растительному покрову – с высшими растениями (аквенты), с микроорганизмами, без видимой биоты ([Ивлев, Нестерова, 2004](#)). Диагенез почв в условиях длительного пребывания под водной толщей представляет собой комплекс процессов. Происходит насыщение почвы водой, анаэробное разложение органического вещества, гидратация и выветривание минералов, синтез органических и минеральных соединений, диффузное перераспределение веществ внутри почвенного профиля и потеря почвами их диагностических признаков ([Костенков, Ознобихин, 2015](#)). Вероятно, субаквальные почвы целесообразно рассматривать в качестве объектов “экстремального почвоведения”, поскольку они функционируют в максимально (экстремально) отличающихся от субаэренных почв обстановках, а также требуют особых подходов как при полевых работах (GPS батиметрия, отбор ненарушенных кернов), так и в лаборатории (минимальный контакт с воздухом, криогенные методы исследования и др.) ([Горячкин и др., 2019](#)).

Ввиду глобального изменения климата особую актуальность приобрело изучение переходов от субаэренных к субаквальным ландшафтам. Некоторым прибрежным территориям угрожает затопление при повышении уровня мирового океана, в связи с чем выросла важность изучения сценариев трансформации субаэренных почв в водной среде. В основу одной из наиболее разработанных

ных моделей таких трансформаций легли прибрежные экосистемы Прикаспия, которые за последние 80 лет прошли регрессивную фазу развития, сменившуюся быстрым наступлением моря с последующей стабилизацией ([Касимов и др., 2016](#)). Важным следствием перехода почвенного покрова к субаквальному функционированию во многих регионах мира является изменение углеродного цикла, которое приводит к ускоренному и количественно большему (в разы) депонированию органического углерода в подводных почвах. Прибрежные экосистемы с пульсирующим режимом (то субаэральным, то субаквальным) можно отнести к амфибиальным ландшафтам (термин Заварзина Г.А.), почвы которых содержат на поверхности альго-бактериальные маты и лишены влияния сосудистых растений с корневыми системами. Поэтому почвы амфибиальных ландшафтов могут рассматриваться в качестве аналогов почвоподобных тел, существовавших в докембрии в переувлажненных позициях ([Горячкин и др., 2019](#)). В настоящий момент наиболее полно изучены окислительно-восстановительные режимы (окислительный, глеевый и сульфидный) субаквальных почв ([Батоян, 1983](#)); особенности их гранулометрического состава и механизмы осадконакопления; распределение органического углерода по профилю, носящее преимущественно аккумулятивный характер. В качестве будущих направлений исследований субаквальных почв можно выделить: определение их вклада в депонирование углерода; изучение миграции загрязняющих веществ; определение физических и химических свойств глубоких горизонтов (в том числе состава органического вещества и его молекулярного строения, сравнение с органическим веществом субаэральных обстановок); картографирование субаквальных почв, а также выявление их биоразнообразия (в том числе микробного).

Предполагаем, что почвенно-геохимические исследования подводных осадков не будут ограничены формальными критериями почвенных классификаций (например, нахождения на глубине не более 2.5 м). И как для “субаэрального почвоведения” в качестве фактора биоты стал рассматриваться не только растительный, но и альго-бактериальный покров, так и “субаквальное почвоведение” станет изучать грунты на океаническом дне, в том числе при повышенном давлении и вблизи вулканической активности. Отме-

тим, что в масштабах геологической истории планеты образование почв на дне океана, по-видимому, произошло гораздо раньше, чем на суше ([Горячкин и др., 2019](#)).

МИКРОБИОМ АНТАРКТИЧЕСКИХ ПОЧВ

Комплексное изучение биологических свойств почв полярных регионов является одним из наиболее актуальных направлений современной микробиологии ([Flocco et al., 2019](#)). Однако практически полностью неизвестны количественные параметры почвенного микробиома (запасы и структура микробной биомассы, уровень базального дыхания и численность рибосомальных генов) материка, несмотря на то что они характеризуют уровень продуктивности экосистем ([Russel, 2017](#)). Из-за длительной географической изоляции и экстремальных климатических условий существуют таксоны прокариот и грибов, характерные только для Антарктиды ([Vincent, 2000](#); [Jadoon et al., 2013](#)). Часть из них может продуцировать важные для биотехнологии вторичные метаболиты, в том числе антибиотики ([Efimenko et al., 2018](#)).

Первые исследования почвенных микроорганизмов Антарктиды начаты в 80-х гг. XX века. При помощи классических методов микробиологии показано, что них преобладают бактерии родов *Arthrobacter*, *Corynebacterium*, *Micrococcus*, *Brevibacterium*, *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Achromobacter*, *Nocardia*, *Flavobacterium*, *Streptomyces*, *Alcaligenes*, *Chromobacterium*, *Aeromonas* и *Planococcus*, а их численность варьирует от 2.0×10^3 до 1.2×10^5 КОЕ/г почвы. Также этими методами показано, что микробная популяция антарктических почв представлена аэробными бактериями (граммположительными спорообразующими и неспорообразующими бактериями, а также грамотрицательными) и анаэробными бактериями (метаногенами, сульфатредуцирующими бактериями).

С помощью ампликонного секвенирования выявлено, что среди бактерий почв Антарктиды доминируют Proteobacteria (альфа-, бета- и гамма-протеобактерии), Actinobacteria, Planctomycetes, Acidobacteria ([Лысак и др., 2018](#)). В большинстве экотопов содержание протеобактерий составляет более 50%, содержание филумов Actinobacteria (8–28%), Planctomycetes (8–24%) и Acidobacteria

(1–8%) меньше. Среди филума Proteobacteria присутствие представителей отдельных классов различно, доля альфа-протеобактерий варьирует от 11 до 28%, бета-протеобактерий – от 7 до 28%, гамма-протеобактерий – от 4 до 38%.

В микобиоте Антарктиды абсолютно преобладают представители отдела Ascomycota (99.2%). Значительно меньше представителей Basidiomycota – 0.7% и Mucoromycota – 0.1% ([Arenz, Blanchette, 2011](#); [Pudasaini et al., 2017](#)). В то же время в наиболее экстремальных условиях континентальной Антарктиды доминируют базидиальные дрожжи ([Connell et al., 2014](#)). Наиболее распространенными в Антарктике являются виды родов *Antarctomyces*, *Cadophora*, *Cladophialophora*, *Cladosporium*, *Cylindrocarpon*, *Geomyces*, *Geotrichum*, *Goffeauzyma*, *Glomerella*, *Golovinomyces*, *Hyphozyma*, *Penicillium*, *Phoma*, *Rhodotorula*, *Thelebolus* ([Arenz, Blanchette, 2011](#); [Santiago et al., 2015](#); [Марфенина и др., 2016](#); [Никитин и др., 2017](#)). Численность колониеобразующих единиц (КОЕ) микромицетов в антарктических почвах (от 10^2 до 10^5 КОЕ/г почвы) уменьшается лишь на порядок по сравнению с зональными почвами умеренного климата ([Arenz, Blanchette, 2011](#); [Марфенина и др., 2016](#)), и лишь в некоторых антропогенно загрязненных ландшафтах возрастает до 10^6 КОЕ/г субстрата ([Arenz, Blanchette, 2011](#)).

Согласно методу люминесцентной микроскопии, численность прокариот в антарктических образцах варьирует от 30 до 1500 млн клеток/г почвы ([Никитин и др., 2017](#); [Лысак и др., 2018](#)). Величина прокариотной биомассы составляет в образцах из оазиса Холмов Ларсеманн и Холмов Тала, соответственно, 0.5–15.4 и 1.2–2.8 мкг С/г почвы. Прокариотные сообщества почв этих оазисов содержат значительное количество фильтрующих (проходящих через мембранные фильтры с размером пор менее 220 нм) форм прокариот. Установлено их высокое (> 50%) присутствие в исследованных образцах.

Грибы в почвах Антарктиды в основном (до 80%) представлены мелкими (2–3 мкм) спорами, а не мицелием ([Марфенина и др., 2016](#); [Лысак и др., 2018](#)). Максимальная длина мицелия (380.2 м/г почвы) регистрируется в увлажненных почвах под моховым покровом. В почвах без органогенных горизонтов длина мицелия

значительно меньше. Минимальные показатели биомассы грибов (45.0 мкг С/г почвы) и длины мицелия (35.2 м/г почвы) отмечают-ся в “безгумусных почвах”. В антарктических почвах происходит истончение грибного мицелия, большая его часть (до 94%) пред-ставлена тонкими гифами диаметром менее 3 мкм. Численность грибных спор в почвах колеблется от 10^2 до 10^4 клеток/г почвы. Микобиота влажных биотопов, богатых органическим веществом, согласно данным люминесцентной микроскопии, в основном представлена одноклеточными (до 85–95%), а не мицелиальными формами. Грибная биомасса в большинстве изученных почв во-сточной части континента (“безгумусных почвах”, “каменных мо-стовых”, реголитах) составляет 47–70 мкг С/г почвы. И только в некоторых биотопах, характеризующихся высокой влажностью и обилием органических веществ (донных грунтах озер, глееземах и мохово-торфяных горизонтах) грибная биомасса заметно выше – 280–920 мкг С/г почвы.

МИКРОБИОМ КАК ВЕДУЩИЙ ФАКТОР ПОЧВООБРАЗОВАНИЯ В СУБАКВАЛЬНЫХ ПОЧВАХ АНТАРКТИДЫ

Низкая активность воды в субэдральных биотопах Антарк-тиды существенно лимитирует развитие организмов, а сильные ветры часто полностью уничтожают почвенный покров ([Мергелов и др., 2016](#); [Soina et al., 2018](#)). Поэтому стабильное существование почв и экосистем в целом на территории оазисов материка воз-можно лишь в местных базисах эрозии – озерах. Поскольку все биогеохимические процессы в них идут в восстановительных и зачастую анаэробных условиях, единственной биотой субакваль-ных биотопов становятся микроорганизмы. Их жизнедеятельность приводит к преобразованию геологических пород *in situ* и форми-рованию существенных запасов органического вещества ([Мергелов и др., 2016](#); [Лысак и др., 2018](#); [Sedov et al., 2019](#); [Lupachev et al., 2020](#)). Ввиду полного отсутствия растений и жи-вотных (за исключением очень редкого присутствия пресновод-ных рачков) микробиом становится полноценным и ведущим фак-торам почвообразования в субаквальных почвах Антарктиды. До

сих пор практически ничего не известно о параметрах биологической активности подводных почв материка (биомассе микроорганизмов, численности их клеток, количестве рибосомальных генов прокариот и грибов, уровне базального дыхания и т. д.), хотя они необходимы для оценки продуктивности экосистем и интенсивности цикла углерода ([Singh, Gupta, 2018](#)). Не выявлен вклад субаквальных ландшафтов в депонирование углерода на материке ([Мергелов и др., 2016](#); [Горячкин и др., 2019](#)). В антарктических оазисах относительно хорошо изучено влияние таких факторов почвообразования как климат, горные породы, рельеф и время, однако микроорганизмам, являющимся доминирующей биотой местных почв, пока уделено недостаточно внимания. Субаквальные почвы представляются одной из наиболее благоприятных ниш для развития микроорганизмов Антарктиды ([Никитин и др., 2017](#)), поэтому необходимо как можно полнее выявить не только их роль в процессах почвообразования, но и оценить уровень биологической активности почв, в том числе интенсивность эмиссии парниковых газов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, микробиом – ведущий фактор почвообразования в субаквальных почвах Антарктиды, а, возможно, и Высокой Арктики. Однако имеется мало данных о роли грибов и прокариот в создании запасов органического вещества почвы при условиях длительного нахождения ландшафтов материка под водой. Практически неизвестен уровень и распределение биомассы микроорганизмов по почвенным профилям различных биотопов антарктических оазисов. Биологическая активность субаквальных почв Антарктиды и участие микроорганизмов в трансформации биогенных элементов амфибиальных ландшафтов во многом остаются неизученными. Несмотря на обилие публикуемой информации о почвах и микроорганизмах в оазисах Антарктиды следует помнить, что почти все эти данные касаются лишь субаэральных, а не аквальных биотопов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Абакумов Е.В., Лупачев А.В.* Почвенное разнообразие наземных экосистем Антарктики (в районах расположения российских антарктических станций) // Украинський антарктичний журнал. 2012. № 10–11. С. 222–228.
2. *Абакумов Е.В.* Орнитогенные почвы острова Линдси, Тихоокеанский сектор Западной Антарктики // Русский орнитологический журнал. 2019. № 28. С. 1748.
3. *Батоян В.В.* Решение задач геохимии ландшафтов и почвоведения с применением математических методов. М.: МГУ. 1983. 120 с.
4. *Горячкин С.В., Гиличинский Д.А., Мергелов Н.С., Конюшков Д.Е., Лупачев А.В., Абрамов А., Долгих А.В., Зазовская Э.П.* Почвы Антарктиды: первые итоги, проблемы и перспективы исследований // Геохимия ландшафтов и география почв (к 100-летию М.А. Глазовской). М.: 2012. С. 361–388.
5. *Горячкин С.В., Мергелов Н.С., Таргульян В.О.* География и генезис почв экстремальных условий // Почвоведение. 2019. № 1. С. 5–19. DOI: [10.1134/S0032180X19010040](https://doi.org/10.1134/S0032180X19010040).
6. *Ивлев А.М., Нестерова О.В.* К вопросу об изучении аквапочв // Вестник Дальневосточного отделения Российской академии наук. 2004. № 4. С. 47–52.
7. *Касимов Н.С., Касатенкова М.С., Ткаченко А.Н., Лычагин М.Ю., Крооненберг С.Б.* Геохимия лагунно-маршевых и дельтовых ландшафтов Прикаспия. М.: Лига-Вент, 2016. 244 с.
8. *Костенков Н.М., Ознобихин В.И.* Прогноз субаквального диагенеза почв при их затоплении / Международная научная конференция “Современные исследования в естественных науках”. 2015. 142 с.
9. *Лысак Л.В., Максимова И.А., Никитин Д.А., Иванова А.Е., Кудинова А.Г., Соина В.С., Марфенина О.Е.* Микробные сообщества почв российских полярных станций Восточной Антарктиды // Вестник Московского университета. Серия 16. Биология. 2018. № 3. С. 132–140.
10. *Марфенина О.Е., Никитин Д.А., Иванова А.Е.* Структура грибной биомассы и разнообразие культивируемых микромицетов в почвах Антарктиды (станции Прогресс и Русская) // Почвоведение. 2016. № 8. С. 991–999. DOI: [10.7868/S0032180X16080074](https://doi.org/10.7868/S0032180X16080074).
11. *Мергелов Н.С.* Почвы влажных долин в оазисах Ларсеманн и Вестфолль (земля принцессы Елизаветы, Восточная Антарктида) // Почвоведение. 2014. № 9. С. 1027–1027. DOI: [10.7868/S0032180X14090093](https://doi.org/10.7868/S0032180X14090093).

12. Мержелов Н.С., Долгих А.В., Зазовская Э.П., Конюшков Д.Е., Лупачев А.В., Федоров-Давыдов Д.Г., ... Горячкин С.В. Почвы и почвоподобные тела оазисов и нунатаков Восточной Антарктиды // Вопросы географии. 2016. № 142. С. 593–628.
13. Никитин Д.А., Марфенина О.Е., Кудинова А.Г., Лысак Л.В., Мержелов Н.С., Долгих А.В., Лупачев А.В. Микробная биомасса и биологическая активность почв и почвоподобных тел береговых оазисов Антарктиды // Почвоведение. 2017. № 9. С. 1122–1133. DOI: [10.7868/S0032180X17070073](https://doi.org/10.7868/S0032180X17070073).
14. Польшов Б.Б. Руководящие идеи современного учения об образовании и развитии почв. // Почвоведение. 1948. С. 3–13.
15. Ткаченко А.Н., Козачук М.Н., Ткаченко О.В. Морфологические свойства подводных почв речных дельт // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. 2019. № 99. С. 62–75. DOI: [10.19047/0136-1694-2019-99-62-75](https://doi.org/10.19047/0136-1694-2019-99-62-75).
16. Чалов С.Р., Гречушникова М.Г., Варенцов М.И., Касимов Н.С. Современная и прогнозная оценка стока воды и наносов рек бассейна Селенги // География и природные ресурсы. 2016. № 5. С. 39–48.
17. Almeida L.F.J., Prater I., Hurtarte L.C.C., Richter A., Mueller C.W. Living vs. dead moss in Antarctica – how vegetation and seabirds determine soil organic matter distribution and composition. In: Geophysical Research Abstracts. 2019. Vol. 21. P. 1.
18. Arenz B.E., Blanchette R.A. Distribution and abundance of soil fungi in Antarctica at sites on the Peninsula, Ross Sea Region and McMurdo Dry Valleys // Soil Biology and Biochemistry. 2011. Vol. 43(2). P. 308–315. DOI: [10.1016/j.soilbio.2010.10.016](https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2010.10.016).
19. Ball B.A., Adams B.J., Barrett J.E., Wall D.H., Virginia R.A. Soil biological responses to C, N and P fertilization in a polar desert of Antarctica // Soil Biology and Biochemistry. 2018. Vol. 122. P. 7–18. DOI: [10.1016/j.soilbio.2018.03.025](https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2018.03.025).
20. Bradley M.P., Stolt M.H. Subaqueous soil-landscape relationships in a Rhode Island estuary // Soil Science Society of America Journal. 2003. Vol. 67(5). P. 1487–1495. DOI: [10.2136/sssaj2003.1487](https://doi.org/10.2136/sssaj2003.1487).
21. Chan Y., Lacap D.C., Lau M.C.Y., Ha K.Y., Warren-Rhodes K.A., Cockell C.S., Cowan D.A., McKay C.P., Pointing S.B. Hypolithic microbial communities: between a rock and a hard place // Environmental Microbiology. 2012. Vol. 14(9). P. 2272–2282. DOI: [10.1111/j.1462-2920.2012.02821.x](https://doi.org/10.1111/j.1462-2920.2012.02821.x).
22. Connell L.B., Rodriguez R.R., Redman R.S., Dalluge J.J. Cold-adapted yeasts in Antarctic deserts. In Cold-Adapted Yeasts. Springer Berlin Heidelberg. 2014. P. 75–98.

23. Dolgikh A.V., Mergelov N.S., Abramov A.A., Lupachev A.V., Goryachkin S.V. Soils of Enderby Land // The Soils of Antarctica. Springer International Publishing. 2015. P. 45–63. DOI: [10.1007/978-3-319-05497-1_4](https://doi.org/10.1007/978-3-319-05497-1_4).
24. do Vale Lopes D., Schaefer C.E.G., de Souza J.J.L.L., de Oliveira F.S., Simas F.N.B., Daher M., Gjorup D.F. Concretionary horizons, unusual pedogenetic processes and features of sulfate affected soils from Antarctica // Geoderma. 2019. Vol. 347. P. 13–24. DOI: [10.1016/j.geoderma.2019.03.024](https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2019.03.024).
25. Flocco C.G., Mac Cormack W.P., Smalla K. Antarctic Soil Microbial Communities in a Changing Environment: Their Contributions to the Sustainability of Antarctic Ecosystems and the Bioremediation of Anthropogenic Pollution. In: The Ecological Role of Micro-organisms in the Antarctic Environment. Springer, 2019. Cham. 2. P. 133–161.
26. Efimenko T.A., Efremenkova O.V., Demkina E.V., Petrova M.A., Sumarukova I.G., Vasilyeva B.F. Bacteria Isolated from Antarctic Permafrost are Efficient Antibiotic Producers // Microbiology. 2018. № 87(5). P. 692–698.
27. Erich E., Drohan P.J., Ellis L.R., Collins M.E., Payne M., Surabian D. Subaqueous soils: their genesis and importance in ecosystem management // Soil Use and Management. 2010. Vol. 26(3). P. 245–252. DOI: [10.1111/j.1475-2743.2010.00278.x](https://doi.org/10.1111/j.1475-2743.2010.00278.x).
28. Gajananda K., Singh R.K., Pal N., Sharma B., Verma V.K., Khandal R.K. Water Quality of Some Lakes in Grovnes Promontory, Larsemann Hills, East Antarctica. 2019. P. 379–396.
29. Heindel R.C., Lyons W.B., Welch S.A., Spickard A.M., Virginia R. A. Biogeochemical weathering of soil apatite grains in the McMurdo Dry Valleys, Antarctica // Geoderma. 2018. Vol. 320. P. 136–145. DOI: [10.1016/j.geoderma.2018.01.027](https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.01.027).
30. Jadoon W.A., Nakai R., Naganuma T. Biogeographical note on Antarctic microflorae: endemism and cosmopolitanism // Geoscience Frontiers. 2013. Vol. 4(6). P. 633–646. DOI: [10.1016/j.gsf.2012.11.002](https://doi.org/10.1016/j.gsf.2012.11.002).
31. Krishnan K.P., Sinha R.K. Functional Diversity of Microbes in Antarctic Lakes. 2019. P. 397–410.
32. Kubiěna W.L. The soils of Europe: illustrated diagnosis and systematics, with keys and descriptions for easy identification of the most important soil formations of Europe with consideration of the most frequent synonyms. 1953. P. 317.
33. Kurbatova L.E., Andreev M.P. Bryophytes of the Larsemann Hills (Princess Elizabeth Land, Antarctica) // Novosti Sist. Nizsh. Rast. 2015. Vol. 49. P. 360–368.
34. Lupachev A.V., Gubin S.V., Abakumov E.V. Levels of Biogenic-Abiogenic Interaction and Structural Organization of Soils and Soil-Like Bodies in

Antarctica. In: Processes and Phenomena on the Boundary Between Biogenic and Abiogenic Nature. Springer, Cham. 2020. P. 481–500. DOI: [10.1007/978-3-030-21614-6_26](https://doi.org/10.1007/978-3-030-21614-6_26).

35. Meier L.A., Krauze P., Prater I., Scholten T., Wagner D., Kühn P., Mueller C. W. Soil micromorphology, geochemistry and microbiology at two sites on James Ross Island, Maritime Antarctica // Geophysical Research Abstracts. 2017. Vol. 19. P. 1. URL: https://cdn.egu.eu/media/awards/ospp-award/2017/lars_arne_meier.pdf.

36. Mergelov N., Mueller C.W., Prater I., Shorkunov I., Dolgikh A., Zazovskaya E., ... Goryachkin S. Alteration of rocks by endolithic organisms is one of the pathways for the beginning of soils on Earth. Scientific Reports. 2018. Vol. 8(1). P. 1–15. DOI: [10.1038/s41598-018-21682-6](https://doi.org/10.1038/s41598-018-21682-6).

37. Pereira T.T., Schaefer C.E.G., Ker J.C., Almeida C.C., Almeida I.C. Micromorphological and microchemical indicators of pedogenesis in ornithogenic cryosols (gelisols) of hope bay, Antarctic Peninsula // Geoderma. 2013. Vol. 193. P. 311–322. DOI: [10.1016/j.geoderma.2012.10.023](https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2012.10.023).

38. Pinseel E., Sweetlove M., Tytgat B., Van De Putte A., Van De Vijver B., Verleyen E., ... Willems A. Diversity and biogeography of microorganisms in microbial mats of Antarctic lakes / Book of Abstracts. 2017. P. 199.

39. Pudasaini S., Wilson J., Ji M., van Dorst J., Snape I., Palmer A.S., Burns B.P., Ferrari B.C. Microbial Diversity of Browning Peninsula, Eastern Antarctica Revealed Using Molecular and Cultivation Methods // Frontiers in microbiology. 2017. Vol. 8. P. 1–14. DOI: [10.3389/fmicb.2017.00591](https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.00591).

40. Russel T.K. (Ed.). Microbial Biomass: A Paradigm Shift in Terrestrial Biogeochemistry. World Scientific. 2017. P. 1–5.

41. Santiago I.F., Soares M.A., Rosa C.A., Rosa L.H. Lichensphere: a protected natural microhabitat of the non-lichenised fungal communities living in extreme environments of Antarctica // Extremophiles. 2015. Vol. 19(6). P. 1087–1097. DOI: [10.1007/s00792-015-0781-y](https://doi.org/10.1007/s00792-015-0781-y).

42. Sedov S., Zazovskaya E., Fedorov-Davydov D., Alekseeva T. Soils of East Antarctic oasis: Interplay of organisms and mineral components at microscale // Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana. 2019. Vol. 71(1). P. 43–63. DOI: [10.18268/BSGM2019v71n1a4](https://doi.org/10.18268/BSGM2019v71n1a4).

43. Singh J.S., Gupta V.K. Soil microbial biomass: a key soil driver in management of ecosystem functioning // Science of the Total Environment. 2018. Vol. 634. P. 497–500. DOI: [10.1016/j.scitotenv.2018.03.373](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.03.373).

44. Soina V.S., Mergelov N.S., Kudinova A.G., Lysak L.V., Demkina E.V., Vorobyova E.A., ... Shorkunov I.G. Microbial Communities of Soils and Soil-like Bodies in Extreme Conditions of East Antarctica // Paleontological Journal. 2018. Vol. 52(10). P. 1186–1195. DOI: [10.1134/S0031030118100143](https://doi.org/10.1134/S0031030118100143).

45. Tedrow J.C.F., Ugolini F.C. Antarctic soils // Eds.: Tedrow J.C.F. Antarctic Soils and Soil Forming Processes. Antarct. Res. Ser. Am. Geophys. Union, 1966. Vol. 8. P. 161–177.
46. Vincent W.F. Evolutionary origins of Antarctic microbiota: invasion, selection and endemism // Antarctic Science. 2000. Vol. 12(3). P. 374–85. DOI: [10.1017 / S0954102000000420](https://doi.org/10.1017/S0954102000000420).

REFERENCES

1. Abakumov E.V., Lupachev A.V., Pochvennoe raznoobrazie nazemnykh ekosistem Antarktiki (v raionakh raspolozheniya rossiiskikh antarkticheskikh stantsii) (Soil diversity of terrestrial ecosystems of the Antarctic (in areas where Russian Antarctic stations are located)), *Ukrains'kii antarktichnii zhurnal*, 2012, No. 10–11, pp. 222–228.
2. Abakumov E.V., Ornitogennye pochvy ostrova Lindsii, Tikhookeanskii sektor Zapadnoi Antarktiki (Ornithogenic soils of Lindsay Island, Pacific Sector of West Antarctica), *Russkii ornitologicheskii zhurnal*, 2019, No. 28, pp. 1748.
3. Batoyan V.V., *Reshenie zadach geokhimii landshaftov i pochvovedeniya s primeneniem matematicheskikh metodov* (Solving the problems of landscape geochemistry and soil science using mathematical methods), Moscow: MSU, 1983, 120 p.
4. Goryachkin S.V., Gilichinsky D.A., Mergelov N.S., Konyushkov D.E., Lupachev A.V., Abramov A., Dolgikh A.V., Zazovskaya E.P., Pochvy Antarktidi: pervye itogi, problemy i perspektivy issledovaniy (Soils of Antarctica: first results, problems and prospects of research), *Geokhimiya landshaftov i geografiya pochv (k 100-letiyu M.A. Glazovskoi)*, Moscow: 2012, pp. 361–388.
5. Goryachkin S.V., Mergelov N.S., Targulyan V.O., Geografiya i genesis pochv ekstremal'nykh uslovii (Geography and soil genesis of extreme conditions), *Pochvovedenie*, 2019, No. 1, pp. 5–19, DOI: [10.1134/S0032180X19010040](https://doi.org/10.1134/S0032180X19010040).
6. Ivlev A.M., Nesterova O.V., K voprosu ob izuchenii akvapochv (To the question of the study of aquatic soils), *Vestnik Dal'nevostochnogo otdeleniya Rossiiskoi akademii nauk*, 2004, No. 4, pp. 47–52.
7. Kasimov N.S., Kasatenkova M.S., Tkachenko A.N., Lychagin M.Yu., Kroonenberg S.B., *Geokhimiya lagunno-marshevyykh i del'tovykh landshaftov Prikaspiya* (Geochemistry of lagoon-marching and delta landscapes of the Caspian region), Moscow: Liga-Vent, 2016, 244 p.
8. Kostenkov N.M., Oznobikhin V.I., Prognoz subakval'nogo diagenеза почв pri ikh zatoplenii (Forecast of subaquatic diagenesis of soils during their

flooding), Proc. *International scientific conference "Modern research in the natural sciences"*, 2015, p. 142.

9. Lysak L.V., Maksimova I.A., Nikitin D.A., Ivanova A.E., Kudinova A.G., Soina V.S., Marfenina O.E., Mikrobnye soobshchestva pochv rossiiskikh polarnykh stantsii Vostochnoi Antarktity (Microbial communities of soils of the Russian polar stations of East Antarctica), *Vestnik Moskovskogo universiteta*, Series 16, Biology, 2018, No. 3, pp. 132–140.

10. Marfenina O.E., Nikitin D.A., Ivanova A.E., Struktura gribnoi biomassy i raznoobrazie kul'tiviruemykh mikromitsetov v pochvakh Antarktity (stantsii Progress i Russkaya) (The structure of fungal biomass and the diversity of cultivated micromycetes in the soils of Antarctica (Progress and Russkaya stations)), *Pochvovedenie*, 2016, No. 8, pp. 991–999, DOI: [10.7868/S0032180X16080074](https://doi.org/10.7868/S0032180X16080074).

11. Mergelov N.S., Pochvy vlazhnykh dolin v oazisakh Larsemann i Vestfoll' (zemlya printsessy Elizavety, Vostochnaya Antarktida) (Soils of moist valleys in the oases of Larsemann and Westfall (land of Princess Elizabeth, East Antarctica)), *Pochvovedenie*, 2014, No. 9, pp. 1027–1027, DOI: [10.7868/S0032180X14090093](https://doi.org/10.7868/S0032180X14090093).

12. Mergelov N.S., Dolgikh A.V., Zazovskaya E.P., Konyushkov D.E., Lupachev A.V., Fedorov-Davydov D.G., ... Goryachkin S.V., Pochvy i pochvopodobnye tela oazisev i nunatakov Vostochnoi Antarktity (Soils and soil-like bodies of oases and nunataks of East Antarctica), *Voprosy geografii*, 2016, No. 142, pp. 593–628.

13. Nikitin D.A., Marfenina O.E., Kudinova A.G., Lysak L.V., Mergelov N.S., Dolgikh A.V., Lupachev A.V., Mikrobnaya biomassa i biologicheskaya aktivnost' pochv i pochvopodobnykh tel beregovykh oazisev Antarktity (Microbial biomass and biological activity of soils and soil-like bodies of coastal oases of Antarctica), *Pochvovedenie*, 2017, No. 9, pp. 1122–1133, DOI: [10.7868/S0032180X17070073](https://doi.org/10.7868/S0032180X17070073).

14. Polynov B.B., Rukovodyashchie idei sovremennogo ucheniya ob obrazovanii i razvitii pochv (Guiding ideas of the modern doctrine of soil education and development), *Pochvovedenie*, 1948, pp. 3–13.

15. Tkachenko A.N., Kozachuk M.N., Tkachenko O.V., Morphological properties of underwater soils of river deltas, *Dokuchaev Soil Bulletin*, 2019, Vol. 99, pp. 62–75, DOI: [10.19047/0136-1694-2019-99-62-75](https://doi.org/10.19047/0136-1694-2019-99-62-75).

16. Chalov S.R., Grechushnikova M.G., Varentsov M.I., Kasimov N.S., Sovremennaya i prognoznaya otsenka stoka vody i nanosov rek basseina Selengi (Modern and predictive assessment of water flow and sediment in the rivers of the Selenga), *Geografiya i prirodnye resursy*, 2016, No. 5, pp. 39–48.

17. Almeida L.F.J., Prater I., Hurtarte L.C.C., Richter A., Mueller C.W., Living vs. dead moss in Antarctica – how vegetation and seabirds determine

soil organic matter distribution and composition, In: *Geophysical Research Abstracts*, 2019, Vol. 21. pp. 1.

18. Arenz B.E., Blanchette R.A., Distribution and abundance of soil fungi in Antarctica at sites on the Peninsula, Ross Sea Region and McMurdo Dry Valleys, *Soil Biology and Biochemistry*, 2011, Vol. 43(2), pp. 308–315, DOI: [10.1016/j.soilbio.2010.10.016](https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2010.10.016).

19. Ball B.A., Adams B.J., Barrett J.E., Wall D.H., Virginia R.A., Soil biological responses to C, N and P fertilization in a polar desert of Antarctica, *Soil Biology and Biochemistry*, 2018, Vol. 122, pp. 7–18, DOI: [10.1016/j.soilbio.2018.03.025](https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2018.03.025).

20. Bradley M.P., Stolt M.H., Subaqueous soil-landscape relationships in a Rhode Island estuary, *Soil Science Society of America Journal*, 2003, Vol. 67(5), pp. 1487–1495, DOI: [10.2136/sssaj2003.1487](https://doi.org/10.2136/sssaj2003.1487).

21. Chan Y., Lacap D.C., Lau M.C.Y., Ha K.Y., Warren-Rhodes K.A., Cockell C.S., Cowan D.A., McKay C.P., Pointing S.B., Hypolithic microbial communities: between a rock and a hard place, *Environmental Microbiology*, 2012, Vol. 14(9), pp. 2272–2282, DOI: [10.1111/j.1462-2920.2012.02821.x](https://doi.org/10.1111/j.1462-2920.2012.02821.x).

22. Connell L.B., Rodriguez R.R., Redman R.S., Dalluge J.J., Cold-adapted yeasts in Antarctic deserts, In: *Cold-Adapted Yeasts*, Springer Berlin Heidelberg, 2014, pp. 75–98.

23. Dolgikh A.V., Mergelov N.S., Abramov A.A., Lupachev A.V., Goryachkin S.V., Soils of Enderby Land, *The Soils of Antarctica*, 2015, pp. 45–63, DOI: [10.1007/978-3-319-05497-1_4](https://doi.org/10.1007/978-3-319-05497-1_4).

24. do Vale Lopes D., Schaefer C.E.G., de Souza J.J.L.L., de Oliveira F.S., Simas F.N.B., Daher M., Gjorup D.F., Concretionary horizons, unusual pedogenetic processes and features of sulfate affected soils from Antarctica, *Geoderma*, 2019, Vol. 347, pp. 13–24, DOI: [10.1016/j.geoderma.2019.03.024](https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2019.03.024).

25. Flocco C.G., Mac Cormack W.P., Smalla K., Antarctic Soil Microbial Communities in a Changing Environment: Their Contributions to the Sustainability of Antarctic Ecosystems and the Bioremediation of Anthropogenic Pollution, In: *The Ecological Role of Micro-organisms in the Antarctic Environment*, Springer, 2019, Cham. 2, pp. 133–161.

26. Efimenko T.A., Efremenkova O.V., Demkina E.V., Petrova M.A., Sumarukova I.G., Vasilyeva B.F., Bacteria Isolated from Antarctic Permafrost are Efficient Antibiotic Producers, *Microbiology*, 2018, Vol. 87(5), pp. 692–698.

27. Erich E., Drohan P.J., Ellis L.R., Collins M.E., Payne M., Surabian D., Subaqueous soils: their genesis and importance in ecosystem management, *Soil Use and Management*, 2010, Vol. 26(3), pp. 245–252, DOI: [10.1111/j.1475-2743.2010.00278.x](https://doi.org/10.1111/j.1475-2743.2010.00278.x).

28. Gajananda K., Singh R.K., Pal N., Sharma B., Verma V.K., Khandal R.K., *Water Quality of Some Lakes in Grovnes Promontory, Larsemann Hills, East Antarctica*, 2019, pp. 379–396.
29. Heindel R.C., Lyons W.B., Welch S.A., Spickard A.M., Virginia R.A., Biogeochemical weathering of soil apatite grains in the McMurdo Dry Valleys, Antarctica, *Geoderma*, 2018, Vol. 320, pp. 136–145, DOI: [10.1016/j.geoderma.2018.01.027](https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.01.027).
30. Jadoon W.A., Nakai R., Naganuma T., Biogeographical note on Antarctic microflorae: endemism and cosmopolitanism, *Geoscience Frontiers*, 2013, Vol. 4(6), pp. 633–646, DOI: [10.1016/j.gsf.2012.11.002](https://doi.org/10.1016/j.gsf.2012.11.002).
31. Krishnan K.P., Sinha R.K., *Functional Diversity of Microbes in Antarctic Lakes*, 2019, pp. 397–410.
32. Kubišna W.L., *The soils of Europe: illustrated diagnosis and systematics, with keys and descriptions for easy identification of the most important soil formations of Europe with consideration of the most frequent synonyms*, 1953, pp. 317.
33. Kurbatova L.E., Andreev M.P., Bryophytes of the Larsemann Hills (Princess Elizabeth Land, Antarctica), *Novosti Sist. Nizsh. Rast*, 2015, Vol. 49, pp. 360–368.
34. Lupachev A.V., Gubin S.V., Abakumov E.V., Levels of Biogenic-Abiogenic Interaction and Structural Organization of Soils and Soil-Like Bodies in Antarctica, In: *Processes and Phenomena on the Boundary Between Biogenic and Abiogenic Nature*, 2020, pp. 481–500, DOI: [10.1007/978-3-030-21614-6_26](https://doi.org/10.1007/978-3-030-21614-6_26).
35. Meier L.A., Krauze P., Prater I., Scholten T., Wagner D., Kühn P., Mueller C.W., Soil micromorphology, geochemistry and microbiology at two sites on James Ross Island, Maritime Antarctica, *Geophysical Research Abstracts*, 2017, Vol. 19, pp. 1, URL: https://cdn.egu.eu/media/awards/ospp-award/2017/lars_ame_meier.pdf.
36. Mergelov N., Mueller C.W., Prater I., Shorkunov I., Dolgikh A., Zazovskaya E., ... Goryachkin S., Alteration of rocks by endolithic organisms is one of the pathways for the beginning of soils on Earth, *Scientific Reports*, 2018, Vol. 8(1), pp. 1–15, DOI: [10.1038/s41598-018-21682-6](https://doi.org/10.1038/s41598-018-21682-6).
37. Pereira T.T., Schaefer C.E.G., Ker J.C., Almeida C.C., Almeida I.C., Micromorphological and microchemical indicators of pedogenesis in ornthogenic cryosols (gelisols) of hope bay, Antarctic Peninsula, *Geoderma*, 2013, Vol. 193, pp. 311–322, DOI: [10.1016/j.geoderma.2012.10.023](https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2012.10.023).
38. Pinseel E., Sweetlove M., Tytgat B., Van De Putte A., Van De Vijver B., Verleyen E., ... Willems A., Diversity and biogeography of microorganisms in microbial mats of Antarctic lakes, *Book of Abstracts*, 2017, pp. 199.

39. Pudasaini S., Wilson J., Ji M., van Dorst J., Snape I., Palmer A.S., Burns B.P., Ferrari B.C., Microbial Diversity of Browning Peninsula, Eastern Antarctica Revealed Using Molecular and Cultivation Methods, *Frontiers in microbiology*, 2017, Vol. 8, pp. 1–14, DOI: [10.3389/fmicb.2017.00591](https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.00591).
40. Russel T.K. (Ed.), Microbial Biomass: A Paradigm Shift in Terrestrial Biogeochemistry, *World Scientific*, 2017, pp. 1–5.
41. Santiago I.F., Soares M.A., Rosa C.A., Rosa L.H., Lichensphere: a protected natural microhabitat of the non-lichenised fungal communities living in extreme environments of Antarctica, *Extremophiles*, 2015, Vol. 19(6), pp. 1087–1097, DOI: [10.1007/s00792-015-0781-y](https://doi.org/10.1007/s00792-015-0781-y).
42. Sedov S., Zazovskaya E., Fedorov-Davydov D., Alekseeva T., Soils of East Antarctic oasis: Interplay of organisms and mineral components at microscale, *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 2019, Vol. 71(1), pp. 43–63, DOI: [10.18268/BSGM2019v71n1a4](https://doi.org/10.18268/BSGM2019v71n1a4).
43. Singh J.S., Gupta V.K., Soil microbial biomass: a key soil driver in management of ecosystem functioning, *Science of the Total Environment*, 2018, Vol. 634, pp. 497–500, DOI: [10.1016/j.scitotenv.2018.03.373](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.03.373).
44. Soina V.S., Mergelov N.S., Kudinova A.G., Lysak L.V., Demkina E.V., Vorobyova E.A., ... Shorkunov I.G., Microbial Communities of Soils and Soil-like Bodies in Extreme Conditions of East Antarctica, *Paleontological Journal*, 2018, Vol. 52(10), pp. 1186–1195, DOI: [10.1134/S0031030118100143](https://doi.org/10.1134/S0031030118100143).
45. Tedrow J.C.F., Ugolini F.C. (Eds), Antarctic soils, Antarctic Soils and Soil Forming Processes, *Antarct. Res. Ser. Am. Geophys Union*, 1966, Vol. 8, pp. 161–177.
46. Vincent W.F., Evolutionary origins of Antarctic microbiota: invasion, selection and endemism, *Antarctic Science*, 2000, Vol. 12(3), pp. 374–85, DOI: [10.1017/S0954102000000420](https://doi.org/10.1017/S0954102000000420).

УДК 631.4

DOI: 10.19047/0136-1694-2020-102-70-102



Ссылки для цитирования:

Хитров Н.Б., Роговнева Л.В., Паштецкий В.С. Изменение засоленности почв и грунтовых вод рисовых систем Присивашской низменности после прекращения орошения // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. 2020. Вып. 102. С. 70-102. DOI: 10.19047/0136-1694-2020-102-70-102

Cite this article as:

Khitrov N.B., Rogovneva L.V., Pashtetskiy V.S., Changes of soil salinity and ground waters at the rice systems in Sivash lowland after irrigation cease, Dokuchaev Soil Bulletin, 2020, V. 102, pp. 70-102, DOI: 10.19047/0136-1694-2020-102-70-102

Благодарность:

Работа выполнена по программе фундаментальных исследований Президиума РАН “Инновационные технологии в решении проблем развития агропромышленного комплекса России”, раздел “Трансформация, эволюция и деградация почв в условиях агрогенеза и глобальных изменений климата” 2015–2017 и 2018–2020 гг.

Acknowledgments:

The studies were carried out within the framework of fundamental research program of the Presidium of the Russian Academy of Sciences “Innovative technologies in solving problems of development of the agro-industrial complex of Russia”, section “Transformation, evolution and degradation of soils under the conditions of agrogenesis and global climate change” in 2015–2017 and 2018–2020.

Изменение засоленности почв и грунтовых вод рисовых систем Присивашской низменности после прекращения орошения

© 2020 г. Н. Б. Хитров^{1*}, Л. В. Роговнева¹, В. С. Паштецкий²

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

*<https://orcid.org/000-0001-5151-5109>, e-mail: khitrovnb@gmail.com.

²Научно-исследовательский институт
сельского хозяйства Крыма, Россия,
295493, Республика Крым, Симферополь, ул. Киевская, 150.

*Поступила в редакцию 20.03.2020, после доработки 07.04.2020,
принята к публикации 22.06.2020*

Резюме: Цель статьи – представить данные о положении грунтовых вод и солевом состоянии почв бывших рисовых систем в береговой полосе оз. Сиваш в Нижегородском р-не Республики Крым в 2017–2018 гг., через 4–5 лет после прекращения орошения. Установлено, что большинство почв солонцовых комплексов на рисовой системе были рассолены до глубины 3–3.5 м за полвека орошения затоплением чеков. В 2017–2018 гг. грунтовые воды залежали на глубине ниже критической. Минерализация грунтовых вод имела мозаичное пространственное распределение, варьируя в диапазоне от 1.9 до 7.4 г/л с тенденцией ее увеличения по мере увеличения глубины грунтовой воды. В береговой полосе образовалась депрессионная воронка грунтовых вод с гидравлическим напором до 0.8–1.6 м со стороны моря. Отмечаются первые признаки начала восстановления засоленности грунтов зоны аэрации в виде (1) появления хлоридов кальция и магния в поровых растворах в формально незасоленных или слабозасоленных горизонтах, (2) тенденции увеличения активности ионов натрия и хлорид-ионов, измеренных в пастах с влажностью 50% (мас.), в 2018 г. по сравнению с 2017 г. на динамических площадках, (3) увеличения частоты встречи горизонтов зоны аэрации, содержащих скопления мелкокристаллического гипса.

Ключевые слова: активность ионов натрия, активность хлорид-ионов, уровень грунтовых вод, депрессионная воронка грунтовых вод, засоленные почвы, зона аэрации.

Changes of soil salinity and ground waters at the rice systems in Sivash lowland after irrigation cease

N. B. Khitrov^{1*}, L. V. Rogovneva¹, V. S. Pashtetskiy²

¹*Federal Research Centre “V.V. Dokuchaev Soil Science Institute”,
7 Bld. 2 Pyzhevskiy per., Moscow 119017, Russian Federation,*

^{}<https://orcid.org/000-0001-5151-5109>, e-mail: khitrovn@gmail.com.*

²*Research Institute of Agriculture of Crimea,
150 Kievskaya Str., Simferopol 295493, Republic of Crimea,
Russian Federation*

Received 20.03.2020, Revised 07.04.2020, Accepted 22.06.2020

Abstract: The aim of the article is to submit data about ground water table and soil salinity of the rice irrigated systems at the Sivash seashore in

Nyzhnegorsky district of Crimea in 2017–2018 which is 4–5 years from irrigation cease. It was found that many soil cover patterns with salt-affected solonetz at the rice system were leached from salts to the depth about 3–3.5 m by flooding irrigation during half a century. In 2017–2018 ground water tables were deeper than the critical depth. Ground water mineralization is characterized by mosaic spatial distribution, varying from 1.9 to 7.4 g/l with a tendency to growth as ground water depth increases. Depression funnel of ground water table was formed at the seashore. The bottom water drive is up to 0.8–1.6 m relatively sea level. The first symptoms of the salinity returning in grounds of vadose zone were found: (1) appearance of calcium and magnesium chlorides in pore solutions of formally no saline or weakly saline horizons; (2) increasing trend of sodium and chloride ion activity measured in pastes with moisture 50% (w) at the dynamic plots in 2018 as compared with 2017; (3) frequency of grounds with clustered gypsum crystals is increased.

Keywords: sodium ion activity, chloride ion activity, ground water table, depression funnel of ground water table, salt-affected soils, vadose zone.

ВВЕДЕНИЕ

Для обеспечения развития засушливых районов равнинной части Крымского п-ва в 1960-х годах был построен Северо-Крымский канал, по которому поступала днепровская вода из Каховского водохранилища. Вода имела минерализацию 0.37–0.57 г/л, возрастающую по мере ее транспортировки по каналу с земляным руслом. Состав воды сульфатно-гидрокарбонатный кальциево-магниевый-натриевый, рН воды варьировал от 7.5 до 9.95, по мере увеличения минерализации воды увеличивалась доля магния и особенно натрия, величина $SAR = 2-3$. Оросительная система Северо-Крымского канала сильно разветвлена, охватывая большую часть равнинного Крыма. В ее состав входили многочисленные орошаемые массивы с полевыми севооборотами, орошаемые сады и рисовые системы.

Согласно Почвенной карте Крымской области, до строительства рисовых систем почвенный покров был представлен лугово-каштановыми солонцовыми комплексами, большинство почв которых отличалось сильной степенью засоления ([Клепинин, 1935](#); [Дзенс-Литовская, 1957](#); [Новикова, 1958](#); [Севастьянов, 1959](#); [Половицкий, Гусев, 1987](#); [Драган, 2004](#); [Кізяков, 2005](#)). Такие почвенные комплексы сохранились на целинных участках вокруг ри-

совых систем Присивашской низменности. Обычно они используются под пастбища. Характеристика одного из профилей солонча лугового каштанового среднего солончакового сильнозасоленного сульфатно-хлоридного с гипсом глинистого на делювиальных глинах (разр. КР-077), расположенного в Нижнегорском р-не в 2 км от чеков рисовой системы в 2016 г., представлена в работе ([Чижикова и др., 2017](#)).

После ввода в эксплуатацию в 1960-х годах рисовых систем на Присивашской низменности почвы стали подвергаться интенсивной промывке от легкорастворимых солей днепровской водой, поступающей по Северо-Крымскому каналу. По данным многих авторов ([Супряга, 1971](#); [Янчковский, 1973](#); [Лактионов, Карпович, 1967](#); [Лактионов, Малеев, 1990](#); [Кизяков, 1977](#); [Кизяков, Тронза, 2002, 2004](#); [Кизяков и др., 2001, 2002](#); [Гусев, Титков, 1973](#); [Титков, Гусев, 1975, 1988](#); [Титков, Кольцов, 1995](#); [Тронза, 2002](#); [Балюк и др., 2006](#); [Наукові основи..., 2009](#); [Титков, 2011](#)), сильнозасоленные солончаковые солонцы и солончаковатые лугово-каштановые почвы Крыма по мере их использования под культуру риса путем затопления чеков стали слабозасоленными или незасоленными в слое 0–100 см.

В 2015 г., через год после прекращения подачи воды по Северо-Крымскому каналу, в условиях постепенного растекания куполов грунтовых вод под орошаемыми массивами и каналами наблюдалось быстрое понижение уровня грунтовых вод и появилась возможность оценить засоленность грунтов глубже 1 м. По нашим данным ([Хитров и др., 2016](#)), почвы, грунты зоны аэрации и верхней части водоносного горизонта на территории бывшей рисовой системы в Красноперекопском р-не Крыма по формальным критериям оказались незасоленными до глубины 3.5 м. По данным Крымской гидрогеолого-мелиоративной экспедиции ([Национальный доклад..., 2018](#), с. 104), на Присивашской низменности в зоне развития плиоцен-четвертичного водоупора к концу вегетационного периода 2016 г. произошло полное растекание куполов ирригационно-грунтовых вод под каналами и бывшими орошаемыми зернокармными и рисовыми севооборотами.

Учитывая исходную природную засоленность почв Присивашской низменности, связанную с более высоким уровнем моря в

прежние эпохи, колебаниями уровня минерализованных грунтовых вод, и засушливым климатом в настоящее время, в условиях прекращения подачи воды на рисовые системы Крыма, расположенные в непосредственной близости к Сивашу и Каркинитскому заливу Черного моря, следует необходимость оценки весьма вероятного риска восстановления засоленности почв на прибрежных территориях степного Крыма для выработки превентивных мер его реального развития.

Потенциальными критериями оценки процесса восстановления засоленности почв в условиях бывших рисовых систем Крыма могут быть:

- соотношение реальной глубины грунтовых вод с ее критическим значением; засоление почв начинается в условиях более близкого залегания грунтовых вод по сравнению с критическим (2.5 м в Крыму);

- увеличение минерализации грунтовых вод во времени;

- возникновение гидравлического напора соленых морских вод в сторону берега, в результате которого будет происходить постепенное замещение грунтовых вод морской водой;

- в условиях сульфатно-натриевого состава грунтовых вод появление в почвах горизонтов с мучнистым гипсом в пределах первого метра – это индикатор восходящего движения растворов за счет капиллярного поднятия от грунтовых вод, постепенного замещения обменного кальция натрием раствора с последующим осаждением вытесненного кальция в виде гипса – сульфата кальция;

- увеличение содержания хлоридов в верхней части капиллярной каймы;

- увеличение содержания водорастворимого натрия в породах зоны аэрации и тем более в почвенных горизонтах;

- собственно накопление легкорастворимых солей в почвенных горизонтах в количестве, соответствующем слабой или более высокой степени засоления по действующей классификации.

Указанные выше критерии оценки перечислены в порядке потенциального развития во времени процесса накопления солей в грунтовых водах, грунтах зоны аэрации и затем в почвах.

Цель статьи – представить данные о положении грунтовых

вод и солевом состоянии почв бывших рисовых систем в береговой полосе оз. Сиваш через 4–5 лет после прекращения орошения.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Объектами исследования послужили почвы и грунтовые воды Азовской рисовой системы, расположенной на Присивашской низменности в Нижнегорском и частично в Джанкойском р-нах Республики Крым.

В 2017 г. было заложено четыре трансекты разной длины от берега Сиваша вглубь территории на бывших рисовых системах, питавшихся из Азовской ветви Северо-Крымского канала (рис. 1).

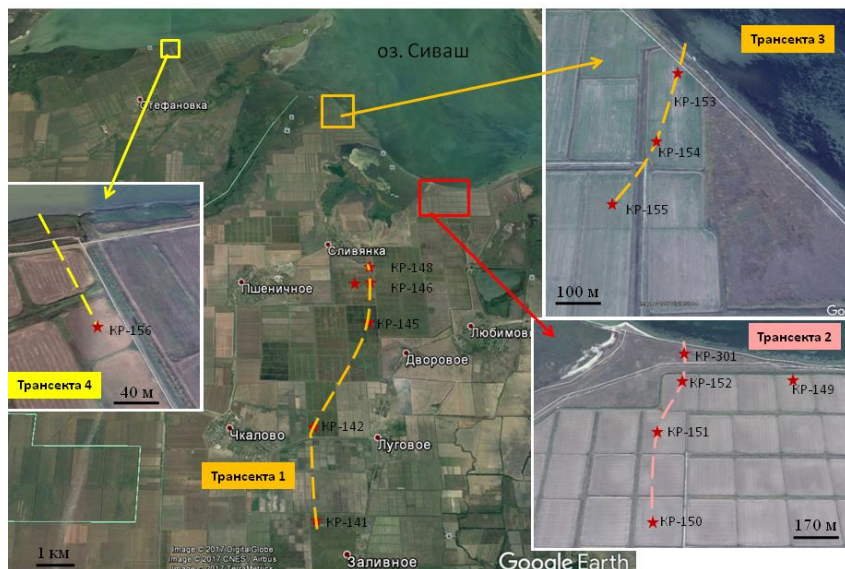


Рис. 1. Схема объектов исследования на рисовой системе.

Fig. 1. The scheme of study objects at the rice irrigated system.

Работы на трансектах включали ручное бурение до грунтовой воды, отбор образцов почв, грунтов и грунтовых вод для полевых и лабораторных измерений содержания солей и нивелирный ход. Исключением являлась трансекта 1 от с. Сливянка до с. Заливное, для которой высотные отметки скважин получены по

материалам дистанционного зондирования с портала Google Earth.

Названия почв даны по классификации почв России (2004) в ее более поздней версии ([Полевой определитель почв России, 2008](#)) и по международной классификации почв WRB-2014 ([IUSS, 2015](#)), используя диагностические критерии, принятые в каждой классификации.

По исследованиям 2015–2017 гг., почвенный покров бывших рисовых чеков представлен пятнистостью двух типов агроземов. На месте бывших солонцов возникли агроземы поверхностно-глеевые текстурно-дифференцированные аккумулятивно-карбонатные окисленно-глеевые глубокосолончаковатые глубоко гипс-содержащие тяжелосуглинистые на желто-бурых суглинках и глинах с формулой профиля PU/Gox – BTg,ox – BCAq,g,th – BCAnс,q – BCca,cs,g, по WRB ([IUSS, 2015](#)) – Eutric Oxigleyic Hydragric Gleysol (Luvic, Loamic, Aric, Drainic, Protocalcic, Bathygypsic). На месте лугово-каштановых почв сформировались агроземы поверхностно-глеевые ксерометаморфические окисленно-глеевые тяжелосуглинистые на желто-бурых суглинках и глинах с формулой профиля PU/Gox – BMKg,ox – BCAq,g,th – BCAnс,q – BCca,g, по WRB ([IUSS, 2015](#)) – Eutric Oxigleyic Hydragric Gleysol (Loamic, Aric, Drainic, Protocalcic). С 2018 г. пахотный горизонт в ходе 4-летнего окислительного режима богарного использования потерял признаки глеевого горизонта, сохранились лишь окисленно-глееватые признаки – PUox – в обеих почвах. По этой причине термин “поверхностно-глеевые” в названиях обеих почв по классификации почв России следует удалить. В классификации WRB-2014 изменяются даже реферативные почвенные группы: Luvic Kastanozem (Loamic, Aric, Protosodic, Stagnic, Bathygypsic) и Haplic Kastanozem (Loamic, Aric, Stagnic).

Обратим внимание на важный методический аспект исследования оценки тренда начала восстановления засоленности засоленных почв рисовых систем. Традиционная водная вытяжка с соотношением почва : вода 1 : 5 имеет низкую чувствительность в области очень низкого содержания легкорастворимых солей, когда по формальным критериям почва или грунт считаются незасоленными. Она становится пригодна лишь на поздних этапах процесса накопления солей, когда констатируем уже свершившийся факт –

наличие засоления почв.

Альтернативой является измерение активности ионов в пасте с влажностью, приблизительно соответствующей полной влагоемкости почвы. Этот подход имеет заметное преимущество за счет возможности дифференцировать формально незасоленные горизонты на несколько более дробных градаций по содержанию и концентрации ионов в почвенных растворах. А измерение активности нескольких ионов (Na^+ , Cl^- и Ca^{2+}) позволяет оценивать начальные признаки вторичного засоления по соотношению ионов.

В 2017 г. трансекты представляли собой преимущественно серию одиночных скважин для оценки общего состояния и выбора динамических площадок последующего мониторинга. С 2018 г. работы продолжались на выбранных динамических площадках вдоль трансекты 2, удлиненной вдаль от берега Сиваша до 2 км.

Для оценки пространственного варьирования засоленности почв и грунтов на динамической площадке в пределах участка 30×30 м закладывали пять скважин методом конверта с разносом четырех угловых точек на 15 м относительно центральной. Одна из диагоналей конверта была направлена в сторону береговой линии Сиваша. Две крайние точки по этой диагонали бурили до грунтовой воды с таким расчетом, чтобы можно было измерить установившийся уровень грунтовой воды (УГВ) и произвести отбор воды для анализа состава солей. Три оставшиеся точки бурили до глубины 2 м. Отбор образцов почв, грунтов зоны аэрации и водоносного горизонта делали послойно через 10 см, на глубине более 200 см, как правило, через 20 см. Бурение сопровождалось кратким морфологическим описанием извлекаемого слоя с допустимой интерпретацией почвенного горизонта и общей полевой характеристикой цвета, влажности, класса гранулометрического состава, наличия вскипания от HCl , карбонатных и гипсовых новообразований.

Установившийся УГВ определяли через 5–6 часов после вскрытия скважины с контролем на следующий день. Измерение УГВ производили мерной лентой с хлопущкой, погрешность 1 см. Отбор грунтовой воды выполняли с помощью желонки. В извлеченной пробе измеряли удельную электропроводность (ЕС) и тем-

пературу полевым кондуктометром КП-001 с последующим расчетом значения удельной электропроводности воды, приведенной к температуре 25°C (EC_{25}) путем умножения на поправочный температурный коэффициент ([Richards, 1954](#)). В лаборатории определяли ионный состав, pH традиционными методами ([Руководство..., 1990](#)) и EC_{25} лабораторным кондуктометром.

Из высушенных и растертых (< 1 мм) образцов готовили пасты с влажностью 50% (мас.) путем увлажнения дистиллированной водой. На следующий день после перемешивания пасты измеряли активности ионов Na^+ , Cl^- и Ca^{2+} с помощью ионоселективных электродов серии ЭЛИС. Регистрирующий прибор – иономер Экотест-120. Для каждого образца по каждому показателю получено среднее арифметическое значение $pX = -lg a_x$ из 2–3 повторных измерений. Среднее значение pX преобразовывали в активность иона с размерностью [ммоль/л].

Таким образом, получены две группы рядов послойных измерений с сериями из 5 и 2 средних значений активности иона в индивидуальных образцах. Для серии из 5 образцов рассчитывали частные оценки среднего арифметического (M_i) и среднеквадратического отклонения (s_i) в серии. На основе точечного графика $M_i = f(s_i)$ оценивали изменение разброса значений s_i в зависимости от M_i , выделив несколько диапазонов значений M_i , для каждого из которых рассчитали усредненную оценку среднеквадратического отклонения (s_{cp}) ([Дмитриев, 1995](#)).

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:

$$\begin{cases} \text{если } X \leq 10, \text{ то } Y = 1.15 + 1.02 \cdot X, \\ \text{если } 10 < X < 50, \text{ то } Y = 3.840 + 0.899 \cdot X - 0.0072 \cdot X^2. \end{cases}$$

В части образцов определили состав водной вытяжки 1 : 5. Статистическая обработка данных выполнена в Excel.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Уровень, минерализация и состав грунтовых вод

На трансекте 1, расположенной на рисовых чеках между с. Сливянка и с. Заливное на высоте от 4.5 до 5.7 м над уровнем моря, более чем в 3.5 км от берега Сиваша, грунтовые воды были вскрыты на глубине от 3.4 до 5.3 м. Их глубина залегания увеличивалась по мере удаления от берега и увеличения высоты поверхности. При этом высота зеркала грунтовых вод практически не зависела от точки опробования, колеблясь в интервале 0.2–1.4 м выше уровня моря (рис. 2). В 2017 г. грунтовые воды имели минерализацию от 1.9 до 5.8 г/л. Состав преимущественно хлоридно-сульфатный по анионам и смешанный натриево-магниево-кальциевый, натриево-кальциево-магниевый или кальциево-магниевый по катионам (табл. 1).

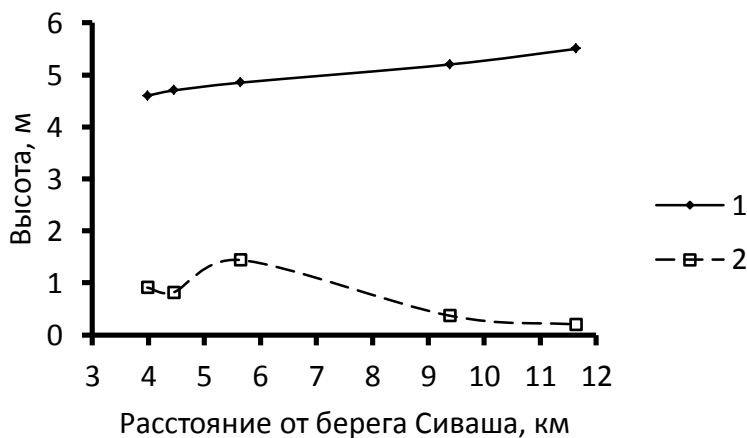


Рис. 2. Изменение высоты грунтовых вод на трансекте 1 в июле 2017 г. Обозначения: 1 – дневная поверхность, 2 – уровень грунтовых вод.

Fig. 2. The altitude of ground water table at the transect 1 in July 2017. Legend: 1 – surface; 2 – ground water table.

Таблица 1. Глубина залегания и ионный состав грунтовых вод
Table 1. Depth and ion composition of ground waters

№ скв.	УГВ, см	pH	HCO ₃	Cl	SO ₄	ммоль(экв)/л						S ⁺ , г/л	ЕС ₂₅ , дСМ/М
						Вода оз. Сиваш							
б/н	0	7.19	2.6	932.7	146.9	61.5	186.4	785.8	13.7	61.86	76.76		
Трансекта 1, рисовые чеки, 2017 г.													
КР-142	483	7.22	8.1	2.5	51.8	21.2	15.3	24.1	0.03	4.23	4.28		
КР-145	341	7.19	7.7	12.3	9.9	7.6	6.2	14.2	0.03	1.94	2.78		
КР-146	388	7.25	5.9	4.9	55.0	21.8	26.5	13.8	0.02	4.24	4.34		
КР-147	379	7.18	6.7	4.2	77.1	23.8	27.2	33.5	0.02	5.83	5.63		
КР-148	369	7.44	5.0	11.0	43.4	25.5	21.2	15.0	0.01	3.89	3.84		
Трансекта 2, рисовые чеки, 2017 г.													
КР-149	231	7.21	5.7	14.2	11.7	11.4	11.5	6.9	0.04	1.94	2.88		
КР-150	330	7.23	5.4	55.0	53.6	31.6	36.7	42.5	0.03	6.91	8.62		
КР-151	332	7.30	5.5	19.3	55.0	25.9	25.2	27.9	0.02	5.12	5.44		
КР-152	311	7.22	5.2	6.0	30.2	24.0	8.6	6.0	0.02	2.70	3.01		
Целинный солонцовый комплекс между оз. Сиваш и рисовой системой, 2018 г.													
КР-301	282	7.17	5.4	116.9	54.2	41	61.0	74.9	0.02	10.36	14.01		

№ скв.	УТВ, см	pH	HCO ₃	Cl	SO ₄	Ca	Mg	Na	K	S*, г/л	EC ₂₅ , дСМ/м
Трансекта 2, рисовые чеки, 2018 г.											
KP-302	331	7.19	5.8	8.3	29.4	24.8	11.0	7.8	0.02	2.87	3.33
KP-303	336	7.30	5.8	7.6	37.5	23.3	17.2	10.4	0.02	3.33	3.75
KP-307	393	7.19	6.1	28.7	59.0	25.2	28.6	40.0	0.02	5.99	7.27
KP-308	383	7.36	6.2	18.6	60.4	23.3	26.2	35.6	0.02	5.54	6.44
KP-312	425	7.43	7.9	17.3	50.2	18.6	24.3	32.6	0.02	4.92	5.88
KP-315	425	7.32	7.8	21.1	51.0	22.4	25.7	31.8	0.02	5.16	6.40
KP-317	402	7.24	5.4	61.7	55.1	32.4	43.8	46.1	0.02	7.40	9.57
KP-318	402	7.30	6.6	45.6	54.1	29.5	37.2	39.5	0.02	6.56	8.06
KP-322	423	7.44	8.8	20.5	39.5	9.3	21.3	38.1	0.02	4.48	5.98
KP-323	433	7.43	7.7	6.6	43.0	16.4	25.5	15.3	0.02	3.75	4.18
Трансекта 3, рисовые чеки, 2017 г.											
KP-153	195	6.93	4.7	86.2	27.2	69.1	28.9	19.7	0.02	6.84	9.76
KP-154	251	7.30	5.2	11.0	53.8	24.2	21.5	25.3	0.02	4.62	5.12
KP-155	363	7.22	6.1	55.0	40.0	31.7	30.1	35.3	0.04	6.05	7.84
Трансекта 4, рисовые чеки, 2017 г.											
KP-156	305	7.04	4.7	27.0	29.2	36.0	10.8	12.5	0.03	3.78	4.93

Примечание. S* – сумма ионов, г/л.

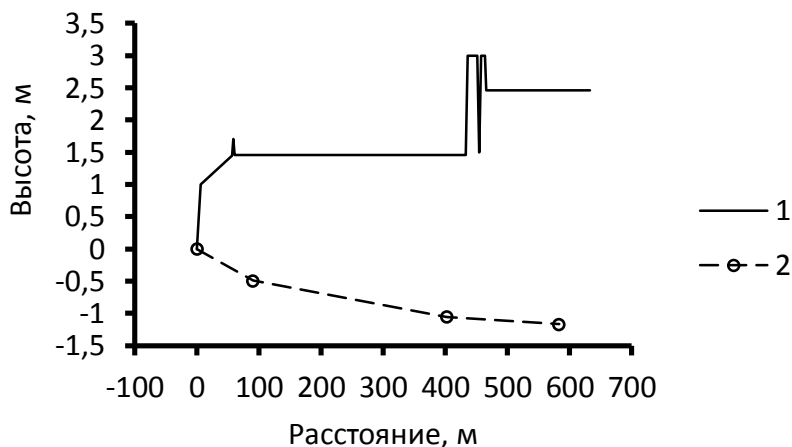


Рис. 3. Изменение высоты грунтовых вод на трансекте 3 в июле 2017 г. Обозначения: 1 – дневная поверхность, 2 – уровень грунтовых вод. Отрицательные значения расстояния соответствуют водам оз. Сиваш.

Fig. 3. The altitude of ground water table at the transect 3 in July 2017. Legend: 1 – surface; 2 – ground water table. Negative values of distance correspond to sea water in Sivash.

Три других трансекты были заложены в береговой полосе на чеках, организованных на 1-й и 2-й террасах Сиваша.

Трансекта 3, расположенная к востоку от с. Пшеничное, пересекала узкую 1-ю террасу, имеющую высоту около 1.5 м, и закончилась на 2-й террасе на высоте 2.5 м над уровнем воды в Сиваше (рис. 3). УГВ на трансекте 3 быстро понижался по мере удаления от берега, залегая на глубине 1.9–2.5 м на чеке первой террасы и 3.6 м на чеке второй террасы, демонстрируя образование депрессионной воронки, углубляющейся по мере удаления от берега на расстояние около 700 м и более. В результате в 2017 г. на четвертом году после прекращения орошения на этом участке возник гидравлический напор солевых вод Сиваша в сторону прибрежных грунтовых вод. Его величина возрастала от 0.5 м на расстоянии около 100 м от берега до 1.2 м на расстоянии 600 м.

Грунтовая вода под первой террасой вблизи от берега (скв. КР-153) имела наибольшую минерализацию (9.8 г/л) и сульфатно-

хлоридный натриево-магниево-кальциевый состав (табл. 1). По мере удаления от берега общая минерализация уменьшалась до 5.1–7.8 г/л, а в ионном составе уменьшалась доля хлоридов и возрастала доля сульфатов и натрия.

На трансекте 4 недалеко от с. Стефановка нижние чеки расположены на высоте 2.3 м на второй террасе. Глубина грунтовых вод составляла 305 см, здесь тоже сформировалась депрессионная воронка грунтовых вод с гидравлическим напором 0.77 м на расстоянии 170 м от берега Сиваша.

Динамические площадки были выбраны на трансекте 2 юго-восточнее с. Сливянка (рис. 4). Здесь все чеки находятся на второй террасе. Высота их дневной поверхности изменяется в узких пределах от 2.4 до 2.8 м над уровнем Сиваша. В 2017 г. депрессионная воронка грунтовых вод распространялась по меньшей мере более чем на 1 км от берега (далее не было измерений) с гидравлическим напором до 0.88 м. В 2018 г. воронка углубилась. Ее простираение вглубь террасы превысило 2 км, а гидравлический напор увеличился до 1.6 м.

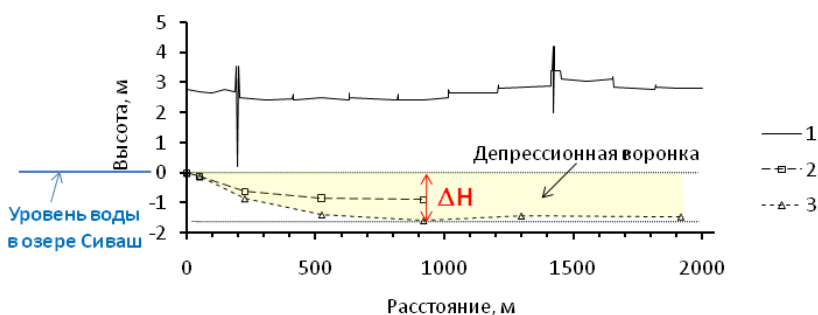


Рис. 4. Изменение высоты грунтовых вод на трансекте 2 в июле 2017 и 2018 гг. Обозначения: 1 – дневная поверхность (чеки, валики, подающий и отводящий каналы в насыпях); 2 – УГВ 2017 г.; 3 – УГВ 2018 г.; ΔH – гидравлический напор морских вод над грунтовыми водами.

Fig. 4. The altitude of ground water table at the transect 2 in July 2017 and 2018. Legend: 1 – surface (ponds, rolls, channels); 2 – ground water table in 2017; 3 – ground water table in 2018; ΔH – the bottom water drive – height between sea water and ground water levels.

Наиболее минерализованные (10.4 г/л) сульфатно-хлоридные магниевые-натриевые грунтовые воды отмечены в узкой полосе (около 180 м) целинного солонцового комплекса между береговым обрывом к оз. Сиваш и сбросным каналом, отгораживающим чеки рисовой системы (табл. 1, скв. КР-301). Под рисовыми чеками минерализация грунтовых вод варьировала в 2017 и 2018 гг. в диапазоне от 1.9 до 7.4 г/л с тенденцией увеличения минерализации по мере увеличения глубины грунтовой воды на фоне пространственной мозаичности ее распределения. По анионному составу грунтовые воды преимущественно хлоридно-сульфатные. Исключением является чек 4 (скв. КР-150 и КР-317), в котором концентрация хлоридов выше, чем концентрация сульфатов, на фоне наиболее высоких значений минерализации грунтовой воды (6.9 и 7.4 г/л). В катионном составе вод с минерализацией более 4 г/л доминирует натрий (32–46 ммоль/л) при сравнительно высоком уровне концентраций магния (21–44 ммоль(экв)/л) и кальция (9–32 ммоль(экв)/л).

Таким образом, на всех участках в береговой полосе Сиваша шириной до 2–3 км на 4-й и 5-й годы после прекращения орошения рисовой системы Нижнегорского р-на сформировалась депрессионная воронка грунтовых вод с гидравлическим напором до 0.8–1.2 м в 2017 г. и до 1.6 м в 2018 г. На расстоянии 4 км и более от берега на чеках, расположенных на водораздельной поверхности между долиной реки и балкой, уровень грунтовых вод сохранился на положительных высотных отметках, залегая глубже критического уровня.

Оценка пространственного варьирования активности ионов в исследуемых почвах и грунтах бывшей рисовой системы на Присивашской низменности в Нижнегорском р-не Республики Крым представлена в таблице 2.

Общая тенденция для трех ионов – увеличение минимальных, максимальных значений s_i и s_{cp} по мере увеличения среднего значения активности иона в слое. Исключением является только диапазон активности хлорид-ионов 2–3 ммоль/л, в котором эта тенденция нарушается.

Таблица 2. Усредненные оценки среднеквадратического отклонения (s_{cp}) в зависимости от диапазона средних значений активности ионов в слое

Table 2. Mean estimation of standard deviation (s_{cp}) for different ranges of mean values of ion activity in the layer

Ион	Диапазон значений активности иона, ммоль/л	Ориентировочное содержание иона в жидкой фазе пасты, смоль(экв)/кг	Разброс значений s_b , ммоль/л	s_{cp}	Число степеней свободы	Коэффициент вариации, %
Na ⁺	0-2.00	0-0.11	0.05-0.68	0.31	204	31
	2.01-3.00	0.11-0.16	0.17-0.90	0.56	160	22
	3.01-4.00	0.16-0.21	0.47-1.62	1.07	168	31
	4.01-6.00	0.21-0.33	0.57-2.38	1.43	104	29
	6.01-8.00	0.33-0.44	0.94-4.19	2.52	76	36
	8.01-22.00	0.44-1.27	1.00-6.09	3.12	332	21
Cl ⁻	0-1.00	0-0.05	0.07-0.97	0.36	216	72
	1.01-2.00	0.05-0.11	0.19-2.52	0.84	212	56
	2.01-3.00	0.11-0.16	0.45-2.09	0.55	620	22
	3.01-4.00	0.16-0.21	0.28-2.99	1.70	176	49
	4.01-8.00	0.21-0.44	0.87-5.39	2.46	112	41
	8.01-20.00	0.44-1.15	0.87-8.93	4.66	164	33
Ca ²⁺	0-1.00	0-0.06	0.19-0.81	0.41	56	82
	1.01-2.00	0.06-0.12	0.23-1.50	0.66	312	44
	2.01-5.00	0.12-0.34	0.43-4.74	1.84	632	52
	5.01-14.00	0.34-1.14	5.58-7.55	6.81	24	72

Иными словами, чем больше среднее значение активности иона в слое, тем более широкие пределы пространственного варьирования абсолютных значений активности иона в данном слое на участке.

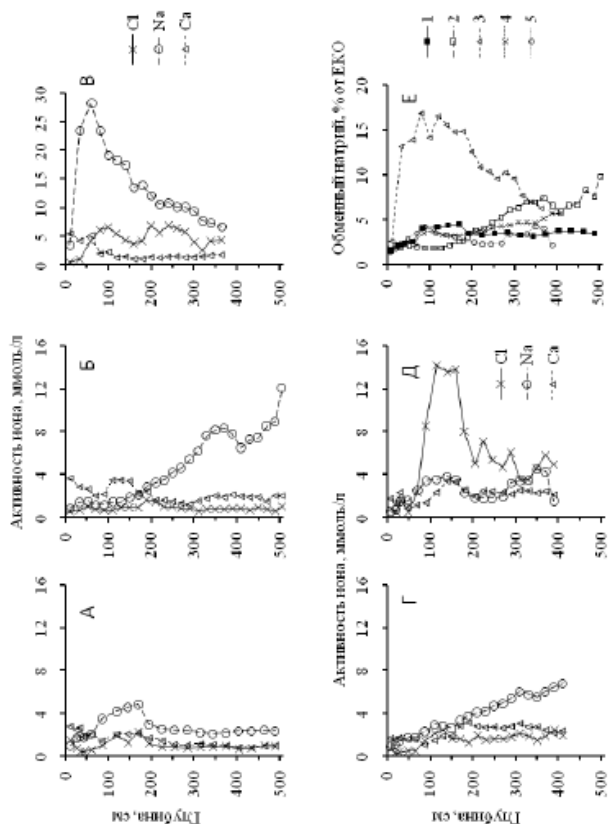
Сравнение s_{cp} для разных ионов провели по критерию F (Дмитриев, 1995). В сопоставимых диапазонах средних значений активности иона в слое величины s_{cp} для разных ионов, как правило, образуют ряд $Na^+ \leq Cl^- < Ca^{2+}$. Это означает, что активность Ca^{2+} варьирует в пространстве сильнее всего среди трех ионов, а активность Na^+ – меньше всего. Это проявляется и в относительных величинах – коэффициентах вариации. Для ионов натрия коэффициент вариации в слое самый низкий, изменяющийся от 21 до 36%, и практически не зависит от средней активности иона в слое. Для ионов кальция этот показатель самый высокий. Он изменяется от 44 до 82%. Коэффициент вариации хлорид-ионов имеет промежуточные значения от 22 до 72%.

Солевое состояние почв и грунтов

В 2017 г., на четвертый год после прекращения орошения рисовой системы, на чеках, расположенных на расстоянии 4–12 км от берега Сиваша (трансекта 1) во многих точках опробования почвы и грунты зоны аэрации были незасоленными. Активность ионов натрия и хлоридов изменялась в интервале 1–12 ммоль/л (рис. 5 А, Б, Г, Д). Исключением была скважина КР-145, представленная солонцом солончаковым слабозасоленным (рис. 5 В). В ней активность Na^+ на глубине от 20 до 150 см составляла 17–27 ммоль/л с максимумом на глубине 40–80 см в подсолонцовом карбонатном горизонте. Указанный диапазон активности Na^+ свидетельствует о содержании 0.9–1.5 смоль(экв)/кг натрия в жидкой фазе почвы при влажности 50%, близкой к полной влагоемкости, что соответствует слабой степени засоления. Уровень активности Ca^{2+} (2–5 ммоль/л) и Cl^- (3–7 ммоль/л) в сочетании с указанным диапазоном активности Na^+ позволяет утверждать, что горизонты имеют сульфатное натриевое засоление. Присутствие натриевых солей обеспечило накопление обменного натрия в указанных горизонтах до 12–17% от емкости катионного обмена (ЕКО) (рис. 5 Е).

Рис. 5. Профильное распределение активности хлоридов (Cl), ионов натрия (Na), кальция (Ca), измеренных в пастах с влажностью 50% (мас.), и доли обменного натрия (E) в почвах и грунтах транsekты 1: А – скв. КР-141; Б – скв. КР-142; В – скв. КР-145; Г – скв. КР-146; Д – скв. КР-148; Е – обменный натрий: 1 – скв. КР-141; 2 – скв. КР-142; 3 – скв. КР-145; 4 – скв. КР-146; 5 – скв. КР-148.

Fig. 5. Profile distribution of chloride (Cl), sodium (Na) and calcium (Ca) ion activity measured in pastes with moisture 50% (w) and sodium exchange percentage (E) in soils and grounds of transect 1: A – bore KR-141; B – KR-142; В – KR-145; Г – KR-146; Д – KR-148; E – exchangeable sodium: 1 – KR-141; 2 – KR-142; 3 – KR-145; 4 – KR-146; 5 – KR-148.



Обратим внимание на распределение активности ионов по профилю скв. КР-148 (рис. 5 Д), расположенной на самой низкой гипсометрической отметке в пределах трансекты 1 и ближе всего к берегу Сиваша. В ней активность Na^+ не превышает 4–6 ммоль/л по всему профилю до грунтовой воды, тогда как активность хлоридов имеет максимум 12–14 ммоль/л на глубине 100–160 см. По формальным критериям почва и грунты зоны аэрации считаются незасоленными. Вместе с тем превышение активности хлоридов над активностью Na^+ в 2.5–3 раза означает, что в растворе хлориды компенсируются ионами кальция и/или магния. Измеренные значения активности Ca^{2+} 2–4 ммоль/л в горизонте с максимумом хлоридов позволяют утверждать, что компенсация связана преимущественно ионами кальция. Ориентировочная концентрация хлорида магния не превышает 1–2 ммоль/л. Наличие хлоридов кальция и магния в почвенных растворах еще незасоленных горизонтов на глубине верхней границы капиллярной каймы свидетельствует о признаках начала вторичного засоления.

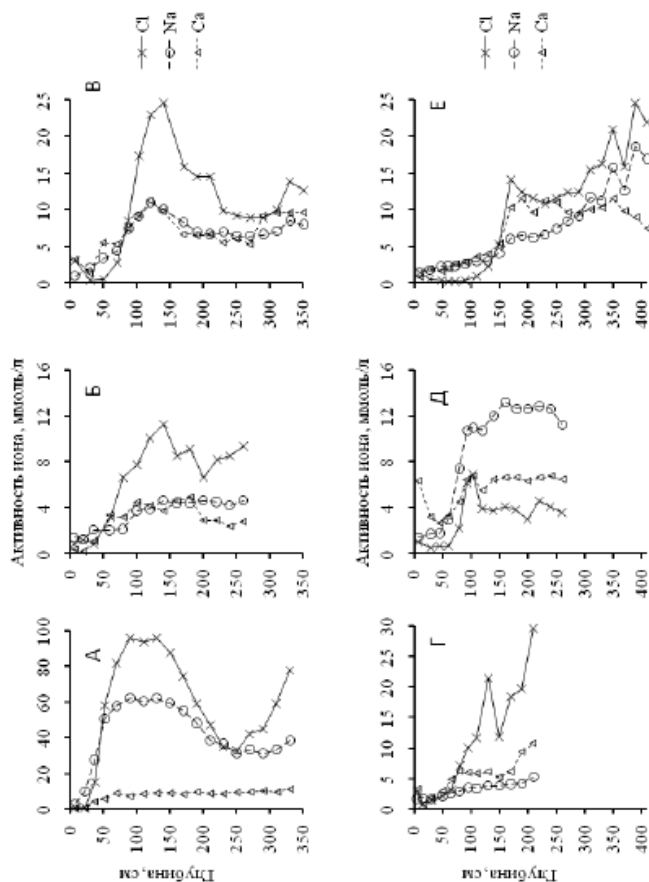
Их возникновение обусловлено капиллярным подъемом хлоридно-сульфатных натриевых растворов через рассоленную толщу грунтов зоны аэрации, насыщенных обменными кальцием и магнием. Доля обменного натрия пока незначительная (менее 5% от ЕКО). По мере движения солевых натриевых растворов через незасоленную толщу происходят реакции обмена катионов раствора и почвенно-поглощающего комплекса. Натрий раствора замещает обменные кальций и магний, что приводит к постепенному накоплению обменного натрия в грунтах зоны аэрации и увеличению концентрации ионов кальция и магния в движущихся вверх растворах. При достижении произведения растворимости гипса в растворе, равного произведению активностей ионов кальция и сульфат-ионов, происходит осаждение гипса с образованием его скоплений в виде мелких кристаллов, фиксируемых морфологически при бурении.

В береговой полосе Сиваша ситуация сложнее (рис. 6).

Начнем с сохранившегося участка целинного солонцового комплекса на узкой полосе между береговым обрывом второй террасы и рисовыми чеками (рис. 1, трансекта 2, скв. КР-301).

Рис. 6. Профильное распределение активности хлоридов (Cl), ионов натрия (Na), кальция (Ca), измеренных в пастах с влажностью 50% (мас.), в почвах и грунтах береговой полосы Сиваша: А – скв. КР-301 (целинный солонец между берегом Сиваша и рисовыми чеками); Б – скв. КР-149; В – скв. КР-156; Г – скв. КР-153; Д – скв. КР-154; Е – скв. КР-155.

Fig. 6. Profile distribution of chloride (Cl), sodium (Na) and calcium (Ca) ion activity measured in pastes with moisture 50% (w) in soils and grounds of Sivash sea-shore: А – bore КР-301 (virgin solonetz between seaside and rice ponds); Б – КР-149; В – КР-156; Г – КР-153; Д – КР-154; Е – КР-155.



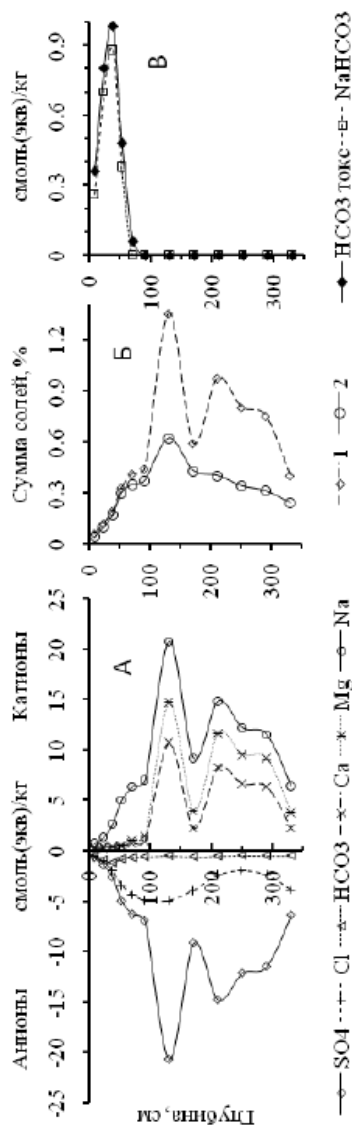


Рис. 7. Распределение солей по профилю целинного солонча на второй террасе Сиваша (скв. КР-301, данные водной вытяжки 1 : 5): А – двусторонний солевой график; Б – содержание общей суммы (1) и суммы токсичных солей (2); В – содержание общей токсичной щелочности (HCO₃ токс.) и токсической щелочности, связанной с натрием (NaHCO₃).

Fig. 7. Profile distribution of salts in virgin solonetz at the second terrace of Sivash (bore КР-301, data of water extract 1 : 5): А – two-side salinity diagram; Б – total dissolved salts (1) and sum of toxic salts (2); В – total toxic alkalinity (HCO₃ toxic) and sodium toxic alkalinity (NaHCO₃).

Целинный солонец лугово-каштановый средний солончаковатый тяжелосуглинистый на лёссовидных глинах (Salic Gypsic Solonetz (Albic, Loamic, Columnic, Cutanic, Differentic, Ochric)) имеет типичное строение почвенного профиля: SEL – BSN – BCАnc,q – BCАnc,cs,q – BCca,cs,q – Cca,cs,q. Содержание обменного натрия в солонцовом горизонте составляет 15–19% от ЕКО. Распределение солей по профилю имеет срединно-аккумулятивный вид с максимумом легкорастворимых солей на глубине 45–200 см как по данным активностей ионов в пастах с влажностью 50% (рис. 6 А), так и по данным водной вытяжки 1 : 5 (рис. 7).

Обратим внимание, что два метода оценки засоленности почвы дают сходную информацию об общем характере распределения солей по профилю почвы и грунтов зоны аэрации, но различающуюся информацию о химизме солей. Последнее обусловлено разной влажностью (50 и 500%, соответственно), при которой оценивают содержание ионов в жидкой фазе, влияющей на ионно-солевые равновесия между жидкой, твердой фазами и ионообменной частью почвенно-поглощающего комплекса. По данным традиционной водной вытяжки 1 : 5, в надсолонцовом (SEL), солонцовом (BSN) и верхней части аккумулятивно-карбонатного (BCA) горизонтов до глубины около 60 см имеется токсическая щелочность 0.35–1.0 смоль(экв)/кг (рис. 7 В) – типичное явление для солонцов. В горизонтах солевого максимума химизм засоления сульфатно-хлоридный магниевый-натриевый с гипсом (рис. 7 А, Б). Существенная разница между общей суммой солей и суммой токсичных солей обусловлена растворением гипса из твердой фазы в водной вытяжке (рис. 7 Б). По данным измерения активностей ионов в пастах с влажностью 50% картина иная. В горизонтах солевого максимума активность хлоридов в 1.5 раза выше активности Na^+ (рис. 6 А). Это означает, что в почвенных растворах помимо хлоридов натрия содержатся хлориды кальция и магния. Наличие последних является признаком развития вторичного засоления. Водная вытяжка 1 : 5 этот факт камуфлирует за счет дополнительного растворения гипса из твердой фазы и ионообменных реакций, в результате которых обменный натрий вытесняется в раствор и рассматривается как хлорид и сульфат натрия.

В трех скважинах, заложенных сравнительно близко от берега (КР-149, КР-153, КР-156) на разных участках рисовой системы (трансекты 2, 3 и 4), также характерно превышение активности хлоридов над активностью Na^+ (рис. 6 Б, В, Г). Сква. КР-149 в 2017 г. была еще полностью незасоленной до грунтовых вод, минерализация которых не превышала 2 г/л. В двух других скважинах горизонты с максимумом активности хлоридов уже имели слабую степень засоления. Во всех трех случаях глубина расположения максимума хлоридов приблизительно одинаковая – 120–160 см, что соответствует верхней части капиллярной каймы. На трансекте 3 признаки начальной стадии вторичного засоления проявляются не только на первой, но и на второй террасе в зоне аэрации на глубине 150–420 см (рис. 6 Е).

Как отмечалось выше, на рисовых чеках, удаляющихся от берега Сиваша (трансекта 2), были выбраны динамические площадки. В 2017–2018 гг. на них установлена депрессионная воронка грунтовых вод, которая углубилась и расширилась в 2018 г. по сравнению с 2017 г. (рис. 4). Понижение УГВ сопровождалось некоторым накоплением легкорастворимых солей в грунтах зоны аэрации (рис. 8).

Наиболее ярко этот процесс заметен на ближайшем к берегу чеке 1. Почвы и грунты этого чека отличаются отсутствием засоления по формальным признакам по всему профилю до грунтовой воды (рис. 8 А, Б). Активности Na^+ и Cl^- не превышают 4–6 ммоль/л. Вместе с тем в грунтах зоны аэрации на глубине 120–250 см, капиллярно увлажняемых от грунтовых вод, в 2018 г. отмечались более высокие значения активности Na^+ и Cl^- по сравнению с 2017 г. Увеличение активности пока небольшое 0.8–1.2 ммоль/л, что в пересчете на массу грунта составляет 0.04–0.06 смоль(экв)/кг, и формально грунт остался незасоленным. Тем не менее это явление сопровождалось формированием скоплений мелкокристаллического гипса в трех из пяти скважин в 2018 г. при полном их отсутствии в 2017 г. по данным морфологического описания образцов при бурении.

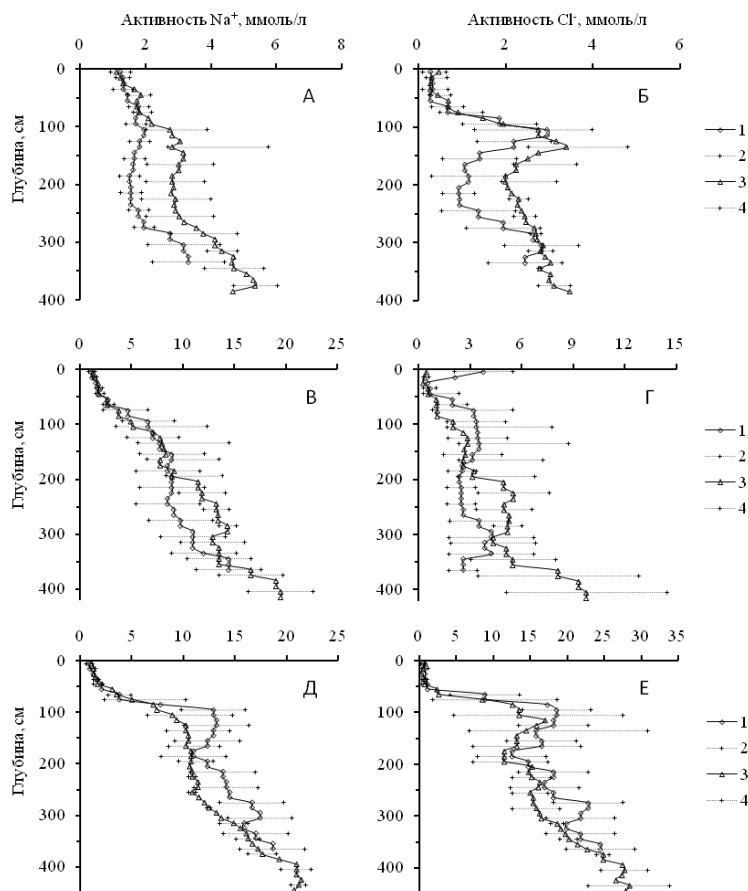


Рис. 8. Изменение профильного распределения активности ионов натрия (А, В, Д) и хлорид-ионов (Б, Г, Е) в 2017–2018 гг. на динамических площадках трансекты 2: А, Б – чек 1, 220 м от берега Сиваша; В, Г – чек 2, 525 м от берега Сиваша; Д, Е – чек 4, 920 м от берега Сиваша; Обозначения: 1, 3 – медиана, 2, 4 – пределы варьирования в слое; 1, 2 – июль 2017 г.; 3, 4 – июль 2018 г.

Fig. 8. Change of profile distribution of soduim (A, B, Д) and chloride (Б, Г, Е) ion activity at the transect 2 dynamic plots in 2017–2018: А, Б – rice pond 1, 220 m from Sivash seaside; В, Г – rice pond 2, 525 m from Sivash seaside; Д, Е – rice pond 4, 920 m from Sivash seaside; Legend: 1, 3 – median; 2, 4 – variation limits in a layer; 1, 2 – July 2017; 3, 4 – July 2018.

На чеке 2 динамическая площадка удалена от берега Сиваша на 510–540 м. Здесь в 2017 г. почвы и грунты являлись незасоленными до глубины 350 см. Понижение УГВ в 2018 г. до 400–402 см вскрыло более глубокий слабозасоленный горизонт и сопровождалось тенденцией увеличения активности Na^+ на 3–5 ммоль/л и Cl^- на 2–3 ммоль/л в слое 220–300 см (рис. 8 В, Г).

На чеке 4, удаленном от берега на 900–940 м, ситуация заметно отличалась. Незасоленными в 2017 и 2018 гг. были только почвенные горизонты от дневной поверхности до глубины 90–100 см (рис. 8 Д, Е). Глубже грунты зоны аэрации имели слабое засоление до грунтовой воды, в которой минерализация варьировала в интервале 6.6–7.4 г/л (табл. 1, скв. КР-150, КР-317, КР-318). В засоленных горизонтах активность Cl^- (15–30 ммоль/л) была выше активности Na^+ (10–22 ммоль/л), что означает присутствие хлоридов кальция и магния – признаков вторичного засоления. По морфологическому описанию в четырех из пяти скважин на этой динамической площадке отмечались скопления мелкокристаллического гипса. Учитывая довольно широкий интервал варьирования активностей, отметим, что солевое состояние почв и грунтов этой площадки в 2017 и 2018 гг. было одинаковым.

По данным водной вытяжки 1 : 5, в незасоленных горизонтах средней части почвенного профиля отмечается высокая токсическая щелочность, связанная с натрием (рис. 9). Хотя по измерениям активности ионов натрия и кальция в пастах, доля обменного натрия не превышает 5% от ЕКО до глубины 200 см. В слабозасоленных горизонтах зоны аэрации химизм солей сульфатный натриево-магниевый с гипсом. Для этой скважины также невозможно по данным водной вытяжки 1 : 5 дать заключение о признаках вторичного засоления за счет трансформации ионно-солевого состава жидкой фазы вытяжки в условиях растворения гипса и ионообменных реакций.

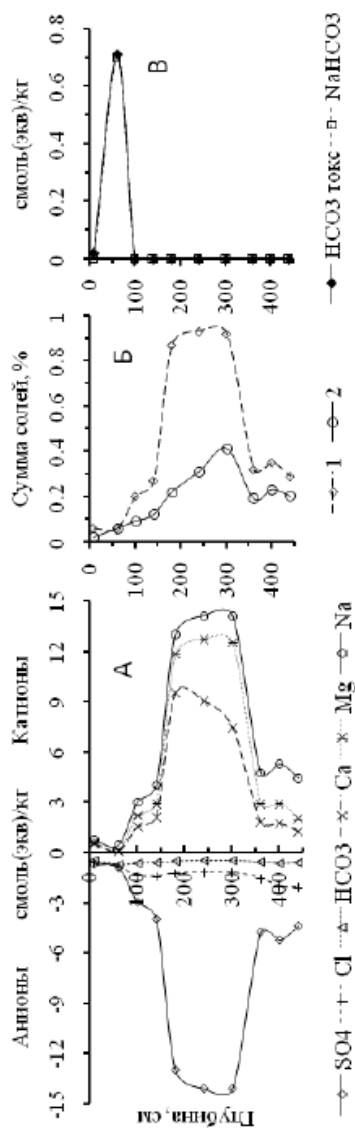


Рис. 9. Распределение солей по профилю агрозоны текстуально-дифференцированного аккумулятивно-карбонатного окисленно-глеватого глубоководного чек 4 на второй террасе (скв. КР-317, данные водной вытяжки 1 : 5): А – двусторонний солевой график; Б – содержание общей суммы (1) и суммы токсичных солей (2); В – содержание общей токсичности (HCO_3 токс.) и токсической щелочности, связанной с натрием (NaHCO_3).

Fig. 9. Profile distribution of salts in agrozone textural-differentiated accumulative-carbonate oxic-gleyic deeply saline, the rice pond 4 at the second terrace (bore КР-317, data of water extract 1 : 5): А – two-side salinity diagram; Б – total dissolved salts (1) and sum of toxic salts (2); В – total toxic alkalinity (HCO_3 toxic) and sodium toxic alkalinity (NaHCO_3).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Почвы лугово-каштановых солонцовых комплексов Присивашской низменности в Нижнегорском р-не республики Крым, преобразованные на рисовых системах в агроземы аккумулятивно-карбонатные окисленно-глееватые с остаточными текстурным или ксерометаморфическим горизонтами, на значительной площади рисовой системы были рассолены до 3–3.5 м в течение полувекового орошения затоплением чеков.

2. В 2017 г., на четвертый год после прекращения орошения, во-первых, более 90% точек опробования были представлены незасоленными почвами до глубины 1.5–2 м, во-вторых, в 80% случаев – незасоленными грунтами зоны аэрации, в-третьих, грунтовые воды вскрывались преимущественно на глубине 3.3–5.3 м.

3. В береговой полосе Сиваша шириной до 1–2.5 км в 2017 г. и 2018 г. под бывшими рисовыми чеками образовалась депрессионная воронка грунтовых вод с гидравлическим напором морских вод до 0.8–1.6 м. На расстоянии 4 км и более от берега на чеках, расположенных на водораздельной поверхности между долиной реки и балкой, уровень грунтовых вод сохранился на положительных высотных отметках, залегая глубже критического уровня.

4. Углубление и расширение депрессионной воронки грунтовых вод в 2018 г. по сравнению с 2017 г. сопровождалось образованием скоплений мелкокристаллического гипса и небольшим накоплением натрия и хлоридов в поровых растворах грунтов зоны аэрации на глубине 150–300 см.

5. Во многих точках опробования на рисовых чеках в береговой полосе исследуемой системы на четвертый и пятый годы после прекращения орошения отмечались признаки вторичного засоления – появление в поровых растворах хлоридов кальция и магния, присутствие которых фиксируется по более высокой активности хлорид-ионов по сравнению с активностью ионов натрия, измеренных в пастах с влажностью 50% (мас.). Данные водной вытяжки 1 : 5 не позволяют выявлять эти признаки за счет растворения гипса из твердой фазы и трансформации ионного состава солей в жидкой фазе при производстве вытяжки.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Балюк С.А., Ладних В.Я., Гаврилович Н.Ю., Носоненко А.О., Захарова М.А., Мошник Л.І., Лісняк А.А., Дрозд О.М. Сучасна еволюція зрошуваних ґрунтів: екологічні проблеми та шляхи їх вирішення // Вісник аграрної науки. 2006. № 6. С. 60–65.
2. Гусев П.Г., Титков А.А. Солевой режим пойменных почв низовий р. Салгира под культурой затопляемого риса // Мелиорация и водное хозяйство. 1973. Вып. 24. С. 41–48.
3. Дзенс-Литовская Н.Н. Почвы и растительность степного Крыма. Л.: Наука, 1970. 157 с.
4. Дмитриев Е.А. Математическая статистика в почвоведении: Учебник. М.: Изд-во МГУ, 1995. 320 с.
5. Драган Н.А. Почвенные ресурсы Крыма. Симферополь: ДОЛЯ, 2004. 208 с.
6. Кизяков Ю.Е. Физико-химические свойства солонцов Северного Прикумья, их вариабельность и изменение при длительном последствии различных способов мелиорации // Почвоведение. 1977. № 12. С. 20–30.
7. Кизяков Ю.Е., Титков А.А., Кольцов А.В., Кольцов С.Ф., Рябышко А.В., Тронза Г.Е. Почвенно-генетические и мелиоративные аспекты экологических проблем рисосеяния в Крыму // Вісник Харківського ДАУ ім. В.В. Докучаєва. 2001. № 3. С. 127–133.
8. Кизяков Ю.Е., Титков А.А., Тронза Г.Е. Солевой режим солонцов луговых Причерноморья в рисовом севообороте // Научные труды Крымского ГАУ: Сельскохозяйственные науки. Симферополь, 2002. Вып. 78. С. 86–89.
9. Кизяков Ю.Е., Тронза Г.Е. Солевые профили солонцов луговых Крымского Причерноморья и их трансформация в рисовых севооборотах // Вісник Харківського НАУ ім. В.В. Докучаєва. 2002. № 1. С. 144–149.
10. Кизяков Ю.Е., Тронза Г.Е. Состав поглощенных катионов в солонцах луговых Крымского Причерноморья // Вісник Харківського НАУ ім. В.В. Докучаєва. 2004. № 1. С. 136–141.
11. Кизяков Ю.Е. Солонці та солонцюваті ґрунти // Ґрунтознавство. Київ: Вища освіта, 2005. С. 525–535.
12. Классификация и диагностика почв России. Смоленск: Ойкумена, 2004. 342 с.
13. Клепинин Н.Н. Почвы Крыма. Симферополь: Гос. Изд-во Крым. АССР. 1935. 118 с.

14. *Лактионов Б.И., Карпович А.В.* Мелиоративная роль культуры затопляемого риса на солонцах юга Украины // Мелиорация солонцов: Труды Почвенного института им. В.В. Докучаева. М., 1967. С. 251–259.
15. *Лактионов Б.И., Малеев В.А.* Влияние длительного орошения на свойства почв рисовых полей юга Украины и пути повышения их плодородия // Труды III съезда почвоведов и агрохимиков Украинской ССР. “Мелиорация и охрана почв”. Харьков: Общество почвоведов, 1990. С. 61–63.
16. Наукові основи охорони та раціонального використання зрошуваних земель України / за наук. ред. С.А. Балюка, М.І. Ромащенко, В.А. Сташука. Киев: Аграрна наука, 2009. 620 с.
17. Национальный доклад “Глобальный климат и почвенный покров России: оценка рисков и эколого-экономических последствий деградации земель. Адаптивные системы и технологии рационального природопользования (сельское и лесное хозяйство)” / под ред. А.И. Бедрицкого. М.: Почвенный институт им. В.В. Докучаева, 2018. 357 с.
18. *Новикова А.В.* О мелиорации солонцов Крыма // Вопросы мелиорации солонцов. Москва: изд. АН СССР, 1958. С. 176–192.
19. Полевой определитель почв России. М.: Почвенный институт им. В.В. Докучаева, 2008. 182 с.
20. *Половицкий И.Я., Гусев П.Г.* Почвы Крыма и повышение их плодородия: Справочное изд. Симферополь: Таврия, 1987. 152 с.
21. Руководство по лабораторным методам исследования ионно-солевого состава нейтральных и щелочных минеральных почв / сост. Н.Б. Хитров, А.А. Понизовский. М.: Почвенный институт им. В.В. Докучаева, 1990. 236 с.
22. *Севастьянов Н.Ф.* Почвы Северо-Крымской низменности и их сельскохозяйственное использование // Труды Украинского научно-исследовательского института почвоведения. Т. IV. Проблемы плодородия почв Украинской ССР. Харьков, 1959. С. 201–241.
23. *Супряга И.К.* Рассоление почво-грунтов и опреснение грунтовых вод при культуре риса в Крыму / Мелиорация и водное хозяйство: Респ. межвед. темат. науч.-техн. сб. Киев: Урожай, 1971. Вып. 18. С. 14–18.
24. *Титков А.А.* Оросительные мелиорации южных степей Украины. Учебное пособие. Симферополь: ИТ “Ариал”, 2011. 812 с.
25. *Титков А.А., Гусев П.Г.* Изменение почвенно-мелиоративных условий Восточного Присивашья под рисом и другими культурами рисового севооборота // Повышение эффективности орошаемого земледелия: Сб. науч. тр. Одесса, 1975. С. 49–53.

26. *Титков А.А., Гусев П.Г.* Состав и свойства почв рисовых севооборотов в Крымском Присивашье // Почвоведение. 1988. № 12. С. 104–110.
27. *Титков А.А., Кольцов А.В.* Влияние орошения затоплением на мелиоративные условия и почвенный покров Присивашья. Симферополь, 1995. 167 с.
28. *Тронза Г.Е.* Солевой режим солонцов луговых Крымского Причерноморья, освоенных под культурой риса // Труды Крымского ГАТУ: Сельскохозяйственные науки. Симферополь, 2002. Вып. 91. С. 242–247.
29. *Хитров Н.Б., Роговнева Л.В., Добрицкая Е.Ю., Дунаева Е.А., Кириленко Н.Г., Попович В.Ф.* Солевое состояние рисовой системы севера Крыма после прекращения подачи воды // Таврический вестник аграрной науки. 2016. № 3 (7). С. 140–154.
30. *Чижикова Н.П., Хитров Н.Б., Варламов Е.Б., Чурилин Н.А.* Распределение минералов по профилю солонца Присивашья // Таврический вестник аграрной науки. 2017. № 2(10). С. 103–116.
31. *Янчковский Ю.Ф.* Солевой режим на рисовых полях // Гидротехника и мелиорация. 1973. № 9. С. 63–67.
32. IUSS Working Group WRB. 2015. World Reference Base for Soil Resources 2014, update 2015. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. World Soil Resources Reports No. 106. FAO, Rome, 192 p.
33. *Richards L.A. (Ed.)* US Salinity Laboratory Staff. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. USDA Agr. Handbook No. 60. Washington, 1954, 160 p.

REFERENCES

1. Balyuk S.A., Ladnikh V.Ya., Gavrilovich N.Yu., Nosonenko A.O., Zakharova M.A., Moshnik L.I., Drozd O.M., Suchasna evolutsiya zroshuvanikh gruntiv: ekologichni problemi ta shlyakhi ikh vyrishennya (Modern evolution of irrigated soils: ecological problems and ways to solve them), *Visnik agarnoy nauki*, Kiev, 2006, No. 6, pp. 60–65.
2. Gusev P.G., Titkov A.A., Solevoy rezhim poymennykh nizoviy r. Salgira pod kulturoy zatoplyаемого риса (Salt regime of floodplain soils of the lower reaches of the Salgir River under the culture of flooded rice), *Melioratsiya i vodnoe khozyaystvo*, Kiev, 1973, Iss. 24, pp. 41–48.
3. Dzents-Litovskaya N.N., *Pochvy i rastitelnost stepnogo Krima* (Soils and vegetation of the steppe Crimea), Leningrad: Hauka, 1970, 157 p.

4. Dmitriev E.A., *Matematicheskaya statistika v pochvovedenii* (Mathematical statistics in Soil Science), Moscow: Izd-vo MGU, 1995, 320 p.
5. Dragan N.A., *Pochvennye resursy Krimea* (Soil resources of Crimea), Simferopol: DOLYA, 2004, 208 p.
6. Kizyakov Yu.E., Fiziko-khimicheskie svoystva solontsov Stvernogo Prisivashiya, ikh variabelnost i izmenenie pri dlitelnom posledeystvii razlichnykh sposobov melioratsii (Physico-chemical properties of solonetztes of Northern Prisivash, their variability and change during the long-term aftereffect of various methods of land reclamation), *Pochvovedenie*, 1977, No. 12, pp. 20–30.
7. Kizyakov Yu.E., Titkov A.A., Koltsov A.V., Koltsov S.F., Ryabyshko A.V., Tronza G.E., Pochvenno-geneticheskie i meliorativnye aspekty ekologicheskikh problem risoseyaniya v Krimu (Soil-genetic and reclamation aspects of ecological problems of rice sowing in Crimea), *Visnik Kharkivskogo DAU im. V.V. Dokuchaeva*, 2001, No. 3, pp. 127–133.
8. Kizyakov Yu.E., Titkov A.A., Tronza G.E., Solevoy rezhim solontsov lugovykh Prichernomoriya v risovom sevooborote (Salt regime of solonetztes of meadows of the Black Sea region in rice crop rotation), *Nauchnye trudy Krimskogo GAU: Selskokhozyaystvennye nauki*, Simferopol, 2002, Iss. 78, pp. 86–89.
9. Kizyakov Yu.E., Tronza G.E., Solevyie profili solontsov lugovykh Krimskogo Prichernomoriya i ikh transformatsiya v risovykh sevooborotakh (Salt profiles of meadow solonetztes of the Crimean Black Sea region and their transformation in rice crop rotations), *Visnik Kharkivskogo NAU im. V.V. Dokuchaeva*, 2002, No. 1, pp. 144–149.
10. Kizyakov Yu.E., Tronza G.E., Sostav pogloschennykh kationov v solontsakh lugovykh Krimskogo Prichernomoriya (The composition of absorbed cations in meadow solonetztes of the Crimean Black Sea region), *Visnik Kharkivskogo NAU im. V.V. Dokuchaeva*, 2004, No. 1, pp. 136–141.
11. Kizyakov Yu.E., *Solontsi ta solontsyuvati grunty*, (Salt marshes and solonetzic soils), In: *Gruntoznavstvo* (Soil Science), Kiev: Vischa osvita, 2005, pp. 525–535.
12. Klassifikatsiya i diagnostika pochv Rossii (Classification and diagnostics of soils of Russia), Smolensk: Oykumena, 2004, 342 p.
13. Klepinin N.N., *Pochvy Kryma* (Soils of Crimea), Simferopol: Gos. Izd-vo Krym, ASSR, 1935, 118 p.
14. Laktionov B.I., Karpovich A.V., Meliorativnaya rol kultury zatoplyаемого risa na solontsakh yuga Ukrainy. Melioratsiya solontsov (eclamation role of flooded rice culture on solonetztes of the south of Ukraine. Reclamation of solonetztes), *Trudy Pochvennogo instituta im. V.V. Dokuchaeva*, Moscow, 1967, pp. 251–259.

15. Laktionov B.I., Maleev V.A., Vliyanie dlitel'nogo orosheniya na svoystva pochv risovykh poley yuga Ukrainy i puti povysheniya ikh plodorodiya (Influence of long-term irrigation on the properties of soils of rice fields in the south of Ukraine and ways to increase their fertility), *Proc. 3d Congress of soil and agrochemistry scientists of Ukraine SSR "Melioratsiya i okhrana pochv"* (Land reclamation and protection), Kharkov: Obschestvo pochvedovedov, 1990, pp. 61–63.
16. *Naukovi osnovy ta ratsionalnogo vikorastannya zroshuvanykh zemel Ukrainy* (Scientific bases of protection and rational use of irrigated lands of Ukraine), S.A. Balyuk, M.I. Romaschenko, V.A. Stashuk (eds), Kiev: Agrarna nauka, 2009, 620 p.
17. *Natsionalnyy doklad "Globalnyy klimat i pochvennyy pokrov Rossii: otsenka riskov i ekologo-ekonomicheskikh posledstviy degradatsiy zemel. Adaptivnye systemy i tekhnologii ratsionalnogo prirodopolzovaniya (sel'skoe khozyaystvo)"* (National Report "Global Climate and Soil Cover of Russia: Assessing the Risks and Environmental and Economic Consequences of Land Degradation. Adaptive systems and technologies of rational nature management (agriculture and forestry)), A.I. Bedritskiy (Ed.), Moscow: V.V. Dokuchaev Soil Science Institute, 2018, 357 p.
18. Novikova A.V., *O melioratsii solontsov Kryma* (About reclamation of solonchets of Crimea. Questions of reclamation of solonchets), Moscow: izd. AN SSSR, 1958, pp. 176–192.
19. *Polevoy opredelitel pochv Rossii* (Field determinant of soils of Russia), Moscow: V.V. Dokuchaev Soil Science Institute, 2008, 182 p.
20. Polovitskiy I.Ya., Gusev P.G., *Pochvy Kryma i povyshenie ikh plodorodiya* (Soils of Crimea and increase of their fertility), Simferopol: Tavriya, 1987, 152 p.
21. *Rukovodstvo po laboratornym metodam issledovaniya ionno-solevogo sostava neytralnykh i shelochnykh mineralnykh pochv* (Guide to laboratory methods for studying the ionic-salt composition of neutral and alkaline mineral soils), N.B. Khitrov, A.A. Ponizovskiy, Moscow: V.V. Dokuchaev Soil Science Institute, 1990, 236 p.
22. Sevast'yanov N.F., *Pochvy Severo-Krymskoy nizmennosti i ikh selskokhozyaystvennoe ispolzovanie* (Soils of the North-Crimean lowland and their agricultural use), *Trudy Ukrainskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta pochvovedeniya*, Vol. IV, Problemy plodorodiya pochv Ukrainskoy SSR, Kharkov, 1959, pp. 201–241.
23. Supryaga I.K., *Rassolenie pochvo-gruntov i opresnenie gruntovykh vod pri kulture risa v Krymu* (Soils salinization and desalination of ground water in rice cultivation in the Crimea), *Melioratsiya i vodnoe khozyaystvo*, 1971, Iss. 18, pp. 14–18.

24. Titkov A.A., *Orositelnye melioratsii uyzhnykh stepey Ukrainy* (Irrigation of the southern steppes of Ukraine), Symferopol: IT "Arial", 2011, 812 p.
25. Titkov A.A., Gusev P.G., *Izmenenie pochvenno-meliorativnykh usloviy Vostochnogo Prisivashiya pod risom i drugimi kulturami risovogo sevooborota* (Changes in soil and reclamation conditions of the Eastern Prisivashya under rice and other crops of rice crop rotation), In: *Povyshenie effektivnosti oroshaemogo zemledeliya* (Increasing the efficiency of irrigated agriculture), Odessa, 1975, pp. 49–53.
26. Titkov A.A., Gusev P.G., *Sostav i svoistva pochv risovykh sevooborotov v Krymskom Prisivashie* (Composition and properties of soils of rice crop rotations in the Crimean Prisivashie), *Pochvovedenie*, 1988, No. 12, pp. 104–110.
27. Titkov A.A., Koltsov A.V., *Vliyanie orosheniya zatopleniem na meliorativnye usloviya i pochvenniy pokrov Prisivashiya* (Influence of irrigation by flooding on reclamation conditions and soil cover of Prisivash'e), Symferopol, 1995, 167 p.
28. Tronza G.E., *Solevoy rezhim solontsov lugovykh Krymskogo Prichernomoriya osvoennykh pod kulturoy risa* (Salt regime of meadow solonchaks of the Crimean Black Sea coast, developed under rice culture), *Trudy Krymskogo GATU: Selskokhozyaystvennye nauki*, Simferopol, 2002, Iss. 91, pp. 242–247.
29. Khitrov N.B., Rogovneva L.V., Dobritskaya E.Yu., Dunaeva E.A., Kirilenko N.G., Popovich V.F., *Solevoe sostoyanie risovoy sistemy severa Kryma posle prekrasheniya podachi vody* (Salt state of the rice system of the north of Crimea after the cessation of water supply), *Tavrisheskiy vestnik agrarnoy nauki*, Symferopol, 2016, No. 3 (7), pp. 140–154.
30. Chizhikova N.P., Khitrov N.B., Varlamov E.B., Churilin N.A., *Raspredelenie mineralov po profilyu solontsa Prisivashiya* (Distribution of minerals along the profile of the salt marsh of Prisivashia), *Tavrisheskiy vestnik agrarnoy nauki*, Symferopol, 2017, No. 2 (10), pp. 103–116.
31. Yanchkovskiy Yu.F., *Solevoy rezhim na risovykh polyakh* (Salt regime in rice fields), *Gidrotekhnika i melioratsiya*, 1973, No. 9, pp. 63–67.
32. IUSS Working Group WRB. 2015. World Reference Base for Soil Resources 2014, update 2015, International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. World Soil Resources Reports No. 106, FAO, Rome, 192 p.
33. Richards L.A. (Ed.), US Salinity Laboratory Staff, *Diagnosis and improvement of saline and alkali soils*, USDA Agr. Handbook No. 60, Washington, 1954, 160 p.

УДК 631.417.2

DOI: 10.19047/0136-1694-2020-102-103-124



Ссылки для цитирования:

Когут Б.М., Семенов В.М. Оценка насыщенности почвы органическим углеродом // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. 2020. Вып. 102. С. 103-124. DOI: 10.19047/0136-1694-2020-102-103-124

Cite this article as:

Kogut B.M., Semenov V.M., Estimation of soil saturation with organic carbon, Dokuchaev Soil Bulletin, 2020, V. 102, pp. 103-124, DOI: 10.19047/0136-1694-2020-102-103-124

Благодарность:

Работа проведена при поддержке ФЦП “Глобальный климат и агроландшафты России: разработка системы оценки и управления рисками деградации Русских черноземов” и гранта Российского научного фонда, проект № 17-14-01120.

Acknowledgments:

The studies were carried out with the financial support of the federal target programme “Global climate and agrolandscapes of Russia: development of the system for assessment and management of Russian chernozem degradation risks” and Russian Science Foundation, in scientific project No. 17-14-01120.

Оценка насыщенности почвы органическим углеродом

© 2020 г. Б. М. Когут^{1*}, В. М. Семенов^{2**}

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

²Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения
РАН – обособленное подразделение ФИЦ “Пушкинский научный центр
биологических исследований Российской академии наук”, Россия,
142290, Пушкино, Институтская ул., 2,
**e-mail: v.m.semenov@mail.ru.

Поступила в редакцию 09.04.2020, после доработки 20.04.2020,
принята к публикации 22.06.2020

Резюме: Сформулированы новые дефиниции понятий “секвестрация” и “депонирование” органического углерода почвами на количественной основе, учитывающие период полного оборота аккумулированного органического вещества и его распределение по почвенному профилю.

Определены уровни углеродпротекторной емкости ряда почв европейской части России согласно [Hassink \(1997\)](#) и [Six et al. \(2002\)](#), базирующиеся на информации по содержанию тонкодисперсных фракций и минералогическому составу почв. Рассчитаны степени насыщенности этих почв углеродом и их углеродсеквестрирующий потенциал по [Meyer et al. \(2017\)](#) и [Wiesmeier et al. \(2014\)](#). Установлено, что серые лесные и каштановые почвы относятся к мало насыщенным органическим углеродом, луговая слитизированная и пойменная луговая – к умеренно насыщенным, а черноземы – к насыщенным. Показано, что углеродсеквестрирующий потенциал серой лесной почвы составляет около 30 т С га⁻¹, каштановой – не превышает 25 т С га⁻¹, луговых почв равен 15–20 т С га⁻¹, а черноземов – менее 5 т С га⁻¹. Приводятся критические замечания к инициативе “4 промилле”.

Ключевые слова: почвенное органическое вещество, стабилизация углерода, почвенная секвестрация углерода, депонирование углерода, 4 промилле.

Estimation of soil saturation with organic carbon

B. M. Kogut^{1*}, V. M. Semenov^{2**}

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

²*Institute of Physicochemical and Biological Problems of Soil Science,
Russian Academy of Sciences,
2 Institutskaya Str., Pushchino, 142290, Russian Federation,
**e-mail: v.m.semenov@mail.ru.*

Received 09.04.2020, Revised 20.04.2020, Accepted 22.06.2020

Abstract: New definitions of “soil carbon sequestration” and “soil carbon deposition” on a quantitative basis taking into account the period of the complete turnover of accumulated organic matter and its distribution over the soil profile are formulated. The carbon protection capacity of soils in the European part of Russia was determined according to [Hassink \(1997\)](#) and [Six et al. \(2002\)](#) based on data of the fine fractions content and the mineralogical composition of soils. The carbon saturation degree of soils and their carbon sequestration potential were calculated according to [Meyer et al. \(2017\)](#) and [Wiesmeier et al. \(2014\)](#). Gray forest and chestnut soils were classified as poorly saturated with organic carbon, meadow slitized and floodplain meadow soils were moderately saturated, and chernozems was saturated. It has been shown that the carbon sequestration potential of gray forest soil is about

30 t C ha⁻¹, chestnut soil does not exceed 25 t C ha⁻¹, meadow soil is 15–20 t C ha⁻¹, and chernozem is less than 5 t C ha⁻¹. Critical remarks to the 4 ppm initiative were given.

Keywords: soil organic matter, carbon stabilisation, soil carbon sequestration, carbon storage, 4 per mille.

ВВЕДЕНИЕ

Радикальные преобразования наземных экосистем сельскохозяйственной деятельностью человека сопровождались глобально значимыми изменениями запасов органического углерода (C_{орг}) в почве. На протяжении 12 000 лет с момента оседлой сельскохозяйственной деятельности на Земле и по настоящее время потери C_{орг} в верхних 0–30, 0–100 и 0–200 см слоях почвенного профиля составили соответственно 37, 75 и 116 Pg C ([Sanderman et al., 2017](#)). Используемые в сельском хозяйстве почвы содержат на 25–75% меньше C_{орг}, чем их аналоги в ненарушенных или естественных экосистемах ([Lal, 2010](#)).

Восстановление ранее утраченных запасов почвенного C_{орг} в землях сельскохозяйственного назначения и подвергшихся эрозии будет препятствовать росту концентрации атмосферного углерода. Идея перемещения атмосферного углерода в состав почвенного органического вещества посредством заделки растительной биомассы в почву, названная почвенной секвестрацией углерода, из разряда теоретических абстракций развилась в реальную природоохранную инициативу с соответствующим комплексом агробиотехнологий ([Семенов и др., 2008](#); [Lal, 2004](#)).

Под почвенной секвестрацией органического углерода понимается перевод атмосферного углекислого газа в живое органическое вещество растений (фотосинтез) с последующей трансформацией мортмассы в почвенное органическое вещество с периодом полного разложения (минерализации) составляющих его органических компонентов от 10 до 100 лет. Следует различать понятия почвенной секвестрации и депонирования углерода в почве. Депонирование органического углерода почвой – это долговременное его запасаение преимущественно в виде гумуса с периодом полного разложения (минерализации) составляющих его компонентов > 100 лет и/или захоронение неживого органического ве-

щества в почвенном профиле на глубине > 50 (100) см. Если почвенная секвестрация углерода обязательно предусматривает удаление CO_2 из атмосферы за счет получения новой биомассы, то депонирование направлено на предотвращение быстрого возврата $\text{C}_{\text{орг}}$ из почвы в атмосферу. Разумное сочетание секвестрации и депонирования органического углерода представляет собой путь эффективного решения триединой агроэкологической задачи: повышения или сохранения гумусированности почв, увеличения урожайности сельскохозяйственных культур и сокращения эмиссии углекислого газа в атмосферу со множеством косвенных положительных эффектов.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Поступление растительных остатков и синтез микробной биомассы обеспечивают непрерывное пополнение запасов $\text{C}_{\text{орг}}$ в почве ([Семенов, Когут, 2015](#)), однако темпы и пределы прироста почвенного $\text{C}_{\text{орг}}$ зависят не только от количества и качества поступающего органического материала ([Семенов и др., 2019](#); [Stockmann et al., 2013](#); [Hu et al., 2020](#)), но и от скорости и прочности стабилизации органических компонентов в почве ([Castellano et al., 2015](#); [Cotrufo et al., 2013](#); [Cotrufo et al., 2015](#); [von Lützow et al., 2006](#)). Закрепиться в почве может лишь столько $\text{C}_{\text{орг}}$, сколько позволяют физико-химические свойства почвы, которые не идентичны у почв разных типов. Вследствие этого реальные размеры секвестрации возможны лишь до определенного уровня, соответствующего порогу насыщения почвы органическим углеродом, выше которого поступление свежего органического вещества не приводит к дополнительному накоплению $\text{C}_{\text{орг}}$ ([Chung et al., 2008](#); [Chung et al., 2010](#); [Wiesmeier et al., 2014](#)). Поэтому понимание процессов образования, стабилизации и сохранения почвенного органического вещества, как и влияния внутрипочвенных и внешних факторов на его динамику, является важной предпосылкой выработки эффективных мер для обеспечения сбалансированной эмиссии и стока углерода в наземных экосистемах с учетом свойств почвы.

Количество стабилизированного и защищенного от разложения органического вещества в почве характеризует углеродпро-

текторную емкость почвы (Carbon Protection Capacity, **CPC**) или, по-другому, углероддепонирующий потенциал почвы. Наиболее прочную стабилизацию углерода и его длительную сохранность в почве в течение сотен и тысяч лет обеспечивают физико-химические взаимодействия органического вещества с минеральными частицами почвы ([von Lützow et al., 2006](#); [Kögel-Knabner et al., 2008a](#); [Kögel-Knabner et al., 2008b](#)). Допускается, что чем выше в почве доля частиц пыли и глины, тем больше углерода может быть стабилизировано и сохранено в почве. Поэтому мерой CPC предложено считать содержание $C_{\text{орг}}$ в гранулометрических фракциях пыли и глины с размером частиц < 0.02 мм ([Hassink, 1997](#)). В работе этих авторов зависимость CPC от доли гранулометрических частиц < 0.02 мм выражена уравнением линейной регрессии, которое получено при обобщении большого массива экспериментальных данных, включающего в себя почвы разных типов, местоположений, землепользований (уравнение 1):

$$\text{CPC}_1 = 4.09 + 0.37 \times (S + C)_1 \quad (1),$$

где CPC_1 – углеродпротекторная емкость почвы, г С кг⁻¹;
($S + C$)₁ – доля гранулометрических частиц < 0.02 мм, % от массы почвы.

Позднее было предложено ([Six et al., 2002](#)) оценивать CPC почвы и по доле частиц < 0.05 мм, а также учитывать минералогический состав почвы, поскольку при одном и том же содержании фракций пыли и глины почвы с доминированием 2 : 1 минералов способны стабилизировать больше углерода, чем почвы с 1 : 1 минералами (уравнения 2–5):

$$\text{CPC}_2 = 3.86 + 0.41 \times (S + C)_2 \quad (2),$$

$$\text{CPC}_3 = 1.22 + 0.30 \times (S + C)_3 \quad (3),$$

$$\text{CPC}_4 = 14.76 + 0.21 \times (S + C)_4 \quad (4),$$

$$\text{CPC}_5 = 5.50 + 0.26 \times (S + C)_5 \quad (5),$$

где: $\text{CPC}_2 - \text{CPC}_5$ – углеродпротекторная емкость почвы, г С кг⁻¹ почвы;

($S + C$)₂ – доля гранулометрических частиц < 0.02 мм с до-

минированием 2 : 1 минералов, % от массы почвы;

$(S + C)_3$ – доля гранулометрических частиц < 0.02 мм с доминированием 1 : 1 минералов, % от массы почвы;

$(S + C)_4$ – доля гранулометрических частиц < 0.05 мм с доминированием 2 : 1 минералов, % от массы почвы;

$(S + C)_5$ – доля гранулометрических частиц < 0.05 мм с доминированием 1 : 1 минералов, % от массы почвы.

Величины СРС для верхнего 0–10 (0–20) см слоя ряда почв Европейской части России, рассчитанные по уравнениям 1–5, представлены в таблице 1. Предлагается оценивать СРС почвы не по одному какому-либо уравнению, а по среднему из четырех показателей, поскольку в этом случае сглаживаются частные различия в свойствах почв, вызываемые местоположением, землепользованием, способом обработки и другими факторами. По углеродпротекторной емкости исследуемые почвы располагаются в следующей последовательности: бурая лесная кислая = чернозем типичный = чернозем обыкновенный = луговая слитизированная = чернозем выщелоченный $>$ серая лесная = пойменная луговая = каштановые $>$ бурая полупустынная $>$ дерново-подзолистая. В черноземе депонируется в 2.6 раза больше углерода, чем в дерново-подзолистой почве. Обращают на себя внимание еще два момента. Во-первых, подтипам чернозема свойственен практически один и тот же углеродпротекторный потенциал. И, во-вторых, при всех способах расчета максимальная величина СРС среди рассматриваемых типов почв не превышала 35 г С кг^{-1} почвы, что дает основание считать этот уровень верхним пределом углеродпротекторной емкости для почв. Размеры СРС, свойственные российским почвам, находятся в интервале величин ($5\text{--}35 \text{ г С кг}^{-1}$), полученных для других типов почв, залегающих в Европе, Америке, Африке и Австралии ([Hassink, 1997](#)). Величина СРС почв практически не зависит от вида угодий, составляя под пашней, пастбищем и лесом 20.8, 20.6 и 20.2 г С кг^{-1} ([Wiesmeier et al., 2014](#)).

Таблица 1. Углеродпротекторная емкость разных почв, г С кг⁻¹ почвы
Table 1. Carbon protection capacity of different soils, g C kg⁻¹ soil

Число данных	Фракции частиц в мм, % от массы		По Hassink et al., 1997	По Six et al., 2002				
	< 0.02	< 0.05		CPC ₁	CPC ₂	CPC ₃	CPC ₄	CPC ₅
Дерново-подзолистая (Владимирская и Тверская области)								
2	12 ± 2	22 ± 3	9	9	5	19	11	11
Серая лесная (Московская и Тульская области)								
4	46 ± 2	90 ± 7	21	23	15	34	29	25
Чернозем выщелоченный (Тамбовская, Курская, Липецкая области)								
6	63 ± 5	94 ± 3	27	30	20	34	30	28
Чернозем типичный (Тамбовская, Воронежская, Курская, Белгородская области)								
13	65 ± 6	95 ± 4	28	30	21	35	30	29
Чернозем обыкновенный (Воронежская и Белгородская области, Ставропольский край)								
13	69 ± 6	93 ± 7	30	32	22	34	30	29
Темно-каштановая, каштановая, светло-каштановая (Волгоградская область)								
5	43 ± 9	64 ± 17	20	22	14	29	24	22
Луговая слитизированная (Волгоградская область)								
1	72 ± 0	87 ± 0	31	34	23	33	28	29
Пойменная луговая (Волгоградская область)								
1	51 ± 0	65 ± 0	23	25	17	28	23	23
Бурая полупустынная солонцеватая (Астраханская область)								
2	26 ± 8	38 ± 6	14	15	9	23	15	15
Бурая лесная кислая (Краснодарский край, г. Сочи)								
4	71 ± 2	86 ± 2	30	33	23	33	28	30

Примечание. Величины CPC₁ – CPC₅ рассчитаны по уравнениям 1–5, соответственно. При расчетах использованы собственные и литературные (Единый государственный реестр..., 2014; Королев, 2008; Малюкова, 2013) данные содержания в почве гранулометрических фракций.

Величина углеродпротекторной емкости почвы положительно коррелирует с валовым содержанием почвенного органического вещества ($r = 0.715$, $P < 0.001$). По мере увеличения СРС характерен экспоненциальный рост содержания $C_{\text{орг}}$ в почве (рис. 1). В большинстве сравниваемых почв с низкой (бурая полупустынная, дерново-подзолистая), с умеренной (каштановые, серая лесная) и даже с высокой (бурая лесная кислая) углеродпротекторной емкостью валовое содержание $C_{\text{орг}}$ ниже, чем СРС, и только во всех подтипах чернозема отмечается превышение $C_{\text{орг}}$ в 1.2–1.5 раза (табл. 2). Можно предположить, что в черноземе по сравнению с другими типами почв возрастает роль других механизмов сохранения углерода. В частности, образование макро- и микроагрегатов, окклюдирование и другие физические процессы способствуют более продолжительному сохранению в почве твердых дискретных частиц (Particulate Organic Matter, **POM**), образующихся при разложении свежего органического материала, которые вне агрегатов подвергаются довольно быстрой и полной минерализации ([Семенов и др., 2019](#)).

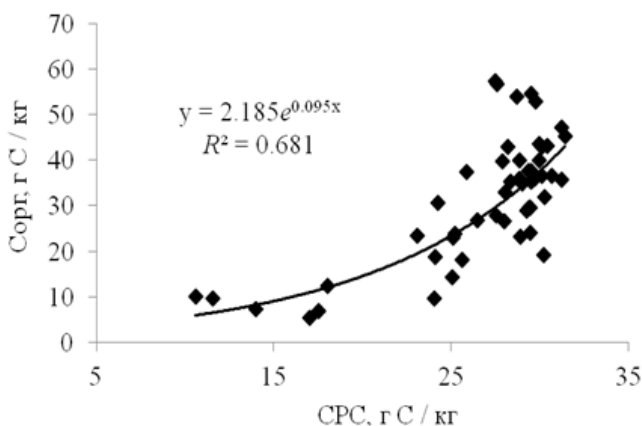


Рис. 1. Зависимость содержания органического углерода ($C_{\text{орг}}$) в почвах от углеродпротекторной емкости (CPC), свойственной этим почвам.
Fig. 1. Dependence of organic C content ($C_{\text{орг}}$) in soils on their carbon protection capacity (CPC).

Таблица 2. Соотношение общего органического углерода ($C_{\text{орг}}$) и углеродпротекторной емкости в разных почвах ($C_{\text{орг}}/\text{CPC}$)

Table 2. Ratio of total organic carbon ($C_{\text{орг}}$) and carbon protection capacity in different soils ($C_{\text{орг}}/\text{CPC}$)

Почва	Минимум	Максимум	Среднее
Дерново-подзолистая	0.83	0.95	0.89
Серая лесная	0.57	0.91	0.74
Чернозем выщелоченный	0.95	1.28	1.16
Чернозем типичный	1.05	2.05	1.46
Чернозем обыкновенный	0.99	2.09	1.37
Темно-каштановая, каштановая, светло-каштановая	0.40	1.01	0.69
Луговая слитизированная	1.00	1.00	1.00
Пойменная луговая	1.02	1.02	1.02
Бурая полупустынная солонцеватая	0.31	0.53	0.42
Бурая лесная кислая	0.63	1.00	0.81

По разнице между CPC и фактическим (измеренным) содержанием углерода во фракции пыли и глины исследуемой почвы рассчитывается количество углерода, недостающее до полного насыщения почвы (Carbon Saturation Deficit, **CSD**). Если учитываются частицы размером менее 0.02 мм, то производится прямое измерение содержания $C_{\text{орг}}$ в этих гранулометрических фракциях. В случае отнесения к пыли и глине частиц менее 0.05 мм, используются данные по содержанию связанного минеральной массой $C_{\text{орг}}$ (Mineral-associated Organic Matter, **MOM**) во фракции, получаемой после отделения частиц POM вместе с гранулометрической фракцией песка в соответствии с методом ([Cambardella, Elliott, 1992](#)). Величины CSD и MOC вычисляются по формулам 6 и 7.

$$\text{CSD} = \text{CPC} - \text{MOM} \quad (6),$$

$$\text{MOM} = C_{\text{орг}} - \text{POM} \quad (7),$$

где, CSD – количество углерода, недостающее до насыщения почвы, г С кг⁻¹;

CPC – углеродпротекторная емкость почвы, г С кг⁻¹;

MOM – содержание углерода, ассоциированного с мине-

ральной массой, г С кг⁻¹;

ПОМ – углерод твердых дискретных частиц, г С кг⁻¹.

По полученным значениям CSD и CPC рассчитывается степень насыщенности почвы углеродом (Degree of Carbon Saturation, **DCS**) и углеродсеквестрирующий потенциал (Carbon Sequestration Potential, **CSP**) почвой ([Meyer et al., 2017](#); [Wiesmeier et al., 2014](#)), используя формулы 8 и 9.

$$DCS = (1 - (CSD/CPC)) \times 100 \quad (8),$$

$$CSP = CSD \times BD \times 10000 \times H \quad (9),$$

где: DCS – степень насыщенности почвы углеродом, %;

CSD – количество углерода, недостающее до насыщения почвы, г С кг⁻¹;

CPC – углеродпротекторная емкость почвы, г С кг⁻¹;

CSP – потенциал секвестрации углерода, т/га;

BD – плотность почвы, т/м³;

H – толщина слоя, м.

В верхнем слое разных почв содержится от 2.3 до 20.4 углерода ПОМ (14–40% от С_{орг}) и, соответственно, от 12 до 36.3 г/кг углерода МОМ (60–86% от С_{орг}), связанного с минеральными частицами – менее 0.05 мм (табл. 3). В рассмотренном ряду почв содержание МОМ коррелировало как с С_{орг} ($r = 0.960$, $P < 0.001$), так и с углеродпротекторной емкостью почв ($r = 0.692$, $P = 0.013$), демонстрируя прямую линейную зависимость (рис. 2). Из 12 образцов почв в 10 образцах дефицит насыщения углеродом составлял 2.4–13.0 г С кг⁻¹, и лишь в двух содержание С_{орг} было больше предела насыщения на 1.2–8.7 г С кг⁻¹. Судя по полученным результатам, серые лесные и каштановые почвы относятся к мало насыщенным органическим углеродом, луговая слитизированная и пойменная луговая – к умеренно насыщенным, а черноземы – к насыщенным. Соответственно, углеродсеквестрирующий потенциал серой лесной почвы составляет около 30 т С га⁻¹, каштановой – не превышает 25 т С га⁻¹, луговых почв равен 15–20 т С га⁻¹, а черноземов – менее 5 т С га⁻¹.

Таблица 3. Параметры углеродсеквестрирующей способности почв
Table 3. Characteristics of carbon sequestration capacity of soils

Почва, угодье	C _{орг}	CPC	MOM	CSD	DCS, %
	г С кг ⁻¹				
Московская область					
Серая лесная, лес	18.8	24.1	12.0	12.1	50
То же, пашня	14.4	25.1	12.1	13.0	48
Тульская область					
Серая лесная, лес	23.0	25.1	14.8	10.4	59
То же, пашня	18.1	25.6	15.5	10.2	60
Воронежская область					
Чернозем обыкновенный, степь	47.2	31.2	28.5	2.7	91
То же, пашня	35.6	31.2	28.8	2.4	92
Белгородская область					
Чернозем типичный, лесное урочище	56.7	27.6	36.3	-8.7	131
То же, пашня	37.4	25.9	27.1	-1.2	104
Волгоградская область					
Луговая слитизированная, луг	29.5	29.4	22.8	6.6	77
Лугово-каштановая, луг	26.8	26.5	17.8	8.7	67
Каштановая солонцеватая, луг	23.8	25.2	15.5	9.7	61
Пойменная луговая, дубрава	23.4	23.1	17.3	5.8	75

Примечание. C_{орг} – общее содержание органического углерода в почве, CPC – углеродпротекторная емкость почвы, MOM – содержание углерода, ассоциированного с минеральной массой, CSD – количество углерода, недостающее до насыщения почвы, DCS – степень насыщения почвы углеродом.

Можно заметить, что все типы почв, кроме чернозема, остаются недонасыщены органическим веществом. Вероятно, биоклиматический потенциал зон лимитирует процесс сорбции органического углерода минеральной фазой этих почв. В черноземной же зоне климат такой, что создаются благоприятные условия для микробиологической деятельности, способствующие глу-

бокой переработке органического материала под воздействием ферментов и его прочному закреплению на поверхности тонкодисперсных частиц.

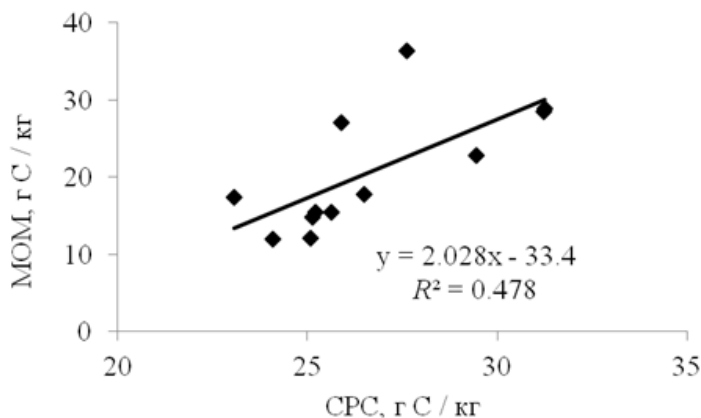


Рис. 2. Связь между потенциальной углеродпротекторной емкостью почв (CPC) и содержанием углерода, стабилизированного поверхностью минеральных частиц < 0.05 мм (MOM).

Fig. 2. Correlation between potential carbon protection capacity of soils (CPC) and content of carbon, stabilized by mineral particles (< 0.05 mm size) surface (MOM).

В базовой сводке ([Hassink, 1997](#)) ненасыщенное углеродом состояние было характерно для 15 исследуемых почв, в которых до полного насыщения недоставало от 0 до 28.5 г С кг^{-1} , а в 13 образцах почв, залегающих преимущественно в Канаде, фактическое содержание $\text{C}_{\text{орг}}$ во фракции пыли и глины было на $1.6\text{--}8.7 \text{ г С кг}^{-1}$ больше, чем их углеродпротекторная емкость. В наших исследованиях не было выявлено влияния вида землепользования на степень насыщенности почв углеродом, а углеродсеквестрирующий потенциал необрабатываемых и пахотных почв был примерно одинаковым. Насыщенность почв северной части Китая, близких по своим характеристикам черноземам и серым лесным почвам, оценена в 78% для эродированных земель, 84% – для пашни и 85% – для пастбищ с углеродсеквестрирующим потенциалом на уровне

1–2 т С га⁻¹ ([Wiesmeier et al., 2015](#)). По другим оценкам средняя степень насыщенности пахотных почв на юге Германии составляла 50%, почв под естественными пастбищами и лесом – 77 и 103%, соответственно, а углеродсеквестрирующий потенциал почв этих угодий равен 15, 5 и 1 т С га⁻¹ ([Wiesmeier et al., 2014](#)). За 11 лет чистого пара степень насыщенности углеродом почвы с содержанием пыли и глины около 80% и валовым содержанием С_{орг} 12.2 г/кг снизилась с 55 до 46%, а углеродсеквестрирующий потенциал возрос с 23 до 27 т/га ([Meyer et al., 2017](#)). Важно отметить, что полученные для почв Европейской части России показатели углеродпротекторной емкости и степени насыщенности углеродом следует рассматривать как предварительные и ориентировочные, хотя они и совпадают в той или иной степени с литературными данными. Для более строгих выводов и количественных прогнозирований нужны более масштабные и тщательные измерения С_{орг} в гранулометрических фракциях почв не только на уровне типа и подтипа, но и в образцах, приуроченных к разным угодьям, местоположениям, системам земледелия, что позволит более точно оценить влияние этих факторов на углеродсеквестрирующий потенциал почв.

Современные положения о предельном насыщении почв органическим углеродом хорошо согласуются с тезисом И.В. Тюрина: “при известных постоянных условиях в отношении поступления и разложения накопление органического вещества в почвах имеет предел, выше которого накопление невозможно” ([Семенов, Когут, 2015](#)). Как показано выше, высокая степень насыщения углеродом распространенное явление для многих почв, а верхний 0–20 см слой имеет довольно ограниченный потенциал секвестрации. Наличие у разных почв предельной границы насыщения углеродом делает нереальной распространение инициативы “4 промилле” ([The “4 per 1000” Initiative, 2020](#); [Minasny et al., 2017](#)) на весь почвенный покров в глобальном масштабе. В основе этой инициативы лежит следующее допущение. Если соотнести ежегодные объемы антропогенных выбросов углерода в атмосферу и запасы С_{орг} в 2-метровом слое почв (8.9 к 2400 Гт), то получаемая величина в 4 промилле (0.4% С_{орг} от массы почвы) может служить количественным ориентиром увеличения содержания С_{орг} в почве

с целью компенсации эмиссии углерода в атмосферу. Насколько обоснован такой механистический подход к возможностям секвестрации углерода почвами с научной точки зрения? Во-первых, по данным радиоуглеродного датирования, современное (≈ 100 лет) обновление гумуса происходит только в верхнем слое почв 0–40 см ([Чичагова, 1985](#)). Во-вторых, в период резкой смены систем землепользования в России в конце 20 века более 45 млн га из 110 млн га пашни были переведены в залежное состояние. Заращение пашни естественной растительностью сопровождалось накоплением в почве органического вещества. В верхнем (0–20 см) слое почв скорость секвестрации $C_{\text{орг}}$ в первые 20 лет после заращения (1990–2009 гг.) составила 0.96 т/га в год (0.04% или **0.4‰**), а в следующие 30 лет прогнозируется 0.19 т/га в год (0.008% или **0.08‰**) ([Kurganova et al., 2014](#)). В-третьих, согласно экспериментальным ([Когут, 1982](#); [Körschens, 2018](#)) и расчетным данным, содержание в 0.1% $C_{\text{орг}}$ (1 промилле) от массы почвы соответствует в зависимости от мощности верхнего слоя, содержания $C_{\text{орг}}$ и объемной массы (плотности) запасам в интервале 2–4 т/га. Следовательно, чтобы увеличить содержание $C_{\text{орг}}$ в почве на 4 промилле даже в верхнем слое среднегодовые размеры секвестрации должны составлять не как заявленные в инициативе 0.6 т/га ([Minasny et al., 2017](#)), а минимум на порядок больше. В-четвертых, современные знания о составе, структуре, свойствах, процессах трансформации и динамике почвенного органического вещества недостаточны, а используемые способы измерения, мониторинга и моделирования потоков углерода несовершенны для незамедлительной реализации инициативы “4 промилле” ([Amundson, Biardeau, 2018](#); [Baveye, 2020](#)). Более того, по авторитетному мнению М. Кёршенса ([Körschens, 2018](#)), полвека изучавшего динамику гумуса в полевом стационаре (заложен в 1902 г.) в Бад-Лаухштедте (Германия) и обобщившего данные по содержанию $C_{\text{орг}}$ в почвах 79 длительных опытов Мира, эта “инициатива” носит спекулятивный характер и находится за пределами всякой реальности.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Способность почв стабилизировать и сохранять секвестрируемый из атмосферы углерод контролируется содержанием тонкодисперсных гранулометрических фракций пыли и глины размером < 0.05 (0.02) мм. Чем выше насыщенность этих фракций органическим углеродом, тем меньше углеродсеквестрирующий потенциал почвы.

Инициатива “4 промилле” выступает в настоящее время скорее программой познания обмена углерода между атмосферными и наземными пулами и резервуарами, чем практическим руководством по секвестрации и депонированию углерода. При этом с количественной точки зрения данная инициатива не выдерживает никакой научной критики. Задачи секвестрации и депонирования органического углерода в почвах сельскохозяйственного назначения предусматривают разные агробιοтехнологические решения, однако все они должны обеспечивать воспроизводство почвенного плодородия и формирование экологически оптимальной биопродуктивности при сохранении сельскохозяйственного предназначения угодий.

Для понимания условий и механизмов насыщения почв углеродом необходимо знать ответы на следующий круг вопросов. Возможен ли компромисс между потребностью в увеличении объемов и масштабов почвенной секвестрации углерода и ограниченной возможностью почвы запастись и сохранять поступивший в почву углерод? Как долго должен сохраняться углерод в почве, чтобы считать его секвестрированным? Что важнее, долгосрочное депонирование углерода в почве или быстрое включение углерода во внутрисочвенные процессы, поддерживающие экосистемные функции и сервисы почвы? При каких объемах поступления свежего органического материала, в каком его виде, сколько и за какое время может быть достигнуто полное насыщение почвы органическим углеродом? Каков вклад формирующихся агрегатов в секвестрацию углерода и каков углеродсеквестрирующий потенциал нижних слоев почвы? Эти и другие направления исследований становятся приоритетными в теории и практике почвенного органического вещества, задавая траекторию будущих исследова-

ний и технологий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Единый государственный реестр почвенных ресурсов России. Версия 1.0. М.: Почв. ин-т им. В.В. Докучаева, 2014. 768 с.
2. *Козут Б.М.* Изменение содержания, состава и природы гумусовых веществ при сельскохозяйственном использовании типичного мощного чернозема: Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. М.: Почвенный ин-т им. В.В. Докучаева, 1982. 24 с.
3. *Королев В.А.* Современное физическое состояние черноземов центра Русской равнины. Воронеж: Воронежская областная типография – издательство им. Е.А. Болховитинова, 2008. 313 с.
4. *Малюкова Л.С.* Оптимизация плодородия бурых лесных почв и применения минеральных удобрений при выращивании чая в условиях черноморского побережья России: Дис. ... докт. биол. наук. Сочи: ГНУ ВНИИ цветоводства и субтропических культур РАСХН, 2013. 382 с.
5. *Семенов В.М., Козут Б.М.* Почвенное органическое вещество. М.: ГЕОС, 2015. 233 с.
6. *Семенов В.М., Иванникова Л.А., Кузнецова Т.В., Семенова Н.А., Тулина А.С.* Минерализуемость органического вещества и углеродсеквестрирующая емкость почв зонального ряда // Почвоведение. 2008. № 7. С. 819–832.
7. *Семенов В.М., Лебедева Т.Н., Паутова Н.Б.* Дисперсное органическое вещество в необрабатываемых и пахотных почвах // Почвоведение. 2019. № 4. С. 440–450. DOI: [10.1134/S0032180X19040130](https://doi.org/10.1134/S0032180X19040130).
8. *Семенов В.М., Паутова Н.Б., Лебедева Т.Н., Хромычкина Д.П., Семенова Н.А., Лопес де Гереню В.О.* Разложение растительных остатков и формирование активного органического вещества в почве инкубационных экспериментов // Почвоведение. 2019. № 10. С. 1172–1184. DOI: [10.1134/S0032180X19100113](https://doi.org/10.1134/S0032180X19100113).
9. *Чичагова О.А.* Радиоуглеродное датирование гумуса почв / Метод и его применение в почвоведении и палеогеографии. М.: Наука, 1985. 143 с.
10. *Amundson R., Biardeau L.* Soil carbon sequestration is an elusive climate mitigation tool // PNAS. 2018. Vol. 115. No. 46. P. 11652–11656. DOI: [10.1073/pnas.1815901115](https://doi.org/10.1073/pnas.1815901115).
11. *Baveye P.C.* Bypass and hyperbole in soil research: Worrisome practices critically reviewed through examples // Eur. J. Soil Sci. 2020. Vol. 36. No. 1. P. 1–20. DOI: [10.1111/ejss.12941](https://doi.org/10.1111/ejss.12941).

12. *Cambardella C.A., Elliott E.T.* Particulate Soil Organic-Matter Changes across a Grassland Cultivation Sequence // *Soil Sci. Soc. Am. J.* 1992. Vol. 56. No. 3. P. 777–783. DOI: [10.2136/sssaj1992.03615995005600030017x](https://doi.org/10.2136/sssaj1992.03615995005600030017x).
13. *Castellano M.J., Mueller K.E., Olk D.C., Sawyer J.E., Six J.* Integrating plant litter quality, soil organic matter stabilization, and the carbon saturation concept // *Global Change Biology*. 2015. Vol. 21. No. 9. P. 3200–3209. DOI: [10.1111/gcb.12982](https://doi.org/10.1111/gcb.12982).
14. *Chung H., Grove J.H., Six J.* Indications for Soil Carbon Saturation in a Temperate Agroecosystem // *Soil Sci. Soc. Am. J.* 2008. Vol. 72 (4). P. 1132–1139. DOI: [10.2136/sssaj2007.0265](https://doi.org/10.2136/sssaj2007.0265).
15. *Chung H., Ngo K.J., Plante A., Six J.* Evidence for Carbon Saturation in a Highly Structured and Organic-Matter-Rich Soil // *Soil Sci. Soc. Am. J.* 2010. Vol. 74 (1). P. 130–138. DOI: [10.2136/sssaj2009.0097](https://doi.org/10.2136/sssaj2009.0097).
16. *Cotrufo M.F., Soong J.L., Horton A.J., Campbell E.E., Haddix M.L., Wall D.H., Parton W.J.* Formation of soil organic matter via biochemical and physical pathways of litter mass loss // *Nature Geoscience*. 2015. Vol. 8. P. 776–779. DOI: [10.1038/ngeo2520](https://doi.org/10.1038/ngeo2520).
17. *Cotrufo M.F., Wallenstein M.D., Boot C.M., Denef K., Paul E.* The Microbial Efficiency-Matrix Stabilization (MEMS) framework integrates plant litter decomposition with soil organic matter stabilization: do labile plant inputs form stable soil organic matter? // *Global Change Biol.* 2013. Vol. 19. No. 4. P. 988–995. DOI: [10.1111/gcb.12113](https://doi.org/10.1111/gcb.12113).
18. *Hassink J.* The capacity of soils to preserve organic C and N by their association with clay and silt particles // *Plant and Soil*. 1997. Vol. 191. P. 77–87. DOI: [10.1023/A:1004213929699](https://doi.org/10.1023/A:1004213929699).
19. *The “4 per 1000” Initiative.* Soils for food security and climate. 2020. URL: <https://www.4p1000.org/>.
20. *Hu Y., Zheng Q., Noll L., Zhang S., Wanek W.* Direct measurement of the *in situ* decomposition of microbial-derived soil organic matter // *Soil Biology and Biochemistry*. 2020. Vol. 141. No. 107660. P. 1–10. DOI: [10.1016/j.soilbio.2019.107660](https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2019.107660).
21. *Kögel-Knabner I., Ekschmitt K., Flessa H., Guggenberger G., Matzner E., Marschner B., von Lütow M.* An integrative approach of organic matter stabilization in temperate soils: Linking chemistry, physics, and biology // *J. Plant Nutr. and Soil Sci.* 2008a. Vol. 171 (1). P. 5–13. DOI: [10.1002/jpln.200700215](https://doi.org/10.1002/jpln.200700215).
22. *Kögel-Knabner I., Guggenberger G., Kleber M., Kandeler E., Kalbitz K., Scheu S., Eusterhues K., Leinweber P.* Organo-mineral associations in temperate soils: Integrating biology, mineralogy, and organic matter chemistry // *J. Plant Nutr. and Soil Sci.* 2008b. Vol. 171 (1). P. 61–82. DOI: [10.1002/jpln.200700048](https://doi.org/10.1002/jpln.200700048).

23. *Körschens M.* Soil – Humus – Climate. Practically relevant results of 79 long-term field experiments // Vortrag zum 2. Symposium “Wahrnehmung und Bewertung von Böden in der Gesellschaft am 12 Oktober 2018 im UFZ Leipzig”. 2018. 12 p.
24. *Kurganova I.N., Lopes de Gerenyu V.J., Six J., Kuzyakov Y.* Carbon cost of collective farming collaps in Russia // Glob. Change Biol. 2014. Vol. 20 (3). P. 938–947. DOI: [10.1111/gcb.12379](https://doi.org/10.1111/gcb.12379).
25. *Lal R.* Managing Soils and Ecosystems for Mitigating Anthropogenic Carbon Emissions and Advancing Global Food Security // BioScience. 2010. Vol. 60. P. 708–721. DOI: [10.1525/bio.2010.60.9.8](https://doi.org/10.1525/bio.2010.60.9.8).
26. *Lal R.* Soil carbon sequestration to mitigate climate change // Geoderma. 2004. Vol. 123. P. 1–22. DOI: [10.1016/j.geoderma.2004.01.032](https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2004.01.032).
27. *Meyer N., Bornemann L., Welp G., Schiedung H., Herbst M., Amelung W.* Carbon saturation drives spatial patterns of soil organic matter losses under long-term bare fallow // Geoderma. 2017. Vol. 306. P. 89–98. DOI: [10.1016/j.geoderma.2017.07.004](https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2017.07.004).
28. *Minasny B., Malone B.P., McBratney A.B., Angers D.A., Arrouays D., Chambers A., Chaplot V., Chen Z.S., Cheng K. et al.* Soil carbon 4 per mille // Geoderma. 2017. Vol. 292. P. 59–86. DOI: [10.1016/j.geoderma.2017.01.002](https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2017.01.002).
29. *Sanderman J., Hengl T., Fiske G.J.* Soil carbon debt of 12,000 years of human land use // PNAS. 2017. Vol. 114 (36). P. 9575–9580. DOI: [10.1073/pnas.1706103114](https://doi.org/10.1073/pnas.1706103114).
30. *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. P. 155–176. DOI: [10.1023/A:1016125726789](https://doi.org/10.1023/A:1016125726789).
31. *Stockmann U., Adams M.A., Crawford, J.W. Field D.J., Henakaarchchi N., Jenkins M., Minasny B., McBratney A.B., de Courcelles V.R., Singh K., Wheeler I., Abbott L., Angers D.A., Baldock J., Bird M., Brookes P.C., Chenu C., Jastrow J.D., Lal R., Lehmann J., O'Donnell A.G., Parton W.J., Whitehead D., Zimmermann M.* The knowns, known unknowns and unknowns of sequestration of soil organic carbon // Agriculture, Ecosystems and Environment. 2013. Vol. 164. P. 80–99. DOI: [10.1016/j.agee.2012.10.001](https://doi.org/10.1016/j.agee.2012.10.001).
32. *Von Lütow M., Kögel-Knabner I., Ekschmitt K., Matzner E., Guggenberger G., Marschner B., Flessa H.* Stabilization of organic matter in temperate soils: Mechanisms and their relevance under different soil conditions – a review // Eur. J. Soil Sci. 2006. Vol. 57. P. 426–445. DOI: [10.1111/j.1365-2389.2006.00809.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.2006.00809.x).
33. *Wiesmeier M., Hübner R., Spörlein P., Geuß U., Hangen E., Reischl A., Schilling B., von Lütow M., Kögel-Knabner I.* Carbon sequestration potential of soils in southeast Germany derived from stable soil organic carbon

saturation // *Global Change Biology*. 2014. Vol. 20 (2). P. 653–665. DOI: [10.1111/gcb.12384](https://doi.org/10.1111/gcb.12384).

34. Wiesmeier M., Munro S., Barthold F., Steffens M., Schad P., Kögel-Knabner I. Carbon storage capacity of semi-arid grassland soils and sequestration potentials in northern China // *Global Change Biology*. 2015. Vol. 21. No. 10. P. 3836–3845. DOI: [10.1111/gcb.12957](https://doi.org/10.1111/gcb.12957).

REFERENCES

1. *Edinyi gosudarstvennyi reestr pochvennykh resursov Rossii*, Versiya 1.0 (Unified State Register of Soil Resources of Russia. Version 1.0.), Moscow: V.V. Dokuchaev Soil Science Institute, 2014, 768 p.
2. Kogut B.M., *Izmenenie soderzhaniya, sostava i prirody gumusovykh veshchestv pri sel'skokhozyaistvennom ispol'zovanii tipichnogo moshchnogo chernozema: Avtoref. dis. ... kand. s.-kh. nauk* (Changes in the content, composition and nature of humic substances during agricultural use of a typical powerful black soil, Extended abstract of cand. agric. sci. thesis), Moscow, 1982, 24 p.
3. Korolev V.A., *Sovremennoe fizicheskoe sostoyanie chernozemov tsentra Russkoi ravniny* (The current physical condition of chernozems in the center of the Russian Plain), Voronezh, 2008, 313 p.
4. Malyukova L.S., *Optimizatsiya plodorodiya burykh lesnykh pochv i primeneniya mineral'nykh udobrenii pri vyrashchivanii chaya v usloviyakh chernomorskogo poberezh'ya Rossii: Dis. ... dokt. biol. nauk* (Optimization of the fertility of brown forest soils and the use of mineral fertilizers when growing tea under the conditions of the Black Sea coast of Russia, Dr. biol. sci. thesis), Sochi, 2013, 382 p.
5. Semenov V.M., Kogut B.M., *Pochvennoe organicheskoe veshchestvo* (Soil organic matter), Moscow: GEOS, 2015, 233 p.
6. Semenov V.M., Ivannikova L.A., Kuznetsova T.V., Semenova N.A., Tulina A.S., *Mineralizuemost' organicheskogo veshchestva i uglerodsekvestriruyushchaya emkost' pochv zonal'nogo ryada* (Mineralizability of organic matter and carbon sequestering capacity of zonal series soils), *Pochvovedenie*, 2008, No. 7, pp. 819–832.
7. Semenov V.M., Lebedeva T.N., Pautova N.B., *Dispersnoe organicheskoe veshchestvo v neobrabatyvaemykh i pakhotnykh pochvakh* (Dispersed organic matter in uncultivated and arable soils), *Pochvovedenie*, 2019, No. 4, pp. 440–450, DOI: [10.1134/S0032180X19040130](https://doi.org/10.1134/S0032180X19040130).
8. Semenov V.M., Pautova N.B., Lebedeva T.N., Khromychkina D.P., Semenova N.A., Lopez de Gerenu V.O., *Razlozhenie rastitel'nykh ostatkov i formirovanie aktivnogo organicheskogo veshchestva v pochve*

- inkubatsionnykh eksperimentov (Decomposition of plant residues and the formation of active organic matter in the soil of incubation experiments), 2019, No. 10, pp. 1172–1184, DOI: [10.1134/S0032180X19100113](https://doi.org/10.1134/S0032180X19100113).
9. Chichagova O.A., *Radiouglerodnoe datirovanie gumusa pochv, Metod i ego primenenie v pochvovedenii i paleogeografii* (Radiocarbon dating of soil humus, Method and its application in soil science and paleogeography), Moscow: Nauka, 1985, 143 p.
10. Amundson R., Biardeau L., Soil carbon sequestration is an elusive climate mitigation tool, *PNAS*, 2018, Vol. 115, No. 46, pp. 11652–11656, DOI: [10.1073/pnas.1815901115](https://doi.org/10.1073/pnas.1815901115).
11. Baveye P.C., Bypass and hyperbole in soil research: Worrisome practices critically reviewed through examples, *Eur. J. Soil Sci.*, 2020, Vol. 36, No. 1, pp. 1–20, DOI: [10.1111/ejss.12941](https://doi.org/10.1111/ejss.12941).
12. Cambardella C.A., Elliott E.T., Particulate Soil Organic-Matter Changes across a Grassland Cultivation Sequence, *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 1992, Vol. 56, No. 3, pp. 777–783, DOI: [10.2136/sssaj1992.03615995005600030017x](https://doi.org/10.2136/sssaj1992.03615995005600030017x).
13. Castellano M.J., Mueller K.E., Olk D.C., Sawyer J.E., Six J., Integrating plant litter quality, soil organic matter stabilization, and the carbon saturation concept, *Global Change Biology*, 2015, Vol. 21, No. 9, pp. 3200–3209, DOI: [10.1111/gcb.12982](https://doi.org/10.1111/gcb.12982).
14. Chung H., Grove J.H., Six J., Indications for Soil Carbon Saturation in a Temperate Agroecosystem, *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 2008, Vol. 72 (4), pp. 1132–1139, DOI: [10.2136/sssaj2007.0265](https://doi.org/10.2136/sssaj2007.0265).
15. Chung H., Ngo K.J., Plante A., Six J., Evidence for Carbon Saturation in a Highly Structured and Organic-Matter-Rich Soil, *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 2010, Vol. 74 (1), pp. 130–138, DOI: [10.2136/sssaj2009.0097](https://doi.org/10.2136/sssaj2009.0097).
16. Cotrufo M.F., Soong J.L., Horton A.J., Campbell E.E., Haddix M.L., Wall D.H., Parton W.J., Formation of soil organic matter via biochemical and physical pathways of litter mass loss, *Nature Geoscience*, 2015, Vol. 8, pp. 776–779, DOI: [10.1038/ngeo2520](https://doi.org/10.1038/ngeo2520).
17. Cotrufo M.F., Wallenstein M.D., Boot C.M., Denef K., Paul E., The Microbial Efficiency-Matrix Stabilization (MEMS) framework integrates plant litter decomposition with soil organic matter stabilization: do labile plant inputs form stable soil organic matter? *Global Change Biol.*, 2013, Vol. 19, No. 4, pp. 988–995, DOI: [10.1111/gcb.12113](https://doi.org/10.1111/gcb.12113).
18. Hassink J., The capacity of soils to preserve organic C and N by their association with clay and silt particles, *Plant and Soil*, 1997, Vol. 191, pp. 77–87, DOI: [10.1023/A:1004213929699](https://doi.org/10.1023/A:1004213929699).
19. The “4 per 1000” Initiative. Soils for food security and climate, 2020, URL: <https://www.4p1000.org/>.

20. Hu Y., Zheng Q., Noll L., Zhang S., Wanek W., Direct measurement of the *in situ* decomposition of microbial-derived soil organic matter, *Soil Biology and Biochemistry*, 2020, Vol. 141, No. 107660, pp. 1–10, DOI: [10.1016/j.soilbio.2019.107660](https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2019.107660).
21. Kögel-Knabner I., Ekschmitt K., Flessa H., Guggenberger G., Matzner E., Marschner B., von Lützow M., An integrative approach of organic matter stabilization in temperate soils: Linking chemistry, physics, and biology, *J. Plant Nutr. and Soil Sci.*, 2008a, Vol. 171 (1), pp. 5–13, DOI: [10.1002/jpln.200700215](https://doi.org/10.1002/jpln.200700215).
22. Kögel-Knabner I., Guggenberger G., Kleber M., Kandeler E., Kalbitz K., Scheu S., Eusterhues K., Leinweber P., Organo-mineral associations in temperate soils: Integrating biology, mineralogy, and organic matter chemistry, *J. Plant Nutr. and Soil Sci.*, 2008b, Vol. 171 (1), pp. 61–82, DOI: [10.1002/jpln.200700048](https://doi.org/10.1002/jpln.200700048).
23. Körschens M., *Soil – Humus – Climate. Practically relevant results of 79 long-term field experiments*, Vortrag zum 2. Symposium “Wahrnehmung und Bewertung von Böden in der Gesellschaft am 12 Oktober 2018 im UFZ Leipzig”, 2018, 12 p.
24. Kurganova I.N., Lopes de Gerenyu V.J., Six J., Kuzyakov Y., Carbon cost of collective farming collaps in Russia, *Glob. Change Biol.*, 2014, Vol. 20(3), pp. 938–947, DOI: [10.1111/gcb.12379](https://doi.org/10.1111/gcb.12379).
25. Lal R., Managing Soils and Ecosystems for Mitigating Anthropogenic Carbon Emissions and Advancing Global Food Security, *BioScience*, 2010, Vol. 60, pp. 708–721, DOI: [10.1525/bio.2010.60.9.8](https://doi.org/10.1525/bio.2010.60.9.8).
26. Lal R., Soil carbon sequestration to mitigate climate change, *Geoderma*, 2004, Vol. 123, pp. 1–22, DOI: [10.1016/j.geoderma.2004.01.032](https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2004.01.032).
27. Meyer N., Bornemann L., Welp G., Schiedung H., Herbst M., Amelung W., Carbon saturation drives spatial patterns of soil organic matter losses under long-term bare fallow, *Geoderma*, 2017, Vol. 306, pp. 89–98, DOI: [10.1016/j.geoderma.2017.07.004](https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2017.07.004).
28. Minasny B., Malone B.P., McBratney A.B., Angers D.A., Arrouays D., Chambers A., Chaplot V., Chen Z.S., Cheng K. et al., Soil carbon 4 per mille, *Geoderma*, 2017, Vol. 292, pp. 59–86, DOI: [10.1016/j.geoderma.2017.01.002](https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2017.01.002).
29. Sanderman J., Hengl T., Fiske G.J., Soil carbon debt of 12,000 years of human land use, *PNAS*, 2017, Vol. 114 (36), pp. 9575–9580, DOI: [10.1073/pnas.1706103114](https://doi.org/10.1073/pnas.1706103114).
30. 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, pp. 155–176, DOI: [10.1023/A:1016125726789](https://doi.org/10.1023/A:1016125726789).
31. Stockmann U., Adams M.A., Crawford, J.W. Field D.J., Henakaarchchi N., Jenkins M., Minasny B., McBratney A.B., de Courcelles V.R., Singh K.,

- Wheeler I., Abbott L., Angers D.A., Baldock J., Bird M., Brookes P.C., Chenu C., Jastrow J.D., Lal R., Lehmann J., O'Donnell A.G., Parton W.J., Whitehead D., Zimmermann M., The knowns, known unknowns and unknowns of sequestration of soil organic carbon, *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2013, Vol. 164, pp. 80–99, DOI: [10.1016/j.agee.2012.10.001](https://doi.org/10.1016/j.agee.2012.10.001).
32. Von Lützow M., Kögel-Knabner I., Ekschmitt K., Matzner E., Guggenberger G., Marschner B., Flessa H., Stabilization of organic matter in temperate soils: Mechanisms and their relevance under different soil conditions – a review, *Eur. J. Soil Sci.*, 2006, Vol. 57, pp. 426–445, DOI: [10.1111/j.1365-2389.2006.00809.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.2006.00809.x).
33. Wiesmeier M., Hübner R., Spörlein P., Geuß U., Hangen E., Reischl A., Schilling B., von Lützow M., Kögel-Knabner I., Carbon sequestration potential of soils in southeast Germany derived from stable soil organic carbon saturation, *Global Change Biology*, 2014, Vol. 20 (2), pp. 653–665, DOI: [10.1111/gcb.12384](https://doi.org/10.1111/gcb.12384).
34. Wiesmeier M., Munro S., Barthold F., Steffens M., Schad P., Kögel-Knabner I., Carbon storage capacity of semi-arid grassland soils and sequestration potentials in northern China, *Global Change Biology*, 2015, Vol. 21, No. 10, pp. 3836–3845, DOI: [10.1111/gcb.12957](https://doi.org/10.1111/gcb.12957).

УДК 631.4

DOI: 10.19047/0136-1694-2020-102-125-142



Ссылки для цитирования:

Белобров В.П., Дридигер В.К., Юдин С.А. Влияние технологий земледелия на морфометрические признаки черноземов // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. 2020. Вып. 102. С. 125-142. DOI: 10.19047/0136-1694-2020-102-125-142

Cite this article as:

Belobrov V.P., Dridiger V.K., Yudin S.A., Influence of agricultural technologies on the morphological properties of chernozems, Dokuchaev Soil Bulletin, 2020, V. 102, pp. 125-142, DOI: 10.19047/0136-1694-2020-102-125-142

Благодарность:

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда, проект № 19-16-00053, с использованием оборудования Центра коллективного пользования научным оборудованием “Функции и свойства почв и почвенного покрова” Почвенного института им. В.В. Докучаева.

Acknowledgments:

The studies were carried out with the financial support of the Russian Science Foundation, project No. 19-16-00053, using the equipment of the Center for the collective use of scientific equipment “Functions and properties of soils and soil cover” of the V.V. Dokuchaev Soil Science Institute.

Влияние технологий земледелия на морфометрические признаки черноземов

© 2020 г. В. П. Белобров^{1*}, В. К. Дридигер², С. А. Юдин¹

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

*e-mail: belobrovvp@mail.ru.

²ФГБНУ “Северо-Кавказский ФНАЦ”, Россия,
356241, Ставропольский край, Михайловск, ул. Никонова, д. 49.

Поступила в редакцию 05.03.2020, после доработки 27.05.2020,
принята к публикации 22.06.2020

Резюме: Сравнительная оценка свойств типичных и обыкновенных черноземов при использовании традиционной технологии возделывания полевых культур с обработкой почвы и прямого посева (без обработки почв) выявила тренды в изменении морфометрических показателей

черноземов (мощность гумусового горизонта – А, гумусированного профиля – А + АВ и глубины вскипания от 10% HCl) во времени и пространстве. После 4 лет использования прямого посева в типичных черноземах Курской области отмечена тенденция поднятия к поверхности почвы линии вскипания, а в обыкновенных черноземах Ставрополя после 7 лет применения прямого посева – увеличение мощности гумусовых горизонтов А + АВ. При вспашке типичных черноземов наблюдается тренд к снижению глубины вскипания. Постепенное накопление и разложение пожнивных остатков на поверхности почв, играющих важную противэрозионную роль, и постепенное расходование влаги на испарение с течением времени приводит к росту мощности гумусовых горизонтов и содержания органического вещества. Полученные результаты характеризуют начало процессов трансформации морфометрических свойств черноземов при использовании прямого посева. Снижение мощности гумусового горизонта на пахотных землях Ставрополя является следствием дефляции, обусловленной многочисленными обработками почв и специфическим ветровым режимом, в борьбе с которой прямой посев демонстрирует положительные результаты. Без обработки черноземы приобретают характерные естественные черты – вариабельность свойств, т. е. исходную гетерогенность почвенного покрова, определяющую устойчивость почв в природной экосистеме.

Ключевые слова: прямой посев, традиционная технология, почвенный горизонт.

Influence of agricultural technologies on the morphological properties of chernozems

V. P. Belobrov^{1*}, V. K. Dridiger², S. A. Yudin¹

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

²*North Caucasus Federal agricultural research centre,
49 Nikonova Str., Mikhailovsk 356241, Russian Federation.*

Received 05.03.2020, Revised 27.05.2020, Accepted 22.06.2020

Abstract: A comparative assessment of the morphological properties of typical and ordinary chernozems using traditional technology of field crops cultivation with soil treatment and no-till revealed trends in morphological properties changing over time and space. After using no-till on typical

chernozems of the Kursk region for 4 years, there was a tendency to increase in humus horizons A and A + AB thickness and in the level of carbonate detection line (10% HCl reaction), which uprose closer to the soil surface. In ordinary chernozems of Stavropol after 7 years of using no-till, this trend is typical only of A + AB horizon. When plowing chernozems, there is a trend to deeper carbonate accumulation level. The gradual accumulation and decomposition of crop residues on the soil surface, which play an important role in wind erosion protection, and less intensive evaporation over time leads to an increase in the thickness of humus horizons and the content of organic matter. The results obtained are indicative of the initialization of morphological properties transformation in chernozems when no-till is used. The decrease in the thickness of the humus horizon on arable lands in Stavropol region results from deflation caused by both numerous soil treatments and a specific wind regime, and direct sowing has demonstrated positive results in the fight against wind erosion processes. When no-till technology is used, chernozems acquire natural features typical of them – variability of properties, i. e. the initial heterogeneity of soil cover, which determines the sustainability of soils in natural ecosystem.

Keywords: no-till, traditional tillage, soil horizon.

ВВЕДЕНИЕ

Морфометрические свойства черноземов – мощность гумусового горизонта и гумусированного профиля в целом, а также глубина вскипания – служат основными критериями для классификационного разделения почв на различные таксономические уровни (типы, подтипы, роды, виды и т. д.), являются базовыми параметрами для оценки качества почв ([Классификация..., 1977](#); [Классификация..., 2004](#)). В сельскохозяйственной практике при возделывании культур на склонах разной крутизны и экспозиции, в условиях проявления природной и антропогенной неоднородности почвенного покрова, вариабельность этих параметров отражает тренды, особенности процессов почвообразования и влияет на урожайность культур.

В отличие от агрохимических показателей плодородия почв, которые периодически (обычно раз в пять лет) дают текущую информацию о характере обеспеченности почв питательными веществами, морфометрические параметры как более консервативные и устойчивые показатели качества почв практически не фиксиру-

ются во временном измерении. Почвенная служба в стране отсутствует, а мониторинг почвенного покрова (обновление почвенной информации и почвенных карт) де-факто передан на усмотрение землепользователей.

Вместе с тем изменчивость свойств почв, связанная с процессами деградации, имеющими естественную и антропогенную природу (водная эрозия и дефляция, аридизация, регионально-локальный гидроморфизм, техногенез и др.), в гораздо большей степени отвечает за трансформацию качества почв. Обеспечить почвы питательными элементами минеральной и органической природы намного легче, чем восстановить структуру и потерянные сантиметры вместе с содержанием гумуса в органических горизонтах почв.

Кроме того, морфометрические параметры черноземов, равно как и их агрохимические свойства, изменчивы в пространстве, создавая обусловленную факторами почвообразования естественную пестроту почв, учет которой необходим в земледелии на разных уровнях: при выборе технологии, внесении удобрений, выборе сортов сельскохозяйственных культур, мелиоративных мероприятий и др.

Морфологические свойства и морфометрические параметры почв в производственных условиях (на полях) оцениваются по данным почвенного картирования – опорных профилей почв, характеризующих условно однородные и большие по площади территории. В масштабе 1 : 10 000 один разрез, например, характеризует площадь от 10 до 25 га в зависимости от категории сложности, т. е. неоднородности почвенного покрова ([Общесоюзная..., 1973](#)). Небольшие по площади (1–2 га) опытные поля и стационары институтов сельскохозяйственного профиля обычно обеспечивают информацией о морфометрических показателях почв на основании одного разреза. Как показывает практика, природная и агрогенная неоднородность (микрорестрота почвенного покрова) требуют более значимой и статистически обоснованной выборки ([Юдин и др., 2019](#)).

Природа деградации черноземов за время их использования в сельском хозяйстве хорошо изучена и обусловлена внедрением в естественные процессы почвообразования механических обрабо-

ток, провоцирующих эрозию, дегумификацию, изменение структуры, температурного режима, увлажнения и т. д. В решении этой проблемы остается важный вопрос: как снизить или вовсе избавиться от деградации почв и тем самым повысить и/или восстановить ее плодородие до исходного уровня? Как показывает мировой опыт, это достигается за счет увеличения содержания органического углерода и азота, оптимизации применения промышленных удобрений и химических средств защиты, использования биологических средств защиты растений, и как одного из основных условий – за счет полного отказа от обработки почвы, что в целом приближает ее (в качестве компонента природной экосистемы) к естественному состоянию, наиболее устойчивому во времени и пространстве.

Апробированное веками и связанное с механической обработкой почв традиционное земледелие остается до настоящего времени основной агропроизводственной технологией в России. Обработки черноземов любыми орудиями (плоскорез, чизель, культиватор и пр.) ведут к потере биомассы растений, изымаемой с урожаем, и с течением времени – к уменьшению содержания органического вещества (ОВ), одного из параметров плодородия большинства почв мира ([Холодов и др., 2016](#); [Холодов и др., 2019](#); [Six et al., 1982](#)). За время использования черноземов в сельском хозяйстве России, взяв за начало отсчета первые научные данные, полученные В.В. Докучаевым около 150 лет назад ([Докучаев, 1883](#)), потери ОВ составили более половины от исходного содержания ([Замотаев и др., 2016](#)). При этом данные об изменениях в морфологических свойствах почв не многочисленные и ограничиваются, как правило, целенаправленными исследованиями по изучению трансформации почв и почвенного покрова за постсоветский период ([Замотаев и др., 2016](#)).

Имеющиеся данные об эрозии черноземов вынуждают земледельцев искать новые нетрадиционные технологические системы и способы возделывания культур, которые позволили бы не только снизить негативное воздействие процессов деградации, но и восстановить исходное плодородие почв ([Банькин, 2019](#)). Прямой посев (ПП) частично возвращает почву в более естественное состояние, восстанавливая структуру, плотность, воздушно-

тепловой режим, приводя к увеличению содержания ОВ за счет дополнительного поступления биомассы растений ([Холодов и др., 2016](#); [Гармашов и др., 2017](#); [Холодов и др., 2019](#)). Экосистема при прямом посеве в отличие от традиционной технологии приближена и адаптирована к природной. Она имеет свои особенности в севооборотах и обусловлена культивируемыми растениями, видовыми различиями почвопокровных культур, архитектонике корневых систем и отвечает общему процессу восстановления плодородия почв.

Важным звеном в оценке восстановления почв при технологии ПП, по мнению авторов, является более детальное изучение variability морфометрических параметров и морфологических свойств почв, особенно при проведении полевых исследований, сопряженных с отбором проб, как менее трудоемких и затратных по сравнению с лабораторными методами исследований. Они не новые, а хорошо забытые старые, апробированные временем.

Цель работы – на примере типичных и обыкновенных черноземов в условиях проведения многолетних полевых научных и научно-производственных опытов показать тенденции изменений их морфометрических параметров и морфологических свойств при сравнении двух технологий земледелия: прямого посева и традиционной, включающей различные виды обработки почв. Прямой посев рассматривается при этом как перспективный подход к управлению агроэкосистемами при восстановлении свойств деградированных черноземов.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Исследования проводились на двух объектах многолетнего полевого опыта по изучению влияния разных способов обработки почвы на свойства и продуктивность типичного (ФГБНУ “Курский ФАНЦ”) и обыкновенного (ФГБНУ “Северо-Кавказский ФНАЦ”) черноземов в четырехпольном зерновом севообороте. Почвенное картирование опытных полей проводилось в масштабе 1 : 2 500 ручным бурением до глубины 2 м с характеристикой диагностических горизонтов чернозема: по мощности гумусового горизонта А, гумусового и переходного горизонтов А + АВ и глу-

бине вскипания от 10% HCL (Белобров и др., 2014).

На старопашотном участке опытного поля Курского ФАНЦ, представленном типичными черноземами, в 2013 и 2014 гг. были заложены опытные поля 1 и 2, каждое площадью 2.4 га (рис. 1).

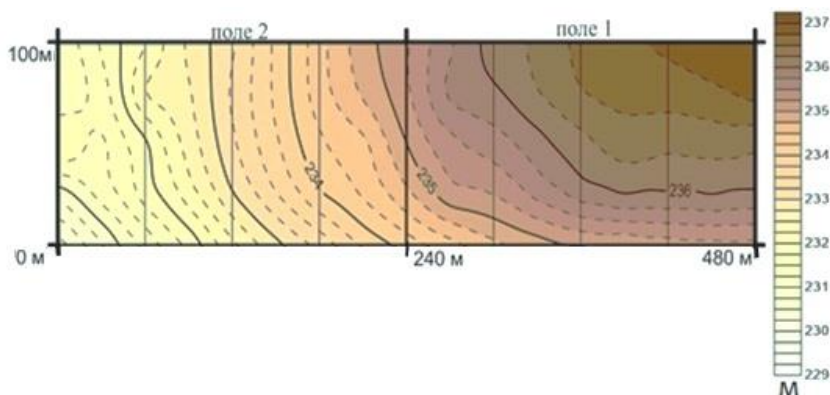


Рис. 1. Карта рельефа полей 1 и 2 (основные горизонталы проведены через 1 м, полугоризонталы – 0.25 м).

Fig. 1. Elevation map of fields 1 and 2 (the main contour lines – isohypses – are drawn with 1 m vertical interval, supplementary lines – 0.25 m).

Варианты полевого опыта включали: 1 – вспашка с оборотом пласта; 2 – комбинированная обработка (дискование + чизель); 3 – минимальная (поверхностная) обработка (дискование); 4 – без обработки (прямой посев). Размеры делянок составляли 60 х 100 м.

Перед закладкой каждого опытного поля проводили уравнительный посев горохо-овсяной смеси. Затем, в соответствии с севооборотом, посев озимой пшеницы, которую сменяла кукуруза, ячмень и горохо-овсяная смесь. Использование удобрений и пестицидов осуществляли согласно рекомендациям для каждой культуры, фоном по всем вариантам опыта.

В Ставропольском крае на территории Северо-Кавказского ФНАЦ с 2013 г. в стационарном опыте площадью 2 га ведутся исследования в четырехпольном полевом плодосменном севообороте: соя – озимая пшеница – подсолнечник – кукуруза (рис. 2).

Изучение влияния технологий ведется в двух вариантах. В первом варианте все культуры возделываются по рекомендованной научными учреждениями технологии с обработкой почвы, во втором – почва не обрабатывается, и посев семян производится специальной сеялкой в необработанную почву – прямой посев (Кашаев, 2016).

Статистическая обработка данных проведена с помощью программы Excel 2016.



Рис. 2. Карта-схема рельефа стационара с делянками в трехкратной повторности (северо-восточная часть поля – прямой посев, юго-западная – рекомендованная технология; горизонтالي проведены через 0.5 м).

Fig. 2. Elevation map of the studied area with plots in triple repetition (north-eastern part of the field – direct sowing (no-till), south-western – traditional technology of soil treatment; the main contour lines are drawn with 0.5 m vertical interval).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

На полях 1 и 2 с типичными черноземами после первых ро-

таций было проведено повторное бурение скважин в тех же точках, результаты которых по вариантам “прямой посев” и “вспашка” представлены в таблице 1. На поле 1 “Курского ФАНЦ” в 2013 г. все морфометрические параметры черноземов по вариантам опыта не отличались друг от друга, составляя одну генеральную совокупность. За четыре года эти же параметры почвенного профиля частично изменились. В варианте “вспашка” наиболее хорошо заметна тенденция к снижению глубины вскипания при достаточно постоянной мощности гумусовых горизонтов. Имеющиеся различия по мощности А и А + АВ не достоверны (табл. 1).

Таблица 1. Морфометрические признаки (см) типичных черноземов до (2013–2014 гг.) и после первой ротации (2017–2018 гг.) на полях 1 и 2 в вариантах “прямой посев” и “вспашка”

Table 1. Morphological properties (cm) of typical chernozems before (2013–2014) and after (2017–2018) the first crop rotation on the fields 1 and 2 in variants “direct sowing” and “tillage”

Статистические параметры по каждому свойству, n = 10	“прямой посев” в числителе, “вспашка” в знаменателе					
	А	А + АВ	Вскипание	А	А + АВ	Вскипание
	Поле 1					
	2013 г.			2017 г.		
Средняя арифметическая	<u>61</u> 58	<u>88</u> 89	<u>76</u> 72	<u>72</u> 55	<u>110</u> 99	<u>63</u> 85
Коэффициент вариации	<u>32</u> 25	<u>27</u> 27	<u>39</u> 46	<u>9</u> 26	<u>22</u> 14	<u>39</u> 40
	Поле 2					
	2014 г.			2018 г.		
Средняя арифметическая	<u>55</u> 61	<u>104</u> 102	<u>68</u> 75	<u>63</u> 67	<u>109</u> 106	<u>62</u> 99
Коэффициент вариации	<u>27</u> 26	<u>17</u> 15	<u>43</u> 46	<u>17</u> 11	<u>17</u> 10	<u>33</u> 40

В варианте “прямой посев” наблюдается тенденция к увеличению мощности гумусового горизонта А и в особенности всей прогумусированной толщи А + АВ. По глубине вскипания тенденция обратная “вспашке” и характеризуется поднятием границы вскипания к поверхности почв.

На поле 2 в 2014 г. между вспашкой и прямым посевом также, как и на поле 1 значимых различий не обнаружено. Обследования 2018 г. показали, что на этом поле изменений в гумусовых горизонтах почв не произошло или они не достоверны. Более мобильный признак черноземов – глубина вскипания – так же, как и на поле 1, при прямом посеве поднимается к поверхности почв, а вспашка напротив приводит к ее снижению, увеличивая мощность выщелоченного от карбонатов гумусированного профиля черноземов.

Полученные результаты, в особенности по коэффициенту вариации, отражают в первую очередь высокую вариабельность глубины вскипания ([Белобров и др., 2014](#)), тогда как мощность горизонтов А и А + АВ более стабильна как в пространстве делянки, так и во времени. Поэтому, с точки зрения статистической обеспеченности и большей достоверности, требуются данные по морфометрическим параметрам почв с большей частотой опробования и/или полученные за более длительные сроки, например, после 2-й – 3-й ротации.

Выявленные тенденции в изменении морфометрических параметров типичных черноземов между прямым посевом и вспашкой на полях после первой ротации могут быть обусловлены разными причинами. Во-первых, сменой во времени природных (климатических) процессов, сказывающихся в более глубокой выщелоченности профиля почв от карбонатов на пахотных участках и, напротив, поднятия глубины вскипания к поверхности на делянках прямого посева. Во-вторых, применяемой технологией, когда на вспаханных полях фильтрация атмосферных осадков интенсивней, чем на необработанной “закрытой” поверхности черноземов. При прямом посеве влага накапливается, а ее потери на транспирацию растениями, компенсируются улучшением обмена веществ, накоплением органического вещества и ростом урожайности за счет большего количества влаги, прошедшего через рас-

тение.

Вместе с глубиной вскипания мощность гумусовых горизонтов характеризует на делянках со вспашкой и прямым посевом неоднородный и разный по видовому составу почвенный покров. Гетерогенность черноземов при применении прямого посева со временем, судя по полученным данным, только возрастает. В свою очередь это приводит к классификационным трансформациям в таксономии почв на уровне “вида” по мощности гумусового горизонта и глубине залегания карбонатов, что будет отмечено ниже.

На территории стационара в “Северо-Кавказском ФНАЦ” в 2019 г. было проведено картирование почв опытного поля. Морфометрические данные показали, что обыкновенные черноземы на делянках, где в течение 7 лет применялся прямой посев, имеют тренд к восстановлению природной пестроты почвенного покрова, чего не наблюдается на пахотных почвах (рис. 3).

Это выражается в том, что при прямом посеве вариабельность глубины вскипания в два раза по коэффициенту вариации выше, чем при вспашке – 31% против 17%, и размаху (R) соответственно 30–80 и 38–61 см, при близких средних показателях в 53 и 50 см (табл. 2).

Гомогенизация поверхностных слоев гумусового горизонта снижает вариабельность глубины вскипания при рекомендованной технологии обработки почв, что выражается также в уменьшении показателя размаха. Применение прямого посева, напротив, усиливает гетерогенность почв, создавая более благоприятные условия для увлажнения и выщелачивания почв от карбонатов, главным образом по межагрегатным трещинам при восстановлении макро- и микроструктуры черноземов.

Вариабельность мощности гумусовых горизонтов на делянках прямого посева более стабильна, так как эти свойства черноземов, как отмечалось выше, более консервативны и устойчивы. Требуется не один десяток лет для изменения этих параметров. Вместе с тем определенная тенденция к росту мощности А + АВ имеет место – 120 см при прямом посеве, против 111 см при использовании традиционной технологии (см. табл. 2).



Рис. 3. Глубина вскипания в обыкновенных черноземах на стационаре “Северо-Кавказского ФНАЦ”.

Fig. 3 The level of carbonate detection line (by means of 10% HCl reaction) in ordinary chernozems of the studied area in North Caucasus Federal agricultural research centre.

Таким образом на примере изучения морфометрических параметров типичных и обыкновенных черноземов с разным периодом использования почв в технологии прямого посева, имеется подтверждение гипотезы о том, что перевод почвы в естественное или близкое к нему состояние (без обработки) приводит к потере гомогенности почвенного покрова и постепенному возврату в свое устойчивое состояние, характерное для естественных экосистем.

Таблица 2. Морфометрические признаки (см) обыкновенных черноземов на стационаре “Северо-Кавказского ФНАЦ” в вариантах “прямой посев” и “вспашка”

Table 2. Morphological properties (cm) of ordinary chernozems of the studied area in North Caucasus Federal agricultural research centre in variants “direct sowing” and “tillage”

Статистические параметры по каждому признаку, n = 12	“прямой посев” в числителе, “вспашка” в знаменателе		
	А	А + АВ	Вскипание
Средняя арифметическая	$\frac{69}{67}$	$\frac{120}{111}$	$\frac{53}{50}$
Стандартное отклонение	$\frac{16.4}{8.4}$	$\frac{8.7}{9.4}$	$\frac{10.5}{13.8}$
Коэффициент вариации	$\frac{13}{14}$	$\frac{9}{12}$	$\frac{31}{17}$
Размах	$\frac{61-85}{62-85}$	$\frac{110-145}{90-130}$	$\frac{30-80}{38-61}$

Так на делянке стационара “Северо-Кавказского ФНАЦ”, где применялся прямой посев, формируется более контрастный почвенный покров, представленный тремя видами обыкновенных черноземов: средне карбонатными (средне выщелоченными) – 50%, высоко карбонатными (слабо выщелоченными) – 42% и глубоко карбонатными (сильно выщелоченными) – 8%. На делянке с традиционной обработкой почв почвенный покров более однородный и представлен двумя видами черноземов: высоко карбонатными – 58% и средне карбонатными – 42% ([Классификация..., 2004](#)).

Кроме того, прекращение обработок и оставление на поле пожнивных остатков создает предпосылки к увеличению мощности гумусового профиля черноземов, главным образом за счет снижения потерь на водную и ветровую эрозию, характерные для пахотных почв, расположенных на водораздельных поверхностях, к ним же относятся и описанные опытные участки агрочерноземов Курской области и Ставропольского края.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Сравнительная оценка морфометрических параметров типичных и обыкновенных черноземов при использовании рекомендованной технологии возделывания полевых культур с обработкой почвы и прямого посева выявила на опытных делянках определенные тренды в их вариабельности во времени и пространстве. В типичных черноземах Курской области после первой ротации тенденция к увеличению мощности гумусовых горизонтов А и А + АВ при использовании ПП отмечена лишь на поле 1. В обыкновенных черноземах эта тенденция на делянках прямого посева характерна для А + АВ, что может быть связано с более благоприятными условиями увлажнения на контакте с карбонатным горизонтом и увеличением запасов влаги в вегетационный период, таким образом снижается ее дефицит, что особенно важно при частых засухах, губительных для роста растений (Дридигер, 2016).

Глубина вспашки типичных черноземов (поле 1 и 2) при вспашке имеет тенденцию к снижению, а при прямом посеве, напротив, – поднятию к поверхности почв. В обыкновенных черноземах Ставрополя при более длительном использовании прямого посева (7 лет) подобной динамики не наблюдалось. Вместе с тем в условиях Ставрополя задержка снега пожнивными остатками на поверхности почв и постепенное расходование влаги на испарение создают дополнительные условия для гумификации. В результате почва приобретает характерные естественные черты – вариабельность свойств, т. е. исходную гетерогенность (неоднородность) почвенного покрова, определяющую устойчивость почв в природной экосистеме.

Постепенное накопление и разложение пожнивных остатков на поверхности черноземов, выполняющих важную противэрозионную функцию, с течением времени приводит к росту мощности гумусовых горизонтов и содержания органического вещества. Полученные в данном исследовании результаты при использовании прямого посева характеризуют лишь начало процессов трансформации морфологических свойств черноземов, формирующихся в разных условиях почвообразования. Их можно связать как с природными процессами, так и со сменой традиционной системы

земледелия на прямой посев. Относительно длительное (12 лет) применение прямого посева в ООО СХП “Урожайное” на тех же обыкновенных черноземах ([Дридигер, 2016](#)) выявило значимое увеличение мощности горизонта А по сравнению со вспашкой, которая традиционно используется на фермерских участках. Снижение мощности гумусового горизонта на пахотных землях является следствием дефляции, обусловленной многочисленными обработками почв и специфическим ветровым режимом Ставрополя, в борьбе с которой прямой посев демонстрирует положительные результаты.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Банькин В.А. Нужна другая система земледелия // Земледелие. 2019. № 1. С. 45–48.
2. Белобров В.П., Айдиев А.Я., Юдин С.А., Воронин А.Я., Артемьева З.С., Куленкамп А.Ю. База данных в многолетнем полевом опыте по минимизации обработок типичного чернозема / Актуальные проблемы почвоведения, экологии и земледелия. Курск, 2014. С. 22–27.
3. Гармашов В.М., Чевердин Ю.И., Белобров В.П., Гребенников А.М., Исаев В.А., Беспалов В.А. Влияние способа основной обработки почв на агрофизические свойства миграционно-мицелярных агрочерноземов // Вестник Российской сельскохозяйственной науки. 2017. № 3. С. 26–29.
4. Докучаев В.В. Русский чернозем. СПб, 1883. 376 с.
5. Дридигер В.К. Практические рекомендации по освоению технологии возделывания сельскохозяйственных культур без обработки почвы в засушливой зоне Ставропольского края. Ставрополь, 2016. 80 с.
6. Замотаев И.В., Белобров В.П., Курбатова А.Н., Белоброва Д.В. Агрогенная и постагрогенная трансформация почв Льговского 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).
7. Кацаев Е.А. Эффективность технологий возделывания полевых культур на черноземе обыкновенном зоны неустойчивого увлажнения Центрального Предкавказья: Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Ставрополь, 2016. 22 с.
8. Классификация и диагностика почв СССР. М.: Колос, 1977. 223 с.
9. Классификация и диагностика почв России. Смоленск: Ойкумена, 2004. 342 с.

10. Общесоюзная инструкция по почвенным обследованиям и составлению крупномасштабных почвенных карт землепользования. М.: Колос, 1973. 94 с.
11. Холодов В.А., Ярославцева Н.В., Лазарев В.И., Фрид А.С. Интерпретация данных агрегатного состава типичных черноземов разного вида использования методами кластерного анализа и главных компонент // Почвоведение. 2016. № 9. С. 1093–1100.
12. Холодов В.А., Ярославцева Н.В., Фарходов Ю.Р., Белобров В.П., Юдин С.А., Айдиев А.Я., Лазарев В.И., Фрид А.С. Изменение соотношения фракций агрегатов в гумусовых горизонтах черноземов в различных условиях землепользования // Почвоведение. 2019. № 2. С. 184–193. DOI: [10.1134/S0032180X19020060](https://doi.org/10.1134/S0032180X19020060).
13. Юдин С.А., Белобров В.П., Дридигер В.К., Гребенников А.М., Айдиев А.Я., Ильин Б.С., Ермолаев Н.Р. К вопросу о методике проведения многолетних опытов по изучению влияния технологии прямого посева на свойства почв // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. 2019. Вып. 98. С. 132–152. DOI: [10.19047/0136-1694-2019-98-132-152](https://doi.org/10.19047/0136-1694-2019-98-132-152).
14. Six J., Gregorich E.G., Kogel-Knabner. Commentary on the impact of Tisdall&Oades (1982) Landmark Papers: No. 1. Tisdall, J. M. &Oades, J. M. 1982. Organic matter and water-stable aggregates in soils. Journal of Soil Science, 33, 141–163 // European Journal of Soil Science. 2012 Vol. 63. P. 1–21.

REFERENCES

1. Ban'kin V.A., Nuzhna drugaya sistema zemledeliya (There is a need in another system of agriculture), *Zemledelie*, 2019, No. 1, 45–48 p.
2. Belobrov V.P., Ajdiev A.Yu., Yudin S.A., Voronin A.Yu., Artem'eva Z.S., Kulenkamp A.Yu., Baza dannyh v mnogoletnem polevom opyte po minimizacii obrabotok tipichnogo chernozema (Database in the long-term field experiment on minimization of the typical chernozem treatment), In: *Aktual'nyhe problemy pochvovedenij, jekologii i zemledelija* (Actual problems of soil science, ecology and agriculture), Kursk, 2014, pp. 22–27.
3. Garmashov V.M., Cheverdin Yu.I., Belobrov V.P., Grebennikov A.M., Isaev V.A., Bepalov V.A., Vlijnie sposoba osnovnoi obrabotki pochv na agrofizicheskie svoistva migracionno-mitselijskix agrochernozemov (Influence of the traditional soil treatment method on the agrophysical properties of migratory and cephalic chernozems), *Vestnik Rossijskoj sel'skhozijstvennoj nauki*, 2017, No. 3, pp. 26–29.

4. Dokuchaev V.V., *Russki chernozem* (Russian chernozem), Saint-Petersburg, 1883, 376 p.
5. Dridiger V.K., *Prakticheskie rekomendatsii po osvoeniyu tekhnologii vzdelyvaniya sel'skokhozyaistvennykh kul'tur bez obrabotki pochvy v zasushlivoi zone Stavropol'skogo kraya. Stavropol'* (Practical recommendations for development of the technology of cultivation of agricultural crops without soil tillage in the arid zone of Stavropol Territory), Stavropol, 2016, 80 p.
6. Zamotaev I.V., Belobrov V.P., Kurbatova A.N., Belobrova D.V., Anthropogenic and post-anthropogenic transformation of soils of L'gov region of Kursk oblast, *Dokuchaev Soil Bulletin*, 2016, No. 85, pp. 97–114, DOI: [10.19047/0136-1694-2016-85-97-114](https://doi.org/10.19047/0136-1694-2016-85-97-114).
7. Kashchaev E.A., *Effektivnost' tekhnologii vzdelyvaniya polevykh kul'tur na chernozeme obyknovennom zony neustoichivogo uvlazhneniya Tsentral'nogo Predkavkaz'ya: Avtoref. dis. ... kand. s.-kh. nauk* (Efficiency of technologies for cultivating field crops on ordinary chernozem in the zone of unstable humidification of the Central Pre-Caucasian region, Extended abstract of cand. agric. sci. thesis), Stavropol, 2016, 22 p.
8. *Klassifikatsiya i diagnostika pochv SSSR* (Classification and soil diagnostics of the USSR), Moscow: Kolos, 1977, 223 p.
9. *Klassifikatsiya i diagnostika pochv Rossii* (Classification and diagnostics of Russian soils), Smolensk: Oikumena, 2004, 342 p.
10. *Obshchesoyuznaya instruktsiya po pochvennym obsledovaniyam i sostavleniyu krupnomasshtabnykh pochvennykh kart zemlepol'zovaniya* (All-Union instruction on soil surveys and compilation of large-scale soil maps of land use), Moscow: Kolos, 1973, 94 p.
11. Kholodov V.A., Yaroslavtseva N.V., Lazarev V.I., Frid A.S., Interpretation of data on the aggregate composition of typical chernozems under different land use by cluster and principal component analyses, *Eurasian Soil Science*, 2016, Vol. 49 (9), pp. 1026–1032, DOI: [10.1134/S1064229316090076](https://doi.org/10.1134/S1064229316090076).
12. Kholodov V.A., Yaroslavtseva N.V., Farkhodov Y.R., Belobrov V.P., Yudin S.A., Aydiev A.Ya., Lazarev V.I., Frid A.S., Changes in the Ratio of Aggregate Fractions in Humus Horizons of Chernozems in Response to the Type of Their Use, *Eurasian Soil Science*, 2019, Vol. 52. (2), pp. 162–170, DOI: [10.1134/S1064229319020066](https://doi.org/10.1134/S1064229319020066).
13. Yudin S.A., Belobrov V.P., Drediger V.K., Grebenikov A.M., Aydiev A.J., Ilyin B.S., Ermolaev N.R., To the question of the methodology of conducting long-term experiments on the no-till technology influence on soil properties, *Dokuchaev Soil Bulletin*, 2019, Vol. 98, pp. 132–152, DOI: [10.19047/0136-1694-2019-98-132-152](https://doi.org/10.19047/0136-1694-2019-98-132-152).

14. Six J., Gregorich E.G., Kogel-Knabner, Commentary on the impact of Tisdall & Oades (1982) Landmark Papers: No. 1. Tisdall, J. M. & Oades, J.M. 1982. Organic matter and water-stable aggregates in soils. *Journal of Soil Science*, 33, 141–163 // *European Journal of Soil Science*, 2012, Vol. 63, pp. 1–21.

УДК 631.474

DOI: 10.19047/0136-1694-2020-102-143-163



Ссылки для цитирования:

Савин И.Ю., Псарёва А.П. О выделении особо ценных сельскохозяйственных земель // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. 2020. Вып. 102. С. 143-163. DOI: 10.19047/0136-1694-2020-102-143-163

Cite this article as:

Savin I.Yu., Psareva A.P., On the mapping of especially valuable agricultural lands, Dokuchaev Soil Bulletin, 2020, V. 102, pp. 143-163, DOI: 10.19047/0136-1694-2020-102-143-163

Благодарность:

Исследования проведены при финансовой поддержке РФФИ (грант № 18-016-00052).

Acknowledgments:

The studies were carried out with the financial support of the Russian Foundation for Basic Research (RFBR) in the framework of the scientific project No. 18-016-00052.

О выделении особо ценных сельскохозяйственных земель

© 2020 г. И. Ю. Савин^{1,2*}, А. П. Псарёва^{2,1}

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

²Аграрно-технологический институт РУДН,
Россия, 117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, 6,

*<https://orcid.org/0000-0002-8739-5441>, e-mail: savin_iyu@esoil.ru.

Поступила в редакцию 05.04.2020, после доработки 21.05.2020,
принята к публикации 22.06.2020

Резюме: Выделение особо ценных сельскохозяйственных земель (ОЦСХЗ) в настоящее время является важной задачей, решение которой позволит сохранить сельскохозяйственные земли для их использования по прямому назначению. Единые подходы для выделения ОЦСХЗ в настоящее время отсутствуют или нуждаются в модернизации. В статье предложен новый подход, базирующийся на основе геоинформационного моделирования и имитационного моделирования роста сельскохозяйственных растений. Предложено выделение ОЦСХЗ

проводить по отдельности для каждого муниципального района с учетом его сложившейся специализации в области сельскохозяйственного производства. Выделение ОЦХЗ должно базироваться на оценке потенциальной продуктивности почв и земель для возделывания основных для района сельскохозяйственных культур. В состав ОЦХЗ также должны входить опытные поля и участки, используемые в научных и образовательных целях, невзирая на потенциальную продуктивность почв. Предложенный подход успешно апробирован на примере Ясногорского района Тульской области. Показано, что карта ОЦХЗ, построенная на основе предложенного подхода, больше связана с актуальной потенциальной продуктивностью земель и не зависит от текущего землепользования в пределах района. Построение карты ОЦХЗ для всей страны возможно только путем построения подобных карт по отдельности для всех муниципальных районов России.

Ключевые слова: оценка почв, геоинформационное моделирование, качество почв, земельный кадастр.

On the mapping of especially valuable agricultural lands

I. Yu. Savin^{1,2*}, A. P. Psareva^{2,1}

¹*Federal Research Centre “V.V. Dokuchaev Soil Science Institute”,
7 Bld. 2 Pyzhevskiy per., Moscow 2119017, Russian Federation.*

²*Agrarian and Technological Institute RUDN,
8/2 Miklukho-Maklaya Str., Moscow 117198, Russian Federation,
<https://orcid.org/0000-0002-8739-5441>, e-mail: savin_iyu@esoil.ru.

Received 05.04.2020, Revised 21.05.2020, Accepted 22.06.2020

Abstract: Delineation of especially valuable agricultural lands (EVAL) is currently an important task, which will make it possible to preserve agricultural land for its direct use. There are currently no uniform approaches for delineation of EVAL, or they need to be upgraded. We have proposed a new approach based on GIS modeling and simulation of agricultural plant growth. It is proposed to delineate EVAL for each municipal district taking into account its existing specialization in agricultural production. The allocation of EVAL should be based on the assessment of potential productivity of soils and lands for cultivation of the main crops in the district. EVAL should also include pilot fields and areas used for scientific and educational purposes, regardless of potential soil productivity. The proposed approach has been successfully tested on the example of Yasnogorsk district

of Tula region. It is shown that the EVAL map, based on the proposed approach, is more related to the actual land productivity and does not depend on the current land use within the area. It is possible to build an EVAL map for the whole country only by building such maps separately for all municipal districts of Russia.

Keywords: soil evaluation, geoinformatics modeling, soil quality, land cadaster.

ВВЕДЕНИЕ

Земельный фонд РФ поделен на категории и виды разрешенного использования. Это необходимо для того, чтобы эффективно использовать земельные ресурсы, а также для контроля их состояния и охраны природы. Но известно, что земельные активы государства оцениваются не только по правовому режиму, целевому назначению или форме собственности. Важную роль играет природная, культурная и научно-исследовательская ценность участков, а также их ресурсный потенциал для хозяйственного использования. С учетом этого определяется совокупная ценность земель.

Государством была разработана законодательная база, регулирующая состав, особенности распоряжения и охраны земель с повышенной ценностью ([Рыженков, 2015](#); [Устюкова, 2019](#)). К особо ценным относятся земли, на которых имеются природные объекты и объекты культурного наследия (типичные или редкие ландшафты, культурные ландшафты, сообщества растительных, животных организмов, редкие геологические образования, земельные участки, предназначенные для осуществления деятельности научно-исследовательских организаций) (п. 1 ст. 100 [Земельного Кодекса РФ](#)).

Стоит отметить, что особо охраняемые земли представлены как отдельная категория земель, в которую входят особо ценные земли (Глава XVII п. 2 ст. 94 [Земельного кодекса РФ](#)).

В соответствии с п. 4 ст. 79 Земельного кодекса, к особо ценным продуктивным сельскохозяйственным угодьям относятся:

- сельскохозяйственные угодья опытно-производственных подразделений научных организаций и учебно-опытных подразделений образовательных организаций высшего образования;

- сельскохозяйственные угодья, кадастровая стоимость которых существенно превышает средний уровень кадастровой стоимости по муниципальному району (городскому округу);
- другие угодья.

Таким образом, к особо ценным землям могут быть отнесены не только земли с высокой продуктивностью, но и земли опытных полей, которые могут обладать разной продуктивностью.

Согласно данной статье кодекса, отнесение к особо ценным землям сельскохозяйственных угодий передано в ведение субъектов РФ. В настоящий момент единого механизма выделения особо ценных земель с целью их рационального использования не существует, и данная проблема выносится на обсуждение уже несколько десятилетий. Практически все субъекты РФ установили в своем законодательстве свод правил отнесения земель и земельных участков к особо ценным, например:

- Постановление Правительства Воронежской области от 22 августа 2012 года № 728 “Об утверждении перечня особо ценных земельных участков сельскохозяйственного использования в составе земель населенных пунктов”;
- Указ Губернатора Оренбургской области от 30 июля 2013 года № 755-ук “О перечне особо ценных земель сельскохозяйственного назначения в Оренбургской области”;
- Постановление Правительства Республики Дагестан от 28 мая 2008 года № 164 “Об утверждении перечня особо ценных земель, в том числе особо ценных продуктивных сельскохозяйственных угодий, использование которых не допускается для целей, не связанных с сельскохозяйственным производством”;
- Постановление Правительства Республики Карелия от 16 июля 2009 года № 163-П “Об утверждении Порядка формирования Перечня земель особо ценных продуктивных сельскохозяйственных угодий в составе земель сельскохозяйственного назначения на территории Республики Карелия, использование которых в других целях не допускается (с изменениями на 12 февраля 2018 года)”.

Использование в этих постановлениях совершенно разных правил и отсутствие унификации в подходах приводит к тому, что, например, в Липецкой, Орловской, Курской и Воронежской обла-

стях, которые находятся в черноземной зоне с наиболее плодородными почвами, к особо ценным землям отнесено меньше 1.2% общей площади пашни. В то время как в Астраханской области, в республиках Бурятия и Карелия к особо ценным относят все пахотные земли вне зависимости от качества почв ([Полунин и др., 2018](#)).

Для решения данной проблемы Правительство Российской Федерации разработало и утвердило План мероприятий по совершенствованию правового регулирования земельных отношений (распоряжение Правительства Российской Федерации от 8 ноября 2018 г. № 2413 – р.). В нем говорится о необходимости разработки методики защиты сельскохозяйственных земель от выбытия из сельскохозяйственного оборота и одним из способов решения данной проблемы предлагается “выделение в отдельную территориальную зону особо ценных сельскохозяйственных земель с установлением критериев отнесения к таким землям”. Там же отмечается необходимость установления границ особо ценных земель и включения сведений о них в единый государственный реестр недвижимости.

Перспективным направлением установления унифицированных критериев для выделения особо ценных сельскохозяйственных земель является разработка подходов, базирующихся на оценке их бонитета, как некоем интегральном показателе качества земель ([Волков, Черкашин, 2015](#); [Полунин и др., 2016, 2017, 2018](#); [Носов, Бондарев, 2019](#)).

В нашей статье с целью развития этого направления представлена идея модернизации подобных подходов на основе современных компьютерных технологий и ее апробация на примере земель Ясногорского района Тульской области.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Апробация предложенных подходов к выделению особо ценных сельскохозяйственных земель (ОЦСХЗ) проводилась на примере земель Ясногорского района Тульской области.

Район расположен на севере области (рис. 1). В нем проживает 29 493 человек (2018 г.). Площадь района составляет около 1 299.7 км².

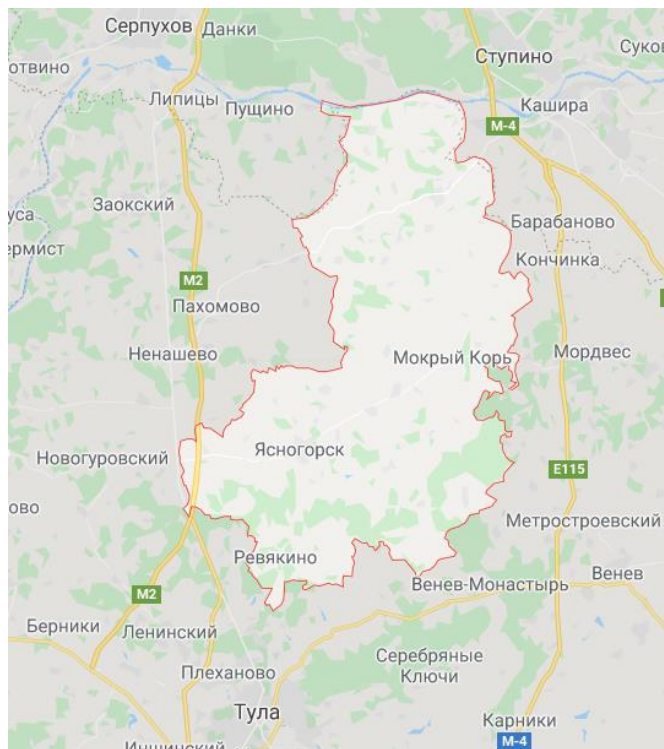


Рис. 1. Территория Ясногорского района Тульской области.
Fig. 1. The territory of Yasnogorsk district, Tula region.

Территория района характеризуется умеренно-континентальным климатом. Зимой наблюдаются обильные снегопады и низкая температура, в то время как лето теплое, но нестабильное с резкими изменениями количества осадков. Рельеф территории представляет холмистую местность, представленную полого-волнистой аккумулятивной равниной, которая расчленена негустой, но хорошо разработанной речной и овражно-балочной сетью. Преобладают достаточно плодородные тяжелосуглинистые серые лесные почвы, которые в различной степени смыты на склонах.

В районе развита электротехническая и металлургическая

промышленность, но большая часть населения вовлечена в сельскохозяйственное производство, преобладающей отраслью которого является растениеводство. Площадь пахотных земель в районе составляет 648 км², что составляет 50% от его территории. Площади возделываемых в последние годы культур представлены в таблице 1.

Таблица 1. Площади возделываемых культур в хозяйствах всех категорий Ясногорского района Тульской области (данные Госкомстата России, 2019)

Table 1. Crop acreage in farms of all categories in Yasnogorsk district of Tula region (the data taken from the State Statistics Committee of Russia, 2019)

культура	2016	2017	2018
Пшеница озимая	3954	3278	3836
Рожь озимая	13	0	25
Тритикале яровая	440	0	0
Пшеница яровая	1261	1258	983
Ячмень яровой	1656	1845	1451
Овес	685	849	1337
Гречиха	364	176	0
Горох	76	0	4
Горчица	499	0	0
Рапс озимый	0	0	104
Рапс яровой (кольза)	1746	2519	2689
Картофель	493	448.1	420.5
Капуста	18.82	15.76	14.5
Огурцы	17.81	19.47	17
Помидоры	19.38	21.9	22
Свекла столовая	11.29	11.33	8.5
Морковь столовая	15.79	15.7	12.5
Лук репчатый	30	27	12
Чеснок	15	16.01	6
Тыква	0	0	6
Кабачки	8	23.18	12
Кукуруза на корм	1927	2210	2368

Из таблицы следует, что район специализируется на возделывании зерновых культур (озимая пшеница, яровой ячмень и овес), рапса и кукурузы на корм скоту.

Существующие подходы и методы

В настоящее время выделение ОЦСХЗ в Тульской области проведено на основе Закона Тульской области от 12 ноября 2007 г. N 898-ЗТО “О регулировании отдельных земельных отношений в Тульской области” (принят постановлением Тульской областной Думы от 1 ноября 2007 г. N 53/2384) (с изменениями от 18, 19 декабря 2008 г., 25 июля, 26 сентября 2009 г.). В соответствии с пунктом 1 статьи 8 закона в перечень особо ценных сельскохозяйственных угодий входят:

1. сельскохозяйственные угодья опытно-производственных подразделений научно-исследовательских организаций и учебно-опытных подразделений образовательных учреждений высшего профессионального образования,
2. сельскохозяйственные угодья, кадастровая стоимость которых на десять и более процентов превышает средний уровень кадастровой стоимости по муниципальному району (городскому округу),
3. искусственно орошаемые сельскохозяйственные угодья,
4. осушаемые земли со стационарными оросительными и закрытыми осушительными системами.

Перечень этих земель утвержден администрацией Тульской области.

В целом данный подход вполне адекватен и может быть распространен на любую территорию России. Единственный пункт, который требует уточнения и детализации, это второй.

Для определения кадастровой стоимости земельного участка используются следующие интегральные показатели:

по плодородию почв – балл бонитета (совокупный почвенный балл);

по технологическим свойствам – индекс технологических свойств земельного участка;

по местоположению – эквивалентное расстояние земельного участка до пунктов реализации сельскохозяйственной продукции и баз снабжения материально-техническими ресурсами, км.

(Приказ Минэкономразвития РФ от 08.07.2011 N 334).

Таким образом, ценность земель при учете кадастровой стоимости определяется в первую очередь их потенциальным плодородием, при этом также учитываются технологические свойства и местоположение участка.

Оценка потенциального плодородия базируется на расчете нормативной урожайности для всего перечня культур, которые могут потенциально выращиваться на оцениваемом участке (Приказ Министерства экономического развития РФ от 20 сентября 2010 г. N 445 Об утверждении Методических указаний по государственной кадастровой оценке земель сельскохозяйственного назначения).

Для расчета нормативной урожайности зерновых (Y_n , ц/га) используется уравнение:

$$Y_n = 33,2 \cdot q \cdot \frac{АП}{10,0} \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4,$$

где q – коэффициент пересчета на задаваемый уровень продуктивности, АП – агроэкологический потенциал; K_1 – K_4 – поправочные коэффициенты на содержание гумуса в пахотном слое, на мощность гумусового горизонта, на содержание физической глины в пахотном слое почвы, на негативные свойства почв.

После этого нормативная урожайность с помощью коэффициентов пересчитывается в урожайность других культур, которые могут потенциально возделываться на оцениваемом участке. И после этого проводятся экономические расчеты рентабельности и земельной ренты ([Оглезнев и др., 2003](#)).

Основными недостатками данного подхода являются следующие:

1. Перечень культур, которые потенциально могут возделываться на конкретном участке, определяется достаточно условно.

2. Подход к расчету нормативной урожайности для зерновых устарел и нуждается в обновлении. Все коэффициенты и параметры используемого уравнения получены на основе статистических данных об урожайности культур, полученных более чем 40–50 лет назад. За это время практически полностью сменился набор сортов возделываемых культур. Новые сорта имеют другие экологические требования. Кроме того, изменился климат. Появи-

лись новые технологии как возделывания культур, так и обработки данных.

3. Пересчет нормативной урожайности для зерновых в урожайность для других культур, а также расчет значения агроэкологического потенциала слишком условен и неточен.

Все вышеизложенное свидетельствует о необходимости модернизации подходов оценки качества почв и земель с целью выделения ОЦХЗ и для кадастровой оценки в целом.

Предлагаемый подход и методы

Целью выделения ОЦХЗ является в первую очередь защита наилучших земель сельскохозяйственного назначения, а также земель, используемых в научно-образовательных целях, от использования не по назначению. Другой важной целью является получение исчерпывающей и актуальной информации о наличии и состоянии наилучших для сельскохозяйственного производства земель в России как наиболее ценного ресурса для дальнейшего развития сельскохозяйственного производства.

Исходя из этих целей очевидно следующее:

1. К ОЦХЗ, без сомнения, должны быть отнесены земли опытных станций, экспериментальных полей, которые используются научными и учебными организациями по прямому назначению. Без этих земель невозможно развитие сельского хозяйства и разработка новых технологий, сортов, средств защиты растений, удобрений и т. п. При этом отнесение этой группы земель к ОЦХЗ не должно зависеть от качества земель и их потенциальной продуктивности.

2. Выделение ОЦХЗ на остальных землях оптимально лишь на основе актуальных оценок их потенциальной продуктивности. То есть продуктивности, которая определяется не количеством внесенных в конкретный сезон удобрений, а естественным плодородием почв и текущими метеорологическими условиями ([Молчанов и др., 2019](#)).

На основе каких же методов и подходов может быть на практике реализована подобная оценка потенциальной продуктивности?

Предлагаемый нами подход к выделению ОЦСХЗ и оценки потенциальной продуктивности земель в обобщенном виде представлен на рисунке 2.

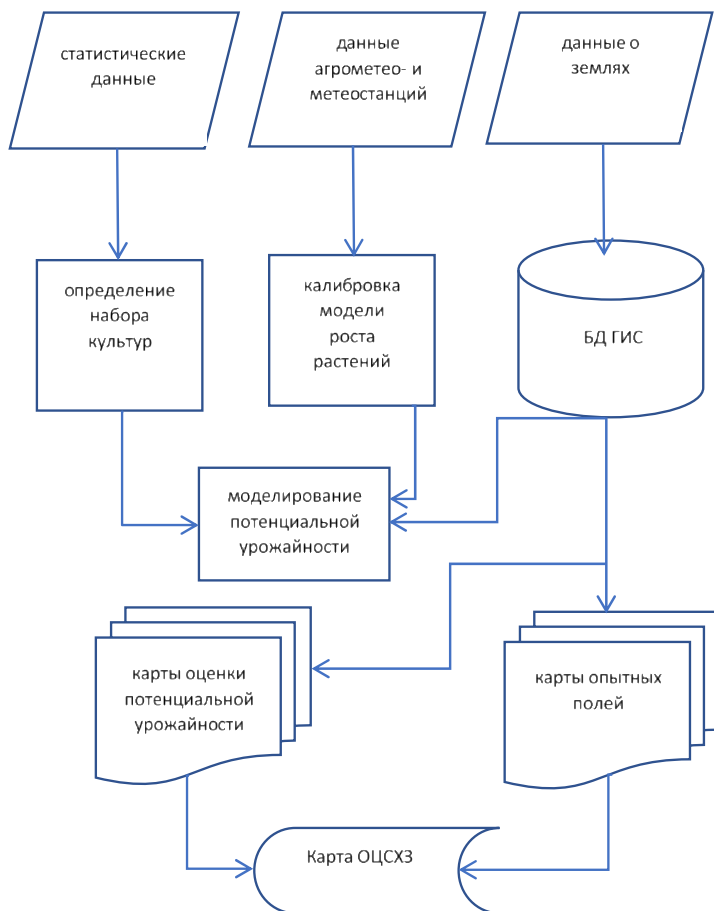


Рис. 2. Последовательность создания карты ОЦСХЗ.

Fig. 2. Algorithm of EVAL (especially valuable agricultural lands) map creation.

Предполагается, что выделение ОЦСХЗ должно производиться на уровне муниципального района. В перспективе карты ОЦСХЗ для отдельных районов смогут быть объединены в единую карту для каждого субъекта РФ и для всей страны. Уровень района оптимален, так как его система землепользования более устойчивая, однородная и целостная по сравнению с системами землепользования отдельных поселений. На уровне субъекта РФ, из-за достаточно большого разнообразия природных и социально-экономических условий, система землепользования может сильно отличаться в разных его частях. Именно из-за этого на подобных же принципах в 70-е годы прошлого века было, к примеру, построено природно-сельскохозяйственное районирование СССР ([Гайдамака и др., 1983](#)).

На первом этапе на основе статистических данных по площадям посевов определяется сельскохозяйственная специализация района и набор преобладающих возделываемых культур за последние 10 лет. Эти культуры в дальнейшем и используются для оценки продуктивности земель.

Создается база данных ГИС с информацией о почвах и рельефе территории района. Также в ГИС вносятся контуры опытных полей и участков при их наличии в районе. Собираются метеорологические данные и данные ближайших агрометеорологических станций и постов с результатами мониторинга роста культур в течение конкретных лет. Точки метеостанций также заносятся в ГИС.

Далее на основе информации, полученной с агрометеорологических станций и постов, метеорологических данных и почвенных данных проводится калибровка имитационной модели роста растений и после этого осуществляется моделирование потенциальной урожайности каждой из набора культур для последних 10 сезонов для разных почв и метеостанций района. Специфика калибровки модели и используемые при этом данные подробно описаны [Wit et al. \(2019\)](#), а на русском языке – [Савиным и др. \(2001\)](#).

Далее для всех выделов почвенной карты с использованием откалиброванной модели проводится моделирование потенциальной урожайности всех культур, которые являются основными для административного района. Полученные в результате моделиро-

вания значения потенциальной урожайности обобщаются с учетом их абсолютной величины и колебаний от сезона к сезону и вносятся в ГИС.

В ГИС строятся карты потенциальной урожайности для каждой культуры. Выделяются земли с потенциальной урожайностью культуры, превышающей среднюю по району на 10% и с минимальными колебаниями от года к году (за последние 10 лет), которые расположены на участках без опасности развития водной эрозии (склоновые участки с уклоном менее 2 градусов).

После этого подобные зоны для отдельных культур совмещаются друг с другом с использованием логического оператора конъюнкции. В результате получаем карту, на которой показаны зоны, где хотя бы для одной из основных в районе культур урожайность выше средней по району на 10%. На эту карту добавляются выделы опытных полей на территории района, если они есть на территории района, и в результате этих операций создается карта ОЦСХЗ.

Этот подход был апробирован на примере земель Ясногорского района Тульской области.

В качестве входной информации были использованы следующие данные:

1. Статистические данные Госкомстата России за период с 2010 по 2019 гг.;
2. Ежедневные метеорологические данные за период с 2010 по 2020 гг. – результат глобального моделирования метеоусловий NASA (США) для точек с шагом в 10 км (всего 5 точек для региона исследований) (<https://www.nasa.gov/langley>);
3. Результаты калибровки имитационной модели роста сельскохозяйственных растений WOFOST ([Wit et al., 2019](#); [Савин и др., 1997](#)), которая использовалась в наших исследованиях;
4. Цифровая версия почвенной карты Тульской области (исходный масштаб 1 : 200 000, создана Росгипроземом в 1985 г.);
5. Цифровая модель рельефа, полученная в результате спутниковой съемки с пространственным разрешением 90 м на местности (SRTM, <https://www2.jpl.nasa.gov/srtm/>);

6. Векторные данные о дорогах и населенных пунктах района, полученные с использованием интернет-ресурса OSM (<https://www.openstreetmap.org/about>).

Все операции геоинформационного моделирования проведены с использованием пакета прикладных программ ГИС ILWIS v.3.31 (<https://www.itc.nl/ilwis/download/ilwis33/>).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

На рисунке 3Б представлена карта ОЦСХЗ, построенная на основе предлагаемого подхода. На рисунке 3А показана карта ОЦСХЗ, составленная по правилам администрации Тульской области (см. выше). Сравнение рисунков 3А и 3Б показывает достаточно большое несоответствие этих карт. То есть карта ОЦСХЗ, построенная по правилам администрации области, практически не связана с реальной продуктивностью земель. Причиной этого является как схематичность подхода, использованного при составлении карты ОЦСХЗ, так и то, что стоимость сельскохозяйственных участков в районе во многом определяется их местоположением, а не продуктивностью земель.

Полученные результаты также показали, что ареалы потенциальной урожайности разных сельскохозяйственных культур не совпадают друг с другом. Это вполне логично и четко демонстрирует то, что разные культуры имеют разные экологические требования, и что единая оценка продуктивности для всех культур сразу (без их раздельного анализа) некорректна ([Савин, 2016](#)). Отсюда также следует, что некорректно использование корректирующих коэффициентов для пересчета нормативной урожайности зерновых в урожайность других культур, как это делается в традиционных подходах ([Оглезнев и др., 2003](#)).

Различие рисунков 3А и 3Б заключается в том, что карта на рисунке 3Б точно и детально отражает потенциальную продуктивность земель района, а не схематично, как карта на рисунке 3А. Из рисунка 3Б также следует что выделы кадастровых районов могут быть очень неоднородными по качеству почв и земель. Необходимо также отметить, что при расчете потенциальной продуктивности учитываются и межгодовые изменения, связанные с варьированием метеорологических условий.

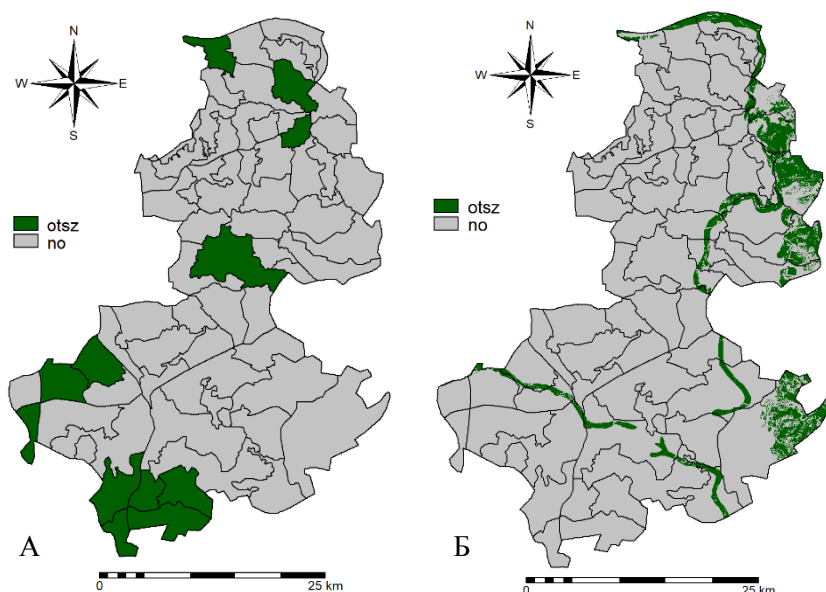


Рис. 3. Карты особо ценных сельскохозяйственных земель, созданные на основе официального подхода (А) (черные линии – границы кадастровых районов) и предлагаемого подхода (Б), особо ценные земли показаны зеленым цветом.

Fig. 3. Maps of especially valuable agricultural lands based on official approach (А) (black lines show cadastral boundaries) and proposed approach (Б), especially valuable agricultural lands are shown in green.

Также важным отличием является то, что на новой карте показаны ОЦСХЗ вне связи с актуальным использованием земель. То есть если земельный участок в настоящий момент не используется в сельском хозяйстве, но он обладает высокой продуктивностью, то он также отражается на карте. Таким образом, данный подход позволяет оценить качество почв и земель района как некую базовую, ресурсную характеристику, а не просто как оценку только сельскохозяйственных угодий в четко заданных и неизменных границах, как это делается в других подходах ([Оглезнев и](#)

[др., 2003](#); [Волков, Черкашин, 2015](#)). Поэтому при изменении границ землепользований подобную карту не нужно перестраивать.

Согласно полученным данным, в рамках предлагаемого подхода около 9% (подсчет площади проведен в ГИС) земель Ясногорского района должно быть отнесено к ОЦСХЗ. Их небольшая площадь объясняется достаточно большой гомогенностью как почвенного покрова территории, так и климатических условий. Поэтому пространственное варьирование потенциальной продуктивности земель не очень велико и сосредоточено на востоке района.

Важно также отметить следующую особенность предложенного подхода. Каждый район обладает своей уникальной сельскохозяйственной специализацией. Это означает, что набор культур, на основе которых будет моделироваться потенциальная продуктивность для разных районов будет разным. Поэтому ОЦСХЗ в разных районах страны могут выделяться на основе анализа разных данных, а не просто для зерновых культур с коррекциями, как в общепринятом подходе ([Оглезнев и др., 2003](#)). С нашей точки зрения, это более логично. Так, например, специализация района на производстве картофеля приведет к тому, что в ОЦСХЗ в нем попадут супесчаные почвы, а специализация района на производстве молока приведет к тому, что в ОЦСХЗ в нем попадут в основном земли, например, заливных лугов, для которых продуктивность трав окажется наибольшей, а не урожайность зерновых культур. Это означает, что построить единую карту ОЦСХЗ страны без учета с/х специализации разных районов невозможно. Это можно будет сделать, только проведя индивидуальный анализ для всех районов страны.

ВЫВОДЫ

Предложен новый подход к выделению особо ценных сельскохозяйственных земель. Он базируется на имитационном моделировании потенциальной урожайности сельскохозяйственных культур и геоинформационном моделировании.

Апробация предложенного подхода на примере Ясногорского района Тульской области показала, что подход позволяет получать объективные оценки потенциальной продуктивности земель,

которые учитывают как современные технологические научные достижения, так и наблюдаемые изменения климата и тренды современного изменения системы землепользования территории исследований.

Подход может быть применим для практически любого муниципального района России, кроме районов со специализацией в области плодоводства ввиду отсутствия надежных моделей развития многолетних насаждений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Волков С.Н., Черкашин К.И. О критериях и порядке отнесения земельных участков к особо ценным сельскохозяйственным землям // Землеустройство, кадастр и мониторинг земель. 2015. № 1. С. 6–13.
2. Гайдамака Е.И., Розов Н.Н., Шашко Д.И., Бондарчук Н.П., Булгаков Д.С., Вадковская Н.Н., Важов В.И., Газизов Ю.А., Глушкова М.И., Добровольский Г.В., Жуков В.М., Каменецкая Ф.Н., Карманов И.И., Колосовская В.Н., Лойко П.Ф., Назирова Б.Т., Норкина Т.Е., Носов С.И., Покровская Н.Д., Сенин А.И., Сотников В.П., Урусевская И.С., Федорин Ю.В., Фриев Т.А., Шувалов С.А., Ямпольская Е.М. Природно-сельскохозяйственное районирование и использование земельного фонда СССР. М.: Колос, 1983. 336 с.
3. Земельный кодекс Российской Федерации от 25.10.2001 N 136-ФЗ (ред. от 27.12.2019, с изм. от 05.03.2020).
4. Конституция Российской Федерации. URL: <http://www.constitution.ru/>.
5. Молчанов Э.Н., Савин И.Ю., Столбовой В.С. Выделение, использование и охрана особо ценных сельскохозяйственных земель // Сборник материалов международной научно-практической конференции: “Тенденции развития института землеустройства как инструмента реализации земельной политики и их законодательное закрепление: отечественный и зарубежный опыт XX-XXI веков”. М.: ИП Ким Л.А., 2019. С. 163–167.
6. Носов С.И., Бондарев Б.Е. Опыт выделения ценных земель в Российской Федерации // Материалы IX Международной научно-практической конференции, посвященной 112 – летию РЭУ им. Г.В. Плеханова “Современные проблемы управления проектами в инвестиционно-строительной сфере и природопользовании”. 2019. С. 119–123.
7. Оглезнев А.К., Куприян Т.А., Норкина Т.Е., Мельников А.В., Фадеев А.А., Родин А.З., Носов С.И., Булгаков Д.С., Карманов И.И., Карманова

Л.А., Михайлова О.В., Оверчук А.Л., Мирошниченко С.Г. Методические рекомендации по оценке качества и классификации земель по их пригодности для использования в сельском хозяйстве. М.: Русская оценка, 2003. 169 с.

8. Полунин Г., Алакоз В., Носов С., Бондарев Б., Оглезнев А. Определение ценности продуктивных сельскохозяйственных земель // АПК: экономика, управление. 2016. № 11. С. 68–76.

9. Полунин Г.А., Алакоз В.В., Носов С.И., Оглезнев А.К., Бондарев Б.Е. Особо ценные земли Российской Федерации. Вып. 1: Центральный Федеральный округ. М.: ООО “Про-Аппрайзер” Онлайн, 2016. 96 с.

10. Полунин Г.А., Алакоз В.В., Носов С.И., Оглезнев А.К., Бондарев Б.Е. Особо ценные земли Российской Федерации. Вып. 2: Южный Федеральный округ. М.: ООО “Про-Аппрайзер”, 2017. 84 с.

11. Полунин Г.А., Алакоз В.В., Носов С.И., Оглезнев А.К., Бондарев Б.Е., Овсянников Д.А. Установление ценных сельскохозяйственных земель на основе их классификации по пригодности для использования // Землеустройство, кадастр и мониторинг земель. 2016. № 4. С. 12–25.

12. Полунин Г.А., Алакоз В.В., Носов С.И., Оглезнев А.К., Бондарев Б.Е., Черкашин К.И. Особо ценные земли Российской Федерации. Вып. 3: Приволжский Федеральный округ. М.: ООО “Про-Аппрайзер”, 2018. 114 с.

13. Полунин Г.А., Алакоз В.В., Носов С.И., Оглезнев А.К., Бондарев Б.Е., Черкашин К.И. Особо ценные сельскохозяйственные угодья европейской части Российской Федерации. Механизмы регулирования межотраслевого перераспределения земель сельскохозяйственного назначения // Землеустройство, кадастр и мониторинг земель. 2018. № 5(160). С. 16–27.

14. Рыженков А.Я. Правовые проблемы реализации принципа сохранения особо ценных земель и земель особо охраняемых территорий // Аграрное и земельное право. 2015. № 9. С. 95–101.

15. Савин И.Ю. Классификация почв и земледелие // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. 2016. Вып. 84. С. 3–9. DOI: [10.19047/0136-1694-2016-84-3-9](https://doi.org/10.19047/0136-1694-2016-84-3-9).

16. Савин И.Ю., Овечкин С.В., Александрова Е.В. Компьютерная модель роста растений WOFOST и ее использование для анализа земельных ресурсов // Почвоведение. 1997. № 7. С. 857–865.

17. Савин И.Ю., Столбовой В.С., ван Диенен К. Имитационная модель роста сельскохозяйственных растений WOFOST и ее использование для анализа продуктивности земель России. М.: РАСХН. 2001. 216с.

18. Устюкова В.В. Особо ценные земли: понятие, виды и проблемы сохранения ценных земель сельскохозяйственного назначения // Аграрное и земельное право. 2019. № 9(177). С. 20–23.
19. Wit A. de, Boogaard H., Fumagalli D., Janssen S., Knapen R., van Kraalingen D., Supit I., van der Wijngaart R., van Diepen K. 25 Years of the WOFOST Cropping Systems Model // *Agricultural Systems*. Vol. 168. P. 154–167. DOI: [10.1016/j.agsy.2018.06.018](https://doi.org/10.1016/j.agsy.2018.06.018).

REFERENCES

1. Volkov S.N., Cherkashin K.I. O kriteriyakh i poryadke otneseniya zemel'nykh uchastkov k osobo tsennym sel'skokhozyaystvennym zemlyam (About criterium's and rules for attributing of land parcels to high value agricultural lands), *Zemleustroystvo, kadastr i monitoring zemel'*, 2015, No. 1, pp. 6–13.
2. Gaydamaka Ye.I., Rozov N.N., Shashko D.I., Bondarchuk N.P., Bulgakov D.S., Vadkovskaya N.N., Vazhov V.I., Gazizov YU.A., Glushkova M.I., Dobrovol'skiy G.V., Zhukov V.M., Kamenetskaya F.N., Karmanov I.I., Kolosovskaya V.N., Loyko P.F., Nazirova B.T., Norkina T.Ye., Nosov S.I., Pokrovskaya N.D., Senin A.I., Sotnikov V.P., Urusevskaya I.S., Fedorin YU.V., Friyev T.A., Shuvalov S.A., Yampol'skaya Ye.M., *Prirodno-sel'skokhozyaystvennoye rayonirovaniye i ispol'zovaniye zemel'nogo fonda SSSR* (Natural-Agricultural regionalization and use of land of USSR), Moscow: Kolos, 1983, 336 p.
3. *Zemel'nyy kodeks Rossiyskoy Federatsii* ot 25.10.2001 N 136-FZ (red. ot 27.12.2019, s izm. ot 05.03.2020) (Land Codex of Russian Federation).
4. *Konstitutsiya Rossiyskoy Federatsii* (Constitution of Russian Federation), URL: <http://www.constitution.ru/>.
5. Molchanov E.N., Savin I.Yu., Stolbovoy V.S., Vydeleniye, ispol'zovaniye i okhrana osobo tsennykh sel'skokhozyaystvennykh zemel' (Delineation, usage, and protection of especially valuable agricultural lands), Proc. Int. Conf. “*Tendentsii razvitiya instituta zemleustroystva kak instrumenta realizatsii zemel'noy politiki i ikh zakonodatel'noye zakreple-niye: otechestvennyy i zarubezhnyy opyt XX–XXI vekov*” (“Trends in the development of the land management as a tool for implementing land policy and their legislative consolidation: domestic and foreign experience of the XX–XXI centuries”), Moscow: IP Kim L.A., 2019, pp. 163–167.
6. Nosov S. I., Bondarev B.Ye., Opyt vydeleniya tsennykh zemel' v Rossiyskoy Federatsii (Experience of delineation of Especially Valuable Lands in the Russian Federation), Proc. IX Intern. Scientific and practical Conf. devoted to the 112th anniversary of Plekhanov Russian University of

Economics: “*Sovremennyye problemy upravleniya proyekta-mi v investitsionno-stroitel'noy sfere i prirodopol'zovanii*” (“Modern problems of project management in the investment and construction sphere and environmental management”), 2019, pp.119–123.

7. Ogleznev A.K., Kupriyan T.A., Norkina T.Ye., Mel'nikov A.V., Fadeyev A.A., Rodin A.Z., Nosov S.I., Bulgakov D.S., Karmanov I.I., Karmanova L.A., Mikhaylova O.V., Overchuk A.L., Miroshnichenko S.G., *Metodicheskiye rekomendatsii po otsenke kachestva i klassifikatsii zemel' po ikh prigodnosti dlya ispol'zovaniya v sel'skom khozyaystve* (Methodical recommendations on evaluation of quality, and classification of lands based on its suitability for agricultural usage), Moscow: Russkaya otsenka, 2003, 169 p.

8. Polunin G., Alakoz V., Nosov S., Bondarev B., Ogleznev A., *Opredeleniye tsennosti produktivnykh sel'skokhozyaystvennykh zemel'* (Assessment of value of productive agricultural lands), *APK: ekonomika, upravleniye*, 2016, No. 11, pp. 68–76.

9. Polunin G.A., Alakoz V.V., Nosov S.I., Ogleznev A.K., Bondarev B.Ye., *Osobo tsennyye zemli Rossiyskoy Federatsii. Vyp. 1: Tsentral'nyy Federal'nyy okrug* (Especially Valuable Lands of Russian Federation. Issue 1. Central Federal Ocrug), Moscow: ООО “Pro-Apprayzer”, 2016, 96 p.

10. Polunin G.A., Alakoz V.V., Nosov S.I., Ogleznev A.K., Bondarev B.Ye., *Osobo tsennyye zemli Rossiyskoy Federatsii. Vyp. 2: Yuzhnyy Federal'nyy okrug* (Especially valuable lands of Russian Federation. Issue 2. Southern Federal Ocrug), Moscow: ООО “Pro-Apprayzer”, 2017, 84 sp.

11. Polunin G.A., Alakoz V.V., Nosov S.I., Ogleznev A.K., Bondarev B.Ye., Ovsyannikov D.A., *Ustanovleniye tsennykh sel'skokhozyaystvennykh zemel' na osnove ikh klassifikatsii po prigodnosti dlya ispol'zovaniya* (Delineation of especially valuable agricultural lands based on its suitability classification), *Zemleustroystvo, kadastr i monitoring zemel'*, 2016, No. 4, pp. 12–25.

12. Polunin G.A., Alakoz V.V., Nosov S.I., Ogleznev A.K., Bondarev B.Ye., Cherkashin K.I., *Osobo tsennyye zemli Rossiyskoy Federatsii. Vyp. 3: Privolzhskiy Federal'nyy okrug* (Especially Valuable Lands of Russian Federation. Issue 3. Volga Federal Ocrug), Moscow: ООО “Pro-Apprayzer”, 2018, 114 p.

13. Polunin G.A., Alakoz V.V., Nosov S.I., Ogleznev A.K., Bondarev B.Ye., Cherkashin K.I., *Osobo tsennyye sel'skokhozyaystvennyye ugod'ya yevropeyskoy chasti Rossiyskoy Federatsii. Mekhanizmy regulirovaniya mezhotrastselevogo pereraspredeleniya zemel' sel'skokhozyaystvennogo naznacheniya* (Especially Valuable Agricultural Lands of the European Part of the Russian Federation. Mechanisms for Regulating the Interbranch Redistribution of Agricultural Land), *Zemleustroystvo, kadastr i monitoring zemel'*, 2018, No. 5(160), pp. 16–27.

14. Ryzhenkov A.Ya., Pravovyye problemy realizatsii printsipa sokhraneniya osobo tsennykh zemel' i zemel' osobo okhranyayemykh territoriy (Legal Problems of Implementation of the Principle of Preservation of Especially Valuable Lands and Lands of Specially Protected Territories), *Agrarnoye i zemel'noye parvo*, 2015, No. 9, pp. 95–101.
15. Savin I.Yu., The Classification of Soils and Agriculture, *Dokuchaev Soil Bulletin*, 2016, Vol. 84, pp. 3–9, DOI: [10.19047/0136-1694-2016-84-3-9](https://doi.org/10.19047/0136-1694-2016-84-3-9).
16. Savin I.Yu., Ovechkin S.V., Aleksandrova Ye.V., Komp'yuternaya model' rosta rasteniy WOFOST i yeye ispol'zovaniye dlya analiza zemel'nykh resursov (Computer model of plants growth WOFOST and its use for the land resources analysis), *Pochvovedeniye*, 1997, No. 7, pp. 857–865.
17. Ustyukova V.V., Osobo tsennyye zemli: ponyatiye, vidy i problemy sokhraneniya tsennykh zemel' sel'skokhozyaystvennogo naznacheniya (Especially valuable lands: concept, types and problems of conservation of valuable agricultural lands), *Agrarnoye i zemel'noye parvo*, 2019, No. 9(177), pp. 20–23.
18. Wit A. de, Boogaard H., Fumagalli D., Janssen S., Knapen R., van Kraalingen D., Supit I., van der Wijngaart R., van Diepen K., 25 Years of the WOFOST Cropping Systems Model, *Agricultural Systems*, No. 168, pp. 154–167, DOI: [10.1016/j.agry.2018.06.018](https://doi.org/10.1016/j.agry.2018.06.018).

УДК 631.421

DOI: 10.19047/0136-1694-2020-102-164-182



Ссылки для цитирования:

Самсонова В.П., Мешалкина Ю.Л. Часто встречающиеся неточности и ошибки применения статистических методов в почвоведении // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. 2020. Вып. 102. С. 164-182. DOI: 10.19047/0136-1694-2020-102-164-182

Cite this article as:

Samsonova V.P., Meshalkina J.L., Common inaccuracies and errors in the application of statistical methods in soil science, Dokuchaev Soil Bulletin, 2020, V. 102, pp. 164-182, DOI: 10.19047/0136-1694-2020-102-164-182

Часто встречающиеся неточности и ошибки применения статистических методов в почвоведении

© 2020 г. В. П. Самсонова^{1*}, Ю. Л. Мешалкина^{1,2**}

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

*e-mail: ykbun@mail.ru.

²РГАУ–МСХА имени К.А. Тимирязева, Россия,
127550, Москва, ул. Тимирязевская, 49,

**<https://orcid.org/0000-0003-1513-2439>, e-mail: jlmesh@list.ru.

Поступила в редакцию 31.03.2020, после доработки 01.04.2020,
принята к публикации 22.06.2020

Резюме: Рассматриваются наиболее распространенные неточности и ошибки применения статистических методов, встречающиеся в отечественных публикациях по почвоведению. При обозначении случайных величин и параметров распределений греческими буквами нужно обозначать те, что относятся к генеральным совокупностям, а латинскими – к выборочным. Подробное описание эксперимента и того, к чему относятся повторности, позволяет делать корректные выводы из работы. Необходимо избегать мнимых повторностей, когда результаты в близко расположенных точках опробования рассматриваются как характеристики изменчивости почв на больших расстояниях. Расширение списка описательных статистик позволит использовать конкретное исследование в мета-анализе. Расчет доверительного интервала для среднего с использованием критерия Стьюдента при

разных уровнях значимости расширяет рамки возможных значений среднего, однако такой подход оправдан лишь в том случае, если показатель не слишком сильно отличается от нормального распределения. При проверке статистических гипотез необходимо обращать внимание не только на уровень значимости, но и на мощность критерия. Гипотеза о нормальности распределения может быть проверена при помощи различных критериев. Успех применения критерия зависит не только от истинности нулевой гипотезы (действительно нормального распределения), но и от других причин: от объема выборки и от альтернатив, относительно которых критерий проверяет гипотезу. Любое утверждение о виде связи между признаками на основании коэффициента корреляции (Пирсона или Спирмена) бессмысленно без указания числа повторностей, так как именно число повторностей определяет значимость отличия коэффициента корреляции от нуля. Предлагается, чтобы авторы и рецензенты статей обращали более пристальное внимание на такие ошибки.

Ключевые слова: обозначения статистик, мнимые повторности, уровень значимости, доверительный интервал, проверка гипотез, мощность критерия, коэффициент корреляции.

Common inaccuracies and errors in the application of statistical methods in soil science

V. P. Samsonova^{1*}, J. L. Meshalkina^{1,2**}

¹*Lomonosov Moscow State University,
1 Leninskie Gori, Moscow 119234, Russian Federation,
e-mail: vkun@mail.ru.

²*Russian State Agrarian University – Moscow Agricultural Academy
named after K. A. Timiryazev,
49 Timiryazevskaya Str., Moscow 127550, Russian Federation,
**<https://orcid.org/0000-0003-1513-2439>, e-mail: jlmesh@list.ru.*

Received 31.03.2020, Revised 01.04.2020, Accepted 22.06.2020

Abstract: The most common inaccuracies and errors in the application of statistical methods found in Russian publications on soil science are considered. When designating random variables and distribution parameters in Greek letters, it is necessary to designate those that refer to general populations, and Latin letters – to sampling ones. A detailed description of the experiment and what the replications relate to allows you to draw correct conclusions from the study. It is necessary to avoid pseudoreplication when

results at closely located sampling points are considered as characteristics of soil variability over large distances. Expanding the list of descriptive statistics will allow you to use a specific study in meta-analysis. Calculating the confidence interval for the average using the Student's test at different significance levels expands the scope of possible values of the average, but this approach is justified only if the indicator does not differ too much from the normal distribution. When testing statistical hypotheses, it is necessary to pay attention not only to the level of significance, but also to the power of the criterion. The normality distribution hypothesis can be tested using various criteria. The success of applying the criterion depends not only on the validity of the null hypothesis (a truly normal distribution), but also on other reasons: on the sample size and on the alternatives for which the criterion tests the hypothesis. Any statement about the type of relationship between features based on the correlation coefficient (Pearson or Spearman) is meaningless without specifying the number of replicates, since it is the number of replicates that determines the significance of the difference between the correlation coefficient and zero. It is proposed that authors and reviewers pay closer attention to such errors.

Keywords: statistics designations, pseudoreplication, significance level, confidence interval, hypothesis testing, criterion power, correlation coefficient.

ВВЕДЕНИЕ

Практически любая научная публикация в российских журналах по почвоведению сопровождается упоминанием о том, что “...данные были статистически обработаны...”. Более того, наличие статистической обработки часто воспринимается как некая индульгенция правильности исследования. Чаще всего, такая “статистическая обработка” сводится к расчету описательных статистик без дальнейшего обсуждения полученных результатов. Аналогичная ситуация наблюдалась ранее во многих зарубежных журналах, однако после публикаций о необходимости более жесткого редакционного контроля поступающих статей, например, статьи Ричарда Вебстера (Webster, 2001), положение изменилось к лучшему.

Цель настоящей работы – обсудить неточности, ошибки и неправильные интерпретаций результатов статистической обработки данных, часто встречающиеся в публикациях, связанных с

почвоведением. Задачи, решаемые статистикой в почвоведении, делятся на две большие группы: 1) оценивание неизвестных параметров и 2) проверка гипотез. В таком порядке мы их и будем рассматривать.

ОЦЕНИВАНИЕ

1. Отсутствие единого стандарта для обозначения статистических характеристик

Разнобой в обозначениях одинаковых по смыслу статистик – не такая уж безобидная ситуация. Казалось бы, если в статье приведена расшифровка обозначений, то какие могут быть претензии к авторам. Однако неодинаковость обозначений приводит к путанице понятий. Так, среднее арифметическое может быть обозначено как μ , X , M , $\bar{X}$. Буквы греческого алфавита в статистике зарезервированы для обозначения параметров генеральной совокупности, то есть модельного представления об изучаемой величине ([ГОСТ Р 50779.10-2000](#)). Параметры генеральной совокупности – это по определению постоянные величины. Так что μ – это *постоянная* величина, генеральное среднее и обозначать ею выборочное значение недопустимо. Все остальные показатели X , M , $\bar{X}$ – оценки генерального значения. В силу того, что оценка той или иной статистической характеристики всегда определяется по выборке, это величина случайная, значения которой изменяются от выборки к выборке. Буква X зарезервирована для обозначения выборочной случайной величины. Обозначение среднего арифметического буквой M является устаревшим и в соответствующем ГОСТе не встречается ([ГОСТ Р 50779.10-2000](#)).

То же самое можно сказать и относительно характеристик варьирования, а именно: о дисперсии и стандартном отклонении. Обозначения σ^2 и σ указывают на генеральную совокупность, и это величины постоянные, а их оценки должны обозначаться как s^2 и s .

2. Описание методики эксперимента

Часто встречаются работы, в которых скупо описывается методика проведения эксперимента, что затрудняет обобщение результатов. Число повторностей, способ размещения точек опробования, характер отбираемого образца (индивидуальный или смешанный), его размеры и форма ([Кондрашкина, 1991](#)) могут сильно влиять на конечные выводы. Так, например, слова "...повторность определения трехкратная" могут означать:

- 1) трехкратное определение химического показателя из одного индивидуального образца;
- 2) трехкратное определение того же показателя из смешанного образца, составленного из трех индивидуальных проб;
- 3) однократное определение в каждом из трех индивидуальных образцов, отобранных в одном почвенном горизонте в одном разрезе;
- 4) однократное определение в каждом из трех образцов, отобранных в одном почвенном горизонте трех разрезов, размещенных на обследуемой территории.

Очевидно, что результаты определений в описанных случаях относятся к разным объектам исследования. В первом случае характеризуется неодинаковость значений, обусловленная аналитическими погрешностями, в третьем – характеризуется суммарная неодинаковость значений в пределах разреза и аналитическая погрешность, в последнем случае – суммарная аналитическая погрешность и пространственная неоднородность в пределах территории. Второй случай – более сложный, поскольку на аналитическую и пространственную погрешности накладывается еще и погрешность, обусловленная смешиванием. Если не указано, как конкретно проводился эксперимент, то непонятно, что же имели в виду авторы, сообщая о трехкратной повторности.

3. Интерпретация доверительного интервала для аналитических ошибок

Если пробы анализируются в аккредитованной лаборатории, то результат может быть представлен в виде $x \pm s_r$ или $x \pm s_R$, где x – значение свойства, s_r и s_R – аналитические ошибки в условиях повторяемости и воспроизводимости, соответственно ([ГОСТ](#)

[Р ИСО 5725-6-2002](#)). Это означает, что определение велось в одной повторности, а s_r и s_R характеризуют аналитическую ошибку метода для единичной лаборатории и группы лабораторий, соответственно.

Отметим, что часто метод определения в некотором диапазоне концентраций характеризуется не абсолютной, а относительной ошибкой, например, для определений на хроматографе ([ПНД Ф 16.2.2:2.3.71-2011](#)). В этом случае результат выдается как $X \pm \Delta$, где $\Delta = \delta \cdot X$, а δ – показатель точности, который при доверительной вероятности 95 % равен $\delta = ks_R$, где k – коэффициент охвата, равный 2 (округление значения 1.96, характерного для нормального распределения и доверительной вероятности 95 %).

Отсутствие ясного представления о том, чем характеризуется вариабельность первичных данных, может вносить большую путаницу при попытках их интерпретации и, более того, препятствовать их использованию при различного рода обобщениях, поскольку сравнение средних значений требует оценок дисперсий.

4. Мнимые повторности

Проблема мнимых повторностей (pseudoreplication), широко обсуждаемая в биологической литературе ([Козлов, 2003](#); [Hurlbert, 1984](#)), на самом деле является проблемой определения генеральной совокупности для проводимого исследования. За пределами чисто математических конструкций генеральную совокупность в почвоведении можно представить как объект, относительно которого делается вывод, основанный на том или ином способе опробования и определения его характеристик, физических, химических или других свойств. Этот объект должен иметь ясные границы, отделяющие его от похожих объектов. Способ опробования и метод определения показателей должны быть по крайней мере не слишком сильно отличающимися, например, размеры проб должны быть примерно одинаковыми, свойства должны определяться по единой методике, желательно, чтобы присутствовал контроль качества определений и тому подобное.

На рисунке 1 приведена схема, объясняющая понятие “мнимые повторности”.

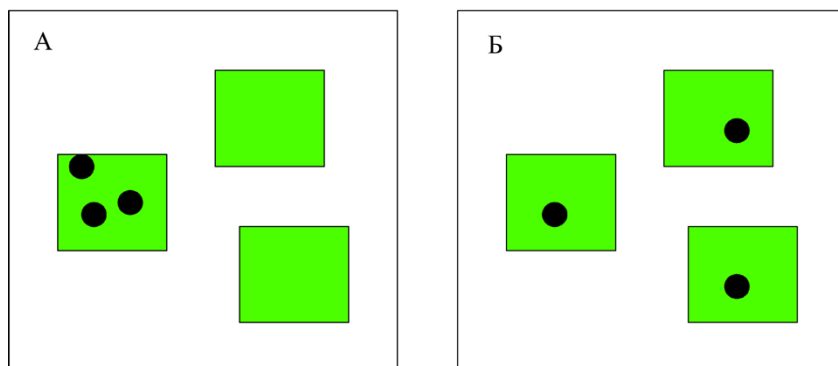


Рис. 1. Иллюстрация для понимания термина “мнимые повторности”. Маленькие круги – элементы опробования (точки отбора проб, разрезы и т. п.), маленькие квадраты – неоднородности 1-го уровня, большие квадраты – неоднородность 2-го уровня. Относительно неоднородностей 2-го уровня на схеме А представлены мнимые повторности, на схеме Б – они отсутствуют.

Fig. 1. Illustration for understanding the term “pseudoreplication”. Small circles represent sampling elements (sampling points, soil profiles, etc.), small squares represent heterogeneities of the 1st level, large squares represent heterogeneities of the 2nd level. Concerning the heterogeneities of the 2nd level, pseudoreplication is presented in scheme A, and they are absent in scheme B.

Предположим, что на некоторой территории присутствуют пространственные объекты двух уровней. Для характеристики объекта 1-го уровня можно заложить повторности по схеме А. Например, задача заключается в том, чтобы охарактеризовать почвенные свойства только вокруг конкретного разреза, и вокруг него были заложены разрезы (прикопки), то в этом случае нет мнимых повторностей и эксперимент вполне корректен (рис. 1). При изучении объектов 2-го уровня схема А будет представлять собой мнимые повторности, а схема Б – не будет. Например, если под характеристикой некоторого классификационного почвенного выдела, например, типа почвы, имеются в виду схожие почвенные профили, распространенные на площади в сотни или тысячи км², то ясно, что сочетание условий почвообразования в конкретных

точках будет приводить к образованию несколько различных почвенных профилей, причем, чем дальше отстоят друг от друга эти профили, тем, скорее всего, различия будут больше, при условии, что, например, пробы отбирались одинаково и анализ проводился по одинаковой методике. Поэтому если вокруг одного почвенного разреза заложено 10 разрезов (прикопок) и утверждается, что свойства почвы измерены для некоего *типа почвы* с повторностью 10 и этот *тип почвы* обладает такой изменчивостью, то такое утверждение подпадает под определение мнимых повторностей ([Козлов, 2003](#)), поскольку в пределах больших расстояний свойства почвенного объекта, диагностируемого как определенный тип почвы, могут существенно различаться. Распространение результатов, полученных на малой территории, на весь ареал почвенного типа проблематично.

В общем случае, чем больше площадь, на которую распространяются результаты точечного опробования, тем больше вероятность отклонения от истинного значения для всех статистических характеристик. Большое количество примеров мнимых повторностей в экологических исследованиях приведено в книге ([Козлов, 2003](#)).

5. Необходимые описательные статистические характеристики

В качестве статистических характеристик обычно в статьях приводятся среднее арифметическое и одна из характеристик варьирования: стандартное отклонение, ошибка среднего, коэффициент вариации или дисперсия. Добавление в публикациях информации о минимальных и максимальных значениях показателя, а также о медиане и квартилях (табл. 1) позволяет существенно увеличить информацию о результатах эксперимента и будет способствовать использованию их при обобщении данных в обзорных статьях с использованием приемов мета-анализа ([Gurevitch, 2001](#); [Oldfield et al., 2019](#)).

Таблица 1. Рекомендуемые статистики при описании результатов почвенных экспериментов и их обозначения

Table 1. Recommended statistic approaches for describing the results of soil experiments and their designation

Статистика	Обозначение
Объем выборки	n
Среднее	$\bar{x}$
Стандартное отклонение	s
Минимум	min
Нижний квартиль	Q_{25}
Медиана	Med или Q_{50}
Верхний квартиль	Q_{75}
Максимум	max

6. Доверительный интервал для среднего значения

Результаты анализов почвенных объектов часто публикуются в виде

$$\bar{x} \pm s, \quad (1)$$

Как было показано выше, в зависимости от плана эксперимента, величина s (стандартное отклонение) может характеризовать разные величины, но об этом практически всегда умалчивается. Более того, часто под s имеется в виду ошибка среднего

$$s_{\bar{x}} = \frac{s}{\sqrt{n}},$$

которая меньше стандартного отклонения в $\sqrt{n}$ раз, где n – объем выборки.

Чем больше повторность n , тем меньше ошибка среднего и тем более точным кажется результат. Однако следует иметь в виду, что точность оценки относится к фиксированному способу опробования, зависящего от n . В случае нормального распределения вероятность нахождения среднего в интервале (1) равна примерно 67%, то есть за пределами интервала находится около трети возможной изменчивости среднего, а об этом забывается.

Расчет доверительного интервала для среднего

$$\bar{x} \pm t_{\alpha, \nu} S_{\bar{x}} \quad (2)$$

с использованием t -критерия Стьюдента при разных уровнях значимости α расширяет рамки возможных значений среднего, однако он оправдан лишь в том случае, если показатель имеет нормальное распределение (или не слишком сильно отличается от нормального). В противном случае при расчете можно получить абсурдные результаты, например, отрицательные значения нижней границы признака.

Важное значение при вычислении доверительного интервала имеет доверительная вероятность P или связанный с доверительной вероятностью уровень значимости $\alpha = 1 - P$. Чем меньше уровень значимости α , тем шире доверительный интервал, тем меньше вероятность “пропустить” важные значения. Однако при малом числе повторностей доверительный интервал будет очень широким. Увеличение α сужает интервал, но увеличивает возможность неправильного решения. [ГОСТ Р ИСО 5725-6-2002](#) рекомендует 95% доверительный интервал.

ПРОВЕРКА ГИПОТЕЗ

7. Мощность критерия

Статистическая гипотеза – это некоторые утверждения о генеральной совокупности, проверяемые на основании выборки из этой совокупности. Статистические гипотезы всегда парные: H_0 – нулевая гипотеза всегда имеет альтернативу, например:

H_0 : рН = 5.0 (среднее значение рН почвы на конкретном поле равно 5.0),

H_1 : рН = 6.0 (простая альтернатива),

H_1 : рН > 6.0 (сложная альтернатива, без указания конкретных значений).

Гипотезы проверяются при помощи статистических критериев, по которым можно оценить вероятность правильности выдвигаемых гипотез. Статистические критерии *не доказывают* правильность утверждений, они лишь оценивают вероятность событий при тех или иных условиях, например, вероятность того,

что экспериментальные данные соответствуют генеральной совокупности (в нашем случае – почвам со средним значением $pH = 5.0$).

Процедура проверки гипотез заключается в расчете значения критерия и сравнения его с критическим значением, соответствующим определенному уровню доверительной вероятности P (или уровню значимости α). Уровень значимости α оценивает так называемую ошибку первого рода, т. е. вероятность отвергнуть правильную нулевую гипотезу, когда она верна. В докомпьютерные времена, когда вычисленное значение критерия нужно было сравнивать с теоретическим значением, эти теоретические значения печатались в специальных таблицах для фиксированных значений α (0.10 ; 0.05 ; 0.01 ; 0.001). В настоящее время можно рассчитать уровень значимости в программе Excel, не говоря уже о специальных статистических программах. Однако теперь возникает вопрос: как поступать, если в результате вычислений получено значение $\alpha = 0.049$ или 0.051 ? Отвергнуть или принять нулевую гипотезу? Решение остается за исследователем, но значение α необходимо указывать в публикации.

Поскольку есть альтернативная гипотеза (гипотезы), то принимая нулевую гипотезу, мы рискуем совершить ошибку второго рода – гипотезу принимаем, а на самом деле она неверна. Вероятность такой ошибки – β .

Вероятность $1 - \beta$ называется мощностью критерия и позволяет оценить способность критерия различать альтернативы. Из рисунка 2 видно, что уменьшая ошибку первого рода (α), мы будем реже отвергать нулевую гипотезу, но в то же время ошибка второго рода будет расти, то есть риск принять нулевую гипотезу, когда она в самом деле неверна, будет возрастать. Из этого же рисунка следует, что, если ограничиться рассмотрением лишь ошибки первого рода, то мы полностью закрываем глаза на возможную альтернативу, которая может быть весьма существенной.

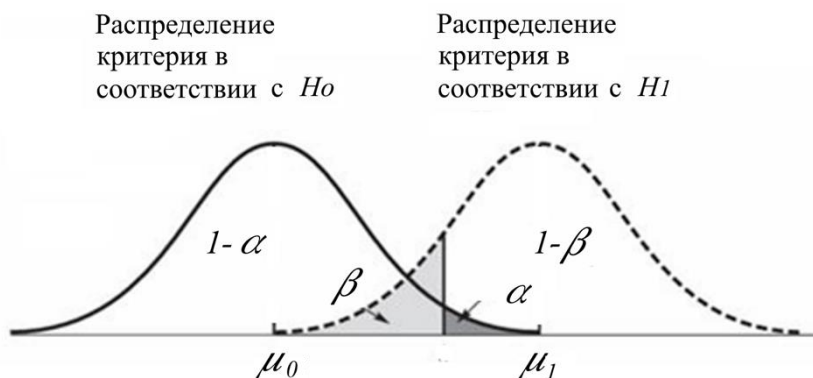


Рис. 2. Иллюстрация ошибок первого и второго рода при проверке гипотезы $H_0 : \mu_0 = \mu_1$ против альтернативной гипотезы $H_1 : \mu_0 < \mu_1$.

Fig. 2. Illustration of errors of the first and the second kind when testing the hypothesis $H_0 : \mu_0 = \mu_1$ against the alternative hypothesis $H_1 : \mu_0 < \mu_1$.

Например, мы предполагаем, что новый препарат против сорняков увеличивает урожайность пшеницы. Нулевая гипотеза будет свидетельствовать о том, что урожайность не изменяется. Простая альтернатива – урожайность увеличивается на 10%. Если мы заинтересованы в том, чтобы препарат был оценен как обеспечивающий повышение урожайности, мы можем увеличивать α , то есть отвергать нулевую гипотезу об отсутствии влияния препарата при более высокой ошибке первого рода. Однако если препарат не влияет, то мы не будем отвергать нулевую гипотезу, хотя она на самом деле неверна (ошибка второго рода). Последствия ошибки первого рода будут выражаться в том, что нулевую гипотезу о неизменности урожая в результате воздействия отвергли, посчитали препарат действующим, а на самом деле он ни на что не влияет, однако на его производство затрачены большие деньги. Последствия ошибки второго рода – препарат посчитали неэффективным, а он на самом деле дает заметную прибавку урожайности. Решение о том, какая из этих ошибок более важна, лежит за пределами статистики.

Приведенный пример показывает, что статистика дает лишь

оценку шансов того или иного исхода, но не доказывает их однозначно. Поэтому фраза о том, что "...результаты достоверны, поскольку обработаны статистически", на самом деле ничего не означает.

8. Нормальность распределения

Нормальность (подчинение распределения случайной величины нормальному закону) генеральной совокупности, из которой извлекается выборка, характеризующая объект, для большинства статистических методов является необходимым условием их применимости.

Простым индикатором того, что выборочные данные получены из нормальной совокупности, служит коэффициент вариации. Если выборочный коэффициент вариации (для свойств, принимающих положительные значения)

$$V = \frac{S}{\bar{X}} * 100\%$$

превышает 70%, то, скорее всего, распределение отличается от нормального. В более "строгих" руководствах ([Кобзарь, 2012](#)) предлагается считать распределение отличающимся от нормального, если коэффициент вариации больше 35%. Для проверки гипотезы о типе распределения требуется достаточно большое число повторностей. Так, в соответствии с [ГОСТ Р ИСО 5725-6-2002](#), если число повторностей меньше 15, то вообще никакие проверки не проводятся и распределение считается нормальным, хотя в соответствии с предыдущей рекомендацией, для выборок, имеющих коэффициент вариации более 70%, все-таки стоило бы хотя бы провести выбраковку наиболее сильно "отскакивающих" значений.

Гипотеза о нормальности распределения может быть проверена при помощи различных критериев, некоторые из них приведены в таблице 2 ([Кобзарь, 2012](#); [Лемешко, Рогожников, 2012](#)). В почвоведении применяется лишь небольшая часть.

Успех применения критерия зависит не только от истинности нулевой гипотезы (действительно нормального распределения), но и от других причин – от объема выборки и от альтерна-

тив, относительно которых он проверяет гипотезу. Так в статье ([Лемешко, Рогожников, 2012](#)) показано, что критерий Шапиро-Уилка наилучшим образом работает против логарифмически нормального закона, а критерий Шпигельхальтера – против логистического. В книге ([Кобзарь, 2012](#)) приведена ранжированная таблица критериев по отношению к асимметрии и эксцессу альтернативных распределений, против которых они являются наилучшими.

Таблица 2. Критерии для проверки гипотезы о нормальности распределения

Table 2. Criteria for testing the normal distribution hypothesis

1	Критерий Шапиро-Уилка *	11	Критерий асимметрии и эксцесса
2	Критерий Дарбина	12	Критерий Д'Агостино
3	Критерий Васичека	13	Критерий Дэвида-Хартли-Пирсона
4	Критерий хи-квадрат	14	Критерий Андерсона-Дарлинга
5	Критерий Филлибена	15	Критерий Колмогорова-Смирнова
6	Критерий Мартинса-Иглевича	16	Критерий Лина-Мудхолкара
7	Критерий Шпигельхальтера	17	Критерий Саркади
8	Критерий Смирнова-Крамера-фон Мизеса	18	Критерий Локка-Спурье
9	Критерий Оя	19	Критерий Хегази-Грина
10	Критерий Муроты-Такеучи		

Примечание. *Жирным выделены наиболее часто используемые критерии.

В работе ([Лемешко, Рогожников, 2012](#)) также показано, что для ряда надежных экспериментальных данных практически все применяемые критерии не отвергают гипотезу о нормальном распределении ошибок, однако, "...с другой стороны, очевидно, что для описания ошибок измерений в данных экспериментах можно подобрать и другие параметрические модели законов, не менее хорошо согласующиеся с результатами измерений", иллюстраци-

ей чего могут быть два разных статистических распределения, приведенных на рисунке 3. При такой близости кривых, ни один из критериев не сможет их различить.

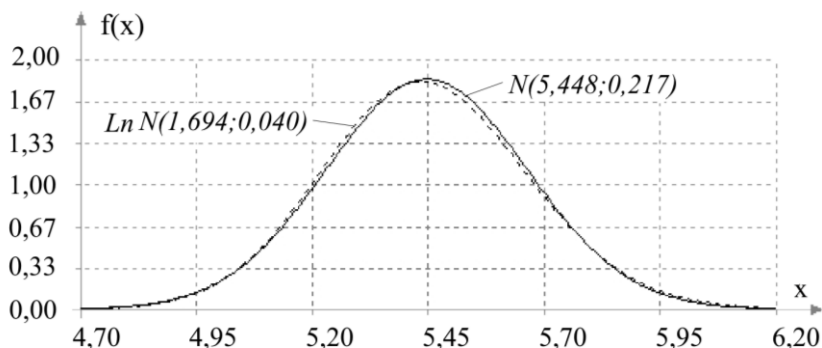


Рис. 3. Иллюстрация близости нормального (N) и логарифмически нормального (Ln N) распределений ([Лемешко, Рогожников, 2012](#)).

Fig. 3. Illustration of the proximity of normal (N) and logarithmically normal (Ln N) distributions ([Lemeshko, Rogozhnikov, 2012](#)).

Для использования в качестве теоретической модели распределения, подчиняющегося тому или иному закону, должны быть веские основания. В противном случае можно обнаружить, что выборочные распределения могут быть аппроксимированы разными законами.

9. Коэффициенты корреляции

Коэффициент корреляции Пирсона – один из наиболее используемых индикаторов для оценки силы взаимосвязи двух признаков. Однако часто забывается, что 1) коэффициент корреляции Пирсона оценивает степень линейной взаимосвязи нормально распределенных совокупностей и 2) оценка значимости “силы” связи зависит не только от значения коэффициента корреляции, но и от числа повторностей (n), при которых этот коэффициент был рассчитан. Без указания числа повторностей утверждение, например, что “между признаками существует тесная связь”, если ко-

коэффициент корреляции равен $r = 0.8$, бессмысленно, поскольку при $n < 7$ и $\alpha = 0.05$ такой коэффициент незначимо отличен от нуля. В современных статистических программах значимые коэффициенты корреляции при выбранном уровне значимости выделяются цветом, что упрощает интерпретацию результатов.

Похожие ошибки возникают и при сравнении коэффициентов корреляции. Утверждение, что некое воздействие привело к росту коэффициента корреляции между признаками от 0.5 до 0.6 без специальной проверки также бессмысленно, поскольку решение вопроса о различиях зависит и от объемов выборки, и от уровня значимости. Так, например, при объеме выборок $n = 10$ коэффициенты корреляции $r_1 = 0.8$ и $r_2 = 0.2$ и уровне значимости $\alpha = 0.05$ не различаются (минимальная повторность для различий составляет $n = 14!$).

Непараметрический коэффициент корреляции Спирмена позволяет избежать ошибок, возникающих из-за присутствия в выборках “отскоков”, обуславливающих неоправданно высокие коэффициенты корреляции Пирсона, однако он также зависит от повторностей. Таблицы для оценки значимости коэффициентов корреляции можно найти в книге Е.А. Дмитриева ([Дмитриев, 1995](#)) или в интернете. Отметим, что, если в выборке присутствуют “отскоки”, то значения коэффициентов Спирмена будут иметь более низкие значения по сравнению с коэффициентами Пирсона. Для выборок из нормальных распределений коэффициенты будут практически одинаковы. Подробно различные аспекты применения и интерпретации коэффициентов корреляции обсуждаются в книге Ю.Н. Благовещенского ([Благовещенский, 2009](#)).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Перечисленные ошибки и неточности отнюдь не исчерпывают всех возможных огрехов в применении статистики в почвоведении. Так, в стороне остались вопросы расчетов необходимых повторностей для обоснования тех или иных выводов, вопросы планирования эксперимента для того, чтобы избежать мнимых повторностей, вопросы множественного сравнения средних значений и обоснованности применения непараметрических оценок и

другие. Каждая из этих тем требует отдельного подробного обсуждения. Однако, если на обсуждаемые вопросы будут обращать внимание авторы статей и рецензенты, качество публикаций в отечественных журналах должно улучшиться, а интерпретации результатов будут более обоснованы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Благовещенский Ю.Н.* Тайны корреляционных связей в статистике. М.: [ИНФРА-М](#), 2009. 158 с.
2. ГОСТ Р ИСО 5725-6-2002. Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений, М.: Стандартинформ, 2009. 58 с.
3. ГОСТ Р 50779.10-2000. Статистические методы. Вероятность и основы статистики. Термины и определения, М.: Стандартинформ, 2005. 46 с.
4. *Дмитриев Е.А.* Математическая статистика в почвоведении. М.: МГУ, 1995. 320 с.
5. *Кобзарь А.И.* Прикладная математическая статистика. Для инженеров и научных работников. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2012. 816 с.
6. *Козлов М.В.* Мнимые повторности (pseudoreplication) в экологических исследованиях: проблема, не замеченная российскими учеными // Журнал общей биологии. 2003. Т. 64. № 4. С. 292–307.
7. *Лемешко Б.Ю., Рогожников А.П.* О нормальности погрешностей измерений в классических экспериментах и мощности критериев, применяемых для проверки отклонения от нормального закона // Метрология. 2012. № 5. С. 3–26.
8. *Кондрашкина М.И.* Влияние размера и формы образца на информацию о почвенном объекте: Автореферат дис. ... канд. биологических наук: 03.00.27. М., 1991. 24 с.
9. ПНД Ф 16.2.2:2.3.71-2011. Количественный химический анализ почв. Методика измерений массовых долей металлов в осадках сточных вод донных отложениях, образцах растительного происхождения спектральными методами.
10. *Hurlbert S.H.* Pseudoreplication and the design of ecological field experiments // Ecological Monographs. Vol. 54 (2). 1984. P. 187–211.
11. *Gurevitch J., Hedges L.V.* Meta-analysis. Combining the results of independent experiments // Design and analysis of ecological experiments / Schneider SM, Gurevitch J (eds). Oxford University Press. Oxford. USA. 2001. P. 347–369.

12. Oldfield E.E., Bradford M.A., Wood S.A. Global meta-analysis of the relationship between soil organic matter and crop yields // *Soil*. Vol. 5. Iss. 1. 2019. P. 15–32.
13. Webster R. Statistics to support soil research and their presentation // *European Journal of Soil Science*. 2001. Vol. 52. P. 331–340.

REFERENCES

1. Blagoveshchenskii Yu.N., *Tainy korrelyatsionnykh svyazei v statistike* (Secrets of correlations in statistics), Moscow: INFRA-M, 2009, 158 p.
2. GOST R ISO 5725-6-2002 (State standard), Moscow: Standartinform, 2009, 58 p.
3. GOST R 50779.10-2000 (State standard), Moscow: Standartinform, 2005, 46 p.
4. Dmitriev E.A., *Matematicheskaya statistika v pochvovedenii* (Mathematical statistics in soil science), Moscow: MGU, 1995, 320 p.
5. Kobzar' A.I., *Prikladnaya matematicheskaya statistika* (Applied mathematical statistics), Moscow: Fizmatlit, 2006, 816 p.
6. Kozlov M.V., Mnimye povtornosti (pseudoreplication) v ekologicheskikh issledovaniyakh: problema, ne zamechennaya rossiiskimi uchenymi (Pseudoreplication in environmental research: a problem not noticed by Russian scientists), *Zhurnal obshchei biologii*, 2003, Vol. 64, No. 4, pp. 292–307.
7. Lemesenko B.Yu., Rogozhnikov A.P., O normal'nosti pogreshnostei izmerenii v klassicheskikh eksperimentakh i moshchnosti kriteriev, primenyaemykh dlya proverki otkloneniya ot normal'nogo zakona (On the normality of measurement errors in classical experiments and the power of criteria used to check deviations from the normal law), *Metrologiya*, 2012, No. 5, pp. 3–26.
8. Kondrashkina M.I., Vliyanie razmera i formy obraztsa na informatsiyu o pochvennom ob'ekte: Avtoref. dis. ... kand. biol. nauk (Effect of sample size and shape on soil object information, Extended abstract of cand. bio. sci. thesis), 03.00.27, Moscow: MGU, 1991, 24 p.
9. PND F 16.2.2:2.3.71-2011 (Federal Environmental Regulations), Moscow, 2011, 45 p.
10. Hurlbert S.H., Pseudoreplication and the design of ecological field experiments, *Ecological Monographs*, Vol. 54, No. 2, 1984, pp. 187–211.
11. Gurevitch J., Hedges L.V., Meta-analysis. Combining the results of independent experiments, *Design and analysis of ecological experiments*, Schneider S.M., Gurevitch J. (eds), Oxford University Press, 2001, pp. 347–369.

12. Oldfield E.E., Bradford M.A., Wood S.A., Global meta-analysis of the relationship between soil organic matter and crop yields, *Soil*, Vol. 5, Iss. 1, 2019, pp. 15–32.

13. Webster R., Statistics to support soil research and their presentation, *European Journal of Soil Science*, 2001, Vol. 52, pp. 331–340.

Научное издание

Бюллетень Почвенного института
имени В.В. Докучаева

Выпуск 102

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 08.07.2020 г.
Подписано в печать 08.07.2020 г.
Формат 60×84/16. Бумага офсетная.
Усл. печ. л. 10,7 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