

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

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

---

---

**БЮЛЛЕТЕНЬ**  
**ПОЧВЕННОГО ИНСТИТУТА**  
**имени В.В. ДОКУЧАЕВА**

**Выпуск 112**

**Москва**  
**2022**

<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 112**

**Moscow**  
**2022**

<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”, 2022 г.

© Federal Research Centre “V.V. Dokuchaev Soil Science Institute”, 2022

## СОДЕРЖАНИЕ

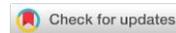
Вехи истории (к 95-летию Почвенного института им. В.В. Докучаева)	
<i>Иванов А.Л., Апарин Б.Ф.</i> .....	5
Особенности спектральной отражательной способности фракций образцов почв размером от 20 до 5 000 мкм	
<i>Савин И.Ю., Шишкин М.А., Шарычев Д.В.</i> .....	24
Влияние сроков и способов хранения на изменение активности ферментов черноземовидной почвы Зейско-Буреинской равнины	
<i>Пилецкая О.А., Ячная Д.А.</i> .....	48
Анализ почвенного покрова России по карте масштаба 1 : 2.5 млн с использованием новой классификации: отделы почв и их площади	
<i>Конюшков Д.Е., Ананко Т.В., Герасимова М.И., Савицкая Н.В., Чуванов С.В.</i> .....	73
Водоэкстрагируемый и микробный углерод черноземов разного вида использования	
<i>Холодов В.А., Фарходов Ю.Р., Ярославцева Н.В., Данченко Н.Н., Ильин Б.С., Лазарев В.И.</i> .....	122
Количественная оценка растительных остатков в прямом посеве по данным дистанционного зондирования и полевого обследования почвенного покрова	
<i>Ермолаев Н.Р., Юдин С.А., Белобров В.П., Дридригер В.К., Гаджиумаров Р.Г.</i> .....	134
Динамика промерзания и оттаивания почвы в агролесоландшафте	
<i>Кулик А.В., Гордиенко О.А., Шайфуллин М.Р.</i> .....	160

## CONTENTS

Milestones of the history (to the 95-th anniversary of the V.V.Dokuchaev Soil Science Institute) <i>Ivanov A.L., Aparin B.F.</i> .....	5
Peculiarities of spectral reflectance of fractions with sizes from 20 to 5,000 microns in soil samples <i>Savin I.Yu., Shishkin M.A., Sharychev D.V.</i> .....	24
Influence of terms and methods of storage on changes in enzyme activity of meadow chernozem-like soil on Zeya-Bureya plain <i>Piletskaya O.A., Yachnaya D.A.</i> .....	48
Soil orders and their areas on the updated soil map of the Russian Federation, 1 : 2.5 M scale <i>Konyushkov D.E., Ananko T.V., Gerasimova M.I., Savitskaya N.V., Chuvanov S.V.</i> .....	73
Dissolved organic matter and microbial carbon of Protocalcic Chernozems of different land management <i>Kholodov V.A., Farkhodov Yu.R., Yaroslavtseva N.V., Danchenko N.N., Ilyin B.S., Lazarev V.I.</i> .....	122
Quantitative assessment of crop residues in no-till technology according to remote sensing data and field soil cover survey <i>Ermolaev N.R., Yudin S.A., Belobrov V.P., Dridiger V.K., Gadzhumarov R.G.</i> .....	134
Dynamics of soil freezing and thawing in the agroforestry landscape <i>Kulik A.V., Gordienko O.A., Shaifullin M.R.</i> .....	160

УДК 631.4

DOI: 10.19047/0136-1694-2022-112-5-23



### Ссылки для цитирования:

Иванов А.Л., Апарин Б.Ф. Вехи истории (к 95-летию Почвенного института им. В.В. Докучаева) // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. 2022. Вып. 112. С. 5-23. DOI: 10.19047/0136-1694-2022-112-5-23

### Cite this article as:

Ivanov A.L., Aparin B.F., Milestones of the history (to the 95-th anniversary of the V.V. Dokuchaev Soil Science Institute), Dokuchaev Soil Bulletin, 2022, V. 112, pp. 5-23, DOI: 10.19047/0136-1694-2022-112-5-23

## Вехи истории (к 95-летию Почвенного института им. В.В. Докучаева)

© 2022 г. А. Л. Иванов<sup>1</sup>, Б. Ф. Апарин<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ФИЦ “Почвенный институт им. В.В. Докучаева”, Россия,  
119017, Москва, Пыжевский пер, 7, стр. 2,  
e-mail: [ivanov\\_al@esoil.ru](mailto:ivanov_al@esoil.ru).

<sup>2</sup>Центральный музей почвоведения им. В.В. Докучаева –  
филиал ФИЦ “Почвенный институт им. В.В. Докучаева”, Россия  
199034, Санкт-Петербург, Биржевой проезд, д. 6,  
e-mail: [soilmuseum@bk.ru](mailto:soilmuseum@bk.ru).

Поступила в редакцию 27.10.2022, после доработки 07.11.2022,  
принята к публикации 08.11.2022

**Резюме:** В статье рассмотрены логика и периоды развития Почвенного института им. В.В. Докучаева, их движущая сила, важнейшие итоги и задачи на ближайшее будущее. В истории Института выделено четыре периода: становление, устойчивое развитие, выживание, возрождение. За индикаторы периодов приняты научно-организационная структура учреждения, вклад в развитие теоретического и прикладного почвоведения. В его структуре в период становления просматривается приоритет фундаментальных исследований почв по ведущим направлениям: физика, химия, генезис, биология и т. д. опережающее развитие теоретических исследований позволяло ученым оперативно отвечать на актуальные запросы развивающейся страны: поиск почвенных ресурсов для возделывания технических культур, освоения

новых территорий, мелиоративного и гидротехнического строительства. К 70-м годам прошлого столетия в Институте окончательно сформировалась устойчивая научно-организационная структура. В начале 90-х годов Почвенный институт вступил в критическую фазу развития. Второе десятилетие XXI в. стало поворотным в его судьбе. Была необходима новая стратегия в развитии научной деятельности Института. Она состояла из трех взаимосвязанных элементов. Первый – модернизация материально-технической базы научных исследований; второй – укрепление кадрового потенциала за счет привлечения мотивированной к науке молодежи; третий – выстраивание эффективных одно- и многосторонних взаимодействий между партнерами – потребителями знаний. Главными областями взаимодействия являлись актуальные проблемы: продовольственная безопасность, глобальное изменение климата и их последствия для страны. Показано, что только при постоянном потоке информации с использованием арсенала разнообразных средств и методов научные исследования получают признание и поддержку общества. Подтверждением значимости почвоведения как фундаментальной дисциплины в социально-экономическом развитии страны стало Постановление Правительства (2022 г.) о праздновании 100-летия Почвенного института им. В.В. Докучаева. Современная ноосферная парадигма почвоведения ставит новые проблемы перед наукой, на переднем крае которой находится Почвенный институт им. В.В. Докучаева.

**Ключевые слова:** парадигма почвоведения, продовольственная безопасность, периоды развития Института, научно-организационная структура.

## **Milestones of the history (to the 95-th anniversary of the V.V. Dokuchaev Soil Science Institute)**

© 2022 A. L. Ivanov<sup>1</sup>, B. F. Aparin<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Federal Research Centre “V.V. Dokuchaev Soil Science Institute”,  
7 Bld. 2 Pyzhevskiy per., Moscow 119017, Russian Federation,  
e-mail: [ivanov\\_al@esoil.ru](mailto:ivanov_al@esoil.ru).*

<sup>2</sup>*V.V. Dokuchaev Central Soil Museum – Branch of the  
Federal Research Centre “V.V. Dokuchaev Soil Science Institute”,  
6 Birzhevoy proezd, Saint Petersburg 199034, Russian Federation,  
e-mail: [soilmuseum@bk.ru](mailto:soilmuseum@bk.ru).*

*Received 27.10.2022, Revised 07.11.2022, Accepted 08.11.2022*

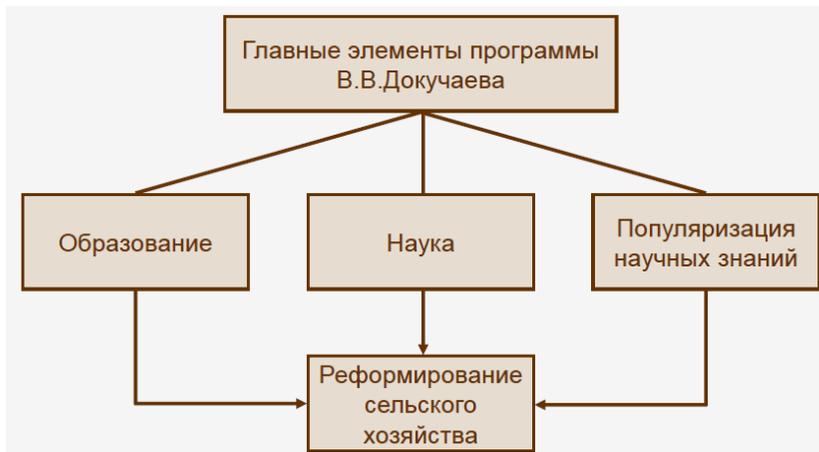
**Abstract:** The article considers the logic and periods of V.V. Dokuchaev Soil Science Institute development as well as the driving forces during the mentioned periods and the most important outcomes and tasks for the near future. One can distinguish four main periods in the history of the Institute, they are: organization, sustainable development, survival, revival. Some factors like scientific and organizational structure of the Institute, its contribution to the development of theoretical and applied soil science are considered as the indicators typical of each period. Firstly, the Institute structure during the initial organization period shows the priority of fundamental soil research in the leading areas: soil physics, soil chemistry, soil genesis, biology, etc. Advanced development of theoretical research allowed scientists to promptly respond to actual needs of the developing country: search for soil resources for cultivation of technical crops, development of new territories, land reclamation and hydrotechnical construction. By the 1970s a kind of sustainable scientific and organizational structure had finally formed in the Institute. In the early 90s, the Soil Science Institute entered a critical phase of development. The second decade of the XXI century became a turning point in its fate. A new strategy in the development of scientific activities of the Institute was sorely needed. The new strategy consisted of three interrelated elements. The first one was modernization of the material and technical basis for researches; the second one was strengthening of the human resources potential through attraction of motivated young researchers; and the third one was in establishing unilateral and multilateral interactions between the partners – users of scientific knowledge. The main areas of interaction were the topical issues: food security, global climate change and their implications for the country. It has been shown that society can recognize and support the scientific research only if a constant flow of information, obtained by means of different tools and methods, is provided. The significance of soil science as a fundamental discipline in the socio-economic development of the country was confirmed by the Government Resolution (2022) on the celebration of the 100-th anniversary of the V.V. Dokuchaev Soil Science Institute. The modern noosphere paradigm in soil research poses new challenges to the science, at the forefront of which is V.V. Dokuchaev Soil Science Institute.

**Keywords:** soil science paradigm, food security, periods of the Institute development, scientific and organizational structure.

## ВВЕДЕНИЕ

Почти 50 лет отделяет время открытия Почвенного института (1927 г.) при Академии Наук от первого упоминания В.В. Докучаева о необходимости его организации. Мысли о создании в

России самостоятельного почвенного учреждения с музеем и лабораторией впервые были высказаны В.В. Докучаевым в 1879 г. в книге “Картография русских почв” (Докучаев, 1949–1953, Т. 2, с. 241). Создание Почвенного института было одним из элементов программы Василия Васильевича для вывода сельского хозяйства России из кризисного состояния (рис. 1).



**Рис. 1.** Программа В.В. Докучаева выхода сельского хозяйства из кризиса.

**Fig. 1.** The crisis recovery programme for agricultural sector developed by V.V. Dokuchaev.

В России в связи с ее разнообразными природными условиями, особенностями сельскохозяйственного уклада, запущенности и отсталости земледелия без науки сделать это было невозможно. Однако в чиновничьей России преодолеть косность мышления оказалось не просто. “На мой проект Почвенного института набросились все силы тьмы и ада... Уступать не думаю ни одной пяди” (Докучаев, 1949–1953, Т. 8, с. 172). Идея пробивала дорогу через общественные организации при поддержке прогрессивно мыслящих людей. Среди них были А.П. Энгельгардт, А.В. Советов, Д.И. Менделеев, А.А. Измаильский, И.П. Архипов. Этому способствовало создание Докучаевской научной школы, образо-

вание, широкая популяризация науки и привлечение на свою сторону здравомыслящих деятелей земств, способных воспринимать научные идеи. В.В. Докучаева поддержали авторитетные научные сообщества, в которых был сосредоточен научный потенциал России: Императорское Вольное Экономическое Общество (ВЭО), Минералогическое и Ботаническое общества, Общество естествоиспытателей.

В 1888 г. при ВЭО была учреждена почвенная комиссия, а в 1895 г. при Ученом комитете Министерства земледелия и государственных имуществ было открыто Бюро по почвоведению. В структуре Бюро было три отдела: научный, технический и справочный. Задачи Бюро были определены В.В. Докучаевым. Для научного отдела они были следующие: 1) составление почвенной карты России и детальных карт опытных, учебных и “демонстративных” полей; 2) исследование почв европейской России и Сибири, проведение почвенного районирования; 3) изучение связей между почвами и факторами почвообразования, с одной стороны, и важнейшими культурными растениями и лесными породами – с другой; 4) составление популярных очерков по главным типам почв. Технический отдел должен был заниматься разнообразными анализами почв, естественно-исторической оценкой почв “на месте”; составлением для правительственных учреждений “образцовых коллекций почв и почвенного покрова России”. Справочный отдел предназначался для обеспечения научной литературой, методами оценки почв и материалами их исследований ([Докучаев, 1949–1953](#), Т. 2, с. 42). Эти задачи стали основой для деятельности будущего Почвенного института.

В 1904 г. при ВЭО был открыт Центральный музей почвоведения им. В.В. Докучаева (Музей, ЦМП) – первое почвенное учреждение в мире. На Музей возлагались функции центра по сбору коллекций, обобщению материалов почвенных исследований и популяризации новой науки. В 1912 г. при Главном управлении Министерства землеустройства и земледелия был учрежден Почвенный комитет. Это стало первым шагом к “огосударствлению” почвенной науки. В 1918 г. при Комиссии по изучению естественных производительных сил России (КЕПС) по инициативе ученика Василия Васильевича, Ф.Ю. Левинсон-Лессинга, был ор-

ганизован почвенный отдел. В 1925 г. отдел был преобразован в Почвенный институт КЕПС. В 1927 г. Почвенный институт вместе с музеем был включен в состав АН СССР.

Теоретическое наследие, которое принял Почвенный институт, было внушительным. К этому времени Докучаевское почвоведение получило полное признание в России и за рубежом. Были разработаны и апробированы методология и основные методы исследования, созданы классификация почв и почвенные карты, накоплены обширные материалы региональных исследований почв, были многочисленные ученики и последователи Докучаева, способные решать научные проблемы в области почвоведения, имелся опыт взаимодействия ученых с государственными чиновниками и обществом.

Истории Почвенного института посвящено много страниц ([Почвенный институт..., 1977](#); [1983](#); [2002](#); [Распоряжение Правительства РФ..., 2022](#)). Цель данной работы – проследить логику развития научных исследований в Институте, определить их движущие силы, важнейшие итоги и задачи на ближайшее будущее.

## ПЕРИОДЫ РАЗВИТИЯ

В истории Института можно выделить, по крайней мере, четыре периода: становление, устойчивое развитие, выживание, возрождение. Периоды можно проследить по изменению научно-организационной структуры Института, отражающей направление исследовательской деятельности коллектива.

**Становление.** Основы научно-организационной структуры были заложены уже в первое десятилетие научной деятельности Института. К 1935 г. он состоял из одного отдела “картография и география почв” и проблемно-методических лабораторий: биохимии, химии, физической химии, физики, минералогии, плодородия и засоления почв; трех кабинетов (минералогии, рентгеноструктурного анализа, эрозии почв); и группы по агрохимии. В составе отдела работали зональные группы, которые возглавляли Б.Б. Польшов, С.С. Неуструев, Н.И. Прохоров, М.И. Рожанец.

Определяющим в формировании научно-организационной структуры Института была сложившаяся к тому времени структура почвоведения как фундаментальной науки. Немаловажное зна-

чение имели также интересы ученых, образовавших ядро научного сообщества Института (А.Т. Кирсанов – плодородие почв; И.Н. Антипов-Каратаев – физическая химия; И.В. Тюрин – биохимия; А.М. Панков – эрозия почв; Д.Н. Прянишников – агрохимия; Б.Б. Польшов – засоленные почвы). Таким образом, в структуре Института в период его становления просматривается приоритет фундаментальных исследований почв по ведущим направлениям: физика, химия, генезис, биология и т. д.

Знания, полученные учеными Почвенного института в многочисленных экспедиционных исследованиях почвенного покрова в разных природных зонах страны, объективно вызвали необходимость новых классификационных построений (Б.Б. Польшов, 1933; И.П. Герасимов, А.А. Завалишин, Е.Н. Иванова, 1935) и создания на их основе карт. Генетический подход к классификации почв, сопряженный с характеристикой факторов почвообразования, позволял успешно реализовать прогностическую функцию, заложенную в Докучаевских законах почвоведения, и раскрыть закономерности почвенного покрова на разных уровнях его организации (отдельные регионы, страны и мир в целом). Синтез знаний о закономерностях строения почвенного покрова, установленных на основании Докучаевской естественно-научной парадигмы, позволил ученым Института создать почвенные карты мира и отдельных континентов (Большой Советский Атлас Мира, 1937–1940). Важным вкладом в теорию организации почвенного покрова стали разработки Л.И. Прасолова: учение о почвенных провинциях и принципы почвенно-географического районирования. Материалы исследований почвенного покрова были обобщены в выпущенной монографии “Почвы СССР” в трех томах.

Достижения ученых Института в области теоретического и прикладного почвоведения были впечатляющими. Среди них учения: о почвенно-поглощающем комплексе (К.К. Гедройц), кислотности почв (В.А. Чернов), поглотительной способности (И.Н. Антипов-Каратаев, Н.И. Горбунов), гумусе (И.В. Тюрин).

Опережающее развитие фундаментальных исследований позволяло ученым Почвенного института оперативно отвечать на актуальные запросы, такие как, например, поиск почвенных ресурсов для возделывания технических культур (хлопчатник),

освоения новых территорий, для мелиоративного и гидротехнического строительства.

Период становления Института занял около 20 лет. О признании заслуг почвоведения перед страной свидетельствует постановление Совета Народных Комиссаров (СНК) о праздновании 100-летия со дня рождения В.В. Докучаева в 1946 г.

***Устойчивое развитие.*** Расширение и укрупнение задач, которые был призван решать коллектив Института, способствовали усложнению научно-организационной структуры. К 50-летнему рубежу Институт состоял из 6 отделов, 6 лабораторий и группы (рис. 2). Эффективной научной деятельности способствовала хорошо продуманная инфраструктура, в том числе организованные в 1961 г. многочисленные опорные пункты. В состав Почвенного института входил Центральный музей почвоведения. В нем успешно работали 3 научно-исследовательские группы: география и генезис, биохимия и микробиология почв. В Музее разрабатывалась теория популяризации науки, формы и методы просвещения населения в области почвоведения.

Взросший круг задач, вставших перед Институтом в 50–70-х годах прошлого столетия в связи с госпрограммами по решению продовольственной проблемы, задачами повышения эффективности сельского хозяйства на основе специализации, мелиорации и химизации земледелия, потребовал увеличения доли прикладных исследований в научной структуре Института. В числе научных отделов появились новые: агропочвенного районирования и бонитировки, генезиса и мелиорации орошаемых почв. Повысили свой статус лаборатории агрохимии и эрозии почв. В разделах фундаментального направления также возросло внимание к прикладным исследованиям. В результате симбиоза теоретических и прикладных исследований были получены новые знания: создано почвенно-географическое районирование (1962 г.), а на его основе – природно-сельскохозяйственное районирование Н.Н. Розова (1975 г.); разработаны методы оценки ресурсного потенциала почв; сделан существенный вклад в теорию плодородия. Эти результаты в значительной мере были получены на основе экспериментальных исследований на опорных пунктах в различных природных зонах. Накопленные знания были обобщены в 15-томном издании “Агро-

химическая характеристика почв” и 4-томном – “Агрофизическая характеристика почв”. В сущности, это был прообраз современных компьютерных баз данных. Значение их непреходяще.



**Рис. 2.** Научно-организационная структура Института (1977):

**А** – Отделы: Генезиса, географии и классификации почв; Агрочувствительного районирования и бонитировки почв; Генезиса и мелиорации орошаемых почв; Эрозии почв; Агрохимии почв; Физики и технологии почв. **Б** – Лаборатории: Биохимии и микробиологии почв; Генезиса и мелиорации солонцов; Химии почв; Физической химии и минералогии почв; Математических методов исследования и обработки экспериментальных данных; Моделирования эрозионных процессов. Группа аэрокосмических (дистанционных) методов изучения почв. **В** – Центральный музей почвоведения им. В.В. Докучаева. **Г** – Опорные пункты: Зеленоградский (Московская обл.); Одинцовский (Московская обл.); Ивановский (Тульская обл.); Петринский (Курская обл.); Кисловский (Волгоградская обл.); Восходовский; Армавирский (Краснодарский край); Диевский (Кустанайская обл. Казахстана); Волгоградский (Волгоградская обл.); Сырдарьинский (Узбекская ССР). **Д** – Отдел координации, внедрения и научно-технической информации. **Е** – Отдел использования приборных систем.

**Fig. 2.** Scientific and organisational structure of the Institute (1977):

**А** – Departments: Genesis, geography and soil classification; Agricultural soil zoning and soil assessment; Genesis and melioration of irrigated soils; Soil erosion; Soil agrochemistry; Soil physics and technology. **Б** – Laboratories: Biochemistry and microbiology of soils; Genesis and reclamation of solonetz soils; Chemistry of soils; Soil physics, chemistry and mineralogy; Mathematical methods of research and experimental data processing; Modelling of erosion processes. Group of aerospace (remote sensing) methods of soil studies. **В** – V.V. Dokuchaev Central Soil Museum. **Г** – Reference points: Zelenogradsky (Moscow Region); Odintsovsky (Moscow Region); Ivankovsky (Tula Region); Petrinsky (Kursk Region); Kislovsky (Volgograd Region); Voskhodsky; Armavirsky (Krasnodar Territory); Dievsky (Kustanai Region, Kazakhstan); Volgogradsky (Volgograd Region); Syrdarsky (Uzbek SSR). **Д** – Department for coordination, implementation and scientific and technical information. **Е** – Department for use of instrumentation systems.

К 70-м годам прошлого столетия в Институте окончательно сформировалась устойчивая научно-организационная структура, которая с небольшими изменениями просуществовала до начала 90-х годов.

Развитие Института шло по пути увеличения числа научных отделов главным образом за счет изменения статуса некоторых лабораторий (эрозии, агрохимии, физики). Это было вызвано необходимостью решения задач в области повышения плодородия и оценки почвенных ресурсов. Фундаментальные направления не претерпели существенных изменений в своей структуре.

Второй период ознаменовался крупными научными достижениями: учение об органическом веществе почв (М.М. Кононова, В.В. Пономарева), почвенной влаге (А.А. Роде), тепловом режиме (В.Н. Димо), структуре почвенного покрова (В.М. Фридланд), теория подзолообразования (А.А. Роде, В.В. Пономарева, Т.В. Аристовская), теория почвообразовательного процесса (А.А. Роде, И.П. Герасимов, Т.В. Аристовская, В.В. Пономарева), генетического разнообразия почв (В.А. Ковда, А.А. Роде, Е.Н. Иванова, И.А. Соколов, А.Н. Розанов, Н.А. Ногина, И.Н. Скрынникова, А.А. Завалишин, В.Г. Зольников). Крупным картографическим произведением стала почвенная карта РСФСР (масштаб 1 : 2.5 млн, 1988), созданная под редакцией В.М. Фридланда на основе

классификации почв СССР (1977). В ней интегрированы знания о генетическом разнообразии почв страны, накопленные за все предшествующие годы исследований. Информационная емкость классификации, на основе которой создана карты, была исключительно велика. Почвы в этой классификации характеризуют системные свойства (признаки экосистем). Связи факторов почвообразования и свойств в ней не умоглядны. Они были установлены на основании режимных исследований многочисленных стационаров в разных экосистемах (Джаныбекский, Белопрудский, Зеленоградский и др.).

Аккумуляция знаний в области географии и генезиса почв сменялась их синтезом. Кроме классификации и карт были созданы крупные монографические обобщения: “Черноземы СССР” в 3 томах (1974 г.), “Подзолистые почвы” в 3 томах (1977–1980 гг.). Эти работы подвели итоги многолетних исследований почв.

Материалы научных исследований второго периода легли в основу разработок зональных систем земледелия, использовались при разработке госпрограмм по повышению эффективности сельского хозяйства, решению продовольственной проблемы, проектов по землеустройству, мелиоративного и гидротехнического строительства и т. д. Крупными потребителями знаний были гипроземы, гипроводхозы и агрохимслужба. Это были своеобразные “приводные ремни” – посредники между наукой и сельскохозяйственным производством. Отлаженная в стране система воспроизводства плодородия давала нужный эффект: уменьшилась доля кислых почв, формировался положительный баланс элементов питания растений и гумуса, оптимизировался водный режим почв для сельскохозяйственных растений (за счет осушения и орошения). Росла их урожайность. В результате были созданы условия для устойчивого развития страны на базе обеспечения продовольственной независимости.

Почвенный институт занимал лидирующее положение в стране, несмотря на постоянное появление новых научных коллективов (региональные институты, кафедры, лаборатории), и выполнял функции координатора почвенных исследований. По су-

шеству, Институт был междисциплинарным межведомственным методическим центром науки.

**Выживание.** Устойчивое развитие продолжалось около 45 лет. В начале 90-х годов прошлого столетия Институт вступил в критическую стадию развития, затянувшуюся почти на два десятка лет. Научно-организационная структура принципиально не изменилась, но были утрачены опорные пункты, резко сократились экспедиционные и стационарные исследования, уменьшилось число научных сотрудников. Научные знания оказались невостребованными в стране. В условиях рыночной экономики материалы прикладных исследований, ориентированные ранее на крупных государственных землепользователей (колхозы и совхозы) и плановую систему хозяйствования, были малоприменимы новыми землепользователями.

В третий период разрушилась цепочка действующего звена “наука – производство”. Гипроземы и гипроводхозы прекратили существование. Производство минеральных удобрений было сориентировано на западного потребителя. Резкое сокращение поголовий скота привело к уменьшению органических удобрений. Производителям сельскохозяйственной продукции было не до науки. Кризис в сельском хозяйстве как основного потребителя материалов почвоведения не мог не отразиться на институте.

Формально спрос на научные исследования еще сохранялся, но, скорее, по инерции, в значительной степени благодаря сохранению Россельхозакадемии. Стимулировалась утечка знаний за границу в форме научных публикаций в престижных зарубежных изданиях. Оценивать работу ученых Докучаевской научной школы стали по “цифре” по меркам запада. Такая “цифровизация” успешности работы ученых была бесперспективной. Русскоязычному потребителю новые знания, полученные отечественными учеными, оказались малодоступными. Наука о почве замыкалась сама на себя. Общество теряло к ней интерес. Это был тупиковый путь в развитии почвоведения и Почвенного института.

Ослаблению творческого потенциала Института способствовал постепенный естественный уход из жизни лидеров многих научных направлений. Институт перестал быть привлекательным для молодежи. Оказавшись в сложных условиях финансирования,

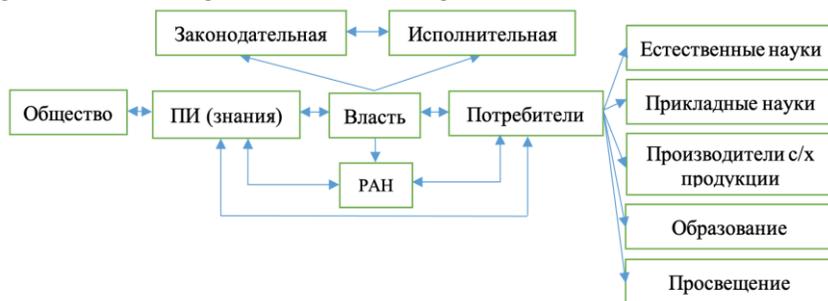
Институт “работал на энергии” ученых среднего поколения. На основе анализа, обобщения и переосмысления накопленного материала ученым Института удавалось поддерживать его авторитет. Была разработана новая классификация почв (2004), опубликован ряд монографических обобщений. В 1996 г. завершились работы по коренной реконструкции экспозиции в ЦМП им. В.В. Докучаева. В ней были реализованы разработки сотрудников музея по теории популяризации почвоведения.

**Возрождение.** Второе десятилетие XXI столетия стало поворотным в судьбе Почвенного института. Несмотря на определенные успехи ученых в поддержании Института “на плаву”, его состояние подходило к критической точке. Тактика выживания не имела будущего. Была необходима новая стратегия в развитии научной организации. Она состояла из трех взаимосвязанных элементов. Первый – модернизация материально-технической базы научных исследований; второй – укрепление кадрового потенциала за счет привлечения мотивированной к науке молодежи; третий – выстраивание эффективных односторонних и многосторонних взаимодействий между партнерами – потребителями знаний (рис. 3). Для этого важно было выделить главные области взаимодействия на основе общих интересов партнеров. Такими областями являлись актуальные проблемы: продовольственная безопасность, глобальное изменение климата и его последствия для страны. Почвенный институт стал междисциплинарной площадкой для обсуждения проблем. Этому способствовал создаваемый в Институте ситуационный аналитический центр, призванный сосредоточить разностороннюю информацию о земельных ресурсах страны, их рациональном использовании и охране, о технологиях, климате и т. д.

Обновление устаревшей материально-технической базы Института, привлечение молодежи, усиление взаимосвязи между наукой, властью и обществом, сохранение связей с РАН стало началом возрождения Почвенного института во втором десятилетии XXI в.

Для предметного диалога с законодательной и исполнительной властью нужны были “kozyри”. Одним из них стал выход в свет “Единого государственного реестра почвенных ресурсов Рос-

сии” (2019). Реестр, построенный на основе Классификации и диагностики почв СССР (1977) и совмещенный с почвенной картой России (М 1 : 2.5 млн, 1988), стал связующим звеном между теоретическими исследованиями ученых Института и материалами четырех туров агрохимического обследования почв сельскохозяйственных угодий. Он позволяет связать многочисленные рекомендации ученых Института, лежащих в основе разработки научных систем земледелия, с современными задачами управления плодородием почв и проведением кадастровой оценки земель.



**Рис. 3.** Схема взаимодействия Почвенного института с партнерами – потребителями знаний.

**Fig. 3.** Patterns of interaction between the Soil Science Institute and its partners – users of scientific knowledge.

Взаимодействие науки и общества необходимы для развития экономики страны. Только при постоянном потоке информации с использованием разнообразных арсеналов и средств научные исследования могут быть признаны и поддержаны обществом. Именно так пробивал дорогу для внедрения своих новаторских научных идей великий В.В. Докучаев. Эффективным средством взаимодействия оказалась подготовка ежегодных государственных докладов о состоянии почвенных ресурсов страны. Просветительская работа Музея среди широких слоев населения вносила свою лепту в реализацию стратегии.

Институт стал междисциплинарной площадкой для обсуждения острых проблем страны: продовольственной, глобальных изменений климата, деградации почв. Опубликовано 3 тома Национального доклада “Глобальный климат и почвенный покров Рос-

сии: опустынивание и деградация земель, институциональные, инфраструктурные, технологические меры адаптации (сельское и лесное хозяйство)”. Благодаря активной позиции в научном сообществе Почвенный институт постепенно восстанавливает координирующие научно-исследовательские функции, расширив сферу взаимодействия с учеными смежных дисциплин.

Признанием продуктивной работы Почвенного института (табл.) в интересах экономики страны, значимости почвоведения как фундаментальной науки стало постановление Правительства о праздновании столетия Почвенного института им. В.В. Докучаева ([Распоряжение Правительства РФ ..., 2022](#)).

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Человечество вступило, как принято говорить, в “эпоху турбулентности”. Социально-экономические потрясения накладываются на экологические. Среди них наиболее острыми являются взаимосвязанные проблемы продовольственной безопасности, изменения климата и деградации почв. Угрожающие темпы уменьшения количества пахотных земель на душу населения практически подошли к критическому значению (<0.3 га/чел.). Дефицит продовольствия в мире не знает границ и ведет к обострению борьбы за почвенные ресурсы. Россия со своим разнообразием и богатством почвенных ресурсов может стать потенциальным донором продовольствия в мире. Исходя из этого, проблема учета почвенных ресурсов в России и мире, оценки их качества, прогноза их изменения в результате антропогенного воздействия становится для почвоведов первоочередной задачей. Напомним, что проблему оценки почвенных ресурсов в России изучали еще на этапе становления Почвенного института им. В.В. Докучаева (Л.И. Прасолов, Н.Н. Розов). За это время произошли коренные изменения в структуре земельного фонда планеты и страны. Резерв свободных земель для земледелия практически исчерпан. Получение новых данных и их оценка является в настоящий период актуальнейшей проблемой.

**Таблица.** Крупные награды Почвенного института им. В.В. Докучаева  
**Table.** Major awards presented to V.V. Dokuchaev Soil Science Institute

<b>Наименование</b>	<b>Год</b>	<b>Заслуги</b>	<b>Лица, получившие награды</b>
Ленинская премия	1927	Учение о поглотительной способности почв	К.К. Гедройц
Сталинская премия	1942	Почвенная карта европейской части СССР и методы подсчета земельных фондов	Л.И. Прасолов
Государственная премия СССР	1951	За разработку методов борьбы с засолением почв	В.А. Ковда
Государственная премия СССР	1958	Природа почвенной кислотности	В.А. Чернов
Государственная премия СССР	1968	За исследования органического вещества почв	М.М. Кононова
Государственная премия СССР	1972	За “Основы учения о почвенной влаге”	А.А. Роде
Государственная премия СССР	1977	Учебник Почвоведение. Второе издание (1975)	Н.Н. Розов с соавторами
Орден Трудового Красного Знамени	1977	За заслуги в развитии сельскохозяйственной науки	Институт
Государственная премия РФ в области науки и техники	2001	За разработку научных основ и новых технологий биоконверсии органического сырья	Н.Г. Ковалев, Б.М. Малини, В.Е. Озолин, А.А. Смирнов, Г.Ю. Рабинович
Премия правительства Российской Федерации	2005	За разработку почвовозрастных технологий	А.С. Извеков, Д.С. Булгаков и др.
Премия правительства Российской Федерации	2013	За комплекс учебных и учебно-методических изданий “Научно-образовательное и кадровое сопровождение землеустройства...”	А.Л. Иванов, В.И. Кирюшин
Премия правительства РФ в области науки и техники	2013	За разработку научных основ отбора и инновационных технологий выращивания с/х культур	Н.Г. Ковалев, Г.Ю. Рабинович

Естественный производительный потенциал почв ограничен. Чрезмерная интенсификация воздействия на почву и ее неправильное использование ведет к разрушению естественного механизма воспроизводства плодородия почв – необходимого условия устойчивого земледелия. Прогрессивный рост площадей, занятых антропогенными формами почв, изменяет сложившийся веками баланс экологических функций почвенного покрова биосферы и ведет к потере биоразнообразия. Все экологические функции почв равнозначны для устойчивого развития биосферы. Необходимо знать, где “точка невозврата” нарушения баланса экологических функций почв?

Решение названных проблем – задачи фундаментальной науки при новой ноосферной парадигме почвоведения.

Способны ли ученые-почвоведы ответить на непростые вызовы:

- Оценить потенциал почвенных ресурсов России и мира для обеспечения продовольственной безопасности.
- Определить пределы антропогенной нагрузки на почвы в земледелии, при которых сохраняется воспроизводство плодородия почв.
- Определить параметры экологических функций и их баланс, обеспечивающие экологическую безопасность.
- Разработать механизмы, способы и методы реабилитации антропогенно-нарушенных почв.
- Осуществить цифровизацию Докучаевских законов как основу прогноза изменения почвенных ресурсов под воздействием климата, антропогенной деятельности и других факторов.
- Привить обществу понимание необходимости сохранения почв и их рационального использования.

Миссия науки не только в получении новых знаний, но и в доведении их до потребителя, для которого они должны быть интересны, понятны и полезны. Лучше всего, чтобы они были оживаемыми. Нужна подготовка потребителя к использованию знаний. Нужны каналы и способы доставки знаний адресату, и это прерогатива ученых и популяризаторов науки, а лучший пример этому – деятельность Василия Васильевича Докучаева.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Докучаев В.В.* Собрание сочинений в 9 Т. М.: Изд. АН СССР, 1949–1953.
2. Почвенный институт имени В.В. Докучаева. Проспект. М., 1977. 57 с.
3. Почвенный институт имени В.В. Докучаева. Проспект. М., 1983. 54 с.
4. Почвенный институт имени В.В. Докучаева. Буклет. М., 2002.
5. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 25.07.2022 № 2031-р «О праздновании в 2027 году 100-летия со дня основания федерального государственного бюджетного научного учреждения Федеральный исследовательский центр “Почвенный институт имени В.В. Докучаева”».
6. Сотрудники Почвенного института им. В.В. Докучаева и их вклад в развитие науки о почвах. К 90-летию создания Почвенного института им. В.В. Докучаева. М.: АПР, 2017. 400 с.
7. *Шишов Л.Л., Тонконогов В.Д., Лебедева И.И., Герасимова М.И.* Классификация и диагностика почв России. Смоленск: Ойкумена, 2004. 341 с.

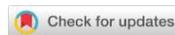
## REFERENCES

1. Dokuchaev V.V., *Sobranie sochinenii v 9 T* (Collected Works in 9 Volumes), Moscow: Izd. AN SSSR, 1949–1953.
2. *Pochvennyi institut imeni V.V. Dokuchaeva. Prospekt* (V.V. Dokuchaev Soil Science Institute. Prospectus), Moscow, 1977, 57 p.
3. *Pochvennyi institut imeni V.V. Dokuchaeva. Prospekt* (V.V. Dokuchaev Soil Science Institute. Prospectus), Moscow, 1983, 54 p.
4. *Pochvennyi institut imeni V.V. Dokuchaeva. Buklet* (V.V. Dokuchaev Soil Science Institute. Booklet), Moscow, 2002.
5. Order of the Government of the Russian Federation of 25.07.2022 No. 2031-r «On celebrating in 2027 the 100-th anniversary of foundation of Federal State Budgetary Scientific Institution Federal Research Centre “V.V. Dokuchaev Soil Science Institute”».
6. *Sotrudniki Pochvennogo instituta im. V.V. Dokuchaeva i ikh vklad v razvitie nauki o pochvakh. K 90-letiyu sozdaniya Pochvennogo instituta im. V.V. Dokuchaeva* (Employees of V.V. Dokuchaev Soil Science Institute and their contribution to development of the soil science. On the 90-th anniversary of establishment of V.V. Dokuchaev Soil Science Institute), Moscow: APR, 2017, 400 p.

7. Shishov L.L., Tonkonogov V.D., Lebedeva I.I., Gerasimova M.I., *Klassifikatsiya i diagnostika pochv Rossii* (Classification and diagnostics of soils in Russia), Smolensk: Oikumena, 2004, 341 p.

УДК 631.4

DOI: 10.19047/0136-1694-2022-112-24-47



### Ссылки для цитирования:

Савин И.Ю., Шишкин М.А., Шарычев Д.В. Особенности спектральной отражательной способности фракций образцов почв размером от 20 до 5 000 мкм // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. 2022. Вып. 112. С. 24-47. DOI: 10.19047/0136-1694-2022-112-24-47

### Cite this article as:

Savin I.Yu., Shishkin M.A., Sharychev D.V., Peculiarities of spectral reflectance of fractions with sizes from 20 to 5,000 microns in soil samples, Dokuchaev Soil Bulletin, 2022, V. 112, pp. 24-47, DOI: 10.19047/0136-1694-2022-112-24-47

### Благодарность:

Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 20-67-46017).

### Acknowledgments:

The studies were carried out with the financial support of the Russian Scientific Foundation (project No. 20-67-46017).

## Особенности спектральной отражательной способности фракций образцов почв размером от 20 до 5 000 мкм

© 2022 г. И. Ю. Савин<sup>1,2\*</sup>, М. А. Шишкин<sup>1\*\*</sup>, Д. В. Шарычев<sup>1\*\*\*</sup>

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

\* <https://orcid.org/0000-0002-8739-5441>, e-mail: [savin\\_ivu@esoil.ru](mailto:savin_ivu@esoil.ru),

\*\* <https://orcid.org/0000-0003-2320-6645>, e-mail: [shishkin\\_ma@esoil.ru](mailto:shishkin_ma@esoil.ru),

\*\*\* <https://orcid.org/0000-0002-6799-3209>, e-mail: [sharychev\\_dv@esoil.ru](mailto:sharychev_dv@esoil.ru).

<sup>2</sup>Белгородский государственный национальный  
исследовательский университет, Россия,  
308015, Белгород, ул. Победы, 85

Поступила в редакцию 10.07.2022, после доработки 13.09.2022,  
принята к публикации 27.09.2022

**Резюме:** На примере образцов пахотных горизонтов трех почв (дерново-подзолистой, серой лесной и чернозема выщелоченного) исследованы особенности отражения электромагнитных волн от их фракций разных

размеров. Выделение фракций путем сухого просеивания проведено с использованием машины для просеивания Retsch AS 200 BASIC. Выделено 14 фракций размером от менее 20 мкм до размера более 5 000 мкм. Для каждой фракции и для образца почв до просеивания была определена спектральная отражательная способность в диапазоне электромагнитных волн от 350 до 2 500 нм с использованием полевого спектрорадиометра SR-6500 (Spectral Evolution, USA). Проведен анализ сходства и различий полученных кривых спектральной отражательной способности отдельных фракций с использованием их визуального анализа, метода построения дендрограмм сходства, а также регрессионный анализ между отражением света и размером фракций. Подтверждено, что на более детальном уровне анализа, по сравнению с проведенным другими исследователями ранее, общие закономерности отражения света образцами не изменяются. Наблюдается более высокое отражение волн более тонкими фракциями и меньшее отражение – более крупными фракциями. При этом кривые спектрального отражения для отдельных фракций выбиваются из общей закономерности, изменяется выраженность локальных экстремумов кривых. Это подтверждает отличие вещественного состава, формирующего цвет почв, этих фракций от других. Также это свидетельствует о том, что цвет смешанного образца является спектральной смесью цвета его отдельных гранулометрических фракций, каждая из которых обладает своими особенностями отражения света. Предположительно, именно это является основной причиной такого явления как изменение спектральной отражательной способности открытой поверхности почв под воздействием атмосферных осадков.

**Ключевые слова:** цвет почв, сухое просеивание, почвенные фракции разных размеров.

## **Peculiarities of spectral reflectance of fractions with sizes from 20 to 5,000 microns in soil samples**

© 2022 I. Yu. Savin<sup>1,2\*</sup>, M. A. Shishkin<sup>1\*\*</sup>, D. V. Sharychev<sup>1\*\*\*</sup>

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

<sup>\*</sup><https://orcid.org/0000-0002-8739-5441>, e-mail: [savin\\_iyu@esoil.ru](mailto:savin_iyu@esoil.ru),

<sup>\*\*</sup><https://orcid.org/0000-0003-2320-6645>, e-mail: [shishkin\\_ma@esoil.ru](mailto:shishkin_ma@esoil.ru),

<sup>\*\*\*</sup><https://orcid.org/0000-0002-6799-3209>, e-mail: [sharychev\\_dv@esoil.ru](mailto:sharychev_dv@esoil.ru).

<sup>2</sup>Belgorod Federal University,  
85 Pobedy Str., Belgorod 308015, Russian Federation.

Received 11.07.2022, Revised 13.09.2022, Accepted 27.09.2022

**Abstract:** By the example of arable horizon samples taken from three soil types (sod-podzolic, gray forest, and leached chernozem) the peculiarities of electromagnetic waves reflection from their different particle size fractions were studied. The extraction of fractions by dry sieving was carried out using Retsch AS 200 BASIC equipment. As a result, 14 fractions ranging in size from less than 20 microns to more than 5,000 microns were isolated. Spectral reflectance was determined for each fraction and for the soil sample before sieving in the electromagnetic wave range from 350 to 2,500 nm using a SR-6500 field spectroradiometer (Spectral Evolution, USA). Analysis of similarities and differences in the obtained spectral reflectance curves of individual fractions was carried out using their visual analysis, the method of similarity dendrogram construction, as well as regression analysis between light reflectance and fraction particle size. It was confirmed that at a more detailed level of analysis compared to the one carried out by other researchers earlier, the general patterns of light reflectance of the samples do not change. A higher reflection of waves by thinner fractions and a lower reflection by more coarse fractions are observed. At the same time, spectral reflection curves for individual fractions are out of the general pattern, the level of intensity of local extremes of the curves' changes. This confirms the difference of the material composition, which forms the color of soils, of these fractions from others. The color of the mixed sample is a spectral mixture of colors of its separate fractions. Presumably, this is the main reason for such a phenomenon as change of spectral reflectivity of open surface of soils under the influence of atmospheric precipitation.

**Keywords:** soil color, soil spectral reflectance, dry sieving, soil fractions of different particle sizes.

## ВВЕДЕНИЕ

Цвет почвы является важнейшим морфологическим свойством, которое используется для полевой диагностики почв.

Различия почв и их генетических горизонтов по цвету широко используется при их классификации. Так, многие названия почв в советской ([Классификация..., 1977](#)), российской ([Классификация..., 2004](#)) классификации, классификациях почв других стран ([A Handbook of Soil Terminology..., 2009](#); [World ref-](#)

[erence base, 2015](#); [Isbell, 2021](#)) определяются их цветом.

Анализ особенностей отражения света почвами положен в основу их распознавания по данным дистанционного зондирования ([Ben-Dor et al., 1999](#)) и в развитие бесконтактного зондирования почв в целом ([Viscarra Rossel et al., 2011](#)).

Специфика анализа цвета почв существенно изменилась с момента становления почвоведения как науки до настоящего времени. Визуальный аналоговый анализ цвет почв начальных этапов ([Захаров, 1931](#)) сменился во второй половине прошлого века внедрением подходов, основанных на использовании для описания цвета почв специальных эталонов ([Munsell..., 2022](#)), которые широко используются и по сей день ([Mancini et al., 2020](#)). Позднее появилась возможность широкого использования для анализа цвета почв спектрорадиометров, которые позволили получать информацию о цвете в цифровом количественном виде: в виде кривых спектрального отражения света почвами ([FAO, 2022](#)).

Доступность для анализа спектрорадиометров привела к качественному скачку в получении данных о цвете и спектральной отражательной способности (СОС) почв и позволила получать информацию на максимально детальном уровне. Это открывает новые возможности для более детального изучения специфики формирования цвета почв, а также для оценки связей цвета почв с их свойствами ([Savin et al., 2016](#)).

В настоящее время наблюдается активная работа по созданию региональных и глобальных баз данных СОС почв ([Viscarra Rossel et al., 2016](#); [Dematté et al., 2019](#); [Kirillova et al., 2021](#)).

Также ведутся исследования по разработке новых алгоритмов детектирования отдельных свойств почв по данным дистанционного зондирования, которые также базируются на анализе связей специфики отражения света почвами с их свойствами ([Савин и др., 2019](#)).

Влияние гранулометрического состава почв на их цвет изучается уже много лет ([Bowers, Hanks, 1965](#); [Михайлова, Орлов, 1986](#); [Дробыш и др., 2013](#)). Установлены общие закономерности изменения цвета почв в зависимости от состояния поверхности образца (шероховатости и размера почвенных частиц) ([Караванова, 2003](#); [Bänninger et al., 2006](#); [Sadeghi et al., 2018](#)). Но

выводы авторов, как правило, подтверждаются лишь локально, что не позволяет говорить о том, что данная проблема уже решена. Для получения более надежных связей требуется больше данных полевых и лабораторных экспериментов.

В рассматриваемой статье представлены результаты исследований СОС фракций почвенных частиц разного размера, выделенных сухим просеиванием из образцов дерново-подзолистой, серой лесной почв и чернозема выщелоченного.

### ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Анализировались три образца пахотного горизонта дерново-подзолистой почвы (Домодедовский район Московской области), серой лесной почвы (Каширский район Московской области) и чернозема выщелоченного (Веневский район Тульской области). Все почвы имеют тяжелосуглинистый грансостав и развиты на покровных суглинках, которые в Веневском районе лёссовидные. Содержание гумуса в образце дерново-подзолистой почвы в среднем составляет 1.4%, в образце серой лесной почвы – 4.3% и 6.2% – в черноземной почве.

Образцы были высушены до воздушно-сухого состояния и после этого рассеяны на почвенные фракции размером:

- менее 20 мкм
- 20–30 мкм
- 30–40 мкм
- 40–50 мкм
- 50–63 мкм
- 63–71 мкм
- 71–80 мкм
- 80–90 мкм
- 90–100 мкм
- 100–250 мкм
- 250–500 мкм
- 500–1 000 мкм
- 1 000–2 000 мкм
- 2 000–5 000 мкм
- более 5 000 мкм

Рассеивание проводилось с использованием машины для просеивания Retsch AS 200 BASIC (амплитуда – 3 мм, время – 15 минут, с паузой каждую минуту).

После этого в лабораторных условиях для выровненной поверхности образца каждой из выделенных фракций определялась СОС с использованием специального источника света (галогеновая лампа 40 w ILM-660 Tungsten Halogen Light Source). Также были определены спектры отражения образцов до их рассеивания. Спектры определялись в 5-кратной повторности спектрорадиометром SR-6500 (Spectral Evolution, Inc., USA), который представляет собой полнодиапазонный UV/VIS/NIR спектрорадиометр со спектральным диапазоном 350–2 500 нм. Спектральное разрешение прибора составляет 1.5 нм при длине волны 700 нм, 3.0 нм при 1 500 нм, 3.8 нм при 2 100 нм. Первичная обработка данных спектрорадиометра (перевод в текстовый формат, первичное осреднение) осуществлялась с использованием программного обеспечения Darwin SP data Acquisition software (Spectral Evolution, Inc., USA). После этого в Excel кривые отражения были осреднены и использованы для дальнейшего анализа.

Построение дендрограмм сходства осредненных кривых спектрального отражения, а также регрессионный анализ между СОС и размером частиц проводились в Statistica 6.0. В качестве критерия оценки качества регрессионной модели (метод наименьших квадратов) использовалось значение коэффициента детерминации ( $R^2$ ), рассчитанного по стандартной методике ([http://statsoft.ru/products/STATISTICA\\_Base/](http://statsoft.ru/products/STATISTICA_Base/)).

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

На рисунке 1 представлены кривые спектрального отражения всех выделенных почвенных фракций для трех проанализированных образцов почв. Кривые для разных почв отличаются между собой.

Для всех трех образцов прослеживается четкая закономерность: кривые для части фракций лежат ниже кривой для смешанного образца (до рассеяния), а других фракций – выше этой кривой. Причем для более крупных фракций характерно более низкое отражение, а для более мелких фракций – более высокое отраже-

ние. Эта закономерность прослеживается для образцов всех проанализированных почв, за исключением лишь нескольких кривых.

Кривые отдельных фракций каждого образца в целом имеют схожую форму (выраженность локальных экстремумов). Но из этого правила также есть исключения. Форма кривых становится более разнообразной (меняется наклон кривой и выраженность локальных экстремумов) в ряду дерново-подзолистые почвы – серые лесные почвы – чернозем.

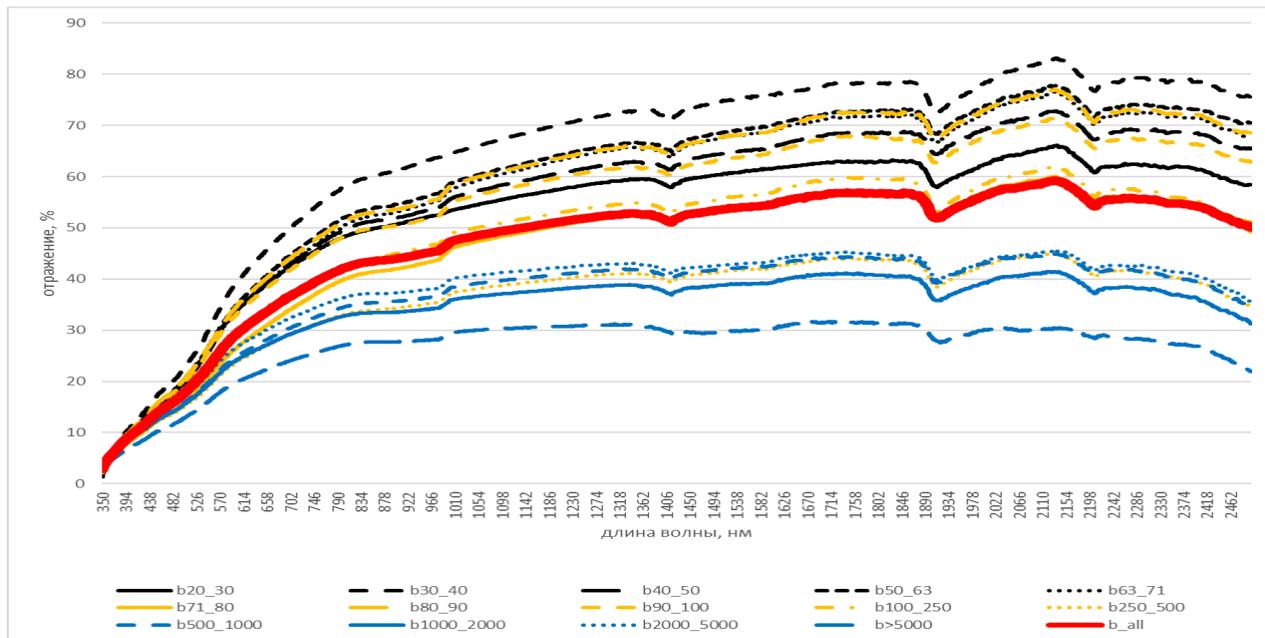
Зависимости и коэффициент детерминации регрессии между средним отражением электромагнитных волн в диапазоне 350–2 500 нм и размером частиц (среднее для каждой фракции) представлены на рисунке 2 (А, Б, В). Из рисунка следует, что зависимости немного разнятся для образцов проанализированных почв. Однако общая закономерность для всех почв состоит в том, что более тонкие фракции (мельче фракции 100–250 мкм) демонстрируют большее отражение. Самые тонкие фракции в среднем отражают около 60–80% электромагнитных волн.

В образце дерново-подзолистой почвы самым низким отражением характеризуется самая крупная фракция (около 20%). Небольшой локальный минимум есть также для фракции 1 000–2 000 мкм (рис. 2А).

В образце серой лесной почвы минимум отражения приходится на фракцию 500–100 мкм, а для более крупных фракций наблюдается небольшой рост отражения (рис. 2Б).

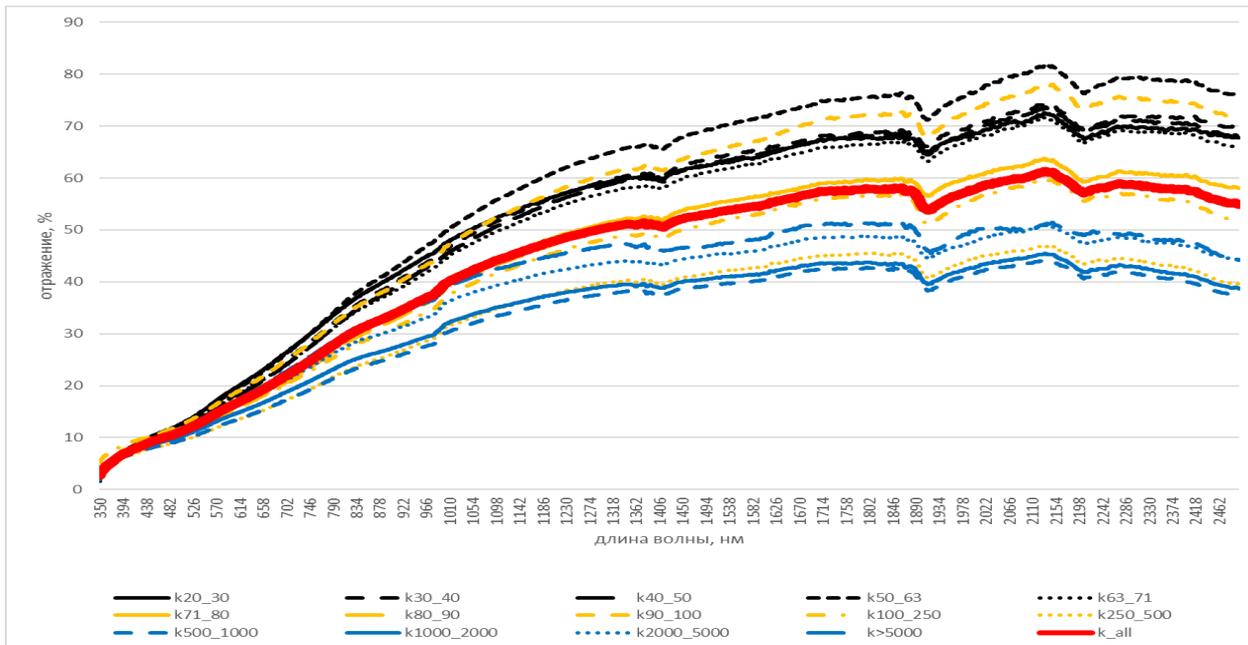
Для образца чернозема минимум отражения приходится на фракцию 250–500 мкм, но, в отличие от других почв, здесь есть локальный максимум для фракции 1 000–2 000 мкм (рис. 2В).

В целом зависимость между отражением электромагнитных волн и размером почвенных частиц на разных длинах волн для всех почв носит схожий характер и может быть аппроксимирована степенной функцией, но с разным коэффициентом детерминации ( $R^2$ ). На рисунке 2Г приведена зависимость коэффициента детерминации от длины волны.

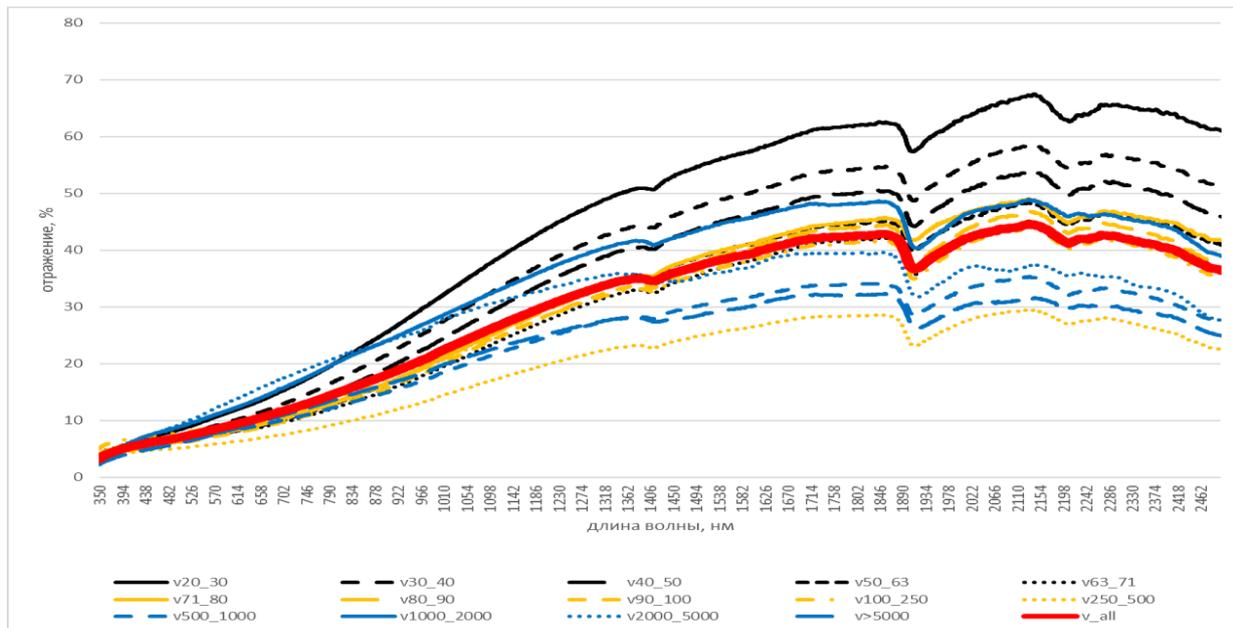


**Рис. 1А.** Кривые спектрального отражения фракций разного размера для образца дерново-подзолистой почвы (числами указаны диапазоны размера фракции в мкм, all – образец до фракционирования).

**Fig. 1A.** Spectral reflection curves of different particle size fractions of the sod-podzol soil sample (the numbers indicate the fraction size ranges, measured in  $\mu\text{m}$ ; all – soil sample before fractionation).



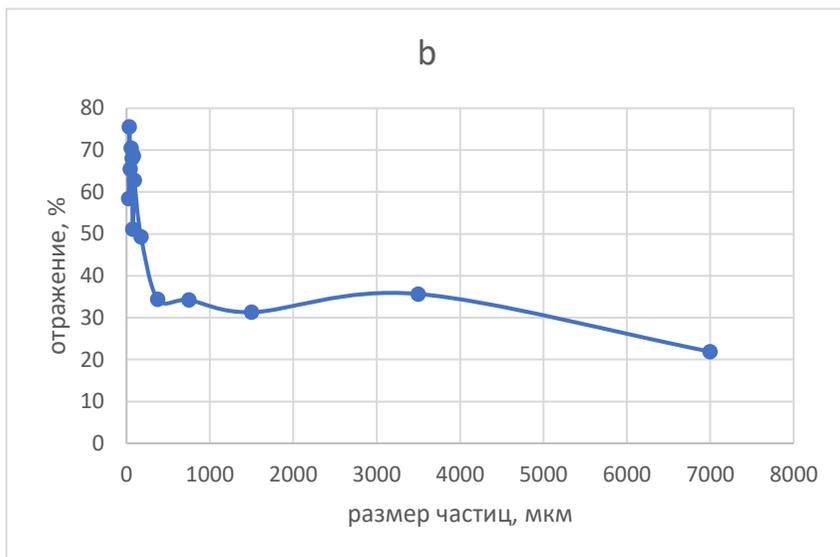
**Рис. 1Б.** Кривые спектрального отражения фракций разного размера для образца серой лесной почвы (числами указаны диапазоны размера фракции в мкм, all – образец до фракционирования).  
**Fig. 1B.** Spectral reflection curves of different particle size fractions of the gray forest soil sample (the numbers indicate the fraction size ranges in  $\mu\text{m}$ ; all – soil sample before fractionation).



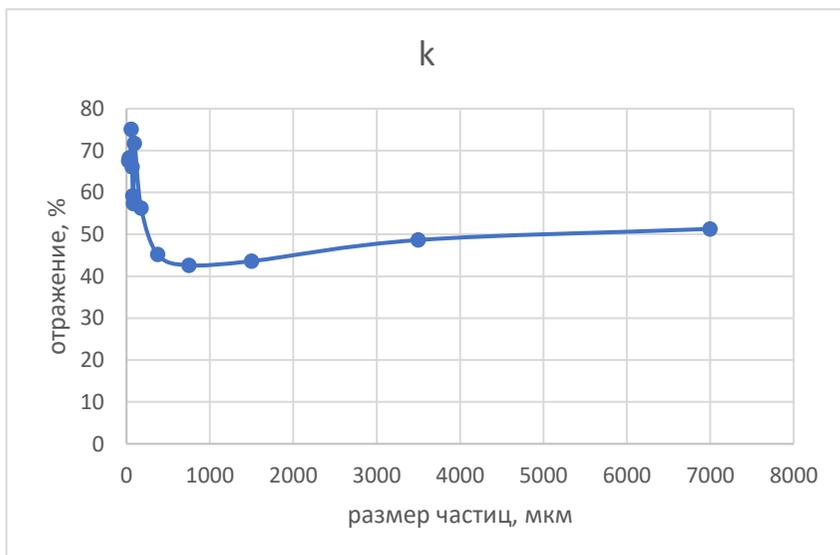
**Рис. 1В.** Кривые спектрального отражения фракций разного размера для образца черноземной почвы (числами указаны диапазоны размера фракции в мкм, all – образец до фракционирования).

**Fig. 1B.** Spectral reflection curves of different particle size fractions of the chernozem soil sample (the numbers indicate fraction size ranges in μm; all – soil sample before fractionation).

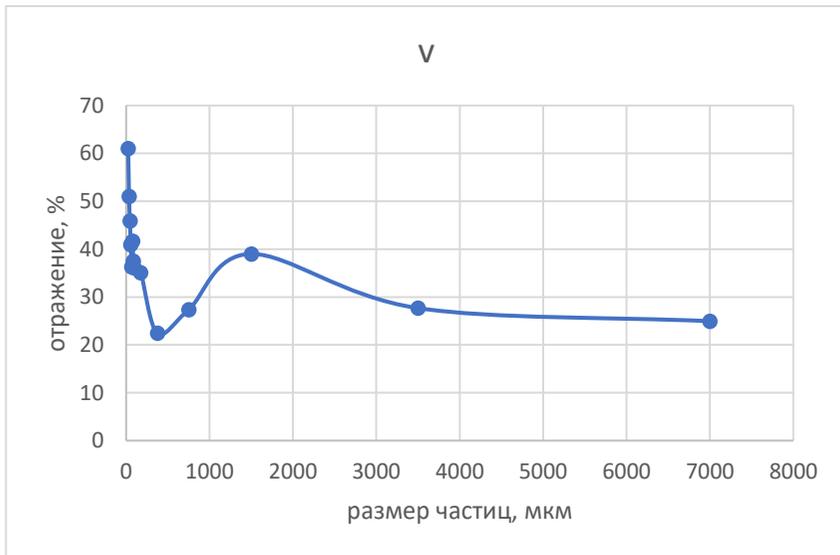
А



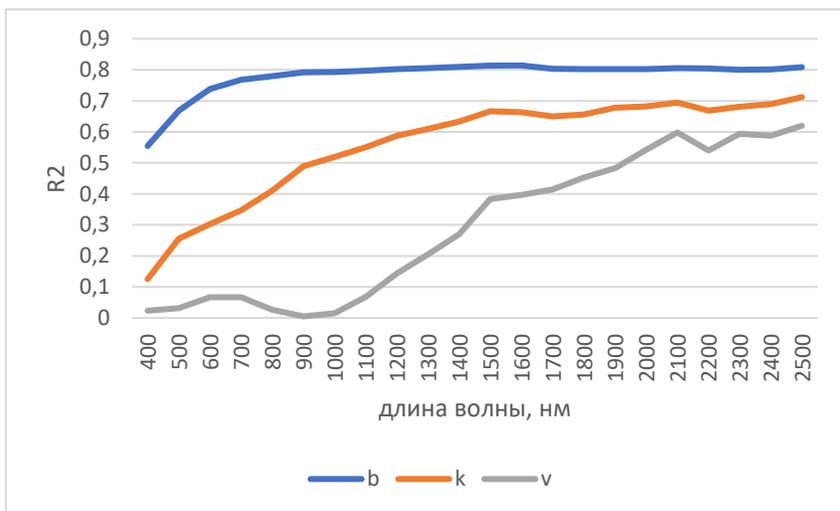
Б



**В**



**Г**



**Рис. 2.** Зависимость отражения электромагнитных волн от размера частиц (**А**, **Б** и **В** – среднее отражение в диапазоне 350–2 500 нм соответственно для дерново-подзолистой, серой лесной почв и чернозема, **Г** – коэффициент детерминации степенной зависимости отражения фракций от размера частиц на разных длинах волн для образцов почв (**б** – дерново-подзолистая, **к** – серая лесная, **в** – чернозем)).  
**Fig. 2.** Dependence of electromagnetic wave reflection on particle size (**A**, **B** and **V** – average reflection in the range of 350–2,500 nm for sod-podzolic, gray forest soils and chernozem, respectively, **Г** – determination factor for the dependence of reflection of fractions on particle size at different wavelengths for soil samples (**b** – sod-podzolic, **k** – gray forest, **v** – chernozem)).

Из рисунка следует, что  $R^2$  для дерново-подзолистой почвы на большинстве длин волн составляет 0.8, максимальные значения  $R^2$  для серой лесной почвы не превышают 0.7 (на длинах волн 1 500 нм и больше), а для чернозема – 0.6 (на волнах длиннее 2 100 нм). Самые низкие значения  $R^2$  у всех трех почв приходятся на длины волн видимого и ближнего инфракрасного диапазонов спектра.

На рисунке 3 приведены дендрограммы сходства кривых отражения отдельных фракций всех проанализированных образцов почв.

Дендрограмма для фракций дерново-подзолистой почвы показывает группировку всех объектов в два кластера. В одном из них оказались все тонкие фракции и спектр образца до фракционирования, а во втором – все крупные фракции (крупнее 500 мкм) (рис. 3А).

Похожая ситуация отражена и на диаграмме для серой лесной почвы (рис. 3Б), но здесь более четко обособляется кластер со спектром образца до фракционирования, куда также входят и несколько фракций среднего размера (от 71 до 250 мкм). Кроме того, отчетливо выделяются кластеры с более крупными фракциями и более тонкими.

На дендрограмме чернозема четко выделяется кластер фракций от 63 до 250 мкм, который включает и образец до фракционирования. Остальные спектры не образуют четких кластеров вообще.

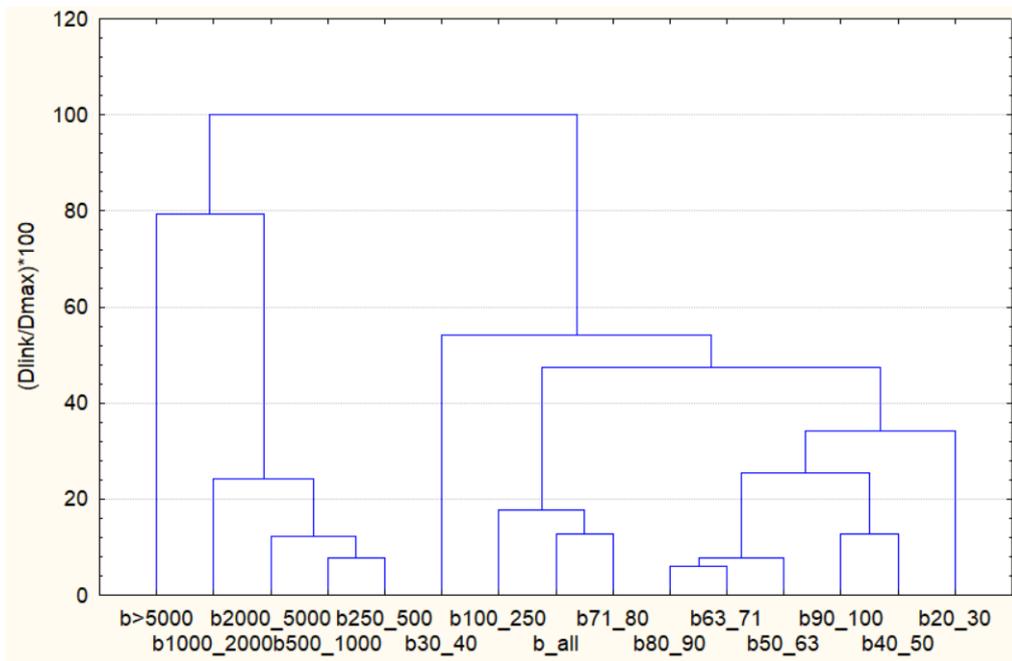
Полученные данные в целом подтверждают закономерности влияния гранулометрического состава почв и размера гранулометрических фракций на СОС почв, установленные исследователями ранее ([Карманов, 1974](#); [Михайлова, Орлов, 1986](#); [Sadeghi et al., 2018](#)). Согласно этим данным, более тонкие фракции почв отражают больше электромагнитных волн.

В отличие от всех более ранних исследований, в наших исследованиях использовалось разделение почв на более дробные и более тонкие фракции, и СОС почв регистрировалась в более широком спектральном диапазоне, включающем и средний инфракрасный диапазон спектра электромагнитных волн. При этом выявленные в результате нашего эксперимента закономерности в целом схожи с полученными ранее.

Использование более детальных данных позволило одновременно выявить и более тонкие особенности отражения электромагнитных волн отдельными фракциями образцов почв.

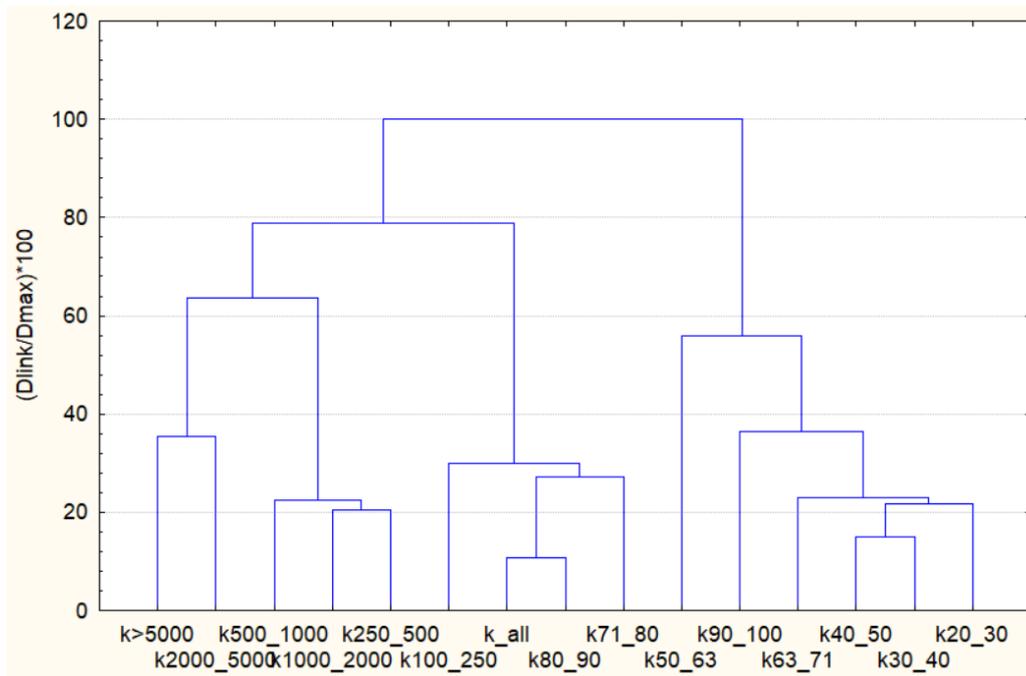
Теоретически, изменение размера почвенных частиц без изменения их вещественного состава должно приводить к постепенному изменению отражательной способности образцов почв ([Карманов, 1974](#); [Караванова, 2003](#)). В нашем случае эта закономерность не всегда соблюдалась. Так, некоторые фракции с частицами разного размера имеют практически одинаковые кривые спектрального отражения. В то же время кривые некоторых фракций имеют форму и выраженность локальных экстремумов, которые отличаются от кривых других фракций.

Известно, что гранулометрические фракции почв могут обладать разными свойствами (физический, химический состав, органическое вещество и др.) ([Ovchinnikova, 2018](#); [Samonova, 2018](#); [Uziak, 2005](#)). И разница в свойствах отдельных фракций не может не отражаться на их спектральной отражательной способности, которая зависит преимущественно от таких свойств почв как тип и содержание органического вещества, содержание карбонатных и железистых минералов, солей ([Zhang, Huang, 2019](#); [Sahwan et al., 2021](#); [Francos et al., 2021](#)).



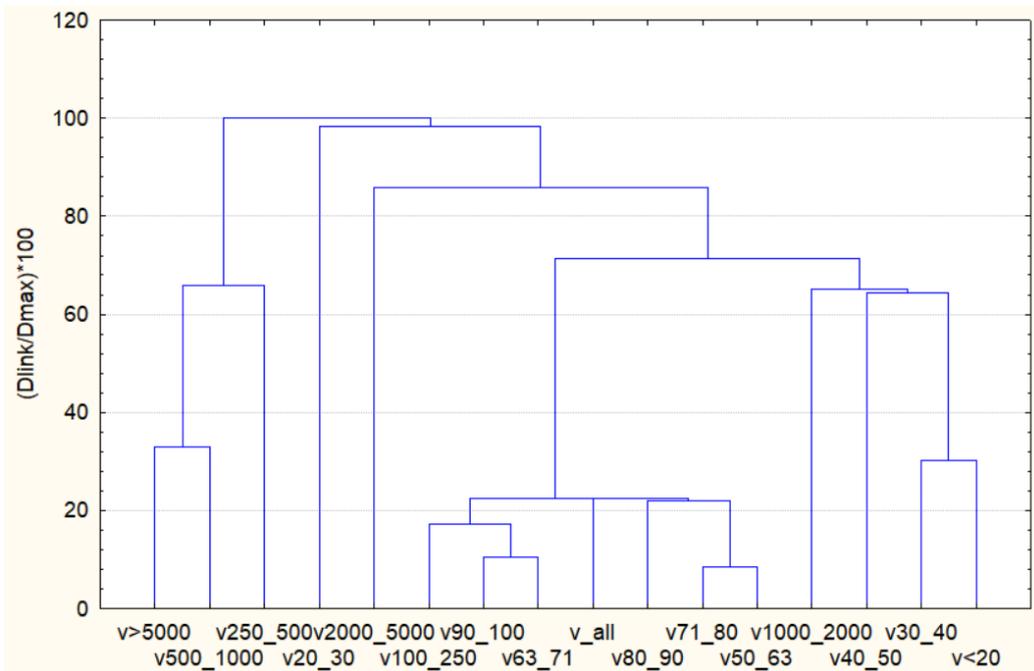
**Рис. 3А.** Дендрограмма сходства кривых спектрального отражения фракций разного размера для образца дерново-подзолистой почвы (числами указаны диапазоны размера фракции в мкм).

**Fig. 3A.** Dendrogram of similarity of spectral reflectance curves of different particle size fractions of the sod-podzolic soil sample (the numbers indicate fraction size ranges in µm).



**Рис. 3Б.** Дендрограмма сходства кривых спектрального отражения фракций разного размера для образца серой лесной почвы (числами указаны диапазоны размера фракции в мкм).

**Fig. 3B.** Dendrogram of similarity of spectral reflectance curves of different particle size fractions of a sample of gray forest soil (numbers indicate ranges of fraction size in  $\mu\text{m}$ ).



**Рис. 3В.** Дендрограмма сходства кривых спектрального отражения фракций разного размера для образца чернозема (числами указаны диапазоны размера фракции в мкм).

**Fig. 3B.** Dendrogram of similarity of spectral reflectance curves of different particle size fractions of the chernozem sample (numbers indicate ranges of fraction size in microns).

Это, по-видимому, и обусловило наблюдаемую разницу в кривых спектрального отражения. В нашем случае речь идет о составе и количестве органического вещества в почвенных агрегатах, а также об особенностях их минералогического состава.

Следовательно, смешанный образец почвы является неоднородным по СОС отдельных фракций образованием. Степень этой неоднородности по-разному проявляется в разных почвах, зависит от вещественного состава почв и может различаться у разных фракций одного образца почвы на 20–30% и более (см. рис. 2). Осредненный спектральный облик почв является спектральной смесью преобладающих в образце почвенных фракций.

По-видимому, именно это является основной причиной такого явления как изменение СОС открытой поверхности почв под воздействием атмосферных осадков ([Савин, 1995](#); [Виндекер и др., 2018](#); [Прудникова и др., 2021](#)).

Также это может служить основой для объяснения того факта, что до сих пор так и не удалось создать унифицированного глобального алгоритма детектирования свойств почв по данным дистанционного зондирования (например, содержания органического вещества в почве). Попыток создания подобных алгоритмов много, но, как правило, они хорошо работают лишь локально, и попытка их использования на больших территориях не приводит к надежным результатам ([Chabrilat et al., 2019](#); [Prudnikova, Savin, 2021](#)).

## ВЫВОДЫ

Полученные данные в целом подтверждают закономерности влияния гранулометрического состава почв и размера гранулометрических фракций на спектральную отражательную способность почв, установленные исследователями ранее, заключающиеся в том, что более тонкие фракции почв отражают больше электромагнитных волн, чем более крупные фракции.

Эти закономерности справедливы практически для всех длин волн диапазона 350–2 500 нм для образцов всех исследованных почв (дерново-подзолистые, серые лесные, черноземы выщелоченные).

На фоне этих общих закономерностей установлено, что от-

дельные гранулометрические фракции имеют более или менее выраженные локальные экстремумы на кривой спектрального отражения, а также могут не соответствовать этим общим закономерностям.

Отклонение кривых отдельных фракций от общей закономерности подтверждает то, что отдельные фракции почв могут характеризоваться различным вещественным составом. По-видимому, именно это является основной причиной такого явления как изменение спектральной отражательной способности открытой поверхности почв под воздействием атмосферных осадков, а также осложняет построение глобальных алгоритмов детектирования свойств почв по данным дистанционного зондирования.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Виндекер Г.В., Прудникова Е.Ю., Савин И.Ю. Трансформация открытой поверхности почв под воздействием осадков в модельном эксперименте // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. 2018. Вып. 95. С. 23–40. DOI: [10.19047/0136-1694-2018-95-23-40](https://doi.org/10.19047/0136-1694-2018-95-23-40).
2. Дробыш С.В., Бубнова Т.В., Матыченкова О.В. Спектральная отражательная способность агродерново-подзолистых почв в зависимости от гранулометрического состава // Почвоведение и агрохимия. 2013. № 1. С. 126–132.
3. Захаров С. А. Курс почвоведения. М.-Л., 1931. 550 с.
4. Караванова Е.И. Оптические свойства почв и их природа. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2003. 152 с.
5. Карманов И.И. Спектральная отражающая способность и цвет почв, как показатели их свойств. М.: Колос, 1974. 352с.
6. Классификация и диагностика почв России. Смоленск: Ойкумена, 2004. 342 с.
7. Классификация и диагностика почв СССР. М.: Колос, 1977. 224 с.
8. Михайлова Н.А., Орлов Д.С. Оптические свойства почв и почвенных компонентов. М.: Наука. 1986. 119 с.
9. Прудникова Е.Ю., Савин И.Ю., Лебедева М.П., Волков Д.С., Рогова О.Б., Варламов Е.Б., Абросимов К.Н. Трансформация поверхностного слоя пахотного горизонта почв под влиянием атмосферных осадков // Почвоведение. 2021. № 11. С. 1407–1420.
10. Савин И.Ю. Влияние ливневого дождя на интегральную отражательную способность поверхности черноземных почв // Почвоведение. 1995. № 8. С. 976–980.

11. *Савин И.Ю., Жоголев А.В., Прудникова Е.Ю.* Современные тренды и проблемы почвенной картографии // Почвоведение. 2019. № 5. С. 517–528.
12. *Bänninger D., Lehmann P., Flühler H.* Modelling the effect of particle size, shape and orientation of light transfer through porous media // Eur. J. Soil Sci. 2006. Vol. 57 (6). P. 906–915.
13. *Ben-Dor E., Irons J.R., Epema G.F.* Soil reflectance // Remote sensing for the Earth sciences: Manual of remote sensing 3/3 / (Ed.) *A.N. Rencz*. 1999. P. 111–188.
14. *Bowers S.A., Hanks R.J.* Reflection of radiant energy from soils // Soil Sci. 1965. Vol. 100(2). P. 130–138.
15. *Chabrilat S., Ben-Dor E., Cierniewski J.* Imaging spectroscopy for soil mapping and monitoring // Surv. Geophys. 2019. Vol. 40. P. 361–399. DOI: [10.1007/s10712-019-09524-0](https://doi.org/10.1007/s10712-019-09524-0).
16. *Demattê J.A.M., Dotto A.C., Paiva A.F.S.* The Brazilian Soil Spectral Library (BSSL): a general view, application and challenges // Geoderma. 2019. Vol. 354. 113793.
17. *FAO.* A primer on soil analysis using visible and near-infrared (vis-NIR) and mid-infrared (MIR) spectroscopy. Rome: FAO. 2022. 28 p. DOI: [10.4060/cb9005en](https://doi.org/10.4060/cb9005en).
18. *Franco N., Ogen Y., Ben-Dor E.* Spectral assessment of organic matter with different composition using reflectance spectroscopy // Remote Sens. 2021. Vol. 13. 1549. DOI: [10.3390/rs13081549](https://doi.org/10.3390/rs13081549).
19. Handbook of soil terminology, correlation and classification / *P. Krasilnikov, J.J.I. Marti, R. Arnold, S. Shoba* (Eds). London: Taylor&Francis Group. 2009. 448 p. DOI: [10.4324/9781849774352](https://doi.org/10.4324/9781849774352).
20. *Isbell R.* The Australian soil classification. Melbourne: CSIRO Publishing, 2021. 192 p.
21. *Kirillova N.P., Khomiakov D.M., Karavanova E.I., Azikov D.A., Zhulidova D.A.* Soil spectral databases // Moscow Univ. Soil Sci. Bull. 2021. Vol. 76. P. 54–59. DOI: [10.3103/S0147687421020034](https://doi.org/10.3103/S0147687421020034).
22. *Mancini M., Weindorf D.C., Monteiro M.E.C., de Faria A.G., Teixeira A.F.S., de Lima W., de Lima F.R.D., Dijair T.S.B., Marques F.D., Ribeiro D., Silva S.H.G., Chakraborty S., Curi N.* From sensor data to Munsell color system: Machine learning algorithm applied to tropical soil color classification via Nix™ Pro sensor // Geoderma. 2020. Vol. 375. 114471. DOI: [10.1016/j.geoderma.2020.114471](https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2020.114471).
23. Munsell soil color charts. URL: <https://munsell.com/color-products/color-communications-products/environmental-color-communication/munsell-soil-color-charts/https://munsell.com/color-products/color-communications-products/environmental-color-communication/munsell-soil-color-charts/>.

24. *Ovchinnikova M.F.* Changes in the content, composition, and properties of humic substances in particle-size fractions of soddy-podzolic soils under the impact of long-term drainage // Eurasian Soil Sc. 2018. Vol. 51. P. 647–657. DOI: [10.1134/S1064229318060121](https://doi.org/10.1134/S1064229318060121).
25. *Prudnikova E.Yu., Savin I.Yu.* Some peculiarities of arable soil organic matter detection using optical remote sensing data // Remote Sensing. 2021. Vol. 13(12). 2313. DOI: [10.3390/rs13122313](https://doi.org/10.3390/rs13122313).
26. *Sadeghi M., Babaieian E., Tuller M., Jones S.* Particle size effects on soil reflectance explained by an analytical radiative transfer model // Remote Sensing of Environment. 2018. 210. DOI: [10.1016/j.rse.2018.03.028](https://doi.org/10.1016/j.rse.2018.03.028).
27. *Sahwan W., Lucke B., Sprafke T., Vanselow K.A., Bäuml R.* Relationships between spectral features, iron oxides and colours of surface soils in northern Jordan // Eur. J. Soil. Sci. 2021. Vol. 72. P. 80–97. DOI: [10.1111/ejss.12986](https://doi.org/10.1111/ejss.12986).
28. *Samonova O.A., Aseyeva E.N., Kasimov N.S.* Distribution of metals in the granulometric fractions of a balka soil-geochemical system (south-eastern part of the Smolensk-Moscow upland) // Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 5, Geografiya. 2018. Vol. 6. P. 34–46.
29. *Savin I.Yu., Prudnikova E.Yu., Vasilyeva N.A., Veretelnikova I.V., Bairamov A.N.* The color of soils as a basis for proximal sensing of their composition // Dokuchaev Soil Bulletin. 2016. Vol. 86. P. 46–52. DOI: [10.19047/0136-1694-2016-86-46-52](https://doi.org/10.19047/0136-1694-2016-86-46-52).
30. *Uziak S., Brogowski Z., Komornicki T.* Properties of soil granulometric fractions formed from different parent material // Acta Agroph. 2005. Vol. 7(124). P. 1–159.
31. *Viscarra Rossel R.A., Adamchuk V.I., Sudduth K.A., McKenzie N.J., Lobsey C.* Chapter Five – Proximal soil sensing: An effective approach for soil measurements in space and time // Advances in Agronomy / (Ed.) *Donald L. Sparks*. Academic Press. 2011. Vol. 113. P. 243–291.
32. *Viscarra Rossel R.A., Behrens T., Ben-Dor E.* A global spectral library to characterize the world's soil // Earth Sci. Rev. 2016. Vol. 155. P. 198–230.
33. World Reference Base for soil resources 2014. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. Update 2015. World soil resources reports 106. FAO: Rome, 2015. 203 p.
34. *Zhang X., Huang B.* Prediction of soil salinity with soil-reflected spectra: A comparison of two regression methods // Sci Rep. 2019. Vol. 9. 5067. DOI: [10.1038/s41598-019-41470-0](https://doi.org/10.1038/s41598-019-41470-0).

## REFERENCES

1. Vindeker G.V., Prudnikova E.Yu., Savin I.Yu., Transformatsiya otkrytoi poverkhnosti pochv pod vozdeistviem osadkov v model'nom eksperimente, (Transformation of Open Soil Surface Under the Impact of Rainfall in Model Experiment), *Dokuchaev Soil Bulletin*, 2018, Vol. 95, pp. 23–40, DOI: [10.19047/0136-1694-2018-95-23-40](https://doi.org/10.19047/0136-1694-2018-95-23-40).
2. Drobyshev S.V., Bubnova T.V., Matychenkova O.V., Spektral'naya otrazhatel'naya sposobnost' agrodernovo-podzolistykh pochv v zavisimosti ot granulometricheskogo sostava (Impact texture on the spectral reflectivity of agro-sod-podzolic soils), *Soil Science and Agrochemistry*, 2013, Vol. 1, pp. 126–132.
3. Zakharov S.A., *Kurs pochvovedeniya* (A Course of Soil Science), Moscow: Selkhozgiz, 1931, 550 p.
4. Karavanova E.I., *Opticheskie svoystva pochv i ikh priroda* (Optical Properties of Soils and Their Nature), Moscow: Izd-vo Mosk. un-ta, 2003, 152 p.
5. Karmanov I.I., *Spektral'naya otrazhayushchaya sposobnost' i tsvet pochv, kak pokazateli ikh svoystv* (Spectral Reflectivity and Color of Soils as Indicators of Their Properties), Moscow: Kolos, 1974, 351 p.
6. *Klassifikatsiya i diagnostika pochv Rossii* (Classification And Diagnostics of Russian Soils), Smolensk: Oikumena, 2004, 342 p.
7. *Klassifikatsiya i diagnostika pochv SSSR* (Classification and Diagnostics of USSR Soils), Moscow: Kolos, 1977, 224 p.
8. Mikhailova N.A., Orlov D.S., *Opticheskie svoystva pochv i pochvennykh komponentov* (Optical Properties of Soils and Soil Components), Moscow: Nauka, 1986, 119 p.
9. Prudnikova E.Yu., Savin I.Yu., Lebedeva M.P., Volkov D.S., Rogova O.B., Varlamov E.B., Abrosimov K.N., Transformatsiya poverkhnostnogo sloya pakhotnogo gorizonta pochv pod vliyaniem atmosferynykh osadkov (Transformation of Surface Layer of Ploughed Soil Horizon Under the Impact of Atmospheric Precipitation), *Pochvovedenie*, 2021, No. 11, pp. 1407–1420.
10. Savin I.Yu., Vliyaniye livneвого dozhdy na integral'nyuyu otrazhatel'nyuyu sposobnost' poverkhnosti chernozemnykh pochv (The influence of heavy rainfall on the integral surface reflectance of chernozem soil), *Pochvovedenie*, 1995, No. 8, pp. 976–980.
11. Savin I.Yu., Zhogolev A.V., Prudnikova E.Yu., Sovremennyye trendy i problemy pochvennoi kartografii (Modern trends and problems of soil mapping), *Pochvovedenie*, 2019, No. 5, pp. 517–528.

12. Bänninger D., Lehmann P., Flühler H., Modelling the effect of particle size, shape and orientation of light transfer through porous media, *Eur. J. Soil Sci.*, Vol. 57(6), 2006, pp. 906–915.
13. Ben-Dor E., Irons J.R., Epema G.F., Soil reflectance, In: *Remote Sensing for the Earth Sciences: Manual of Remote Sensing*, A.N. Rencz (Ed.), 1999, Vol. 3, pp. 111–188.
14. Bowers S.A., Hanks R.J., Reflection of radiant energy from soils, *Soil Sci.*, Vol. 100(2), 1965, pp. 130–138.
15. Chabrilat S., Ben-Dor E., Cierniewski J., Imaging Spectroscopy for Soil Mapping and Monitoring, *Surv. Geophys.*, 2019, Vol. 40, pp. 361–399, DOI: [10.1007/s10712-019-09524-0](https://doi.org/10.1007/s10712-019-09524-0).
16. Demattê J.A.M., Dotto A.C., Paiva A.F.S., The Brazilian Soil Spectral Library (BSSL): a general view, application and challenges, *Geoderma*, 2019, Vol. 354, 113793.
17. FAO. *A primer on soil analysis using visible and near-infrared (vis-NIR) and mid-infrared (MIR) spectroscopy*, Rome, FAO, 2022, 28 p., DOI: [10.4060/cb9005en](https://doi.org/10.4060/cb9005en).
18. Francos N., Ogen Y., Ben-Dor E., Spectral Assessment of Organic Matter with Different Composition Using Reflectance Spectroscopy, *Remote Sens.*, 2021, Vol. 13, 1549, DOI: [10.3390/rs13081549](https://doi.org/10.3390/rs13081549).
19. Krasilnikov P., Marti J.-J.I., Arnold R., Shoba S. (Eds), *A Handbook of Soil Terminology, Correlation and Classification*, London: Taylor&Francis Group, 2009, 448 p., DOI: [10.4324/9781849774352](https://doi.org/10.4324/9781849774352).
20. Isbell R., *The Australian Soil Classification*, Melbourne: CSIRO Publishing, 2021, p. 192.
21. Kirillova N.P., Khomiakov D.M., Karavanova E.I., Azikov D.A., Zhulidova D.A., Soil Spectral Databases, *Moscow Univ. Soil Sci. Bull.*, 2021, Vol. 76, pp. 54–59, DOI: [10.3103/S0147687421020034](https://doi.org/10.3103/S0147687421020034).
22. Mancini M., Weindorf D.C., Monteiro M.E.C., de Faria A.G., Teixeira A.F.S., de Lima W., de Lima F.R.D., Dijair T.S.B., Marques F.D., Ribeiro D., Silva S.H.G., Chakraborty S., Curi N., From sensor data to Munsell color system: Machine learning algorithm applied to tropical soil color classification via Nix™ Pro sensor, *Geoderma*, 2020, Vol. 375, 114471, DOI: [10.1016/j.geoderma.2020.114471](https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2020.114471).
23. Munsell soil color charts, URL: [munsell.com/color-products/color-communications-products/environmental-color-communication/munsell-soil-color-charts/](https://munsell.com/color-products/color-communications-products/environmental-color-communication/munsell-soil-color-charts/).
24. Ovchinnikova M.F., Changes in the content, composition, and properties of humic substances in particle-size fractions of soddy-podzolic soils under the

- impact of long-term drainage, *Eurasian Soil Sc.*, 2018, Vol. 51, pp. 647–657. DOI: [10.1134/S1064229318060121](https://doi.org/10.1134/S1064229318060121).
25. Prudnikova E.Yu., Savin I.Yu., Some peculiarities of arable soil organic matter detection using optical remote sensing data, *Remote Sensing*, 2021; Vol. 13(12), 2313, DOI: [10.3390/rs13122313](https://doi.org/10.3390/rs13122313).
26. Sadeghi M., Babaeian E., Tuller M., Jones S., Particle size effects on soil reflectance explained by an analytical radiative transfer model, *Remote Sensing of Environment*, 2018, Vol. 210, DOI: [10.1016/j.rse.2018.03.028](https://doi.org/10.1016/j.rse.2018.03.028).
27. Sahwan W., Lucke B., Sprafke T., Vanselow K.A., Bäuml R., Relationships between spectral features, iron oxides and colours of surface soils in northern Jordan, *Eur. J. Soil Sci.*, 2021, Vol. 72, pp. 80–97, DOI: [10.1111/ejss.12986](https://doi.org/10.1111/ejss.12986).
28. Samonova O.A., Aseyeva E.N., Kasimov N.S., Distribution of metals in the granulometric fractions of a balka soil-geochemical system (south-eastern part of the Smolensk-Moscow upland), *Vestnik Moskovskogo universiteta, Ser. 5, Geografiya*, 2018, Vol. 6, pp. 34–46.
29. Savin I.Yu., Prudnikova E.Yu., Vasilyeva N.A., Veretelnikova I.V., Bairamov A.N., The color of soils as a basis for proximal sensing of their composition, *Dokuchaev Soil Bulletin*, 2016, Vol. 86, pp. 46–52, DOI: [10.19047/0136-1694-2016-86-46-52](https://doi.org/10.19047/0136-1694-2016-86-46-52).
30. Uziak S., Brogowski Z., Komornicki T., Properties of soil granulometric fractions formed from different parent material, *Acta Agroph.*, 2005, Vol. 7(124), pp. 1–159.
31. Viscarra Rossel R.A., Adamchuk V.I., Sudduth K.A., McKenzie N.J., Lobsey C., Chapter Five – Proximal Soil Sensing: An effective approach for soil measurements in space and time, In: *Advances in Agronomy, Academic Press*, Donald L. Sparks (Ed.), 2011, Vol. 113, pp. 243–291.
32. Viscarra Rossel R.A., Behrens T., Ben-Dor E., A global spectral library to characterize the world's soil, *Earth-Sci. Rev.*, 2016, Vol. 155, pp. 198–230.
33. World reference base for soil resources 2014, International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps, Update 2015, World soil resources reports, Vol. 106, FAO, Rome, 2015, p. 203.
34. Zhang X., Huang B., Prediction of soil salinity with soil-reflected spectra: A comparison of two regression methods, *Sci. Rep.* 9, 2019, 5067, DOI: [10.1038/s41598-019-41470-0](https://doi.org/10.1038/s41598-019-41470-0).

УДК 631.4

DOI: 10.19047/0136-1694-2022-112-48-72



### Ссылки для цитирования:

Пилецкая О.А., Ячная Д.А. Влияние сроков и способов хранения на изменение активности ферментов черноземовидной почвы Зейско-Буреинской равнины // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. 2022. Вып. 112. С. 48-72. DOI: 10.19047/0136-1694-2022-112-48-72

### Cite this article as:

Piletskaya O.A., Yachnaya D.A. Influence of terms and methods of storage on changes in enzyme activity of meadow chernozem-like soil on Zeya-Bureya plain // Dokuchaev Soil Bulletin, 2022, V. 112, pp. 48-72, DOI: 10.19047/0136-1694-2022-112-48-72

## Влияние сроков и способов хранения на изменение активности ферментов черноземовидной почвы Зейско-Буреинской равнины

© 2022 г. О. А. Пилецкая<sup>1</sup>, Д. А. Ячная<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Институт геологии и природопользования Дальневосточного отделения Российской академии наук, Россия,  
675000, Благовещенск, пер. Релочный, 1,  
<https://orcid.org/0000-0001-5126-4055>,  
e-mail: [olgapiletskaya1988@gmail.com](mailto:olgapiletskaya1988@gmail.com).

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО Дальневосточный государственный аграрный университет, Россия,  
675000, Благовещенск, Политехническая ул., 86,  
<https://orcid.org/0000-0001-5060-5452>, e-mail: [darya\\_gusevskaya@mail.ru](mailto:darya_gusevskaya@mail.ru).

Поступила в редакцию 21.06.2022, после доработки 19.10.2022,  
принята к публикации 08.11.2022

**Резюме:** Анализ биологических и энзиматических свойств почв является важным аспектом экологии почв, однако на результаты исследований могут сильно влиять условия хранения образцов. Разнообразие в методах и продолжительности хранения в различных исследованиях снижают способность точно интерпретировать данные и сравнивать результаты между собой. В данной работе представлено исследование влияния различных условий и времени хранения на результаты активности ферментов класса гидролаз (уреазы, фосфатазы) и класса оксидоредуктаз

(каталазы, пероксидазы и полифенолоксидазы) черноземовидной почвы Зейско-Буреинской равнины. Для исследований был заложен лабораторный опыт, в котором использовались естественно-влажные и воздушно-сухие образцы, хранимые в различных условиях: комнатная температура (+23 – +25 °С), низкая положительная температура (холодильник, +10 °С), отрицательная температура (морозильная камера, –10 °С) в течение 7, 28, 90 и 365 дней. В результате установлено, что высушивание почвенных образцов сразу после отбора ведет к увеличению активности уреазы, фосфатазы, пероксидазы и полифенолоксидазы. Состояние почвенных образцов (влажность) оказывает большее влияние на изменение активности ферментов, чем условия (температура) хранения. При выборе срока хранения необходимо руководствоваться целью исследований. Для оценки актуальной ферментативной активности рекомендуется использовать естественно-влажные почвенные образцы сразу после отбора; для оценки потенциальной ферментативной активности рекомендуется высушивать почву и хранить не более 7 дней. Результаты данного исследования предоставляют полезную информацию о влиянии условий хранения образцов для исследователей активности ферментов в сходных климатических условиях и способствуют дальнейшему рассмотрению и обсуждению последствий хранения образцов.

**Ключевые слова:** ферментативная активность почв, каталаза, нейтральная фосфатаза, уреазы, пероксидаза, полифенолоксидаза.

## **Influence of terms and methods of storage on changes in enzyme activity of meadow chernozem-like soil on Zeya-Bureya plain**

© 2022 г. О. А. Piletskaya<sup>1</sup>, D. A. Yachnaya<sup>2</sup>

*<sup>1</sup>Institute of Geology and Nature Management,  
Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences  
1 Relochniy lane, Blagoveshchensk 675000, Russian Federation,  
<https://orcid.org/0000-0001-5126-4055>,  
e-mail: [olgapiletskaya1988@gmail.com](mailto:olgapiletskaya1988@gmail.com).*

*<sup>2</sup>FSBEI of Higher Education Far Eastern State Agrarian University,  
86 Polytechnic Str., Blagoveshchensk 675000, Russian Federation,  
<https://orcid.org/0000-0001-5060-5452>, e-mail: [darya\\_gusevskaya@mail.ru](mailto:darya_gusevskaya@mail.ru).*

*Received 21.06.2022, Revised 19.10.2022, Accepted 08.11.2022*

**Abstract:** The analysis of the biological and enzymatic properties of soils is an important aspect of soil ecology, but the results of studies can be strongly influenced by the storage conditions of the samples. Variation in storage methods and duration studies reduces the ability to accurately interpret data and compare results. This work presents a study of the influence of various storage conditions and time on the results of the activity of enzymes of hydrolase class (urease, phosphatase), and oxidoreductases class (catalase, peroxidase and polyphenoloxidase) of meadow chernozem-like soil of the Zeya-Bureya plain. For the research, a laboratory experiment was performed, in which naturally moist and air-dry samples were taken and stored under various conditions: room temperature (+23 – +25 °C), low positive temperature (refrigerator, +10 °C), negative temperature (freezer, –10 °C) within 7, 28, 90 and 365 days. As a result, we found that drying soil samples immediately after sampling increases the activity of urease, phosphatase, peroxidase and polyphenoloxidase. Storage conditions do not significantly affect the activity of enzymes. To assess the actual enzymatic activity, we recommend using naturally moist soil samples immediately after sampling; to assess potential enzymatic activity, drying the soil and storing it for no more than 7 days are recommended. The results of this study provide useful information on the impact of sample storage conditions for researchers of enzyme activity in similar climates and contribute to further consideration and discussion of the implications of sample storage.

**Keywords:** soil enzymatic activity, catalase, neutral phosphatase, urease, peroxidase, polyphenoloxidase.

## ВВЕДЕНИЕ

Все биохимические процессы в почве, которые связаны с превращением веществ и энергии, осуществляются с помощью биокатализаторов – ферментов, которые ускоряют данные реакции в живых организмах ([Лабутова, 2013](#)). Вопрос стабильности почвенных ферментов является одним из наиболее значимых в почвенной энзимологии, так как уровень их иммобилизации зависит от химического состава, физических и физико-химических свойств, условий почвообразования и т. д.

Выявлено, что для каждого типа почв существует определенный предел фиксации ферментов, поэтому их уровень в естественных условиях остается практически постоянным ([Галстян, 1982](#)). Относительно стабильный уровень ферментативной актив-

ности различных типов почв позволяет использовать его в качестве диагностического показателя, с помощью которого можно установить характер и степень изменения активности ферментов при антропогенном воздействии на почвенный покров. Это дает возможность избежать вероятных негативных процессов при нерациональном сельскохозяйственном использовании почв, а также снижения их плодородия ([Абрамян, 1992](#); [Личко, 1998](#); [Якушев и др., 2014](#); [Verchot, 1999](#)).

При мониторинге микробной биомассы и активности ферментов решающее значение для результатов могут иметь условия хранения образцов почвы перед анализом ([Stenberg et al., 1998](#)). При проведении исследований необходимо рационально планировать сроки и способы отбора проб почв с учетом пространственного варьирования и временной динамики показателей энзиматической активности и соблюдать условия подготовки и выполнения анализов ([Даденко, 2004](#)).

Обычно предпочтительны исследования, проводимые на свежесобранной почвах, но они не всегда возможны по практическим причинам ([Stenberg et al., 1998](#)). Когда немедленный анализ образцов почвы невозможен, рекомендации по хранению почвы часто включают охлаждение или замораживание полевой влажной почвы в промежутке между сбором и анализом ([Verchot, 1999](#)). Различные результаты можно ожидать в зависимости от того, хранятся ли образцы почвы при температуре на несколько градусов выше нуля или заморожены. В охлажденной почве можно ожидать медленного истощения легкодоступного субстрата из-за продолжающейся микробной активности ([MacLeod, 1976](#)).

Однако есть исследования, в которых не рекомендуется любой вид хранения и, наоборот, исследования, не указывающие на какие-либо недостатки. Согласно стандарту [ISO 10381-6:2009](#), не рекомендуется использовать замораживание как метод хранения почвы для лабораторной оценки аэробных микробных процессов. Согласно руководству OECD ([1995](#)), напротив, почвы могут храниться в замороженном виде (минус  $20 \pm 2$  °C) в течение 1 года.

В настоящее время часто проводят оценку микробной биомассы почвы из-за важности почвенных организмов в круговороте питательных веществ и их роли в качестве источника и поглотите-

ля питательных веществ для растений ([Jenkinson, 1976](#)). Обычно микробную биомассу измеряют как можно скорее после отбора проб почвы либо в “свежих” образцах, либо в тех, которые были “предварительно инкубированы” в течение нескольких дней ([Jenkinson, 1988](#)). Однако при использовании этих методов хранения разными авторами наблюдались изменения биомассы.

Например, Ross et al. ([1980](#)) при изучении влияния хранения в течение 28 и 56 дней при +25 °С, +4 °С и –20 °С на содержание микробной биомассы в луговых почвах пришел к выводу, что ни одна температура хранения не была удовлетворительной для всех показателей микробной биомассы. Lee et al. ([2007](#)) в своих исследованиях также сделал выводы, что необходимо избегать хранения образцов на протяжении длительного времени, потому что это может привести к снижению микробной биомассы.

Различные исследования были сосредоточены на влиянии, которое оказывают различные методы хранения почвы на активность почвенных ферментов, доказывая, что системы хранения зависят от тестируемого фермента, характеристик почвы и даже от типа и количества растительных остатков, присутствующих в почве ([Brohon, 1999](#); [Pancholy, 1972](#); [Speir, 1975](#); [Zantua, 1975](#)). В исследованиях Даденко ([2009](#)) и O.O. da Silva Aragão et al. ([2020](#)) было установлено, что время хранения образцов почвы существенно влияет на генерируемые данные и может изменить способ интерпретации этих данных, что приводит к ошибочным выводам.

Таким образом, информация о влиянии срока и способа хранения образцов на микробиологические показатели качества почвы недостаточна и часто противоречива. Время и условия хранения определяются целью и экспериментальной установкой исследования. Различные исследования показали, что неподходящие условия хранения образцов почвы могут отрицательно повлиять на микробные сообщества, уменьшая их размер и активность.

Цель исследования – изучить изменение ферментативной активности черноземовидной почвы при разных условиях и способах хранения почвенных образцов.

## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Исследуемым объектом является черноземовидная почва – Stagnic Phaeozems (WRB, 2014), которая распространена в основном в пределах Зейско-Буреинской равнины и составляет основу пахотного фонда Амурской области – 40%. Данные почвы формируются на плоских водораздельных поверхностях, на низких выложенных длинных склонах, обладают достаточно высоким потенциальным плодородием и интенсивно насыщены микроорганизмами (Голов, 1982; Ивлев и др., 2001; Пилецкая, 2015; Хазиев, 2005).

Отбор почвенных образцов был произведен 22 сентября 2020 г. в Благовещенском районе в селе Грибское. Географические координаты: N 50°11'21.38", E 127°46'19.39". Образцы отобраны площадным методом, по ГОСТ 17.4.3.01-2017 и ГОСТ 17.4.4.02-2017. На площадке 5×5 м отобрано 5 точечных образцов, из которых методом конверта составлена объединенная проба, массой 1 кг; глубина отбора – 0–20 см. После отбора часть почвы в естественно-влажном состоянии была измельчена и просеяна через сито с диаметром отверстий 3 мм. Другая часть высушена до воздушно-сухого состояния, измельчена и просеяна через сито с диаметром отверстий 2 мм.

Энзиматическая активность почв определялась в 3-кратной повторности. Образцы весом 100 г хранили в темном месте в стеклянных бюксах с притертой крышкой для сохранения постоянной влажности. Эксперимент имел 6 вариантов по три повторности:

1. Естественно-влажные образцы, хранимые при комнатной температуре (+23 – –25 °С).

2. Естественно-влажные образцы, хранимые при низкой положительной температуре (холодильник; +10 °С).

3. Естественно-влажные образцы, хранимые при отрицательной температуре (морозильная камера; –10 °С).

4. Воздушно-сухие образцы, хранимые при комнатной температуре (+23 – –25 °С).

5. Воздушно-сухие образцы, хранимые при низкой положительной температуре (холодильник; +10 °С).

6. Воздушно-сухие образцы, хранимые при отрицательной температуре (морозильная камера; –10 °С).

Контролем служили свежесобраные образцы для анализа естественно-влажной почвы и образцы, высушенные до воздушно-сухого состояния – для анализа воздушно-сухой почвы.

При этом, согласно исследованиям (Галстян, 1974, 1978, 1982; Звягинцев, 1976; Dick, 1996; Stenberg et al., 1998; Trabue et al., 2006), проводимым в разных почвенно-климатических зонах, выбраны допустимые сроки хранения: 7, 28, 90 и 365 дней.

Энзиматическая активность черноземовидной почвы определена по активности ферментов класса оксидоредуктаз (каталаза, пероксидаза и полифенолоксидаза) и класса гидролаз (фосфатаза, уреазы). Активность каталазы определена перманганатометрическим методом по Джонсону и Темпле (Муртазина, 2006); активность нейтральной фосфатазы – по методу С.Г. Малахова (гидролиз фенолфталеин фосфата натрия) (Временные..., 1984); активность уреазы – методом А.Ш. Галстяна (Муртазина, 2006); активность ферментов пероксидазы и полифенолоксидазы – методом А.Ш. Галстяна (Хазиев, 2005).

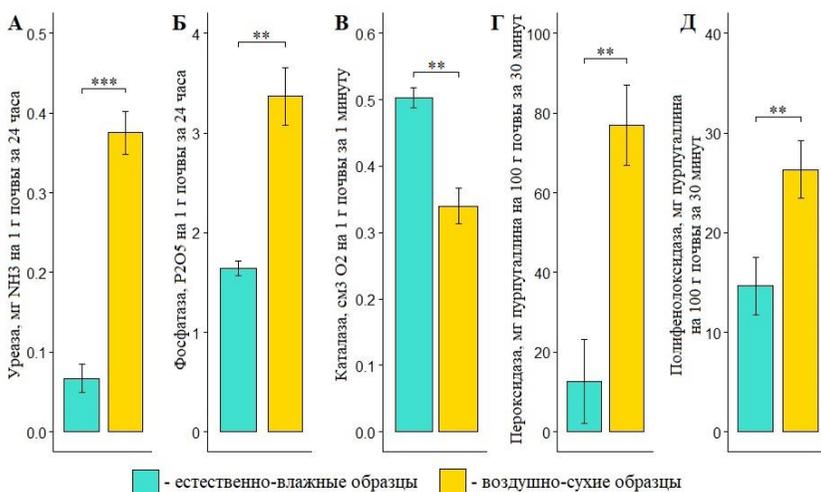
Результаты лабораторных анализов обработаны методами математической статистики в программе R Studio, версия 4.0.3. Зависимость ферментативной активности от высушивания в день отбора и ее изменение в зависимости от срока и способа хранения были оценены с помощью тестов для несвязанных выборок и аналогов попарного сравнения – t-test Стьюдента и wilcox.test.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В контрольных вариантах высушивание почвенных образцов привело к увеличению активности уреазы практически в 6 раз (до 0.375 мг) ( $p$ -value<0.0003), фосфатазы в 2 раза ( $p$ -value<0.007), пероксидазы в 6 раз ( $p$ -value<0.002) и полифенолоксидазы в 2 раза ( $p$ -value<0.008). При изучении активности каталазы установлено, что высушивание почвенных образцов приводит к уменьшению активности фермента в 1.5 раза ( $p$ -value<0.04) (рис. 1).

Повышение активности ферментов после высушивания может быть связано с активацией определенных функциональных групп их белковой молекулы под воздействием кислорода воздуха. Снижение активности может быть обусловлено изменением структуры белковой молекулы фермента, что приводит к частич-

ной инактивации ([Галстян, 1974](#)). Также следует учесть тот факт, что ферменты проявляют устойчивость к неблагоприятным условиям, в том числе и к изменению влажности. И в случае, когда окружающие условия изменяются и становятся неблагоприятными для жизнедеятельности микроорганизмов, метаболизм почвы может остаться относительно постоянным благодаря активации внеклеточной ферментативной активности.



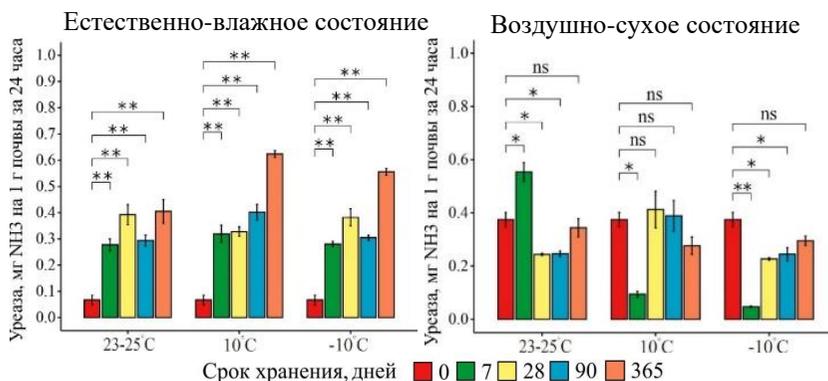
**Рис. 1.** Влияние высушивания на активность ферментов класса гидролаз и оксидоредуктаз в образцах черноземовидной почвы: **А** – уреаза, **Б** – фосфатаза, **В** – каталаза, **Г** – пероксидаза, **Д** – полифенолоксидаза. **Примечание.** Уровень значимости: \*\* –  $p < 0.01$ ; \*\*\* –  $p < 0.001$ .

**Fig. 1.** The effect of drying on the activity of enzymes of the class of hydrolases and oxidoreductases in samples of meadow chernozem-like soil: **A** – urease, **B** – phosphatase, **B** – catalase, **Г** – peroxidase, **Д** – polyphenol oxidase. **Note.** Significance level: \*\* –  $p < 0.01$ ; \*\*\* –  $p < 0.001$ .

Активность уреазы в естественно-влажном состоянии во все сроки хранения была выше контроля в 4–9 раз соответственно ( $p$ -value  $< 0.005$ ). Данная активность может быть связана с гидролизом мочевины в почве в процессе аммонификации, под действием микроорганизмов, обладающих ферментом уреазой. При достаточном количестве влаги и кислорода в почве мочевины интенсив-

но разлагается, активируется биологическая деятельность, и как следствие, – активность уреазы.

В воздушно-сухом состоянии активность фермента значительно увеличилась – в 1.5 раза в условиях 23–25 °С через 7 дней ( $p$ -value<0.04); через 28 и 90 дней – снизилась в 1.5 раза ( $p$ -value<0.02). При хранении в условиях 10 °С статистически значимые изменения были зафиксированы через 7 дней, где активность уреазы была ниже контроля в 4 раза ( $p$ -value<0.05). При хранении в условиях –10 °С произошло снижение активности фермента в 8 раз через 7 дней ( $p$ -value<0.003), в 1.5 раза – через 28 и 90 дней ( $p$ -value<0.04) (рис. 2).



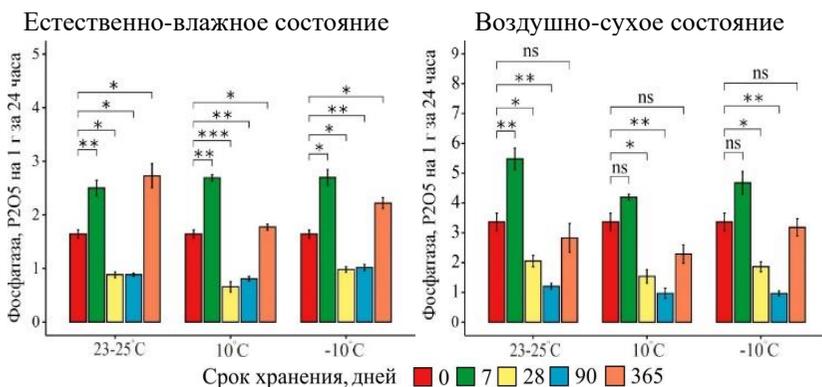
**Рис. 2.** Активность уреазы при разных сроках и способах хранения в образцах черноземовидной почвы. **Примечание.** ns –  $p > 0.05$ ; уровень значимости: \* –  $p \leq 0.05$ ; \*\* –  $p \leq 0.01$ .

**Fig. 2.** The activity of urease at different periods and methods of storage in samples of meadow chernozem-like soil. **Note.** ns –  $p > 0.05$ ; significance level: \* –  $p \leq 0.05$ ; \*\* –  $p \leq 0.01$ .

Уреаза может терять активность с течением времени, поскольку каталитические центры становятся менее доступными из-за диффузии мочевины в почве. Дополнительным объяснением может служить уменьшение микроорганизмов ризосферы, благодаря которым продуцируется уреаза, вследствие чего происходит снижение уровня и активности этого фермента (Чевурдин, 2015).

Активность фосфатазы в естественно-влажном состоянии была значительно выше контроля через 7 и 365 дней и ниже – через 28 и 90 в 1.5–2 раза соответственно ( $p$ -value<0.01). В воздушно-сухом состоянии через 7 дней статистически значимые изменения произошли в условиях 23–25 °С, где активность была выше контроля в 1.6 раз ( $p$ -value<0.008). Значительное увеличение фосфатазной активности может быть связано с тем, что почвенное микробное сообщество испытывало недостаток фосфора в семидневный период, так как известно, что одним из факторов, непосредственно влияющих на фосфатазную активность, является обеспеченность почвы подвижными фосфатами, доступными для микроорганизмов. Почвенная микрофлора при недостатке доступного фосфора способна активизировать синтез фосфатаз для превращения труднодоступных органических форм фосфора в легкодоступные минеральные формы, что, в свою очередь, зависит и от гидротермических условий.

При хранении почвенных образцов в течение 28 и 90 дней во всех условиях активность фермента была ниже контроля в 2 и 3 раза соответственно ( $p$ -value<0.02) (ри. 3).

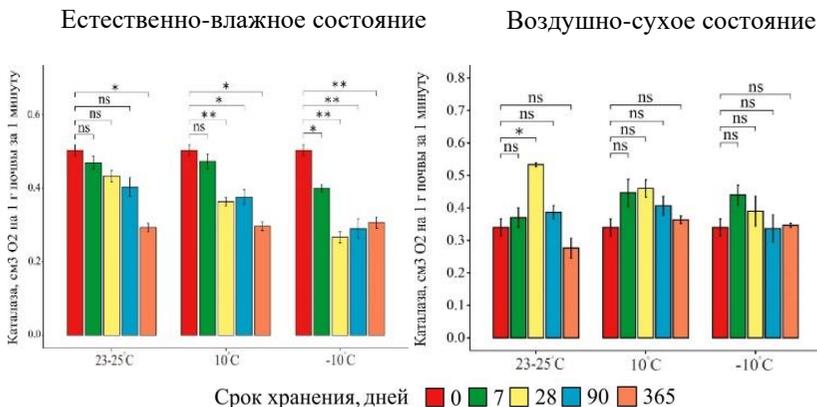


**Рис. 3.** Активность фосфатазы при разных сроках и способах хранения в образцах черноземовидной почвы. **Примечание.** ns –  $p > 0.05$ ; уровень значимости: \* –  $p \leq 0.05$ ; \*\* –  $p \leq 0.01$ ; \*\*\* –  $p \leq 0.001$ .

**Fig. 3.** The activity of phosphatase at different periods and methods of storage in samples of meadow chernozem-like soil. **Note.** ns –  $p > 0.05$ ; significance level: \* –  $p \leq 0.05$ ; \*\* –  $p \leq 0.01$ ; \*\*\* –  $p \leq 0.001$ .

Полученные нами результаты по фосфатазе противоречат исследованиям других авторов. Например, Lee et al. (2007), da Silva Aragão et al. (2020) установили, что после хранения активность фосфатазы существенно не изменилась. В наших исследованиях снижение активности фосфатазы может быть обусловлено повышением уровня легкозаменимого фосфата во время хранения, потому что растворимый фосфат снижает активность фосфатазы за счет ингибирования продукции (Speir, 1978).

Активность каталазы в естественно-влажном состоянии в условиях 23–25 °С была статистически ниже контроля в 1.5 раза ( $p$ -value<0.02) только через 365 дней. В условиях 10 °С зафиксировано значимое снижение активности фермента через 28, 90 и 365 дней – в 1.5 раза ( $p$ -value<0.02). В условиях –10 °С – снижение активности в течение всего периода в 1.5–2 раза соответственно ( $p$ -value<0.02) (рис. 4).



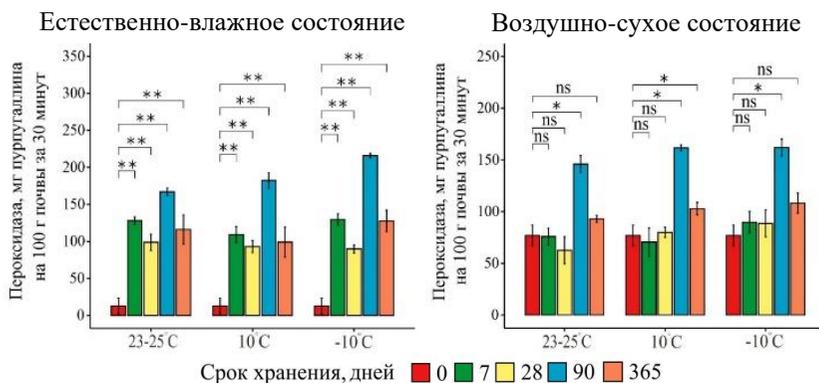
**Рис. 4.** Активность каталазы при разных сроках и способах хранения в образцах черноземовидной почвы. **Примечание.** ns –  $p > 0.05$ ; уровень значимости: \* –  $p < 0.05$ ; \*\* –  $p < 0.01$ .

**Fig. 4.** The activity of catalase at different periods and methods of storage in samples of meadow chernozem-like soil. **Note.** ns –  $p > 0.05$ ; significance level: \* –  $p < 0.05$ ; \*\* –  $p < 0.01$ .

Хранение почвенных образцов в воздушно-сухом состоянии в течение всех сроков не привело к статистически значимым изменениям величины активности фермента, за исключением варианта хранения при 23–25 °С в течение 28 дней, где активность каталазы была выше контроля в 1.5 раза ( $p$ -value<0.01).

Полученные нами результаты подтверждаются в исследованиях Даденко (2004), где наблюдалось снижение активности каталазы в естественно-влажных образцах и минимальные изменения в воздушно-сухих образцах.

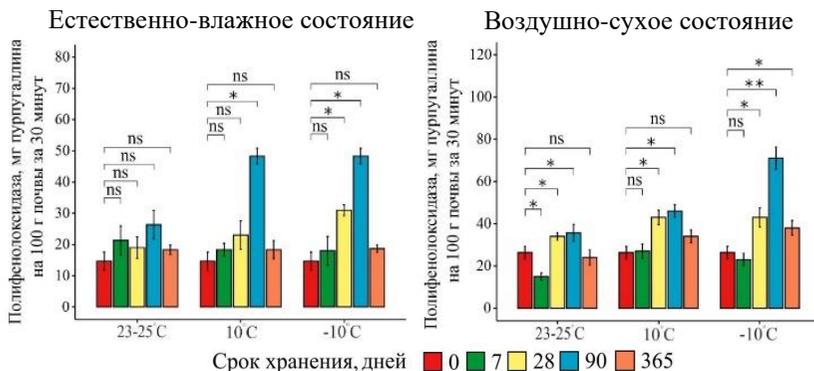
Активность пероксидазы в естественно-влажном состоянии в течение всех сроков хранения была выше контроля в 7–15 раз соответственно вариантам ( $p$ -value<0.001). В воздушно-сухом состоянии статистически значимые различия были зафиксированы через 90 дней во всех вариантах, где активность фермента увеличилась в 2 раза относительно контрольного варианта ( $p$ -value<0.01). Также значимое повышение наблюдалось через 365 дней в условиях 10 °С, где активность выше контроля в 0.3 раза ( $p$ -value<0.02) (рис. 5).



**Рис. 5.** Активность пероксидазы при разных сроках и способах хранения в образцах черноземовидной почвы. **Примечание.** ns –  $p > 0.05$ ; уровень значимости: \* –  $p < 0.05$ ; \*\* –  $p < 0.01$ .

**Fig. 5.** The activity of peroxidase at different periods and methods of storage in samples of meadow chernozem-like soil. **Note.** ns –  $p > 0.05$ ; significance level: \* –  $p < 0.05$ ; \*\* –  $p < 0.01$ .

Активность полифенолоксидазы в естественно-влажном состоянии в условиях 23–25 °С значимо не изменилась в течение всего срока хранения. При хранении в условиях 10 °С зафиксировано повышение активности фермента через 90 дней в 3 раза ( $p$ -value<0.05), в условиях –10 °С – через 28 и 90 дней в 2–3 раза ( $p$ -value<0.01) относительно контроля (рис. 6).



**Рис. 6.** Активность полифенолоксидазы при разных сроках и способах хранения в образцах черноземовидной почвы. **Примечание.** ns –  $p > 0.05$ ; уровень значимости: \* –  $p < 0.05$ ; \*\* –  $p < 0.01$ .

**Fig. 6.** The activity of polyphenol oxidase at different periods and methods of storage in samples of meadow chernozem-like soil. **Note.** ns –  $p > 0.05$ ; significance level: \* –  $p < 0.05$ ; \*\* –  $p < 0.01$ .

В воздушно-сухом состоянии в условиях 23–25 °С наблюдалось значимое снижение активности фермента в 1.5 раза через 7 дней и небольшое повышение через 28 и 90 дней ( $p$ -value<0.02). В условиях 10 °С статистически-значимые различия были зафиксированы через 28 и 90 дней, где произошло повышение активности фермента в 1.5 раза относительно контроля ( $p$ -value<0.02). В условиях –10 °С зафиксировано значимое повышение активности в 1.5–3 раза через 28, 90 и 365 дней относительно контроля ( $p$ -value<0.01) (рис. 6).

Повышение активности пероксидазы и полифенолоксидазы с течением времени может быть обусловлено изменением соотношения аэробы-анаэробы в микробном сообществе. Смена аэроб-

ных условий на анаэробные могла послужить причиной замещения активности одного типа ферментов активностью другого типа окислительных ферментов, действующих при недостатке кислорода в почве, вследствие чего произошло увеличение активности ферментов в период хранения ([Якушев и др., 2014](#); [Zvyagintsev, 2001](#)).

Согласно шкале сравнительной оценки биологической активности почвы, черноземовидная почва характеризуется очень слабой и слабой активностью уреазы, высокой и очень высокой – фосфатазы, очень слабой – каталазы (табл. 1).

**Таблица 1.** Шкала сравнительной оценки биологической активности почвы (Э.И. Гапонюк, С.В. Малахов, 1985)

**Table 1.** Scale for comparative assessment of biological activity of soils (E.I. Gaponyuk, S.V. Malakhov, 1985)

Биологическая активность почвы	Каталаза, см <sup>3</sup> О <sub>2</sub> /г за 1 мин	Фосфатаза, мг Р <sub>2</sub> О <sub>5</sub> на 1 г за 24 часа	Уреазы, мг NH <sub>3</sub> на 1 г за 24 часа
Очень слабая	<1	<0.05	<0.3
Слабая	1–3	0.05–0.15	0.3–1.0
Средняя	3–10	0.15–0.5	1.0–3.0
Высокая	10–30	0.5–1.5	3.0–10
Очень высокая	>30	>1.5	>10

Гидротермический режим (температура и влажность) почв является одним из важнейших факторов, регулирующих интенсивность протекающих в почве биохимических процессов и сезонные изменения активности почвенных ферментов. Прямое воздействие температуры и влажности заключается в непосредственном участии воды во многих биохимических реакциях, а протекание ферментативных процессов возможно лишь в определенном интервале температур. Косвенное влияние проявляется через условия жизнедеятельности почвенных организмов и корней растений, так как от их состояния зависит интенсивность поступления ферментов в почву.

По мнению многих ученых, при низких температурах энзиматическая активность снижается, однако при повышении темпе-

ратуры скорость реакции возрастает, а при очень высоких температурах ферменты денатурируют, и активность теряется. Максимальная активность ферментов проявляется при температуре 45–60 °С, полная инактивация происходит при 100 °С. При отрицательных значениях температуры актуальная биологическая активность практически не проявляется, хотя потенциальная активность остается неизменной. Доказано, что для интенсивного развития микроорганизмов благоприятные условия создаются в почве при влажности 15–25% и температуре 15–23 °С.

Избыток либо недостаток влаги в одинаковой степени негативно сказываются на ферментативной активности. Однако наиболее существенные изменения происходят при высушивании почвенных образцов. В воздушно-сухой почве активность, как правило, снижается на 20–30%, а при переувлажнении, наоборот, восстанавливается.

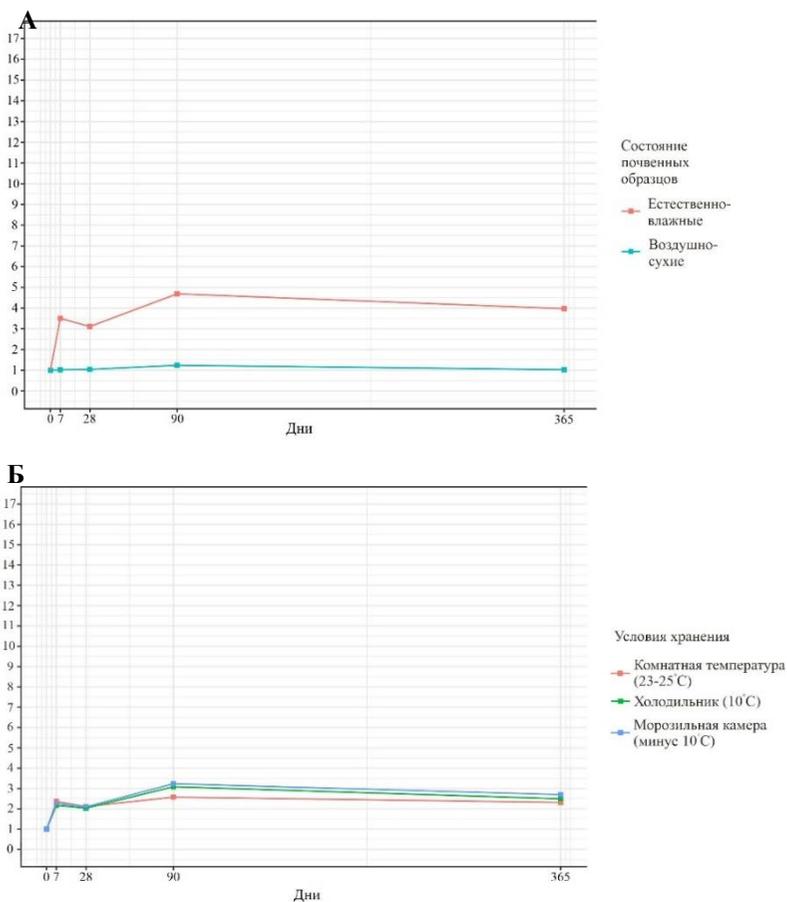
Сочетание оптимальных показателей температуры и влажности разнится в зависимости от складывающихся климатических условий. Наиболее благоприятные гидротермические условия создаются при сочетании температуры 20–30 °С и влажности 40–60 °С ([Темботов, 2017](#); [Хазиев, 2018](#)).

Для оценки общей динамики изменения концентрации ферментов в зависимости от состояния (влажности) и условий хранения (температуры) были просчитаны относительные показатели по отношению к исходным данным. В наших исследованиях исходными показателями является активность исследуемых ферментов в день отбора, относительными показателями – их активность через 7, 28, 90 и 365 дней (рис. 7).

Согласно относительным расчетам, энзиматическая активность черноземовидной почвы в естественно-влажных образцах выше, чем в воздушно-сухих, в 3–4 раза соответственно срокам хранения. Хранение почвенных образцов в различных условиях не привело к значимым различиям в активности ферментов. Таким образом, установлено, что влажность оказала большее влияние на изменение активности ферментов, чем температура.

Ведущее значение увлажненности почвы в энзиматических процессах связано с тем, что, во-первых, влага определяет физиологическое состояние микроорганизмов и растений и тем самым

поступление ферментов в почву; во-вторых, свободная вода необходима для поддержания в каталитически активном состоянии самих ферментов в почве, а также для транспорта субстратов.



**Рис. 7.** Общая динамика изменения концентрации ферментов в образцах черноземовидной почвы относительно исходных данных в зависимости от: **А** – состояния, **Б** – условий хранения.

**Fig. 7.** The general dynamics of changes in the concentration of enzymes in samples of meadow chernozem-like soil relative to the initial data, depending on: **A** – condition, **B** – storage conditions.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Высушивание почвенных образцов сразу после отбора ведет к увеличению активности уреазы, фосфатазы, пероксидазы и полифенолоксидазы. Активность уреазы при хранении почвы во все исследовательские сроки в естественно-влажном состоянии достоверно увеличивается; в воздушно-сухом состоянии – уменьшается. Активность фосфатазы значительно увеличивается при хранении почвы в течение 7 дней и уменьшается при хранении в течение 28 и 90 дней. Активность каталазы достоверно уменьшается при хранении естественно-влажной почвы во все исследовательские сроки. Активность пероксидазы и полифенолоксидазы достоверно увеличивается во все исследовательские сроки хранения почвы.

Черноземовидная почва характеризуется очень слабой активностью каталазы, очень слабой и слабой активностью уреазы, высокой и очень высокой активностью фосфатазы.

Установлено, что состояние почвенных образцов (влажность) оказывает большее влияние на изменение активности ферментов, чем температура хранения. При выборе срока хранения необходимо руководствоваться целью исследований. Если необходимо оценить актуальную (естественную) ферментативную активность, характеризующую интенсивность протекающих энзиматических процессов в почве, то рекомендуется использовать естественно-влажные почвенные образцы сразу после отбора, для исключения влияния различных факторов хранения. Для оценки потенциальной ферментативной активности, степени загрязнения, удобренности, окультуренности почвы, при проведении почвенно-экологического мониторинга рекомендуется высушивать почву и хранить не более 7 дней, так как для большинства исследуемых ферментов при более длительном хранении происходят значительные динамические изменения, которые связаны с изменением доступности субстрата из-за микробиологической активности, с изменением размеров, активности и структуры микробной биомассы, являющейся основным источником ферментов и рядом действующих при хранении физико-химических факторов.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Абрамян С.А.* Изменение ферментативной активности почвы под влиянием естественных и антропогенных факторов // Почвоведение. 1992. № 7. С. 70–82.
2. Временные методические рекомендации по контролю загрязнения почв / *С.Г. Малахов*. М.: Московское отделение гидрометеоздата, 1984.
3. *Галстян А.Ш.* Ферментативная активность почв Армении. Ереван: Айастан, 1974. 275 с.
4. *Галстян А.Ш.* Унификация методов исследования активности ферментов почв // Почвоведение. 1978. № 2. С. 107–113.
5. *Галстян А.Ш.* Об устойчивости ферментов почв // Почвоведение. 1982. № 4. С. 108–110.
6. *Голов Г.В.* Почвы и экология агрофитоценозов Зейско-Буреинской равнины. Владивосток: Дальнаука, 2001. 162 с.
7. *Даденко Е.В., Казеев К.Ш.* Влияние различных сроков и способов хранения почвенных образцов на ферментативную активность чернозема // Известия вузов. Естественные науки. Приложение. 2004. № 6. С. 61–65. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-razlichnyh-srokov-i-sposobov-хранeniya-pochvennyh-obraztsov-na-fermentativnuyu-aktivnost-chnozema/viewer>.
8. *Даденко Е.В., Казеев К.Ш., Колесников С.И., Вальков В.Ф.* Изменение ферментативной активности при хранении почвенных образцов // Почвоведение. 2009. № 12. С. 1481–1486. URL: [https://www.elibrary.ru/download/elibrary\\_12988857\\_18993356.pdf](https://www.elibrary.ru/download/elibrary_12988857_18993356.pdf).
9. *Звягинцев Д.Г.* Биология почв и их диагностика // Проблемы и методы биологической диагностики и индикации почв: материалы всесоюзного совещания. М.: Наука, 1976. С. 175–189.
10. *Ивлев А.М., Дербенцева В.И., Голов В.И., Трегубова В.Г.* Агрохимия почв юга Дальнего Востока. М.: Круглый год, 2001. 104 с.
11. *Лабутова Н.М., Банкина Т.А.* Основы почвенной энзимологии. СПб: Изд-во СПбГУ, 2013. 104 с.
12. *Личко В.И.* Ферментативная активность как индикатор экологического состояния почв: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. 03.00.27. Воронеж: Воронежский Государственный Университет, 1998. 18 с.
13. *Муртазина С.Г., Гайсин И.А., Муртазин М.Г.* Практикум по почвоведению. Казань: Изд-во Казанской гос-ной с.-х. академии, 2006. 225 с.
14. *Пилецкая О.А.* Биологическая активность черноземовидной почвы при использовании различных систем удобрений: Автореф. дис. ... канд.

биол. наук: 03.02.08. Владивосток: ФГАОУ ВПО “Дальневосточный федеральный университет”, 2015. 24 с.

URL: [https://www.dissercat.com/content/biologicheskaya-aktivnost-  
chernozemovidnoi-pochvy-pri-ispolzovanii-razlichnykh-sistem-udobre/read](https://www.dissercat.com/content/biologicheskaya-aktivnost-chernozemovidnoi-pochvy-pri-ispolzovanii-razlichnykh-sistem-udobre/read).

15. *Темботов Р.Х.* Эколого-биологическая оценка состояния почв равнин и предгорий Центрального Кавказа (в границах Кабардино-Балкарии): Автореф. дис. ... канд. биол. наук. 03.02.08. Ростов-на-Дону, 2017. 24 с.

URL: [https://www.dissercat.com/content/ekologo-biologicheskaya-otsenka-  
sostoyaniya-pochv-ravnin-i-predgorii-tsentralnogo-kavkaza-v/read](https://www.dissercat.com/content/ekologo-biologicheskaya-otsenka-sostoyaniya-pochv-ravnin-i-predgorii-tsentralnogo-kavkaza-v/read).

16. *Хазиев Ф.Х.* Методы почвенной энзимологии. М.: Наука, 2005. 252 с.

17. *Хазиев Ф.Х.* Экологические связи ферментативной активности почв // Экобиотех. 2018. № 2. С. 80–92. URL:

<http://ecobiotech-journal.ru/2018/pdf/ecbtch1802080.pdf>.

18. *Чевеурдин Ю.И., Рябцев А.Н., Титова Т.В.* Научное обоснование и взаимосвязь агрофизических параметров с эффективным плодородием почвы // Состояние почв центрального Черноземья России и проблемы воспроизводства их плодородия. Сборник науч. докл. Всероссийской научно-практической конференции. Воронеж: Изд-во “Истоки”, 2015. С 56–61.

19. *Щапова Л.Н., Пуртова Л.Н., Костенков Н.М.* Биологическая активность почв юга Дальнего Востока России // Вестник КрасГАУ. 2014. № 5. С. 64–69. URL: [https://cyberleninka.ru/article/n/biologicheskaya-  
aktivnost-pochv-yuga-dalnego-vostoka-rossii/viewer](https://cyberleninka.ru/article/n/biologicheskaya-aktivnost-pochv-yuga-dalnego-vostoka-rossii/viewer).

20. *Якушев А.В., Кузнецова И.Н., Благодатская Е.В., Благодатский С.А.* Зависимость активности полифенолпероксидаз и полифенолоксидаз в современных и погребенных почвах от температуры // Почвоведение. 2014. № 5. С. 590–596. URL:

[https://www.researchgate.net/publication/269964513\\_Zavisimost\\_aktivnosti\\_po-  
lifenolperoksidaz\\_i\\_polifenoloksidaz\\_v\\_sovremennyh\\_i\\_pogrebennyh\\_pocvah-  
ot\\_temperature](https://www.researchgate.net/publication/269964513_Zavisimost_aktivnosti_po_lifenolperoksidaz_i_polifenoloksidaz_v_sovremennyh_i_pogrebennyh_pocvah_ot_temperature).

21. *Badiane N.N.Y., Chotte J.L., Pate E.* Use of soil enzyme activities to monitor soil quality in natural and improved fallows in semiarid tropical regions // Applied Soil Ecology. 2001. Vol. 18(3). P. 229–238.

22. *Brohon B., Delolme C., Gourdon R.* Qualification of soils through microbial activities measurements: influence of the storage period on INT-reductase, phosphatase and respiration // Chemosphere. 1999. Vol. 38. P. 1973–1984.

23. *da Silva Aragão O.O., de Oliveira-Longatti S.M., Alves Souza A., da Conceição Jesus E., Neves Merlo M., de Oliveira E.P., de Souza Moreira F.M.* The effectiveness of a microbiological attribute as a soil quality indicator

depends on the storage time of the sample // *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*. 2020. Vol. 20. P. 2525–2535.

24. *Dick R.P., Thomas D.R., Halvorson J.J.* Standardized methods, sampling and sample pretreatment. Methods for assessing soil quality // *Soil Science Society of America*. 1996. Vol. 6(49). P. 410–416.

25. *Esterman E.F., McLaren A.D.* Contribution of rhizoplane organisms to the total capacity of plants to utilize organic nutrients // *Plant soil*. 1961. Vol. 15. P. 243–260.

26. ISO 10381-6:2009. Soil Quality. Sampling – Part 6: Guidance on the collection, handling and storage of soil under aerobic conditions for the assessment of microbiological processes, biomass, and diversity in the laboratory. Geneva: International Organization for Standardization, 2009. 6 p.

27. *Jenkinson D.S., Powlson D.S.* The effect of biocidal treatments on metabolism in soil // *Soil Biology & Biochemistry*. 1976. Vol. 8. P. 209–213.

28. *Jenkinson D.S.* Determination of microbial biomass carbon and nitrogen in soil // *Advances in nitrogen cycling in agricultural ecosystems*. 1988. P. 368–386.

29. *Lee Y.B., Lorenz N., Dick L.K., Dick R.P.* Cold storage and pretreatment incubation effects on soil microbial properties // *Soil Biology & Biochemistry*. 2007. Vol. 71. P. 1299–1305.

30. *MacLeod R.A., Calcott P.H.* Cold shock and freezing damage to microbes // *The Survival of Vegetative Microbes*. 1976. P. 81–109.

31. OECD. Guideline for the testing of chemicals Draft. Aerobic and Anaerobic Transformation in Aquatic Sediment Systems. Italy: Belgirate, 1995. 35 p.

32. *Pancholy S.K., Rice E.L.* Effect of storage conditions on activities of urease, invertase, amylase and dehydrogenase in soil // *Soil Science Society of America Proceedings*. 1972. Vol. 36. P. 536–537.

33. *Ross D., Tate K.R., Cairns A., Meyrick K.* Influence of storage on soil microbial biomass estimated by three biochemical procedures // *Soil Biology & Biochemistry*. 1980. Vol. 4. P. 369–374.

34. *Smith J.L., Paul E.A.* The significance of soil microbial biomass estimations // *Soil Biochemistry*. 1990. Vol. 6. P. 357–396.

35. *Speir T.W., Ross D.J.* Effects of storage on the activities of protease, urease, phosphatase and sulphatase in three soils under pasture // *New Zealand Journal of Soil Science*. 1975. Vol. 18. P. 231–237.

36. *Speir T.W., Ross D.J.* Soil phosphatase and sulfatase // *Soil Enzymes / Burns R.G. (Ed.)*. 1978. Chapter 6. P. 197–250.

37. *Stenberg B., Johansson M., Pell M., Sjö Dahl-Svensson K., Stenstrom J., Torstensson L.* Microbial biomass and activities in soils as affected by frozen and cold storage // *Soil biology and biochemistry*. 1998. Vol. 30(3). P. 393–

402. URL:

[https://www.researchgate.net/publication/223360014\\_Microbial\\_biomass\\_and\\_activities\\_in\\_soil\\_as\\_affected\\_by\\_frozen\\_and\\_cold\\_storage](https://www.researchgate.net/publication/223360014_Microbial_biomass_and_activities_in_soil_as_affected_by_frozen_and_cold_storage).

38. *Trabue S.L., Palmquist D.E., Lydick T., Koch-Singles S.* Effects of soil storage on the microbial community and degradation of metsulfuron-methyl // Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2006. Vol. 54(1). P. 142–151.

39. *Verchot L.V.* Cold storage of a tropical soil decreases nitrification potential // Soil Science Society of America Journal. 1999. Vol. 63. P. 1942–1944.

40. *Vestberg M., Sirvio H., Maarit Niemi R., Vepsäläinen M., Kukkonen S.* Application of soil enzyme activity test kit in a field experiment // Soil Biology & Biochemistry. 2001. Vol. 33. P. 1665–1672.

41. *Zantua M.I., Bremner J.M.* Preservation of soil samples for assay of urease activity in soils // Soil Biology & Biochemistry. 1975. Vol. 7. P. 297–299.

42. *Zvyagintsev D.G.* Composition and functioning of a complex of soil microorganisms // Eurasian Soil Science. 2001. Vol. 34. P. 65–73.

## REFERENCES

1. *Abramyan S.A.*, Изменение ферментативной активности почвы под влиянием естественных и антропогенных факторов (Changes in the enzymatic activity of the soil under the influence of natural and anthropogenic factors), *Pochvovedenie*, 1992, No. 7, pp. 70–82.

2. *Malakhov S.G.*, *Vremennye metodicheskie rekomendatsii po kontrolyu zagryazneniya pochv* (Temporary guidelines for soil pollution control), Moscow: Moskovskoe otdelenie gidrometeoizdata, 1984.

3. *Galstyan A.Sh.*, *Fermentativnaya aktivnost' pochv Armenii* (Enzymatic activity of Armenian soils), Erevan: Aiastan, 1974, 275 p.

4. *Galstyan A.Sh.*, Unifikatsiya metodov issledovaniya aktivnosti fermentov pochv (Unification of methods for studying the activity of soil enzymes), *Pochvovedenie*, 1978, No. 2, pp. 107–113.

5. *Galstyan A.Sh.*, Ob ustoychivosti fermentov pochv (On the stability of soil enzymes), *Pochvovedenie*, 1982, No. 4, pp. 108–110.

6. *Golov G.V.*, *Pochvy i ekologiya agrofytotsenozov Zeisko-Bureinskoj ravniny* (Soils and ecology of agrophytocenoses of the Zeya-Bureya Plain), Vladivostok: Dal'nauka, 2001, 162 p.

7. *Dadenko E.V., Kazeev K.Sh.*, Vliyanie razlichnykh srokov i sposobov khraneniya pochvennykh obraztsov na fermentativnuyu aktivnost' chernoze-ma (Influence of different periods and methods of storage of soil samples on the enzymatic activity of chernozem), *Izvestiya vuzov. Estestvennye nauki. Prilozhenie*, 2004, No. 6, pp. 61–65,

URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-razlichnyh-srokov-i-sposobov->

[hraneniya-pochvennyh-obraztsov-na-fermentativnuyu-aktivnost-  
chernozema/viewer.](#)

8. Dadenko E.V., Kazeev K.Sh., Kolesnikov S.I., Val'kov V.F., *Izmene-nie fermentativnoi aktivnosti pri khraneniі pochvennykh obraztsov (Changes in enzymatic activity during storage of soil samples)*, *Pochvovedenie*, 2009, No. 12, pp. 1481–1486,

URL: [https://www.elibrary.ru/download/elibrary\\_12988857\\_18993356.pdf](https://www.elibrary.ru/download/elibrary_12988857_18993356.pdf).

9. Zvyagintsev D.G., *Biologiya pochv i ikh diagnostika (Biology of soils and their diagnostics)*, *Problemy i metody biologicheskoi diagnostiki i indikatsii pochv: materialy vsesoyuznogo soveshchaniya*, Moscow: Nauka, 1976, pp. 175–189.

10. Ivlev A.M., Derbentseva V.I., Golov V.I., Tregubova V.G., *Agrokhimiya pochv yuga Dal'nego Vostoka (Agrochemistry of soils in the south of the Far East)*, Moscow: Kruglyi god, 2001, 104 p.

11. Labutova N.M., Bankina T.A., *Osnovy pochvennoi enzimologii (Fundamentals of soil enzymology)*, St.Petersburg: Izd-vo SPbGU, 2013, 104 p.

12. Lichko V.I., *Fermentativnaya aktivnost' kak indikator ekologiche-skogo sostoyaniya pochv: Avtoref. dis. ... kand. biol. nauk (Enzymatic activity as an indicator of the ecological state of soils, Extended abstract of cand. biol. sci. thesis)*, 03.00.27, Voronezh: Voronezhskii Gosudarstvennyi Universitet, 1998, 18 p.

13. Murtazina S.G., Gaisin I.A., Murtazin M.G., *Praktikum po pochvo-vedeniyu (Workshop on soil science)*, Kazan': Izd-vo Kazanskoi gos-noi s.-kh. akademii, 2006, 225 p.

14. Piletskaya O.A., *Biologicheskaya aktivnost' chernozemovidnoi pochvy pri ispol'zovanii razlichnykh sistem udobrenii: Avtoref. dis. ... kand. biol. nauk (Biological activity of chernozem-like soil when using various fertilizer systems, Extended abstract of cand. biol. sci. thesis)*, 03.02.08, Vladivostok: FGAOU VPO “Dal'nevostochnyi federal'nyi universitet”, 2015, 24 p., URL:

[https://www.dissercat.com/content/biologicheskaya-aktivnost-  
chernozemovidnoi-pochvy-pri-ispolzovanii-razlichnykh-sistem-udobre/read](https://www.dissercat.com/content/biologicheskaya-aktivnost-<br/>chernozemovidnoi-pochvy-pri-ispolzovanii-razlichnykh-sistem-udobre/read).

15. Tembotov R.Kh., *Ekologo-biologicheskaya otsenka sostoyaniya pochv ravnin i predgorii Tsentral'nogo Kavkaza (v granitsakh Kabardino-Balkarii): Avtoref. dis. ... kand. biol. nauk (Ecological and biological assessment of the state of soils in the plains and foothills of the Central Caucasus (within Kabardino-Balkaria, Extended abstract of cand. biol. sci. thesis)*, 03.02.08, Rostov-na-Donu, 2017, 24 p., URL:

[https://www.dissercat.com/content/ekologo-biologicheskaya-otsenka-  
sostoyaniya-pochv-ravnin-i-predgorii-tsentralnogo-kavkaza-v/read](https://www.dissercat.com/content/ekologo-biologicheskaya-otsenka-<br/>sostoyaniya-pochv-ravnin-i-predgorii-tsentralnogo-kavkaza-v/read).

16. Khaziev F.Kh., *Metody pochvennoi enzimologii* (Methods of soil enzymology), Moscow: Nauka, 2005, 252 p.
17. Khaziev F.Kh., Ekologicheskie svyazi fermentativnoi aktivnosti pochv (Ecological relationships of soil enzyme activity), *Ecobiotech*, 2018, No. 2, pp. 80–92, URL: <http://ecobiotech-journal.ru/2018/pdf/ecbtch1802080.pdf>.
18. Cheverdin Yu.I., Ryabtsev A.N., Titova T.V., Nauchnoe obosnovanie i vzaimosvyaz' agrofizicheskikh parametrov s effektivnym plodorodiem pochvy (Scientific justification and relationship of agrophysical parameters with effective soil fertility), In: *Sostoyanie pochv tsentral'nogo Chernozem'ya Rossii i problemy vosproizvodstva ikh plodorodiya: sbornik nauch. dokl. Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii* (Proc. Russian sci.-pract. Conf. The state of soils of the Central Chernozem region of Russia and the problems of reproduction of their fertility), Voronezh: Izd-vo "Istoki", 2015, pp. 56–61.
19. Shchapova L.N., Purtova L.N., Kostenkov N.M., Biologicheskaya aktivnost' pochv yuga Dal'nego Vostoka Rossii (Biological activity of soils in the south of the Russian Far East), *Vestnik KrasGAU*, 2014, No. 5, pp. 64–69, URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/biologicheskaya-aktivnost-pochv-yuga-dalnego-vostoka-rossii/viewer>.
20. Yakushev A.V., Kuznetsova I.N., Blagodatskaya E.V., Blagodatskii S.A., Zavisimost' aktivnosti polifenolperoksidaz i polifenoloksidaz v sovremennykh i pogrebennykh pochvakh ot temperatury (Dependence of the activity of polyphenol peroxidases and polyphenol oxidases in modern and buried soils on temperature), *Pochvovedenie*, 2014, No. 5, pp. 590–596, URL: [https://www.researchgate.net/publication/269964513\\_Zavisimost\\_aktivnosti\\_polifenolperoksidaz\\_i\\_polifenoloksidaz\\_v\\_sovremennykh\\_i\\_pogrebennykh\\_pochvah\\_ot\\_temperatury](https://www.researchgate.net/publication/269964513_Zavisimost_aktivnosti_polifenolperoksidaz_i_polifenoloksidaz_v_sovremennykh_i_pogrebennykh_pochvah_ot_temperatury).
21. Badiane N.N.Y., Chotte J.L., Pate E., Use of soil enzyme activities to monitor soil quality in natural and improved fallows in semiarid tropical regions, *Applied Soil Ecology*, 2001, Vol. 18(3), pp. 229–238.
22. Brohon B., Delolme C., Gourdon R., Qualification of soils through microbial activities measurements: influence of the storage period on INT-reductase, phosphatase and respiration, *Chemosphere*, 1999, Vol. 38, pp. 1973–1984.
23. da Silva Aragão O.O., de Oliveira-Longatti S.M., Alves Souza A., da Conceição Jesus E., Neves Merlo M., de Oliveira E.P., de Souza Moreira F.M., The effectiveness of a microbiological attribute as a soil quality indicator depends on the storage time of the sample, *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 2020, Vol. 20, pp. 2525–2535.

24. Dick R.P., Thomas D.R., Halvorson J.J., Standardized methods, sampling and sample pretreatment. Methods for assessing soil quality, *Soil Science Society of America*, 1996, Vol. 6(49), pp. 410–416.
25. Esterman E.F., McLaren A.D., Contribution of rhizoplane organisms to the total capacity of plants to utilize organic nutrients, *Plant soil*, 1961, Vol. 15, pp. 243–260.
26. ISO 10381-6:2009, Soil Quality, Sampling – Part 6: Guidance on the collection, handling and storage of soil under aerobic conditions for the assessment of microbiological processes, biomass, and diversity in the laboratory, Geneva: International Organization for Standardization, 2009, 6 p.
27. Jenkinson D.S., Powlson D.S., The effect of biocidal treatments on metabolism in soil, *Soil Biology & Biochemistry*, 1976, Vol. 8, pp. 209–213.
28. Jenkinson D.S., Determination of microbial biomass carbon and nitrogen in soil, *Advances in nitrogen cycling in agricultural ecosystems*, 1988, pp. 368–386.
29. Lee Y.B., Lorenz N., Dick L.K., Dick R.P., Cold storage and pretreatment incubation effects on soil microbial properties, *Soil Biology & Biochemistry*, 2007, Vol. 71, pp. 1299–1305.
30. MacLeod R.A., Calcott P.H., Cold shock and freezing damage to microbes, *In The Survival of Vegetative Microbes*, 1976, pp. 81–109.
31. OECD, Guideline for the testing of chemicals Draft, Aerobic and Anaerobic Transformation in Aquatic Sediment Systems, Italy: Belgirate, 1995, 35 p.
32. Pancholy S.K., Rice E.L., Effect of storage conditions on activities of urease, invertase, amylase and dehydrogenase in soil, *Soil Science Society of America Proceedings*, 1972, Vol. 36, pp. 536–537.
33. Ross D., Tate K.R., Cairns A., Meyrick K., Influence of storage on soil microbial biomass estimated by three biochemical procedures, *Soil Biology & Biochemistry*, 1980, Vol. 4, pp. 369–374.
34. Smith J.L., Paul E.A., The significance of soil microbial biomass estimations, *Soil Biochemistry*, 1990, Vol. 6, pp. 357–396.
35. Speir T.W., Ross D.J., Effects of storage on the activities of protease, urease, phosphatase and sulphatase in three soils under pasture, *New Zealand Journal of Soil Science*, 1975, Vol. 18, pp. 231–237.
36. Speir T.W., Ross D.J., Soil phosphatase and sulfatase, In: *Soil Enzymes*, Burns R.G. (Ed.), 1978, Chapter 6, pp. 197–250.
37. Stenberg B., Johansson M., Pell M., Sjodahl-Svensson K., Stenstrom J., Torstensson L., Microbial biomass and activities in soils as affected by frozen and cold storage, *Soil biology and biochemistry*, 1998, Vol. 30(3), pp. 393–402, URL:

[https://www.researchgate.net/publication/223360014\\_Microbial\\_biomass\\_and\\_activities\\_in\\_soil\\_as\\_affected\\_by\\_frozen\\_and\\_cold\\_storage](https://www.researchgate.net/publication/223360014_Microbial_biomass_and_activities_in_soil_as_affected_by_frozen_and_cold_storage).

38. Trabue S.L., Palmquist D.E., Lydick T., Koch-Singles S., Effects of soil storage on the microbial community and degradation of metsulfuron-methyl, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2006, Vol. 54(1), pp. 142–151.

39. Verchot L.V., Cold storage of a tropical soil decreases nitrification potential, *Soil Science Society of America Journal*, 1999, Vol. 63, pp. 1942–1944.

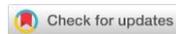
40. Vestberg M., Sirvio H., Maarit Niemi R., Vepsalainen M., Kukkonen S., Application of soil enzyme activity test kit in a field experiment, *Soil Biology & Biochemistry*, 2001, Vol. 33, pp. 1665–1672.

41. Zantua M.I., Bremner J.M., Preservation of soil samples for assay of urease activity in soils, *Soil Biology & Biochemistry*, 1975, Vol. 7, pp. 297–299.

42. Zvyagintsev D.G., Composition and functioning of a complex of soil microorganisms, *Eurasian Soil Science*, 2001, Vol. 34, pp. 65–73.

УДК 638.47

DOI: 10.19047/0136-1694-2022-112-73-121



### Ссылки для цитирования:

Конюшков Д.Е., Ананко Т.В., Герасимова М.И., Савицкая Н.В., Чуванов С.В. Анализ почвенного покрова России по карте масштаба 1 : 2.5 млн с использованием новой классификации: отделы почв и их площади // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. 2022. Вып. 112. С. 73-121. DOI: 10.19047/0136-1694-2022-112-73-121

### Cite this article as:

Konyushkov D.E., Ananko T.V., Gerasimova M.I., Savitskaya N.V., Chuvanov S.V., Soil orders and their areas on the updated soil map of the Russian Federation, 1 : 2.5 M scale, Dokuchaev Soil Bulletin, 2022, V. 112, pp. 73-121, DOI: 10.19047/0136-1694-2022-112-73-121

## Анализ почвенного покрова России по карте масштаба 1 : 2.5 млн с использованием новой классификации: отделы почв и их площади

© 2022 г. Д. Е. Конюшков<sup>1\*</sup>, Т. В. Ананко<sup>1</sup>,  
М. И. Герасимова<sup>1,2\*\*</sup>, Н. В. Савицкая<sup>1</sup>, С. В. Чуванов<sup>1</sup>

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

\*e-mail: [dkonyushkov@yandex.ru](mailto:dkonyushkov@yandex.ru),

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

e-mail: [maria.i.gerasimova@gmail.com](mailto:maria.i.gerasimova@gmail.com).

<sup>2</sup>МГУ им. М.В. Ломоносова, Россия,  
119991, Москва, Ленинские горы, 1.

Поступила в редакцию 04.05.2022, после доработки 11.10.2022,  
принята к публикации 08.11.2022

**Резюме:** Анализ почвенного покрова России по карте масштаба 1 : 2.5 млн с использованием новой субстантивно-генетической классификации проведен на уровне отделов почв. Высокий уровень классификационной генерализации позволяет выявить наиболее общие закономерности географии почв страны и ее почвенных ресурсов, оценить изменения, произошедшие в результате перевода содержания каждого контура карты на язык новой классификации. По составленной карте отделов почв посчитаны их площади. Всего в легенде карты – 24

отдела: 21 отдел природных почв и 3 отдела антропогенно-преобразованных почв (агроземы, торфоземы, стратоземы). Отделы агрообразованных, хемоземов и турбоземов, выделенные в классификации, на карте не представлены. Как и на большинстве карт, отчетливо видны зональные закономерности почвенного покрова на Восточно-Европейской равнине и его высокая литогенная мозаичность в Средней и Восточной Сибири. В новой легенде появились ранее не выделявшиеся почвы: криоземы, криометаморфические и гидрометаморфические, литоземы, криообраземы, криотурбоземы, урбостратоземы, органо-аккумулятивные. Преобладают почвы, характерные для гумидных условий: альфегумусовые (319.2 млн га или 19% от общего земельного фонда страны), глеевые (223.9 млн га, 13%), текстурно-дифференцированные (190.8 млн га, 11%) и торфяные (143.5 млн га, 8%), занимающие в совокупности более половины территории России. Аккумулятивно-гумусовые почвы, наиболее пригодные под пахотные угодья, занимают 103.6 млн га (6%). Значительные площади занимают почвы отдела криоземов (111.4 млн га), а также группы “метаморфических” отделов (железисто-метаморфические – 92.7 млн га, структурно-метаморфические – 47.3 млн га, палево-метаморфические – 12.8 млн га, гидрометаморфические – 4.3 млн га, криометаморфические – 3.4 млн га), что соответствует огромной территории континентальных районов со сбалансированными условиями увлажнения. Самостоятельно отражены почвы с ограниченными возможностями использования в сельском хозяйстве (литоземы, слаборазвитые), но играющие важную биосферную роль и нуждающиеся в охране.

**Ключевые слова:** почвенная карта России, площади почв, классификационная генерализация, преобладающие почвы, сопутствующие почвы, непочвенные образования.

## **Soil orders and their areas on the updated soil map of the Russian Federation, 1 : 2.5 M scale**

© 2022 D. E. Konyushkov<sup>1\*</sup>, T. V. Ananko<sup>1</sup>, M. I. Gerasimova<sup>1,2\*\*</sup>,  
N. V. Savitskaya<sup>1</sup>, S. V. Chuvanov<sup>1</sup>

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

\*e-mail: [dkonyushkov@yandex.ru](mailto:dkonyushkov@yandex.ru),

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

e-mail: [maria.i.gerasimova@gmail.com](mailto:maria.i.gerasimova@gmail.com).

<sup>2</sup>Lomonosov Moscow State University,  
1 Leninskie Gori, Moscow 119234, Russian Federation.

Received 04.05.2022, Revised 11.10.2022, Accepted 08.11.2022

**Abstract:** An analysis of the soil cover of Russia as presented on the soil map on a scale of 1 : 2.5 M with the use of a new substantive-genetic soil classification system has been performed at the level of soil orders. The high level of classification-based generalization makes it possible to assess the most general patterns of soil geography and soil resources and to identify changes that have occurred as a result of renaming of each polygon on the map with the use of the new classification. The areas occupied by soil orders have been calculated. In total, there are 24 soil orders on the new map, including 21 orders of natural soils and 3 orders (agrozems, turfzems, stratozems) of anthropogenically transformed soils. Soils of the orders of agro-abrazems, chernozems, and turbozems are not presented on the map. As on most small-scale soil maps of Russia, the zonal regularities of the soil cover in the East European Plain and high lithogenic mosaicity in Central and Eastern Siberia are clearly seen. The new map includes soil orders that were absent on the initial map: cryozems, cryometamorphic and hydrometamorphic soils, lithozems, cryoabrazems, cryoturbozems, urbostratozems, and organo-accumulative soils. Soils characteristic of humid conditions predominate: Al-Fe-humus soils (Podzols) (319.2 M ha, or 19% of the land fund of Russia), gley soils (Gleysols) (223.9 M ha, 13%), texture-differentiated soils (Luvisols and Regosols) (190.8 M ha, 11%), and peat soils (Histosols) (143.5 M ha, 8%) and occupy more than a half of the territory of Russia. The area of humus-accumulative soils most suitable for arable use is 103.6 M ha (6%). Considerable areas are occupied by soils of the orders of cryozems (Turbic Cryosols) (111.4 M ha), iron-metamorphic soils (Chromic Cambisols) (92.7 M ha), structure-metamorphic soils (Cambisols) (47.3 M ha), pale-metamorphic soils (Cambic Cryosols) (12.8 M ha), hydrometamorphic soils (Calcic Gleysols) (4.3 M ha), and cryometamorphic soils (Cambisols Gelic) (3.4 M ha), which corresponds to the vast continental territory of Russia with balanced moisture conditions. Separate place belongs to the soils with strict limitations for use (lithosols (Leptosols), weakly developed soils (Regosols, Nudilithic Leptosols)) but playing important biospheric functions and requiring special protection.

**Keywords:** soil map of Russia, map updating, soil areas, classification-based generalization, dominant soils, associated soils, nonsoil formations.

## ВВЕДЕНИЕ

В Почвенном институте ведется работа по созданию новой цифровой модели почвенного покрова России на основе Почвенной карты РСФСР (ПКРФ) масштаба 1 : 2.5 млн под редакцией В.М. Фридланда ([Почвенная карта РСФСР, 1988](#); [Савин и др., 2017](#)). Первый этап включает интерпретацию содержания и легенды базовой карты в представлениях и номенклатуре “Классификации и диагностики почв России” ([2004](#)), уточнение состава почвенного покрова (без изменения границ контуров), введение в содержание карты антропогенно-преобразованных почв, отсутствующих на исходной карте ([Ананко и др., 2017](#); [Конюшков и др., 2020](#)). На следующем этапе карта используется для создания цифровой модели почвенного покрова России с разрешением 500 м методами цифровой почвенной картографии ([Zhogolev, Savin, 2020](#); [Zhogolev, 2021](#)).

Проведенная корректировка содержания ПКРФ изменила представление о почвенном покрове и почвенных ресурсах России. В статье этот вопрос рассматривается на уровне отделов почв – групп почв второго таксономического уровня (после стволгов), характеризующихся наличием общего диагностического горизонта или сходного типа строения профиля. Всего в классификации выделяется 27 отделов, в том числе 5 отделов, объединяющих сильно измененные человеком почвы (агрообраземы, агроземы, торфоземы, турбоземы и хемоземы). На карте представлены почвы 24 отделов. Отсутствуют почвы отделов агрообраземов, хемоземов и турбоземов. Как правило, они занимают небольшие площади, не отражаемые в масштабе карты.

Высокий уровень генерализации предполагает рассмотрение общих закономерностей географии почв, выявление наиболее распространенных почв. Нами подсчитаны площади почв 24 отделов; они сравнивались с результатами предыдущих подсчетов по природным почвам ([Симакова и др., 1996](#); [Почвенный..., 2001](#); [Столбовой, Шерemet, 1997](#); [О состоянии..., 2021](#)) для выявления изменений в представлениях о почвенном покрове страны в связи с новым классификационным делением почв и новой пространственной информацией.

## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Объектом исследования является почвенный покров России, отраженный на Почвенной карте РСФСР (1988), оцифрованной в 1997 г. (Рухович и др., 2011) и являющейся основой почвенно-географической базы данных России (Шоба и др., 2010), Единого государственного реестра почвенных ресурсов (Единый..., 2013), современных карт эколого-географического районирования (Карта..., 2013; Карта..., 2019; Урусевская и др., 2020), ряда международных проектов (Stolbovoi et al., 1998; Jones et al., 2009). Фундаментальное значение этой карты очевидно, а новая версия ее содержания позволяет производить различные интерпретации и оценки ее содержания.

**Методика создания карты отделов почв.** На первом этапе проведена актуализация содержания карты – внесение новой информации в атрибутивную базу данных (БД) с переводом названий почв карты 1988 г. в систему классификации и диагностики почв России (КиДПР) (Ананко и др., 2017; Конюшков и др., 2020). Для части полигонов вносились уточнения состава почвенного покрова, включая введение антропогенно-измененных почв. Анализировался состав всех 25 711 полигонов ПКРФ. Он отражен в итоговой БД (таблица Excel) в четырех колонках. Условно принято, что преобладающая почва (или почвенный комплекс) (колонка 1) занимает 40% площади полигона; почва во второй колонке – 30%; в третьей – 20%; и в четвертой – 10%. Для монокомпонентных контуров с единственной почвой она указывается во всех четырех колонках. Для поликомпонентных контуров, преобладающая почва всегда указывается в первой колонке (40%) и может быть дополнительно отмечена во второй–четвертой колонках в зависимости от занимаемой площади. Сопутствующие почвы указываются во второй–четвертой колонках.

Классификационная генерализация карты проведена следующим образом: единицы легенды – подтипы, роды и виды почв были идентифицированы на уровне типов, а затем – отделов почв. Структура таблицы БД при этом не менялась. Для почвенных комплексов указывался отдел преобладающей в комплексе почвы.

В результате был создан список из 24 отделов почв, являю-

щихся единицами легенды составленной карты (рис. 1). Оформление карты проводилось в программе QGIS. Цветом показаны преобладающие почвы преимущественно в традиционной цветовой гамме. В легенде карты они перечислены в том же порядке, что и в классификации ([Полевой определитель..., 2008](#)). В атрибутивную БД включены также сведения о сопутствующих почвах (колоники 2–4) и непочвенных образованиях. Генерализация полигонов не проводилась – в цвет преобладающей почвы закрашивался каждый из 25 711 полигонов векторизованной версии карты.

**Методика подсчета площадей.** Для расчета площадей полигонов была выбрана равновеликая коническая проекция Альберса, включенная в пакет QGIS (Albers Conical Equal Area) и рекомендованная для крупных регионов, вытянутых вдоль умеренных широт ([Liffe, Lott, 2008](#)). Проекция сохраняет соотношения площадей при умеренном искажении формы. Она построена на эллипсоиде WGS-84 (датум WGS-1984) и имеет следующие параметры: стандартные параллели  $50^\circ$  и  $70^\circ$  с. ш., осевой меридиан  $100^\circ$  в. д. Основные характеристики проекции доступны на сайте <https://spatialreference.org/ref/sr-org/albers-equal-area-russia/>. Расчет площади проводили на основе прямоугольной системы координат; за точку начала координат принималось пересечение  $56^\circ$  с. ш. и  $100^\circ$  в. д.

Изначальная карта ([ПКРФ](#)) построена в равнопромежуточной конической проекции. Векторная карта получена в равновеликой конической проекции Albers-Siberia на эллипсоиде Красовского (датум Пулково-1942). После перепроецирования карты в программе QGIS была высчитана площадь ( $m^2$ ) каждого из 25 711 полигонов по формуле Sarea. Новая атрибутивная таблица с площадями экспортировалась в основную атрибутивную БД в программе Excel.

Площади подсчитаны в двух вариантах. В первом варианте учитывалась только преобладающая почва, площадь которой принималась за 100% от площади полигона ( $S1$ ). Это соответствует визуально воспринимаемой (по цвету) площади, занимаемой тем или иным отделом. Для каждого отдела подсчитывали общее количество полигонов ( $n$ ) и их средний размер ( $S1/n$ ).

Второй вариант ( $S2$ ) производился для преобладающей и

трех сопутствующих почв, т. е. учитывалась полная БД. Для расчета использовалась функция СУММЕСЛИМН, умноженная на соответствующие коэффициенты: 0.4 – для преобладающей почвы; 0.3, 0.2 и 0.1 – для сопутствующих. Затем площади преобладающей и сопутствующих почв для каждого отдела складывались при помощи стандартной функции СУММ. S2 является более точной характеристикой, учитывающей долю площади почв – единиц легенды в полигонах карты.

Подсчет площадей (в м<sup>2</sup>) велся с максимальной возможной точностью. Полученные цифры переведены в км<sup>2</sup> с округлением до целых (табл. 1). Суммы площадей после округления не вполне совпадают с суммами до округления, но разница не превышает десятых долей кв. км.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Полученная карта отделов почв (рис. 1) не нарушает в целом концепцию карты 1988 г. и идентична ей, что является ее достоинством. Отчетливо видна широтная дифференциация почвенного покрова Европейской части; в Западной Сибири она становится более сложной за счет широкого развития торфяных почв в северной части и щелочно-глинисто-дифференцированных почв – в южной. В Средней и Восточной Сибири почвенный покров мозаичен; практически не выражена зона степных аккумулятивно-гумусовых почв, в горных районах значительна доля непочвенных образований (каменистые россыпи). Отметим визуальное преобладание альфегумусовых, торфяных, глеевых и текстурно-дифференцированных почв.

Количественные данные о площадях и полигонах почв представлены в таблице 1 и на рисунке 2. Рассмотрим сначала расчеты по преобладающей почве (S1), соответствующие визуальному впечатлению от карты. Преобладают альфегумусовые почвы (около 3.8 млн кв. км); площади глеевых и текстурно-дифференцированных почвы – около 2 млн кв. км; железисто-метаморфических, аккумулятивно-гумусовых, криогенных и торфяных почв – немного более 1 млн кв. км, а аллювиальных и органо-аккумулятивных почв – менее 1 млн кв. км.

**Таблица 1.** Площади отделов почв и непочвенных образований на карте РФ масштаба 1:2.5 млн в системе классификации почв России

Отделы почв и непочвенные образования	Подсчет по преобладающей почве			Подсчет по полной БД	
	S1, км <sup>2</sup>	<i>n</i>	S1/ <i>n</i>	S2, км <sup>2</sup>	S2 – S1, % от S2
Текстурно-дифференцированные	1 986 515	2 854	696	<b>1 907 560</b>	-4
Альфегумусовые	3 785 627	4 843	782	<b>3 192 148</b>	-19
Железисто-метаморфические	1 170 800	1 137	1030	<b>927 040</b>	-26
Структурно-метаморфические	476 978	562	849	<b>473 687</b>	-1
Криометаморфические	64 073	39	1643	<b>42 696</b>	-50
Палео-метаморфические	142 719	125	1142	<b>127 693</b>	-12
Криогенные	1 075 104	1 111	968	<b>1 114 452</b>	4
Глеевые	2 040 552	2 676	763	<b>2 239 092</b>	9
Аккумулятивно-гумусовые	1 126 914	1 333	845	<b>1 036 002</b>	-9
Светлогумусовые аккумулят.- карбонатные	169 096	251	674	<b>150 223</b>	-13
Щелочно-глинисто-дифференцированные	97 446	184	530	<b>113684</b>	14
Галоморфные	9 044	47	192	<b>20 280</b>	55
Гидрометаморфические	33 336	220	152	<b>33 606</b>	1
Органо-аккумулятивные	835 237	1 423	587	<b>817 063</b>	-2
Элювиальные	355	2	178	<b>2 680</b>	87

**Продолжение таблицы 1**

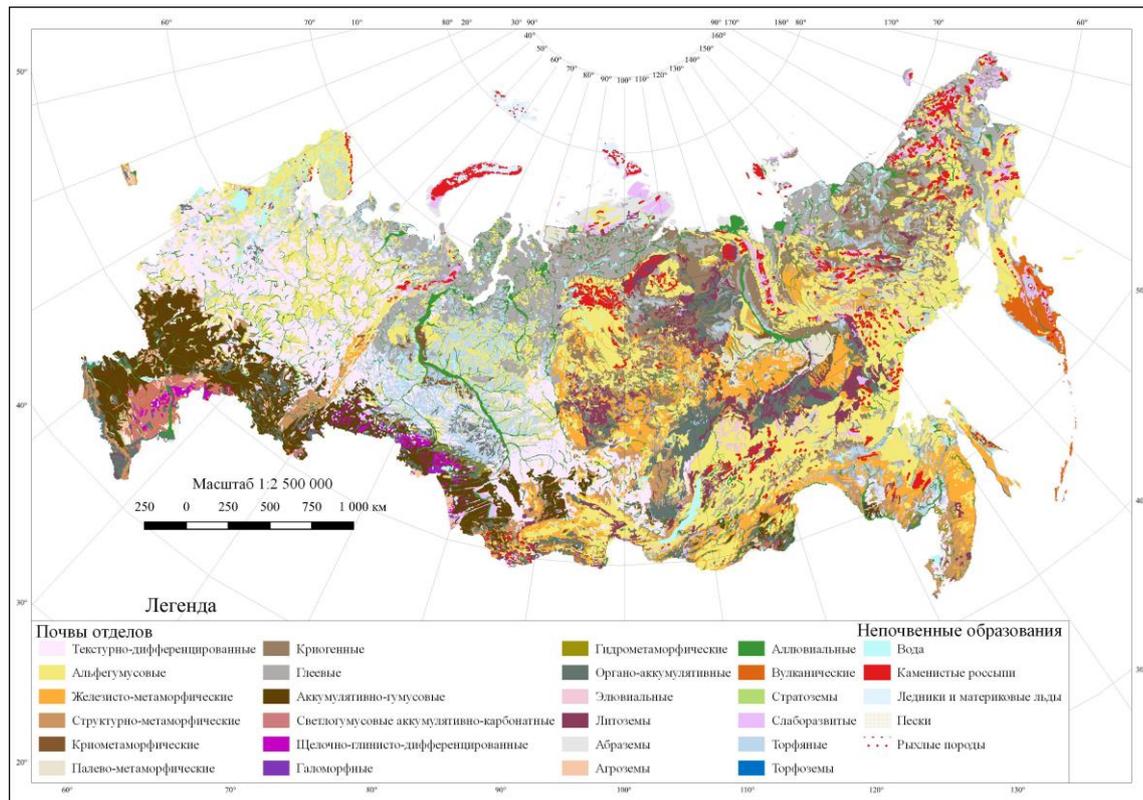
Отделы почв и непочвенные образования	Подсчет по преобладающей почве			Подсчет по полной БД	
	S1, км <sup>2</sup>	n	S1/n	S2, км <sup>2</sup>	S2 – S1, % от S2
Литоземы	581 467	419	1388	<b>494 397</b>	-18
Абраземы	139 950	105	1333	<b>101268</b>	-38
Агроземы	77 786	170	458	<b>109 813</b>	29
Аллювиальные	921 343	805	1145	<b>941 040</b>	2
Вулканические	131 089	118	1111	<b>123 088</b>	-7
Стратоземы	115	2	57	<b>4 318</b>	97
Слаборазвитые	431 320	557	774	<b>373 597</b>	-15
Торфяные	1 060 117	4 605	230	<b>1 435 139</b>	26
Торфоземы	689	4	172	<b>5287</b>	87
Водные объекты	184 689	1 089	170	<b>184 689</b>	0
Каменистые россыпи	300 813	695	695	<b>874 876</b>	66
Ледники и материковые льды	58 812	125	470	<b>58 812</b>	0
Пески	37 527	166	226	<b>37 700</b>	0
Рыхлые породы	6 880	44	156	<b>4 432</b>	-55
ТПО	0	Нет		<b>30</b>	100
Итого	1 6946 393	25 711	659	<b>16 946 392</b>	0

**Table 1.** Areas occupied by soil orders and nonsoil formations on the updated soil map of Russia, 1 : 2.5 M scale

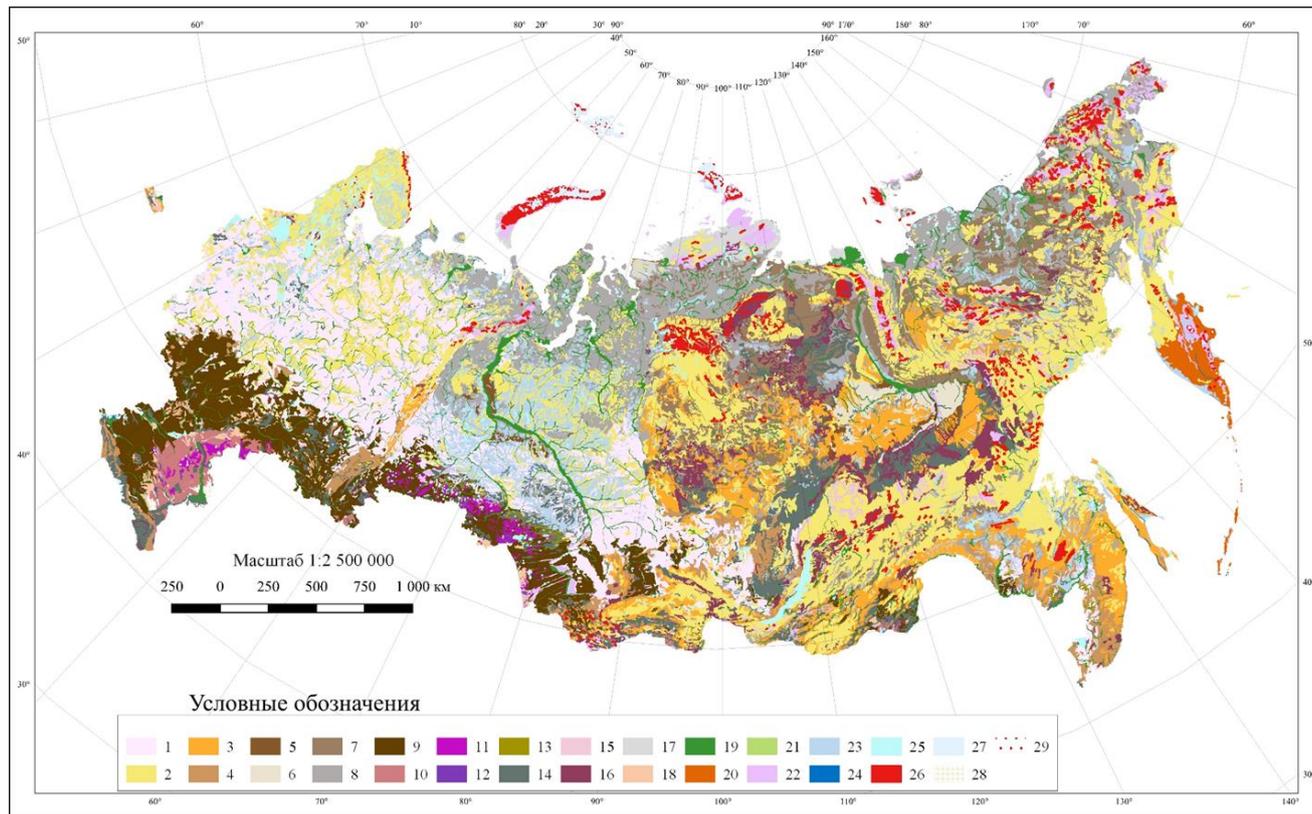
Soil orders and nonsoil formations	Calculation by dominant soil			Calculation by full database	
	S1, km <sup>2</sup>	<i>n</i>	S1/ <i>n</i>	S2, km <sup>2</sup>	S2 – S1, % of S2
Texture-differentiated	1 986 515	2 854	696	<b>1 907 560</b>	-4
Al-Fe-humus	3 785 627	4 843	782	<b>3 192 148</b>	-19
Iron-metamorphic	1 170 800	1 137	1030	<b>927 040</b>	-26
Structure-metamorphic	476 978	562	849	<b>473 687</b>	-1
Cryometamorphic	64 073	39	1643	<b>42 696</b>	-50
Palevye metamorphic	142 719	125	1142	<b>127 693</b>	-12
Cryogenic	1 075 104	1 111	968	<b>1 114 452</b>	4
Gley	2 040 552	2 676	763	<b>2 239 092</b>	9
Humus-accumulative	1 126 914	1 333	845	<b>1 036 002</b>	-9
Light-humus carbonate-accumulative	169 096	251	674	<b>150 223</b>	-13
Alkaline clay-differentiated	97 446	184	530	<b>113684</b>	14
Halomorphic	9 044	47	192	<b>20 280</b>	55
Hydrometamorphic	33 336	220	152	<b>33 606</b>	1
Organo-accumulative	835 237	1 423	587	<b>817 063</b>	-2
Eluvial	355	2	178	<b>2 680</b>	87
Lithozems	581 467	419	1388	<b>494 397</b>	-18

**Table 1 continued**

Soil orders and nonsoil formations	Calculation by dominant soil			Calculation by full database	
	S1, km <sup>2</sup>	<i>n</i>	S1/ <i>n</i>	S2, km <sup>2</sup>	S2 – S1, % of S2
Abrazems	139 950	105	1333	<b>101268</b>	-38
Agrozems	77 786	170	458	<b>109 813</b>	29
Alluvial	921 343	805	1145	<b>941 040</b>	2
Volcanic	131 089	118	1111	<b>123 088</b>	-7
Stratozems	115	2	57	<b>4 318</b>	97
Weakly developed	431 320	557	774	<b>373 597</b>	-15
Peat	1 060 117	4 605	230	<b>1 435 139</b>	26
Turfzems	689	4	172	<b>5287</b>	87
Water objects	184 689	1 089	170	<b>184 689</b>	0
Rock outcrops	300 813	695	695	<b>874 876</b>	66
Glaciers and ice sheets	58 812	125	470	<b>58 812</b>	0
Sands	37 527	166	226	<b>37 700</b>	0
Loose rocks	6 880	44	156	<b>4 432</b>	-55
Technogenic surface formations	0	Нет		<b>30</b>	100
Total	1 6946 393	25 711	659	<b>16 946 392</b>	0



**Рис. 2.** Отделы почв на Почвенной карте РСФСР в формате классификации почв России.



**Fig. 2.** Soil orders (Russian soil classification system) on the updated version of the Soil Map of the Russian Federation: (1) texture-differentiated (Luvisols, Regosols), (2) Al-Fe-humus (Podzols), (3) iron-metamorphic (~Chromic Cambisols), (4) structure-metamorphic (~Cambisols), (5) cryometamorphic (~Cambisols Gelic), (6) pale-metamorphic (~Cambic Cryosols), (7) cryogenic (cryozems) (~Oxyaquic Turbic Cryosols), (8) gley (Histic Cryosols + Gleysols), (9) humus-accumulative (Chernozems + Kastanozems), (10) light-humus carbonate-accumulative (Kastanozems + Calcisols), (11) alkaline clay-differentiated (Solonetztes), (12) halomorphic (Solonchaks), (13) hydrometamorphic (~Calcic Gleysols), (14) organo-accumulative (~Umbrisols), (15) eluvial (~Stagnic Regosols), (16) lithozems (Leptosols), (17) abrazems (cryoabrazems) (~Protic Cryosols), (18) agroozems (~Aric qualifier), (19) alluvial (Fluvisols), (20) volcanic (~Andosols), (21) stratozems (Technosols), (22) weakly developed (~Regosols, Nudilithic Leptosols), (23) peat soil (~Histosols), (24) turfozems (peatzems) (Drainic Histosols Turbic), (25) water bodies, (26) rock outcrops (stone fields), (27) glaciers and ice sheets, (28) sands, and (29) loose rocks.

Остальные отделы имеют занимают площади менее 500 тыс. кв. км. Общая площадь почв ствола постлитогенного почвообразования – 13 812 997 кв. км, синлитогенного почвообразования – 1 052 546 кв. км, первичного почвообразования – 431 320 кв. км, органогенного почвообразования – 1 060 806 кв. км. Площадь непочвенных образований – 588 721 кв. км, в том числе водных объектов – 184 689 кв. км и каменистых россыпей (выходов плотных пород) – 300 813 кв. км.

Вся площадь России (без учета Крыма, который не вошел в данный вариант оцифрованной карты) – 16 946 390 кв. км. По официальным данным ([Государственный..., 2021](#)), она составляет 17 125 191 кв. км, в том числе площадь Республики Крым – 26 081 кв. км и города Севастополя – 864 кв. км. Наши данные меньше официальных на 151 856 кв. км (0.89% от общей площади). Таким образом, выполненный подсчет по карте масштаба 1 : 2.5 млн, – достаточно точен. Исключение почв Крыма из рассмотрения связано с тем, что они не были включены ни в изначально изданную карту, ни в выполненные по ней ранее подсчеты площадей, с которыми мы сравниваем наши данные. Введение почв Крыма в общий реестр почвенных ресурсов на основе карты

масштаба 1 : 2.5 млн требует детализации и уточнения сведений, отраженных на недавно подготовленной и изданной новой почвенной карте этого региона ([Почвенная карта Крыма, 2019](#)).

Средняя площадь полигонов на карте – 659 кв. км. Максимальные средние площади (свыше 1 000 кв. км) характерны для полигонов с преобладанием криометаморфических почв, литоземов, абраземов (криоабраземов), аллювиальных, вулканических, палево-метаморфических и железисто-метаморфических почв, а минимальные (менее 200 кв. км) – для выходов рыхлых пород и отделов стратоземов, торфоземов, элювиальных и галоморфных почв.

Рассмотрим теперь результаты подсчета площадей S2 почв по полной базе данных, с учетом доли преобладающих и сопутствующих почв (рис. 2). Очевидно, что это более точный подсчет, поэтому в дальнейшем мы будем использовать именно эти данные (выделены полужирным).

Как и следовало ожидать, он дал иные результаты. Для ряда отделов (отмечены серым), S2 оказалась существенно меньше S1 (для альфегумусовых почв – на 593 478 кв. км (на 19% от S2)). В процентном отношении наиболее значительно сокращение площадей (по сравнению с подсчетом S1) отмечается для железисто-метаморфических почв (26%), (крио)абраземов (38%), криометаморфических почв (50%), выходов рыхлых пород (55%). Это означает, что полигоны, в которых данные почвы преобладают, содержат значительную долю иных сопутствующих почв.

Площади водных объектов и ледников, и материковых льдов одинаковы при обоих подсчетах, так как они введены во все 4 колонки БД для соответствующих полигонов.

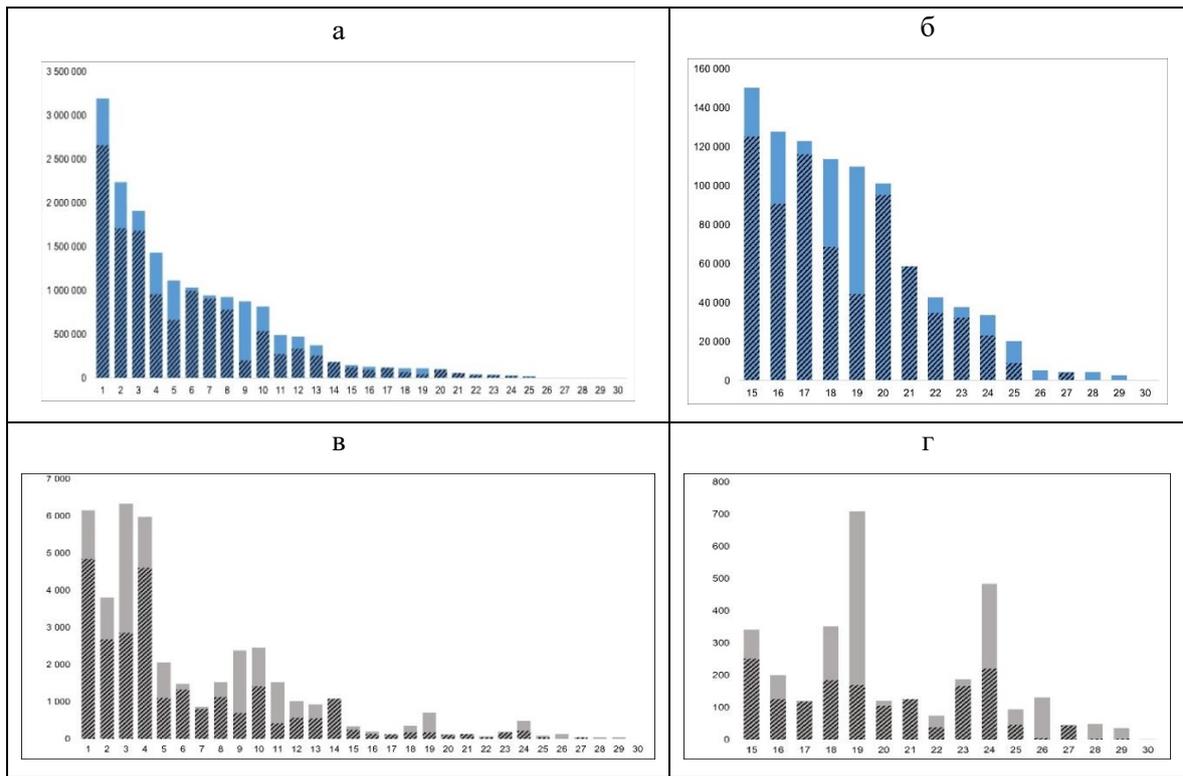
Желтым цветом выделены отделы почв, для которых S2 оказалась больше S1. Это почвы, которые в почвенном покрове часто являются сопутствующими: щелочно-глинисто-дифференцированные (солонцовые комплексы) (S1 недооценена на 14%), торфяные (26%), агроземы (29%), галоморфные (55%), торфоземы (87%), элювиальные (элювоземы) (87%), стратоземы (97%). Техногенные поверхностные образования (ТПО) на карте отсутствуют как преобладающие, но выделены в ряде полигонов как третий сопутствующий компонент покрова. Значительно (на 66%) увеличи-

чилась площадь каменистых россыпей. Действительно, во многих полигонах с преобладанием альфегумусовых и железисто-метаморфических почв каменистые россыпи отмечены как сопутствующие компоненты покрова.

Сравнение S1 и S2 показывает, на сколько различается визуальное восприятие карты по преобладающему цвету (S1) и более точный подсчет (S2) с учетом сопутствующих почв (на бумажной карте – внесмасштабных значков). Как видно из таблицы 1, мы переоцениваем площади S1 для крупных полигонов (>1000 кв. км) и недооцениваем – для мелких, хотя из этого правила есть исключения (так, немногочисленные мелкие полигоны с преобладанием выходов рыхлых пород также оказались переоцененными по S1). Полученные выводы о неполном соответствии визуального восприятия показанных на картах преобладающих почв и их площади с более точными расчетами по полной БД представляются интересными и не лишенными закономерностей.

Более подробные данные о встречаемости различных почв как преобладающих (то есть обязательно представленных в первой колонке (40% от площади полигона) и могущих дополнительно присутствовать во второй–четвертой колонках) и как сопутствующих (то есть представленных во второй–четвертой колонках, но отсутствующих в первой) даны на рисунке 2.

Как видно из рисунка 2, основной вклад в общую площадь почв связан с полигонами, в которых они являются преобладающими. Исключение составляют каменистые россыпи, агроземы, галоморфные почвы, торфоземы, стратоземы, элювиальные почвы и ТПО, которые в почвенном покрове являются преимущественно сопутствующими. Распределение количества полигонов с преобладающими и сопутствующими компонентами почвенного покрова имеет иной характер. Так, текстурно-дифференцированные почвы, каменистые россыпи, литоземы, агроземы, гидрометаморфические почвы, стратоземы, элювиальные почвы и ТПО в более чем половине контуров являются сопутствующими.



**Рис. 2. (а, б)** Вклад преобладающих (заштрихованная часть) и сопутствующих компонентов почвенного покрова в общую площадь и (в, г) соотношение между количеством полигонов с преобладающими и сопутствующими почвами. Почвы и непочвенные образования: (1) альфегумусовые, (2) глеевые, (3) текстурно-дифференцированные, (4) торфяные, (5) криогенные, (6) аккумулятивно-гумусовые, (7) аллювиальные, (8) железисто-метаморфические, (9) каменные россыпи, (10) органо-аккумулятивные, (11) литоземы, (12) структурно-метаморфические, (13) слабообразованные, (14) водные объекты, (15) светлогумусовые аккумулятивно-карбонатные, (16) палео-метаморфические, (17) вулканические, (18) щелочно-глинисто-дифференцированные, (19) агроземы, (20) абраземы, (21) ледники и материковые льды, (22) криометаморфические, (23) пески, (24) гидрометаморфические, (25) галоморфные, (26) торфоземы, (27) рыхлые породы, (28) стратоземы, (29) элювиальные, (30) ТПО.

**Fig. 2. (a, b)** Contribution of dominant (hatched) and accompanying components of the soil cover to the total areas of soil orders and (c, d) proportion between the numbers of polygons with dominant and accompanying soils. Soils and nonsoil formations: (1) Al-Fe-humus, (2) gley, (3) texture-differentiated, (4) peat, (5) cryogenic, (6) humus-accumulative, (7) alluvial, (8) iron-metamorphic, (9) rock outcrops, (10) organo-accumulative, (11) lithozems, (12) structure-metamorphic, (13) weakly developed, (14) water objects, (15) light-humus carbonate-accumulative, (16) paleoye metamorphic, (17) volcanic, (18) alkaline clay-differentiated, (19) agrozem, (20) abrazem, (21) glaciers and ice sheets, (22) cryometamorphic, (23) sands, (24) hydrometamorphic, (25) halomorphic, (26) turfzems, (27) loose rocks, (28) stratozem, (29) eluvial, and (30) technogenic (nonsoil) surface formations.

Ожидалось, что в группу почв, являющихся преимущественно сопутствующими (по площади и/или по количеству полигонов), попадут почвы, характерные для подчиненных позиций в рельефе (глеевые, торфяные) или, напротив, для локальных автономных позиций (щелочно-глинисто-дифференцированные почвы (солонцы)), однако подсчеты по всей карте этого не подтвердили. Вероятно, это связано с большим количеством контуров с преобладающими глеевыми и торфяными почвами на севере страны и с отнесением к отделу щелочно-глинисто-дифференцированных почв не только собственно солонцов, но и части солонцовых комплексов с бурыми и каштановыми почвами, которые преобладают

в почвенном покрове. Очевидно, учет соотношения между преобладающими и сопутствующими почвами требует регионального подхода.

Как отмечено выше, карта отделов почв отражает географические закономерности, отмеченные и для изначальной бумажной карты. Она “читается” в сильно уменьшенном виде (рис. 1), но лучше рассматривать ее с увеличением. На карте появились не выделявшиеся ранее отделы почв – как природных, так и антропогенно-измененных. Каким образом изменения на карте сказались на результатах подсчета площадей и оценке почвенных ресурсов (почвенного фонда) России? В данной статье мы коснемся только природных (естественных) почв. Антропогенно-измененные почвы требуют самостоятельного анализа. До недавнего времени ([Савин и др., 2018](#)) их подсчет по карте был невозможен.

***Существующие оценки площадей почв России.*** Первые оценки площадей почв по почвенным картам Европейской (1926) и Азиатской (1930) частей СССР были получены под руководством Л.И. Прасолова ([1932](#)). Подсчеты велись с помощью палетки по двухградусным широтным зонам. Их точность была оценена примерно в 1%. Итоговые цифры были получены по широтным (тундры и лесотундры, подзола, чернозема, каштановых почв и сероземов) и вертикальным почвенным зонам. В дальнейшем сходные подсчеты были выполнены и на других обзорных почвенных картах СССР и мира ([Прасолов, 1945](#)). Наряду с методом палетки, использовались планиметры, а также весовой и оптический методы. Проверка результатов обеспечивалась параллельным подсчетом по картам разных масштабов, а также сравнением с официальными данными по площадям стран, регионов, областей. Полученные результаты пересчитывались, исходя из официальных данных ([Розов, Ободовская, 1978](#)). Опубликованные в “доцифровую” эру результаты подсчета площадей почв для СССР ([Розов, 1962](#)) увязаны с официальными данными о площади страны (суммы площадей сходятся).

Разработанные в Почвенном институте им. В.В. Докучаева методы подсчета площадей в дальнейшем использовались в системе ГИПРОЗЕМА, а затем – в Министерстве природных ресурсов. Подсчеты велись по административным единицам, экономи-

ческим районам, федеральным округам. Для всей России опубликованы данные по природным зонам и преобладающим в них почвам ([Романенко и др., 1996](#)), которые входят в настоящее время в учебники ([Добровольский, Урусевская, 2004](#)) и официальные доклады ([О состоянии..., 2021](#)). Их сравнение с нашими подсчетами невозможно, поскольку в докладах объединены сведения о почвах, принадлежащих разным отделам: глеевым и альфегумусовым (тундровые глеевые и тундровые иллювиально-гумусовые), текстурно-дифференцированным и альфегумусовым (глееподзолистые и подзолы) и т. д. Данная зональная группировка отражает представления, сложившиеся к 1960-м годам, а количественные характеристики – весьма приблизительны.

Первые данные о площадях на основе Почвенной карты РСФСР 1988 г. также были получены в системе ГИПРОЗЕМ и переданы в Почвенный институт. Они опубликованы в обобщенном виде для экономических районов и всей страны ([Симакова и др., 1996](#)). В монографии ([Почвенный..., 2001](#)) приведены более полные данные для субъектов Российской Федерации. К сожалению, описание методики подсчета в этих работах отсутствует. Не ясно, в частности, как учитывались сопутствующие почвы. Итоговые цифры приведены в соответствие с официальными данными о площадях административных областей, экономических районов и всей страны. Ценным в данном подсчете является разделение на почвы равнинных и горных областей. Оцифрованная версия карты не дает такой возможности, поскольку информация о “горных” контурах, показанных на оригинале карте традиционной белой шраффировкой, в атрибутивную базу данных не включена.

Векторизованная версия карты появилась в 1997 г.; она использовалась при создании почвенно-эрозионной карты и карты засоления почв России ([Рухович и др., 2011](#)). По последней проведен ряд подсчетов площадей засоленных почв с использованием ГИС ([Хитров и др., 2009](#); [Черноусенко и др., 2011](#) и др.). Четкого обоснования методики подсчета, использованной проекции и датума в этих работах также не приводится. Опубликованных подсчетов всех площадей почв по данной карте с использованием возможностей ГИС найти не удалось.

Подсчеты площадей почв России были выполнены также по оцифрованному генерализованному до масштаба 1 : 5 млн варианту карты 1988 г., подготовленному лабораторией почвенной информатики Почвенного института и Международным институтом прикладных системных исследований (IIASA) в рамках проекта SOTER. Количество почвенных полигонов на ней сокращено до 1 271 (Stolbovoi et al., 1998). Подсчитаны площади всех почв сокращенной до 165 наименований легенды генерализованной карты (Столбовой, Шерemet, 1997). Как и в нашей карте отделов, в легенду не вошли почвенные комплексы. Обобщение проводилось по отделам почв (Шишов, Соколов, 1989), близким (но не идентичным) отделам почв по КиДПР. Карта использована для представления общих закономерностей почв России в международных классификационных системах (ФАО, Soil Taxonomy, WRB) (Stolbovoi, 2000).

Прямое сопоставление ранее опубликованных данных о площадях почв России с нашими результатами затруднено из-за различий в источниках первичной информации, названиях и таксономическом уровне почв, методологии расчетов. Однако приблизительное соответствие установить можно (табл. 2). Проанализируем полученные результаты.

**Изменения в площадях почв отделов на ПКРФ и их причины.** Отдел альфегумусовых почв занимает наибольшую площадь (319 млн га, или 19% от общей площади земельного фонда страны). В европейской России и Западной Сибири распространены подзолы, дерново-подзолы и подзолы глеевые (в северной части). Основной массив образуют подбуры и подзолы гор и плато Средней и Восточной Сибири, Забайкалья и Дальнего Востока на плотных породах различного состава. В поясе кедровых и ольхово-кедровых стлаников распространены подбуры и подзолы сухоторфяные, на породах трапповой формации Средней Сибири – подбуры охристые. На карту введены почвы, на исходной карте не выделявшиеся: дерново-подбуры (Почвы..., 2013), торфяно-подбуры, подбуры глееватые и оподзоленные (Игнатенко, 1979), подзолы криотурбированные, подзолы языковатые. По сравнению с предыдущими подсчетами, площадь альфегумусовых почв сократилась (табл. 2).

**Таблица 2.** Сравнение подсчетов площадей почв России по разным источникам, млн га

(1) Отделы почв на новой карте	(2) Группы почв ( <u>Почвенный.... 2001</u> )	1	2
Текстурно-дифференцированные	Все почвы с горизонтом Bt	<b>190.8</b>	230.8
Альфегумусовые	Все почвы с горизонтом Bh,f	<b>319.2</b>	332.2
Железисто-метаморфические	Дерново- и буро-таежные, грануземы	<b>92.7</b>	63.2
Структурно-метаморфические	Бурые лесные, коричневые	<b>47.3</b>	24.6
Криометаморфические	—	<b>4.3</b>	—
Палево-метаморфические	Все палевые почвы	<b>12.8</b>	45.0
Криогенные (криоземы)	Таежные высокогумусовые неоглеенные	<b>111.4</b>	58.3
Глеевые	Все почвы с горизонтом G	<b>223.9</b>	244.7
Аккумулятивно-гумусовые	Все черноземы и темно-каштановые	<b>103.6</b>	120.5
Светлогумусовые аккумулятивно-карбонатные	Каштановые, светло-каштановые, бурые	<b>15.0</b>	22.8
Щелочно-глинисто-дифференцированные	Все солонцы и их комплексы	<b>11.4</b>	10.7
Галоморфные	Все солончаки	<b>2.0</b>	1.5
Гидрометаморфические	—	<b>3.4</b>	—
Органо-аккумулятивные	Перегнойно- и дерново-карбонатные, луговые	<b>81.7</b>	138.4
Элювиальные	—	<b>0.3</b>	—
Литоземы	—	<b>49.4</b>	—

**Продолжение таблицы 2**

(1) Отделы почв на новой карте	(2) Группы почв ( <u>Почвенный.... 2001</u> )	1	2
Абраземы	—	<b>10.1</b>	—
Агроземы	—	<b>11.0</b>	—
Аллювиальные	Все пойменные и маршевые	<b>94.1</b>	77.4
Вулканические	Все вулканические	<b>12.3</b>	16.5
Стратоземы	—	<b>0.4</b>	—
Слаборазвитые	Арктические, горные примит., боровые пески	<b>37.4</b>	13.3
Торфяные	Все торфяные	<b>143.5</b>	193.4
Торфоземы	—	<b>0.5</b>	—
Водные объекты	Озера, реки, водохранилища	<b>18.5</b>	69.6
Каменистые россыпи	Каменистые россыпи, выходы плотных пород	<b>87.5</b>	44.5
Ледники и материковые льды	Не указаны	<b>5.9</b>	—
Пески	Пески	<b>3.8</b>	—
Рыхлые породы	Не выделены	<b>0.4</b>	—
ТПО	Не выделены	<b>0.0</b>	—
Итого		<b>1 694.6</b>	1 707.4

**Примечание.** Прочерк означает, что соответствующая группа почв ранее не выделялась.

**Table 2.** Comparison of data on soil areas (million ha) in Russia according to different sources

(1) Soil orders on the updated map	(2) Groups of soils ( <a href="#">Soil Cover..., 2001</a> )	(3) Soil orders ( <a href="#">Stolbovoi, Sheremet, 1998</a> )	1	2	3
Texture-differentiated	All soils with the Bt horizon	Texture-differentiated	<b>190.8</b>	230.8	252.3
Al-Fe-humus	All soils with the Bh,f (Bs) horizon	Al-Fe-humus	<b>319.2</b>	332.2	371.1
Iron-metamorphic	Soddy and brown taiga soils, granuzems	Metamorphic	<b>92.7</b>	63.2	212.0
Structure-metamorphic	Brown forest and cinnamonic soils		<b>47.3</b>	24.6	
Cryometamorphic	—		<b>4.3</b>	—	
Palevye metamorphic	All palevye soils		<b>12.8</b>	45.0	
Cryogenic (cryozems)	High-humus nongley taiga soils	Cryozems (soils of barren frost boils, Arctic)	<b>111.4</b>	58.3	10.8
Gley	All soils with the G horizon	Gleyzems	<b>223.9</b>	244.7	255.8
Humus-accumulative	All chernozems and dark chestnut soils	Humus-accumulative	<b>103.6</b>	120.5	167.7
Light humus carbonate-accumulative	Chestnut, light chestnut, brown (aridic) soils	Low-humus carbonate-accumulative	<b>15.0</b>	22.8	4.5

**Table 2 continued**

(1) Soil orders on the updated map	(2) Groups of soils ( <a href="#">Soil Cover..., 2001</a> )	(3) Soil orders ( <a href="#">Stolbovoi, Sheremet, 1998</a> )	1	2	3
Alkaline clay-differentiated	All solonetztes and their complexes	Alkaline clay-differentiated	<b>11.4</b>	10.7	13.0
Halomorphic	All solonchaks	Halomorphic	<b>2.0</b>	1.5	2.4
Hydrometamorphic	—	—	<b>3.4</b>	—	—
Organo-accumulative	Mucky and soddy-calcareous; meadow soils	Organo-accumulative	<b>81.7</b>	138.4	93.2
Eluvial	—	—	<b>0.3</b>	—	—
Lithozems	—	Lithozems	<b>49.4</b>	—	7.7
Abrazems	—	—	<b>10.1</b>	—	—
Agrozems	—	—	<b>11.0</b>	—	—
Alluvial	Floodplain and marsh soils	Alluvial	<b>94.1</b>	77.4	56.0
Volcanic	All volcanic soils	Volcanic	<b>12.3</b>	16.5	15.6
Stratozems	—	—	<b>0.4</b>	—	—
Weakly developed	Arctic, primitive mountainous, sands under pine	Weakly developed	<b>37.4</b>	13.3	34.9

**Table 2 continued**

(1) Soil orders on the updated map	(2) Groups of soils ( <a href="#">Soil Cover..., 2001</a> )	(3) Soil orders ( <a href="#">Stolbovoi, Sheremet, 1998</a> )	1	2	3
Peat	All peat soils	Peat	<b>143.5</b>	193.4	118.7
Turfozems	—	—	<b>0.5</b>	—	—
Water objects	Lakes, rivers, reservoirs	—	<b>18.5</b>	69.6	—
Rock outcrops	Rock outcrops	Rock outcrops	<b>87.5</b>	44.5	41.9
Glaciers and ice sheets	Not indicated	Ледники	<b>5.9</b>	—	3.8
Sands	Sands	Sands, sands under pine	<b>3.8</b>	—	8.6
Loose rocks	—	—	<b>0.4</b>	—	—
Technogenic surface formations	—	—	<b>0.0</b>	—	—
Total			<b>1 694.6</b>	1 707.4	1 670.0

**Note.** Dashes mean that these groups of soils have not been identified on the initial map.

Часть подбуров и подзолов с маломощным щебнистым профилем в горных районах Сибири переведены в отдел литоземов. Охристые подбуры на долеритах в таежных ландшафтах Якутии отнесены к отделу железисто-метаморфических почв (ржавоземов) с подтиповым признаком “палево-метаморфизованные”, отражающим переход к палевым почвам Центрально-Якутской равнины ([Соколов, Тонконогов, 1975](#); [Еловская и др., 1979](#)). Вместе с тем отдел пополнился за счет части текстурно-дифференцированных почв на плотных породах, переведенных в подзолы из-за отсутствия диагностического горизонта ВТ, а также некоторых горных лесо-луговых почв, имеющих диагностический горизонт ВНФ ([Почвы..., 2013](#)).

*Отдел глеевых почв* – второй по распространенности: 223.9 млн га (13%). Глееземы господствуют в тундрах в составе криогенных комплексов и в северной тайге Западно-Сибирской равнины, преимущественно без участия комплексов. Глеевые почвы широко распространены в гумидных и семигумидных областях в условиях затрудненного дренажа; часто они являются сопутствующими почвами, занимая подчиненные позиции рельефа. Отдел представлен на карте шестью типами, включая отсутствующие в КиДПР глееземы грубогумусовые и перегнойные ([Игнатенко, 1979](#); [Тонконогов, 1977](#); [Еловская и др., 1979](#)). В лесотундре Европейской части впервые выделен тип глееземов криометаморфических ([Тонконогов, 2010](#)), также отсутствовавших на исходной карте. Площадь отдела глеевых почв оказалась меньше ранее выполненных подсчетов. Это связано с переводом части таежных и тундровых глееземов Средней и Восточной Сибири, а также слабооглеенных почв Арктики в отдел криоземов ([Соколов, 1980а, 1980б](#); [Еловская и др., 1979](#); [Васильевская, 1980](#); [Губин, Лупачев, 2020](#)). Часть таежных глееземов оподзоленных Западной Сибири отнесена к светлоземам отдела криометаморфических почв ([Тонконогов, 2010](#); [Атлас Ханты-Мансийского..., 2004](#)).

*Отдел текстурно-дифференцированных почв* – третий по распространенности: 190.8 млн га (11%). В европейской России и Западной Сибири почвы отдела представлены традиционным зональным рядом от северной тайги до лесостепи на суглинистых породах. На карте к этому отделу отнесены текстурно-дифферен-

цированные почвы с региональными особенностями профиля: подбелы с повышенной конкреционностью элювиального горизонта на юге Дальнего Востока ([Иванов, 1976](#); [Росликова и др., 2010](#)) и дерново-буро-подзолистые почвы с буровой окраской субэлювиального горизонта (AY-BEL-BT-C) на западе Восточно-Европейской равнины ([Анциферова, 2008](#)). По сравнению с предыдущими подсчетами, площадь почв отдела уменьшилась существенно: на 40–50 млн га. Действительно, ряд текстурно-дифференцированных почв (подзолистых, дерново-подзолистых, серых лесных) на плотных породах в горах и на плато был переведен в другие отделы, поскольку анализ первичных описаний выявил отсутствие диагностического горизонта BT ([Горбачев, 1967, 1978](#); [Кузьмин, 1988](#); [Богатырев, Ногина, 1962](#); [Почвы..., 2013](#); [Воробьева, 2009](#)). Например, серые лесные почвы на плотных породах алтайских низкогорий были диагностированы как серые метаморфические почвы, а дерново-подзолистые почвы Енисейского края – как дерново-элювиально-метаморфические почвы отдела структурно-метаморфических почв.

*Отдел торфяных почв* – четвертый по распространенности: 143.5 млн га (8%). Торфяные почвы (как и глеевые) часто встречаются как сопутствующие в контурах с преобладанием иных (текстурно-дифференцированных, альфегумусовых) почв. Оценки площадей торфяных почв по разным источникам различаются: от 93 млн га (болотные почвы разных зон) ([О состоянии..., 2021](#)); 118.7 млн га ([Столбовой, Шерemet, 1997](#)) до 193.4 млн га ([Почвенный..., 2001](#)). В наших подсчетах к отделу торфяных почв были отнесены почвы с мощностью торфа >50 см. Торфянисто- и торфяно-глеевые болотные почвы и их комплексы с торфяным горизонтом <50 см нами отнесены к глееземам, а при обобщении данных 2001 г. – к торфяным болотным почвам. К глееземам же отнесены и полигонально-трещинные и полигонально-валиковые болотные комплексы Сибирских тундр, в которых мощность торфа часто не превышает 30 см ([Еловская и др., 1979](#)).

*Отдел криогенных почв (криоземов)* занимает 111.4 млн га (около 7%). В состав отдела вошли таежные высокогумусные неоглеенные почвы, выделенные на изначальной карте и отнесенные к криоземам (криогидроморфным неглеевым почвам)

И.А. Соколовым ([1980а](#)). В системе КиДПР они соответствуют типу торфяно-криоземов и имеют широкий ареал в гумидной части Средней Сибири. Кроме того, к этому отделу отнесена часть глееземов в ультраконтинентальных тундровых и таежных областях Сибири, а также арктотундровые и тундровые слабogleевые гумусные почвы. Анализ первичных материалов ([Еловская и др., 1979](#); [Горячкин, 2010](#); [Караваева, 1969](#); [Губин, Лупачев, 2020](#)) показал отсутствие диагностического глеевого горизонта G в этих почвах, хотя признаки глееватости (g) могут наблюдаться. Профиль нарушен криотурбациями. Такие почвы выделялись как тип криоземов тиксотропных ([Соколов, 1980б](#)), а в КиДПР – как криоземы типичные и грубогумусовые. Они формируют бугорковато-западинные почвенные комплексы, сочетаясь с почвами пятен на бугорках и торфяными мерзлотными почвами западин. Торфяно-криоземы распространены в менее континентальных условиях и не формируют выраженных комплексов. В работе ([Столбовой, Шеремет, 1997](#)) к криоземам отнесены все арктические почвы и почвы пятен (засоленные, арктические и тундровые). Их площадь оказалась невелика. Данный подход к выделению криоземов не соответствует изначальному предложению ([Соколов, 1980а, 1980б](#)) и их определению в КиДПР.

*Отдел абраземов (криоабраземов)* занимает 10.1 млн га (0.6%) и включает почвы, лишенные верхних диагностических горизонтов в результате естественной или антропогенной эрозии, дефляции или механического срезания с выходом на поверхность срединных горизонтов или почвообразующей породы. Ареалы таких почв невелики и не могут быть отражены на карте масштаба 1 : 2.5 млн. Вместе с тем в тундровых и таежных мерзлотных ландшафтах широко представлены “почвы пятен”, входящие в состав криогенных комплексов. Генезис и причины формирования почв пятен различны; общим является выход на поверхность срединных и нижних горизонтов тех почв, на которых они образовались. Ведущую роль в образовании почв пятен играют криогенные процессы морозобойного растрескивания, пучения с последующим разрушением поверхностных горизонтов за счет дефляции, солифлюкции, денудации, ветровой и снежной корразии ([Васильевская, 1980](#)). Они выделены в данном отделе как типы

криообраземов (CR-C@) или криообраземов глеевых (CG,@ или G@). При высокой интенсивности криотурбаций с излиянием грунта на поверхность почвы ([Губин, Лупачев, 2017](#)), почвы могут быть переведены в отдел турбоземов, тип криотурбоземов ([Ананко и др., 2015](#)). Криотурбоземы широко распространены в составе различных криогенных комплексов, но не являются преобладающими и потому отсутствуют на карте отделов.

*Отдел аккумулятивно-гумусовых почв* – шестой по распространенности: 103.6 млн га (6%). Критерием выделения является темногумусовый горизонт AU в сочетании с различными срединными диагностическими горизонтами. Почвы с горизонтом AU, но без срединных горизонтов, переведены в отдел органо-аккумулятивных почв. К ним относятся черноземы остаточно-карбонатные, черноземы неполноразвитые, значительная часть черноземов бескарбонатных и глубоковскипающих на легких породах, а также часть мучнисто-карбонатных промытых забайкальских черноземов ([Лебедева и др., 1987](#)). Поэтому общая площадь отдела сократилась, по сравнению с предыдущими подсчетами по данной карте ([Почвенный..., 2001](#)), а также с данными, приводимыми в работе ([Столбовой, Шерemet, 1997](#)). В последнем случае в отдел были включены не только черноземы и лугово-черноземные почвы, но и все каштановые, лугово-каштановые и луговые почвы степной зоны, а также горно-луговые почвы.

*Отдел аллювиальных почв* занимает 94.1 млн га (5.5%). Отнесение почв к данному отделу традиционно: все пойменные (и маршевые) почвы. Группировка аллювиальных почв на карте требует отдельного обсуждения и отличается от представления аллювиальных (пойменных) почв на исходной карте. Однако существенных изменений в состав полигонов с аллювиальными почвами введено не было. Полученная нами общая площадь этих почв примерно на 20% выше, чем в подсчете ([Почвенный..., 2001](#)), и на 40% выше подсчета ([Столбовой, Шерemet, 1997](#)) и представляется завышенной. Это связано с тем, что в полигоны аллювиальных почв в большинстве случаев включены и собственно водные объекты – реки. Отдельные полигоны для водных объектов в пределах речных систем на векторизованной карте выделены только для крупных водохранилищ. Таким образом, общая площадь аллюви-

альных почв на карте завышена, а площадь водных объектов – занижена, по сравнению с более детальными подсчетами, выполненными Гипроземом.

Рассмотрим теперь группу почв, ранее относившихся к единому отделу метаморфических почв ([Шишов, Соколов, 1989](#)), который затем был разделен на несколько отделов в зависимости от природы срединного метаморфического горизонта ([Герасимова и др., 2005](#)). По оценке ([Столбовой, Шеремет, 1997](#)), общая площадь почв “большого” метаморфического отдела – 212 млн га. Напомним, что в него были включены таежные высокогумусные неоглеенные почвы (55.9 млн га), которые на нашей карте вошли в отдел криогенных почв (криоземов). Среди остальных метаморфических почв выделяются следующие отделы.

*Отдел железисто-метаморфических почв (ржавоземов):* 92.7 млн га (5.5%). Основной ареал приходится на горные таежные территории Урала, Средней Сибири, Забайкалья и Дальнего Востока. При подсчете по данным Почвенного института ([Почвенный..., 2001](#)) к ржавоземам отнесены дерново- и буротаежные почвы и грануземы. Увеличение площади ржавоземов, по сравнению с подсчетами 2001 г., связано с переводом в данный отдел части подбуров охристых (в восточной, более сухой и континентальной части их Среднесибирского ареала) и палевых типичных и оподзоленных почв на бескарбонатных суглинках в западной части их ареала ([Еловская, 1987](#); [Ананко и др., 2015](#)). Таким образом, железисто-метаморфические почвы рассматриваются как переходные между более гумидным и холодным альфегумусовым и более аридным и континентальным палевым почвообразованием на породах со значительной долей железосодержащих минералов. В первых повышено содержание аморфных (оксалат-растворимых) гидроокислов железа, во вторых – окристаллизованных (дитионит-растворимых) форм ([Ананко, Соколов, 1978](#)). К этому отделу была также отнесена небольшая часть бурых лесных почв, диагностика которых не соответствует буроземам структурно-метаморфического отдела ([Петров, 1952](#); [Иванов, 1976](#); [Ананко и др., 2017](#)).

*Отдел структурно-метаморфических почв:* 47.3 млн га (менее 3%). К отделу традиционно отнесены недифференцирован-

ные буроземы (бурые лесные почвы) широколиственных и хвойно-широколиственных лесов Кавказа, Приморья и Приамурья с умеренно-теплым гумидным климатом. Классификационное деление буроземов на типичные и темные на новой карте соответствует разделению на буроземы кислые и насыщенные и слабонасыщенные на исходной карте. Особенностью буроземов типичных во всех ареалах, включая Кавказ, является грубогумусность их верхних горизонтов; среди буроземов темных (с горизонтом АU) на карте выделен подтип буроземов остаточно-карбонатных ([Иванов, 1976](#); [Пшеничников, Пшеничникова, 2002](#); [Росликова и др., 2010](#); [Костенков, Жарикова, 2018](#); [Фридланд, 1953](#)). К этому отделу отнесены и впервые выделенные на карте элювиально-метаморфические почвы с дифференцированным профилем с горизонтом ЕL, но без текстурного горизонта ВТ, за счет чего общая площадь почв отдела значительно увеличилась. Ранее эти почвы относили к текстурно-дифференцированным. Они описаны в горах Южного Урала, Алтае-Саянской области, Лено-Ангарского плато, Енисейского края ([Богатырев, Ногина, 1962](#); [Горбачев, 1967, 1978](#); [Кузьмин, 1988](#); [Воробьева, 2009](#)).

*Отдел криометаморфических почв* (4.3 млн га, 0.25%). Почвы отдела отражены на карте впервые на основе работ последних десятилетий ([Дворников, Тонконогов, 1988](#); [Тонконогов, 2010](#)). Основные ареалы почв отдела, как недифференцированных, так и со светленным горизонтом, находятся на севере Западной Сибири ([Атлас Ханты-Мансийского..., 2004](#)). На исходной карте они относились к таежным глеево-дифференцированным, в том числе оподзоленным почвам, формирующимся на суглинисто-глинистых отложениях в автономных дренированных местообитаниях ([Караваева, 1973](#)). При усилении гидроморфизма криометаморфические почвы замещаются глееземами, на исходной ПКРФ выделявшимся как таежные глеево-дифференцированные торфянистые почвы. В этот же отдел включена часть палевых типичных почв с неглубокой льдистой мерзлотой на суглинистых отложениях Западной Якутии, определенных как криометаморфические грубогумусовые с подтиповым признаком “палево-метаморфизованные” ([Ананко и др., 2015](#)). Вероятно, ареал криометаморфических почв может быть расширен за счет тундровых и лесотундровых

районов Европейского севера, для которых имеются описания горизонта, полностью соответствующего диагностическим признакам криометаморфического горизонта CRM ([Пастухов, 2006](#); [Жангуров, 2013](#)).

*Отдел палево-метаморфических почв* (12.8 млн га, 12%) объединяет почвы Центральной Якутии, формирующиеся на карбонатных суглинках, и почвы горных областей Восточной Якутии, в профиле которых присутствует диагностический палевый горизонт VPL и аккумулятивно-карбонатный горизонт ВСА. Исключение из отдела палевых типичных и палевых оподзоленных почв без карбонатного горизонта резко сократило площади почв отдела на карте, по сравнению с исходной картой (45 млн га). В состав отдела, кроме палевых типичных, вошли также палевые темногумусовые (палево-серые) и криоаридные почвы. Широко распространенные палевые осолоделые почвы ([Зольников и др., 1962](#)) разделены: слабо- и среднеосолоделые почвы отнесены к осолоделому подтипу палевых почв, а сильноосолоделые – к солодам (отдел текстурно-дифференцированных почв).

*Отдел органо-аккумулятивных почв* занимает 81.7 млн га (около 5%). В отдел вошли почвы разных классификационных групп, в профиле которых отсутствуют срединные диагностические горизонты, а типовое разнообразие связано с гумусовыми горизонтами почв, входящих в данный отдел. Крупные ареалы темногумусовых органо-аккумулятивных почв выделены на юге ЕТР и в Забайкалье; на исходной карте они относились к черноземам. В мерзлотных ландшафтах Якутии выделены грубогумусовые остаточно-карбонатные почвы, ранее выделявшиеся как дерново- и перегнойно-карбонатные ([Петрова, 1971](#)). Небольшие ареалы в горах Кавказа, Урала, Алтае-Саянской горной области образуют перегнойно-гумусовые, серогумусовые и темногумусовые почвы ([Фридланд, 1953](#); [Богатырев, Ногина, 1962](#); [Хмелев, 1982](#)). Большие ареалы темногумусовых глееватых почв, которые на исходной ПКРФ относились к луговым и дерново-глеевым почвам, находятся на юге Западной Сибири. К этому же отделу отнесены серогумусовые грубогумусированные почвы трещин, образующие криогенные комплексы с почвами пятен в арктической тундре ([Горячкин, 2010](#)). Светлогумусовые почвы выделены на юге ЕТР

вместо исходных серопесков и каштановых почв на легких и плотных породах. По сравнению с предыдущим подсчетом ([Почвенный..., 2001](#)), площадь отдела сократилась, так как раньше к этому отделу были отнесены все горные почвы, не имеющие равнинных аналогов. На карте значительная их часть отнесена к отделам литоземов (подстилание плотными породами на глубине <30 см) или слаборазвитых почв (петроземов) ([Ананко и др., 2018](#)).

*Почвы отдела литоземов* занимают 49.4 млн га (около 3%). Фактических данных для надежного выделения литоземов недостаточно. В качестве критериев использовали экологические показатели: характер рельефа, наличие плотных пород, генезис четвертичных склоновых отложений, крутизна склонов, присутствие в контуре каменистых россыпей. В предыдущем подсчете ([Почвенный..., 2001](#)) литоземы не выделялись. В работе ([Столбовой, Шеремет, 1997](#)) к ним отнесены только высокогорные дерново-гольцовые и горные лугово-степные почвы. В нашем случае количество литоземов на карте существенно увеличено.

*Отдел слаборазвитых почв* (37.4 млн га, 2.2%). В отдел включены пелоземы и псаммоземы Арктики, петроземы горных районов (горные примитивные почвы), боровые пески. Их общая площадь существенно выше, чем в предыдущем подсчете ([Почвенный..., 2001](#)), в котором учтены только арктические почвы и боровые пески, и близка к данным в работе ([Столбовой, Шеремет, 1997](#)), в которой к слаборазвитым отнесены горные примитивные почвы и серопески (боровые пески считались отдельно). Основной вклад в общую площадь слаборазвитых почв связан с примитивными горными почвами (петроземами).

*Отдел светлогумусовых аккумулятивно-карбонатных почв* (15.0 млн га, менее 1%). К данному отделу отнесены каштановые, светлокаштановые и бурые почвы сухостепной и полупустынной зон и их солонцовые комплексы. По данным предыдущего подсчета ([Почвенный..., 2001](#)), их площадь больше (22.8 млн га), что, вероятно, связано с включением в данный отдел ряда солонцовых комплексов. В работе ([Столбовой, Шеремет, 1997](#)) к данному отделу отнесены только бурые полупустынные почвы.

*Отдел щелочно-глинисто-дифференцированных почв* (11.4 млн га, 0.7%) представлен солонцами и частью солонцовых комплексов с преобладанием солонцов. Это преимущественно сопутствующие почвы в почвенном покрове. Имеющиеся оценки площадей близки.

*Отдел галоморфных почв* (2.0 млн га, 0.1%) также характеризуется сравнимыми площадями по разным оценкам. Как и щелочно-дифференцированные почвы, галоморфные почвы преимущественно выделяются как сопутствующие.

*Отдел вулканических почв* (12.3 млн га, 0.7%). Как правило, почвы являются преобладающими в своих контурах. Наша оценка несколько ниже предшествующих, поскольку из отдела были выведены слоисто-пепловые и торфяно-пепловые слоистые почвы, переведенные в отделы слаборазвитых и торфяных почв, соответственно.

Для почв остальных отделов, выделенных на нашей карте (*элювиальные, гидрометаморфические, агроземы, стратоземы и торфоземы*), сопоставление с предыдущими данными невозможно. Эти почвы впервые введены на карту и требуют отдельного обсуждения. Данные об их площадях представлены в таблицах 1 и 2.

Кратко охарактеризуем данные по площадям *непочвенных объектов*. Наиболее значительные площади занимают каменистые россыпи и выходы плотных пород: 87.5 млн га (5%) и водные объекты (18.5 млн га), площадь которых, как указано выше, недооценена. По официальным данным ([Государственный доклад..., 2019](#)), площадь только озер России – 40.88 млн га. Площадь ледников и материковых льдов, оцененных по векторной карте, – 5.9 млн га. По официальным данным ([Государственный доклад..., 2019](#)) она составляет 5.945 млн га, то есть очень близкую величину. Площадь незакрепленных песков, лишенных почвенного покрова, – 3.8 млн га, а выходов иных рыхлых пород – 0.4 млн га. В целом результаты прямых подсчетов площадей почв и непочвенных объектов по нашей карте свидетельствуют о достаточной точности (в пределах 1%) полученных данных.

## ВЫВОДЫ

1. Визуализация рассматриваемой версии Почвенной карты РСФСР масштаба 1 : 2.5 млн в генерализованном до уровня отделов почв виде отражает генетико-классификационное разнообразие почвенного покрова России в системе КиДПР. В легенду карты вошли 24 отдела из 27, имеющихся в КиДПР. Ряд отделов природных почв выделен на карте впервые. К ним относятся отделы литоземов, (крио)абраземов, структурно-метаморфических, крио-метаморфических и гидрометаморфических почв. Антропогенно-преобразованные почвы вошли в состав трех новых самостоятельных отделов – агроземов, торфоземов и стратоземов; агропочвы выделены на уровне типов в отделах природных почв, из которых они сформировались. Отдел стратоземов представлен городскими почвами – урбостратоземами. Новые отделы (крио)абраземов и (крио)турбоземов представляют почвы пятен в криогенных комплексах тундры, лесотундры и тайги различного генезиса и географической локализации.

2. Выполненный подсчет площадей отделов почв по векторной карте в равновеликой конической проекции оказался достаточно точным (ошибка 0.89%). Карта дает адекватное представление о почвенном фонде страны в формате новой классификации почв России. Полученные данные сравнивались с результатами предыдущих подсчетов.

3. Наиболее распространенными оказались почвы альфегумусового отдела, однако их площадь сократилась, по сравнению с предыдущими подсчетами, за счет перевода части их в другие отделы. Вторым по распространенности является отдел глеевых почв, представленный глееземами тундровых и северо-таежных областей и глеевыми почвами более южных районов. Площадь отдела также сократилась за счет выведения из него группы криогидроморфных неглеевых почв – криоземов в континентальной мерзлотной области, а также почв, отнесенных к крио-метаморфическому отделу. Следующие позиции занимают отделы текстурно-дифференцированных и аккумулятивно-гумусовых почв; их площади также несколько уменьшились за счет перевода части почв в другие отделы (структурно-метаморфических, альфегумусовых и

органо-аккумулятивных почв). Площадь почв метаморфических отделов увеличилась, что соответствует огромной территории континентальных районов России с достаточно сбалансированным увлажнением, в которых метаморфическое направление почвообразования является преобладающим. Существенных изменений по ареалам и генетической интерпретации почв других отделов на карту не вынесено.

5. Важным отличием карты в формате классификации почв России от исходной карты является внимание к слаборазвитым почвам и литоземам. Эти почвы с ограниченными возможностями использования в сельском хозяйстве играют огромную биосферную роль и нуждаются в охране.

6. Представленная карта географии отделов почв иллюстрирует самые общие закономерности строения почвенного покрова России, несколько отличные от традиционно идентифицируемых на обзорных почвенных картах и схемах почвенно-географического районирования.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. 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. 2017. № 12. С. 1411–1420. DOI: [10.7868/S0032180X17120024](https://doi.org/10.7868/S0032180X17120024).
2. 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. № 77. С. 29–50. DOI: [10.19047/0136-1694-2015-77-29-50](https://doi.org/10.19047/0136-1694-2015-77-29-50).
3. Ананко Т.В., Герасимова М.И., Конюшков Д.Е. Почвы горных территорий в обновленной версии почвенной карты РСФСР масштаба 1 : 2.5 млн (в формате классификации почв России) // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. 2018. № 92. С. 122–146. DOI: [10.19047/0136-1694-2018-92-122-146](https://doi.org/10.19047/0136-1694-2018-92-122-146).
4. Ананко Т.В., Соколов И.А. О влиянии климата на соотношение несиликатных форм железа в почвах // Почвоведение. 1978. № 5. С. 42–47.
5. Анциферова О.А. Почвы Замландского полуострова и их антропогенное изменение. Т. 1–2. Калининград: Изд-во ККТУ, 2008. 810 с.

6. Атлас Ханты-Мансийского автономного округа – Югры. Т. 2. Природа и экология. М.: Роскартография. Мониторинг, 2004. 152 с.
7. *Богатырев К.П., Ногина Н.А.* Почвы горного Урала // О почвах Урала, Западной и Центральной Сибири. М.: Изд-во АН СССР, 1962. С. 5–48.
8. *Васильевская В.Д.* Почвообразование в тундрах Средней Сибири. М.: Наука, 1980. 233 с.
9. *Воробьева Г.А.* Почвы Иркутской области: вопросы классификации, номенклатуры и корреляции. Иркутск: Изд-во Иркут. гос. ун-та, 2009. 149 с.
10. *Герасимова М.И., Тонконогов В.Д., Лебедева И.И.* Отражение концепции ЭПП в новой классификации почв России на примере метаморфических горизонтов // Почвоведение. 2005. № 12. С. 1489–1495.
11. *Горбачев В.Н.* Почвы Восточного Саяна. М.: Наука, 1978. 199 с.
12. *Горбачев В.Н.* Почвы Нижнего Приангарья и Енисейского края. М.: Наука, 1967. 139 с.
13. *Горячкин С.В.* Почвенный покров Севера (структура, генезис, экология, география). М.: ГЕОС, 2010. 414 с.
14. Государственный (национальный) доклад о состоянии и использовании земель в Российской Федерации в 2020 году. М.: Росреестр, 2021. 197 с.
15. Государственный доклад “О состоянии и использовании водных ресурсов Российской Федерации в 2018 году”. М.: НИА-Природа, 2019. 290 с.
16. *Губин С.В., Лупачев А.В.* Почвообразование в тундровой зоне приморских низменностей Северо-Востока Сибири // Почвоведение. 2020. № 10. С. 1182–1191.
17. *Губин С.В., Лупачев А.В.* Роль пятнообразования в формировании и развитии криоземов приморских низменностей севера Якутии // Почвоведение. 2017. № 11. С. 1283–1295. DOI: [10.7868/S0032180X17110077](https://doi.org/10.7868/S0032180X17110077).
18. *Дворников О.А., Тонконогов В.Д.* Некоторые географические особенности глеевого и альфегумусового почвообразования на севере Западной Сибири // Тез. докл. VII Всесоюзного съезда почвоведов. Кн. 4. Минск, 1988.
19. *Добровольский Г.В., Урусевская И.С.* География почв. М.: Изд-во МГУ, Изд-во “КолосС”, 2004. 460 с.
20. Единый Государственный Реестр Почвенных Ресурсов России. Версия 1.0. Коллективная монография. М.: Почв. ин-т им. В.В. Докучаева, 2014. 768 с.
21. *Еловская Л.Г.* Классификация и диагностика мерзлотных почв

- Якутии. Якутск: ЯФ СО АН СССР, 1987. 172 с.
22. *Еловская Л.Г., Петрова Е.И., Тетерина Л.В.* Почвы Северной Якутии. Новосибирск: Наука. Сиб. отд., 1979. 301 с.
23. *Жангуров Е.В.* Автоморфные почвы Среднего и Южного Тимана: Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. М., 2013. 24 с.
24. *Зольников В.Г., Еловская Л.Г., Тетерина Л.В., Черняк Е.И.* Почвы Вилюйского бассейна и их использование. М.: Изд-во АН СССР, 1962. 204 с.
25. *Иванов Г.И.* Почвообразование на юге Дальнего Востока. М.: Наука, 1976. 200 с.
26. *Игнатенко И.В.* Почвы Восточно-Европейской тундры и лесотундры. М.: Наука, 1979. 280 с.
27. *Караваева Н.А.* Почвы тайги Западной Сибири. М.: Наука, 1973. 172 с.
28. *Караваева Н.А.* Тундровые почвы Северной Якутии. М.: Наука, 1969. 206 с.
29. Карта почвенно-экологического районирования Российской Федерации. Масштаб 1 : 2 500 000 / Ред. *Добровольский Г.В., Урусевская И.С.* М.: МГУ им. М.В. Ломоносова, 2013. 16 листов.
30. *Урусевская И.С., Алябина И.О., Шоба С.А.* Карта почвенно-экологического районирования Российской Федерации. Масштаб 1 : 8 000 000 / Науч. ред. *Урусевская И.С.* М.: МГУ им. М.В. Ломоносова. Факультет почвоведения, 2019.
31. *Шишов Л.Л., Тонконогов В.Д., Лебедева И.И., Герасимова М.И.* Классификация и диагностика почв России. Смоленск: Ойкумена, 2004. 342 с.
32. *Ковалев Р.В.* Почвы Горно-Алтайской автономной области. Новосибирск: Наука. Сиб. отд., 1973. 354 с.
33. *Ковалева С.Р., Корсунов В.М., Таранов С.А.* Лесные почвы горного окаямления юго-востока Западной Сибири. Восточный Алтай, Горная Шория, Салаир. Новосибирск: "Наука", 1974. 205 с.
34. *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](https://doi.org/10.19047/0136-1694-2020-102-21-48).
35. *Костенков Н.М., Жарикова Е.А.* Почвы прибрежной территории юго-западной части Приморья // Почвоведение. 2018. № 2. С. 141–154.
36. *Кузьмин В.А.* Почвы Предбайкалья и Северного Забайкалья. Новосибирск: Наука. Сиб. отд., 1988. 175 с.
37. *Лебедева И.И., Овечкин С.В., Семина Е.В.* К вопросу о

подтиповомразделении черноземов СССР // Почвы СССР. Прикладные и генетико-географические аспекты исследований. М.: Почвенный ин-т им. В.В. Докучаева, 1987. С. 143–152.

38. О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2020 году. Государственный доклад. М.: Минприроды России; МГУ им. М.В. Ломоносова, 2021. 864 с.

39. *Пастухов А.В.* Особенности автоморфных почв на покровных суглинках экотона тундра – северная тайга Европейского северо-востока: Автореф. дис. ... канд. геогр. наук. М., 2006. 24 с.

40. *Петров Б.Ф.* Почвы Алтае-Саянской области // Тр. Почв-ин-та им. В.В. Докучаева, т. 35. М.: Изд-во АН СССР, 1952. 252 с.

41. *Петрова Е.И.* Почвы Южной Якутии. Якутск: ЯФ СО АН СССР, 1971. 188 с.

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

43. Почвенная карта Крыма / *Урусевская И.С., Мартыненко И.А., Алябина И.О.* (ред.) / Масштаб 1 : 2.5 млн. М.: МГУ им. М.В. Ломоносова. Факультет почвоведения, 2019.

44. Почвенная карта РСФСР масштаба 1 : 2 500 000 / Под ред. *В.М. Фридланда.* М.: ГУГК, 1988. 16 листов.

45. Почвенный покров и земельные ресурсы Российской Федерации. М.: Почв. ин-т им. В.В. Докучаева, 2001. 400 с.

46. Почвы и почвенный покров Печоро-Илычского заповедника (Северный Урал) / Под ред. *Дёгтевой С.В., Лаптевой Е.М.* Сыктывкар: Изд-во УрО РАН, 2013. 328 с.

47. *Прасолов Л.И.* География и площадь распространения почв // Почвоведение. 1945. № 3–4. С. 146–151.

48. *Прасолов Л.И.* Площади почв и угодий СССР // Природа. 1932. № 4. С. 284–302.

49. *Пиеничников Б.Ф., Пиеничникова Н.Ф.* Генезис и эволюция приокеанических буроземов. Владивосток: Изд-во Дальневост. ун-та, 2002. 202 с.

50. *Розов Н.Н.* Общий учет и качественная характеристика земельных ресурсов СССР // Проблемы почвоведения. М.: Изд-во АН СССР, 1962. С. 7–42.

51. *Розов Н.Н., Ободовская В.Н.* Метод и общие итоги сопряженного учета площадей почв и сельскохозяйственных угодий мира // Земельные ресурсы мира, их использование и охрана. М.: Наука, 1978. С. 56–59.

52. *Романенко Г.А., Комов Н.В., Тютюников А.И.* Земельные ресурсы России, эффективность их использования. М.: Россельхозакадемия, 1996. 306 с.

53. *Росликова В.И., Рыбачук Н.А., Короткий А.М.* Атлас почв юга Дальнего Востока (Приханкайская низменность). Владивосток: Дальнаука, 2010. 246 с.
54. *Рухович Д.И., Вагнер В.Б., Вильчевская Е.В., Калинина Н.В., Королева П.В.* Проблемы использования цифровых тематических карт на территорию СССР при создании ГИС “Почвы России” // Почвоведение. 2011. № 9. С. 1043–1055.
55. *Савин И.Ю., Герасимова М.И., Лебедева И.И., Ананко Т.В., Конюшков Д.Е., Белоусова Н.И., Королук 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. Сборник докладов Второй Всероссийской открытой конференции с международным участием. 2017. С. 23–26.
56. *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).
57. *Симакова М.С., Тонконогов В.Д., Шишов Л.Л.* Почвенные ресурсы Российской Федерации // Почвоведение. 1996. № 1. С. 77–88.
58. *Соколов И.А.* Гидроморфное неглеевое почвообразование // Почвоведение. 1980а. № 1. С. 21–32.
59. *Соколов И.А.* О разнообразном проявлении гидроморфного неглеевого почвообразования // Почвоведение. 1980б. № 2. С. 5–18.
60. *Соколов И.А., Тонконогов В.Д.* О почвах плато Путорана // Тр. Байкальской лимнолог. станции, 1975. Т. 20 (40). С. 115–121.
61. *Столбовой В.С., Шеремет Б.В.* О почвенном фонде России // Почвоведение. 1997. № 12. С. 1429–1437.
62. *Тонконогов В.Д.* Автоморфное почвообразование в тундровой и таежной зонах Восточно-Европейской и Западно-Сибирской равнин. М.: Почвенный ин-т им. В.В. Докучаева РАСХН, 2010. 286 с.
63. *Тонконогов В.Д.* Почвенный покров // Ямало-Гыданская область (физико-географическая характеристика / Под ред. Р.К. Сиско. Л.: Гидрометеиздат, 1977. С. 169–197.
64. *Урусевская И.С., Алябина И.О., Шоба С.А.* Карта почвенно-экологического районирования Российской Федерации. Масштаб 1 : 8 000 000. Пояснительный текст и легенда к карте. М.: МАКС Пресс, 2020. 100 с.
65. *Фридланд В.М.* Бурые лесные почвы Кавказа // Почвоведение. 1953. № 12. С. 28–44.
66. *Хитров Н.Б., Рухович Д.И., Калинина Н.В., Новикова А.Ф.,*

Панкова Е.И., Черноусенко Г.И. Оценка площадей засоленных почв на территории европейской части России (по электронной версии карты засоления почв масштаба 1 : 2.5 млн). Почвоведение. 2009. № 6. С. 627–637.

67. Хмелев В.А. Почвы низкогорий Северного Алтая. Новосибирск: Наука. Сиб. отд., 1982. 153 с.

68. Черноусенко Г.И., Калинина Н.В., Хитров Н.Б., Панкова Е.И., Рухович Д.И., Ямнова И.А., Новикова А.Ф. Оценка площадей засоленных и солонцовых почв на территории Уральского федерального округа России. Почвоведение. 2011. № 4. С. 403–416.

69. Шишов Л.Л., Соколов И.А. Новая редакция классификации почв СССР // Почвоведение. 1989. № 4. С. 112–120.

70. Шоба С.А., Алябина И.О., Колесникова В.М. и др. Почвенные ресурсы России. Почвенно-географическая база данных. М.: ГЕОС, 2010. 128 с.

71. Iliffe J., Lott R. Datums and Map Projections for Remote Sensing, GIS and Surveying. Dunbeath: Whittles Publishing, 2008. 218 p.

72. 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.

73. Stolbovoi V., Fischer G., Sheremet B., Savin I. The IIASA–LUC Project “Georeferenced Database of Russia” // Soil and Terrain Digital Database (SOTER). IIASA. Laxenburg, Austria, 1998. IR-98-0113. Vol. 1–2. 49 p.

74. Stolbovoi V. Soils of Russia: Correlated with the Revised Legend of the FAO Soil Map of the World and World Reference Base for Soil Resources. IIASA Research Report. IIASA, Laxenburg, Austria, 2000. RR-00-013.

75. Zhogolev A., Savin I. Soil mapping based on globally optimal decision trees and digital imitations of traditional approaches // Int. J. of Geo-Information. 2020. No. 9(11), 664. DOI: [10.3390/ijgi9110664](https://doi.org/10.3390/ijgi9110664).

76. Zhogolev A.V. Soil mapping based on globally optimal decision trees. Pedometrics: WGs Digital Soil Mapping – Global Soil Map 2021. Wageningen. Netherlands. 2021. (Short talk).

## REFERENCES

1. 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*, 2017, No. 2, pp. 1411–1420, DOI: [10.7868/S0032180X17120024](https://doi.org/10.7868/S0032180X17120024).

2. 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, No. 77, pp. 29–50, DOI: [10.19047/0136-1694-2015-77-29-50](https://doi.org/10.19047/0136-1694-2015-77-29-50).
3. Ananko T.V., Gerasimova M.I., Konyushkov D.E., Soils of mountainous territories on the updated soil map of the Russian Federation on a scale of 1 : 2.5 M (in the format of the new Russian soil classification system), *Dokuchaev Soil Bulletin*, 2018, No. 92, pp. 122–146, DOI: [10.19047/0136-1694-2018-92-122-146](https://doi.org/10.19047/0136-1694-2018-92-122-146).
4. Ananko T.V., Sokolov I.A., O vliyaniy klimata na sootnoshenie nesilikatnykh form zheleza v pochvakh (On the influence of climate on the proportion of nonsilicate iron forms in soils), *Pochvovedenie*, 1978, No. 5, pp. 42–47.
5. Antsiferova O.A., *Pochvy Zamlandskogo poluostrova i ikh antropogennoe izmenenie* (Soils of the Zamland Peninsula and their anthropogenic transformation), Vol. 1–2, Kaliningrad: Izd. KKTU, 2008, 810 pp.
6. *Atlas Khanty-Mansiiskogo avtonomnogo okruga-Yugry. T. 2. Priroda i ekologiya* (Atlas of the Khanty-Mansi Autonomous Okrug–Yugra, Vol. 2, Nature and Ecology), Moscow: Roskartografiya, Monitoring, 2004, 152 p.
7. Bogatyrev K.P., Nogina N.A., Soils of the Mountainous Urals, In: “*O pochvakh Urala, Zapad'noy i Tsentral'noy Sibiri*” (Soils of the Urals and Western and Central Siberia), Moscow: Izd. Akad. Nauk SSSR, 1962, pp. 5–48.
8. Vasil'evskaya V.D., *Pochvoobrazovaniye v tundrakh Sredney Sibiri* (Soil Formation in Tundra of Central Siberia), Moscow: Nauka, 1980, 233 p.
9. Vorob'eva G.A., *Pochvy Irkutskoy oblasti: voprosy klassifikatsii, nomenklatury i korrelyatsii* (Soils of Irkutsk Oblast: Classification, Nomenclature, and Correlation), Irkutsk: Izd. Irkutskogo Gos. Univ., 2009, 149 p.
10. Gerasimova M.I., Tonkonogov V.D., Lebedeva I.I., The concept of elementary soil processes in the new classification system of Russian soils using the example of metamorphic horizons, *Eurasian Soil Sci.*, 2005, Vol. 38(12), pp. 1329–1335.
11. Gorbachev V.N., *Pochvy Vostochnogo Sayana* (Soils of the Eastern Sayan Range), Moscow: Nauka, 1978, 199 p.
12. Gorbachev V.N., *Pochvy Nizhnego Priangar'ya i Yeniseyskogo kryazha* (Soils of the lower reaches of the Angara River and the Yenisei Ridge), Moscow: Nauka, 1967, 139 p.
13. Goryachkin S.V., *Pochvennyy pokrov Severa (struktura, genezis, ekologiya, geografiya)* (Soil cover of the North: patterns, genesis, ecology, geography), Moscow: GEOS, 2010, 414 p.

14. *Gosudarstvennyy (natsional'nyy) доклад "O sostoyanii i ispol'zovanii zemel' v Rossiiskoi Federatsii v 2020 godu"* (State Report on Land Use in the Russian Federation in 2020), Moscow: Rosreestr, 2021, 197 p.
15. *Gosudarstvennyy доклад "O sostoyanii i ispol'zovanii vodnykh resursov Rossiiskoi Federatsii v 2018 godu"* (State Report on the status and use of water resources in the Russian Federation in 2019), Moscow: NIA-Priroda, 2019, 290 p.
16. Gubin S.V., Lupachev A.V., Pedogenesis in the tundra zone of coastal lowlands of northeastern Siberia, *Eurasian Soil Sci.*, 2020, Vol. 53(10), pp. 1365–1374, DOI: [10.1134/S1064229320100087](https://doi.org/10.1134/S1064229320100087).
17. Gubin S.V., Lupachev A.V., The role of frost boils in the development of cryozems on coastal lowlands of northern Yakutia, *Eurasian Soil Sci.*, 2020, Vol. 50(11), pp. 1243–1254, DOI: [10.1134/S1064229317110072](https://doi.org/10.1134/S1064229317110072).
18. Dvornikov O.A., Tonkonogov V.D., Nekotorye geograficheskie osobennosti gleevogo i al'fegumusovogo pochvoobrazovaniya na severe Zapadnoi Sibiri (Some geographic features of gley and Al-Fe-humus pedogenesis in the north of Western Siberia), In: *Tez. dokl. VII Vsesoyuznogo s'yezda pochvovedov* (Abstracts of Reports at the VII All-Union Soil Science Congress), Book 4, Minsk, 1988.
19. Dobrovol'skiy G.V., Urusevskaya I.S., *Geografiya pochv* (Soil Geography), Moscow: Izd. MGU, Izd. KolosS, 2004, 460 p.
20. *Edinyy Gosudarstvennyy Reestr Pochvennykh Resursov Rossii. Versiya 1.0.* (Unified State Registry of Soil Resources of Russia), Moscow: Pochv. Inst. im. V.V. Dokuchaeva, 2014, 768 p.
21. Elovskaya L.G., *Klassifikatsiya i diagnostika merzlotnykh pochv Yakutii* (Classification and diagnostics of permafrost-affected soils of Yakutia), Yakutsk: YAF SO AN SSSR, 1987, 172 p.
22. Elovskaya L.G., Petrova Ye.I., Teterina L.V., *Pochvy Severnoy Yakutii* (Soils of Northern Yakutia), Novosibirsk: Nauka. Sib. otd., 1979, 301 p.
23. Zhangurov E.V., *Avtomorfnyye pochvy Srednego i Yuzhnogo Timana: Avtoref. dis. ... kand. s.-kh. nauk* (Automorphic soils of the Central and Southern Timan, Extended abstract of cand. agric. sci. thesis), Moscow, 2013, 24 p.
24. Zol'nikov V.G., Elovskaya L.G., Teterina L.V., Chernyak E.I., *Pochvy Vilyuyskogo basseina i ikh ispol'zovanie* (Soils of the Vilyui Basin and their use), Moscow: Izd. Akad. Nauk SSSR, 1962, 204 p.
25. Ivanov G.I., *Pochvoobrazovaniye na yuge Dal'nego Vostoka* (Soil formation in the south of the Far East), Moscow: Nauka, 1976, 200 p.
26. Ignatenko I.V., *Pochvy Vostochno-Yevropeyskoy tundry i lesotundry* (Soils of the East European tundra and forest-tundra), Moscow: Nauka, 1979, 280 p.

27. Karavayeva N.A., *Pochvy taygi Zapadnoy Sibiri* (Soils of the taiga of Western Siberia), Moscow: Nauka, 1973, 172 p.
28. Karavayeva N.A., *Tundrovyye pochvy Severnoy Yakutii* (Tundra soils of Northern Yakutia), Moscow: Nauka, 1969, 206 p.
29. Dobrovolskii G.V., Urusevskaya I.S. (Eds), *Karta pochvenno-ekologicheskogo rayonirovaniya Rossiyskoy Federatsii. Masshtab 1 : 2 500 000* (Map of the soil-ecological zoning of the Russian Federation, 1 : 2.5 M scale), Moscow: MGU im. M.V. Lomonosova, 2013, 16 sheets.
30. Urusevskaya I.S. (Ed.), Alyabina I.O., Shoba S.A., *Karta pochvenno-ekologicheskogo rayonirovaniya Rossiyskoy Federatsii. Masshtab 1 : 8 000 000* (Map of the soil-ecological zoning of the Russian Federation, 1 : 8 M scale), Moscow: MGU im. M.V. Lomonosova, 2019.
31. Shishov L.L., Tonkonogov V.D., Lebedeva I.I., Gerasimova M.I., *Klassifikatsiya i diagnostika pochv Rossii* (Classification and Diagnostic System of Russian Soils), Smolensk: Oikumena, 2004, 342 p.
32. Kovalev R.V., *Pochvy Gorno-Altayskoy avtonomnoy oblasti* (Soils of the Altai–Sayan Autonomous Oblast), Novosibirsk: Nauka. Sib. otd., 1973, 354 p.
33. Kovaleva S.R., Korsunov V.M., Taranov S.A., *Lesnyye pochvy gornogo okaymneniya yugo-vostoka Zapadnoy Sibiri. Vostochnyy Altay, Gornaya Shoriya, Salair* (Forest soils of the mountainous Southeast of Western Siberia, Eastern Altai, mountainous Shoria, and Salair), Novosibirsk: Nauka. Sib. otd., 1974, 205 p.
34. 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, No. 102, pp. 21–48, DOI: [10.19047/0136-1694-2020-102-21-48](https://doi.org/10.19047/0136-1694-2020-102-21-48).
35. Kostenkov N.M., Zharikova E.A., Soils of the southwestern part of the Pacific Coast of Russia, *Eurasian Soil Sci.*, 2018, Vol. 51(2), pp. 140–152.
36. Kuz'min V.A., *Pochvy Predbaykal'ya i Severnogo Zabaykal'ya* (Soils of the Cis-Baikal and Northern Trans-Baikal Region), Novosibirsk: Nauka. Sib. otd., 1988, 175 p.
37. Lebedeva I.I., Ovechkin S.V., Semina E.V., K voprosu o podtipovomrazdelenii chernozemov SSSR (On the subtype division of chernozems), In: *Pochvy SSSR. Prikladnyye i genetiko-geograficheskiye aspekty issledovaniy* (Soils of the USSR: Applied and genetic and geographic aspects of the study), Moscow: Pochvennyi in-t im. V.V. Dokuchaeva, 1987, pp. 143–152.
38. *O sostoyanii i ob okhrane okruzhayushchey sredy Rossiyskoy Federatsii v 2020 godu. Gosudarstvennyy doklad* (State Report on the Environment in the

- Russian Federation in 2020), Moscow: Minprirody Rossii; MGU im. M.V. Lomonosova, 2021, 864 p.
39. Pastukhov A.V., *Osobennosti avtomorfnykh pochv na pokrovnykh suglinkakh ekotona tundra – severnaya tayga Yevropeyskogo severo-vostoka: Avtoref. dis. ... kand. geogr. nauk* (Specificity of Automorphic Soils in Mantle Loams in the Tundra–Northern taiga ecotone of the northeast of Europe, Extended abstract of cand. geogr. sci. thesis), Moscow, 2006, 24 p.
40. Petrov B.F., *Pochvy Altaye-Sayanskoy oblasti* (Soils of the Altai–Sayan Region), In: *Works of V.V. Dokuchaev Soil Science Institute*, Vol. 35, Moscow: Izd. Akad. Nauk SSSR, 1952, 252 p.
41. Petrova E.I., *Pochvy Yuzhnoy Yakutii* (Soils of Southern Yakutia), Yakutsk: YAF SO AN SSSR, 1971, 188 p.
42. *Polevoy opredelitel' pochv Rossii* (Field guide for correlation of Russian Soils), Moscow: Pochv. Inst. im. V.V. Dokuchaeva, 2008, 182 p.
43. Urusevskaya I.S., Martynenko I.A., Alyabina I.O., *Pochvennaya karta Kryma. Masshtab 1 : 2 500 000* (Soil map of Crimea. 1 : 2.5 M scale), Moscow: MGU im. M.V. Lomonosova, 2019.
44. Fridland V.M., *Pochvennaya karta RSFSR masshtaba 1 : 2 500 000* (Soil map of the Russian Federation, 1 : 2.5 M scale), Moscow: GUGK, 1988, 16 sheets.
45. *Pochvennyy pokrov i zemel'nyye resursy Rossiyskoy Federatsii* (Soil cover and land resources of the Russian Federation), Moscow: Pochv. Inst. im. V.V. Dokuchaeva, 2001, 400 p.
46. Degteva S.V., Lapteva E.M., *Pochvy i pochvennyy pokrov Pechoro-Ilychskogo zapovednika (Severnyy Ural)* (Soils and the soil cover of the Pechora–Ilych Nature Reserve, Northern Urals), Syktyvkar: Izd. UrO RAN, 2013, 328 p.
47. Prasolov L.I., *Geografiya i ploshchad' rasprostraneniya pochv* (Geography and soil areas), *Pochvovedenie*, 1945, No. 3–4, pp. 146–151.
48. Prasolov L.I., *Ploshchadi pochv i ugodiy SSSR* (Areas of soils and agricultural lands of the USSR), *Priroda*, 1932, No. 4, pp. 284–302.
49. Pshenichnikov B.F., Pshenichnikova N.F., *Genezis i evolyutsiya priokeanicheskikh burozemov* (Genesis and evolution of pacific brown forest soils (burozems)), Vladivostok: Izd. Dal'nevost. Univ., 2002, 202 p.
50. Rozov N.N., *Obshchiy uchet i kachestvennaya kharakteristika zemel'nykh resursov SSSR* (Assessment and qualitative characterization of land resources of the USSR), In: *Problemy pochvovedeniya* (Problems of Soil Science), Moscow: Izd. Akad. Nauk SSSR, 1962, pp. 7–42.
51. Rozov N.N., Obodovskaya V.N., *Metod i obshchiye itogi sopryazhennogo ucheta ploshchadey pochv i sel'skokhozyaystvennykh ugodiy mira* (Method and general results of combined assessment of the areas of soils and

agricultural lands in the world), In: *Zemel'nyye resursy mira, ikh ispol'zovanie i okhrana* (Land resources of the world: uses and conservation), Moscow: Nauka, 1978, pp. 56–59.

52. Romanenko G.A., Komov N.V., Tyutyunnikov A.I., *Zemel'nyye resursy Rossii, effektivnost' ikh ispol'zovaniya* (Land resources of Russia and efficiency of their use), Moscow: Rossel'khozakademiya, 1996, 306 p.

53. Roslikova V.I., Rybachuk N.A., Korotkiy A.M., *Atlas pochv yuga Dal'nego Vostoka (Prikhankayskaya nizmennost')* (Atlas of soils of the south of the Far East (Khanka Lowland)), Vladivostok: Dal'nauka, 2010, 246 p.

54. Rukhovich D.I., Vagner V.B., Vil'chevskaya E.V., Kalinina N.V., Koroleva P.V., Problems of using digitized thematic maps on the territory of the former Soviet Union upon the creation of the “Soils of Russia” geographic information system, *Eurasian Soil Sci.*, 2011, Vol. 44(9), pp. 957–968, DOI: [10.1134/S1064229311090110](https://doi.org/10.1134/S1064229311090110).

55. 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 novoy versii tsifrovoy pochvennoy karty Rossii masshtaba 1 : 2.5 mln (On the Creation of the new version of digital soil map of Russia on a scale of 1 : 2.5 M), In: *Sovremennyye problemy izucheniya pochvennykh i zemel'nykh resursov* (Modern problems in the study of soil and land resources), Proc. All-Russia Conf., Moscow: Pochv. Inst. im. V.V. Dokuchaeva, 2017, pp. 23–26.

56. Savin I.Yu., Stolbovoy V.S., Avetyan S.A., Shishkonakova E.A., Karta raspakhannosti pochv Rossii (Map of plowed soils of Russia), *Dokuchaev Soil Bulletin*, 2018, No. 94, pp. 38–56, DOI: [10.19047/0136-1694-2018-94-38-56](https://doi.org/10.19047/0136-1694-2018-94-38-56).

57. Simakova M.S., Tonkonogov V.D., Shishov L.L., Pochvennyye resursy Rossiyskoy Federatsii (Soil resources of the Russian Federation), *Pochvovedenie*, 1996, No. 1, pp. 77–88.

58. Sokolov I.A., Gidromorfnoye negleyevoye pochvoobrazovaniye (Hydromorphic nongley pedogenesis), *Pochvovedenie*, 1980a, No. 1, pp. 21–32.

59. Sokolov I.A., O raznoobraznom proyavlenii gidromorfного negleyevogo pochvoobra-zovaniya (On the diversity of hydromorphic nongley pedogenesis), *Pochvovedenie*, 1980b, No. 2, pp. 5–18.

60. Sokolov I.A., Tonkonogov V.D., O pochvakh plato Putorana (On soils of the Putorana Plateau), *Trudy Baikal'sk. Limnologich. Stantsii*, 1975, Vol. 20(40), pp. 115–121.

61. Stolbovoi V.S., Sheremet B.V., On the soil fund of Russia, *Eurasian Soil Sci.*, 1997, Vol. 30(12), pp. 1278–1286.

62. Tonkonogov V.D., *Avtormorfnoye pochvoobrazovaniye v tundrovoy i tayezhnoy zonakh Vostochno-Yevropeyskoy i Zapadno-Sibirskoy ravnin*

(Automorphic pedogenesis in the tundra and taiga zones of the European and West Siberian Plains), Moscow: Pochv. Inst. im. V.V. Dokuchaeva, 2010, 286 p.

63. Tonkonogov V.D., Pochvennyy pokrov (Soil cover), In: *Yamalo-Gydanskaya oblast' (fiziko-geograficheskaya kharakteristika* (Yamal-Gydan Region: Physiography), R.K. Sisko (Ed.), Leningrad: Gidrometeoizdat, 1977, pp. 169–197.

64. Urusevskaya I.S., Alyabina I.O., Shoba S.A., *Karta pochvenno-ekologicheskogo raionirovaniya Rossiiskoi Federatsii. Masshtab 1 : 8 000 000. Poyasnitel'nyy tekst i legenda k karte* (Map of soil-ecological zoning of the Russian Federation, 1 : 8 M scale. Explanatory note), Moscow: MAKS Press, 2020, 100 p.

65. Fridland V.M., Burye lesnyye pochvy Kavkaza (Brown forest soils of the Caucasus), *Pochvovedenie*, 1953, No. 12, pp. 28–44.

66. Khitrov N.B., Rukhovich D.I., Kalinina N.V., Novikova A.F., Pankova E.I., Chernousenko G.I., Estimation of the areas of salt-affected soils in the European part of Russia on the Basis of a Digital Map of soil salinization on a scale of 1 : 2.5 M, *Eurasian Soil Sci.*, 2009, Vol. 42(6), pp. 581–590.

67. Khmelev V.A., *Pochvy nizkogoriy Severnogo Altaya* (Soils of the Low Mountains of Northern Altai), Novosibirsk: Nauka. Sib. otd., 1982, 153 p.

68. Chernousenko G.I., Kalinina N.V., Khitrov N.B., Pankova Ye.I., Rukhovich D.I., Yamnova I.A., Novikova A.F., Quantification of the areas of saline and solonchic soils in the Ural federal region of the Russian Federation, *Eurasian Soil Sci.*, 2011, Vol. 44(4), pp. 367–179.

69. Shishov L.L., Sokolov I.A., Novaya redaktsiya klassifikatsii pochv SSSR (New edition of the classification of soils of the USSR), *Pochvovedenie*, 1989, No. 4, pp. 112–120.

70. Shoba S.A., Alyabina I.O., Kolesnikova V.M. et al., *Pochvennyye resursy Rossii. Pochvenno-geograficheskaya baza dannykh* (Soil resources of Russia. Soil-geographic database), Moscow: GEOS, 2010, 128 p.

71. Iliffe J., Lott R., Datums and map projections for remote sensing, GIS and surveying, Dunbeath: Whittles Publishing, 2008, 218 p.

72. Jones A., Stolbovoi V., Tarnocai C., Broll G., Spaargaren O., Montanarella L. (Eds), Soil atlas of the northern circumpolar region, Luxembourg: Europ. Commission Office Official Publ., 2009, 142 p.

73. Stolbovoi V., Fischer G., Sheremet B., Savin I., The IIASA–LUC Project “Georeferenced Database of Russia”, Vol. 1–2, Soil and Terrain Digital Database (SOTER), IR-98-0113, IIASA, Laxenburg, 1998, 49 p.

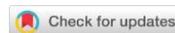
74. Stolbovoi V., Soils of Russia: Correlated with the revised legend of the FAO soil map of the world and World Reference Base for soil resources, IIASA Research Report, IIASA, RR-00-013, Laxenburg, 2000.

75. Zhogolev A., Savin I., Soil mapping based on globally optimal decision trees and digital imitations of traditional approaches, *Int. J. of Geo-Information*, 2020, No. 9(11), 664, DOI: [10.3390/ijgi9110664](https://doi.org/10.3390/ijgi9110664).

76. Zhogolev A.V., Soil mapping based on globally optimal decision trees. Pedometrics: WGs Digital Soil Mapping – Global Soil Map 2021, Wageningen, 2021.

УДК 631.4

DOI: 10.19047/0136-1694-2022-112-122-133



### Ссылки для цитирования:

Холодов В.А., Фарходов Ю.Р., Ярославцева Н.В., Данченко Н.Н., Ильин Б.С., Лазарев В.И. Водоекстрагируемый и микробный углерод черноземов разного вида использования // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. 2022. Вып. 112. С. 122-133. DOI: 10.19047/0136-1694-2022-112-122-133

### Cite this article as:

Kholodov V.A., Farkhodov Yu.R., Yaroslavtseva N.V., Danchenko N.N., Ilyin B.S., Lazarev V.I., Dissolved organic matter and microbial carbon of Protocalcic Chernozems of different land management, Dokuchaev Soil Bulletin, 2022, V. 112, pp. 122-133, DOI: 10.19047/0136-1694-2022-112-122-133

## Водоекстрагируемый и микробный углерод черноземов разного вида использования

© 2022 г. В. А. Холодов<sup>1\*</sup>, Ю. Р. Фарходов<sup>1</sup>, Н. В. Ярославцева<sup>1</sup>,  
Н. Н. Данченко<sup>1</sup>, Б. С. Ильин<sup>2</sup>, В. И. Лазарев<sup>2</sup>

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

\*<https://orcid.org/0000-0002-6896-7897>, e-mail: [vkholod@mail.ru](mailto:vkholod@mail.ru).

<sup>2</sup>ФГБНУ “Курский федеральный аграрный научный центр”, Россия,  
305526, Курская область, Курский район, п. Черемушки, 10.

Поступила в редакцию 22.08.2022, после доработки 17.10.2022,  
принята к публикации 08.11.2022

**Резюме:** Водоекстрагируемое органическое вещество – это наиболее активная и подвижная составляющая углерода почвы. Другой активной фракцией и чрезвычайно биологической является углерод, входящий в состав микроорганизмов. Обе эти фракции играют существенную роль как в агроценозах, так и в глобальном цикле углерода на нашей планете. Целью работы было оценить содержание углерода в водоекстрагируемом органическом веществе, а также углерода микробного происхождения в типичных черноземах разного вида использования. Были исследованы образцы типичных черноземов, отобранные на полях многолетних опытов с различными видами землепользования: бессменный черный пар

в течение 55 лет (с 1964 г.); традиционная обработка – четырехпольный севооборот, первая ротация; прямой посев – аналогичный прямому посеву плодосмен, первая ротация; 21-летняя залежь (с 1998 г.) после 34 лет черного парования (с 1964 г.). Определили содержание углерода водоэкстрагируемого органического вещества и содержание углерода микробного происхождения. В рассматриваемом ряду изученных вариантов доля углерода водоэкстрагируемого органического вещества от общего содержания органического вещества в верхнем горизонте (0–15 см) составила 0.69, 0.85, 1.01 и 0.98% соответственно, а углерода микробного происхождения – 0.27, 0.55, 0.53 и 1.52%. Отмечено, что на фоне увеличения содержания общего органического углерода при прямом посеве, по сравнению с традиционной обработкой, микробная биомасса в этом варианте не увеличивается. Для варианта залежь, в отличие от всех остальных видов землепользования, характерна большая доля микробного углерода, по сравнению с углеродом водоэкстрагируемого органического вещества.

**Ключевые слова:** растворенное органическое вещество, микробный углерод, Protocalcic Chernozems, водоэкстрагируемое органическое вещество, фумигирование, лизис.

## **Dissolved organic matter and microbial carbon of Protocalcic Chernozems of different land management**

© 2022 V. A. Kholodov<sup>1\*</sup>, Yu. R. Farkhodov<sup>1</sup>, N. V. Yaroslavtseva<sup>1</sup>, N. H. Danchenko<sup>1</sup>, B. S. Piyin<sup>2</sup>, V. I. Lazarev<sup>2</sup>

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

*\*<https://orcid.org/0000-0002-6896-7897>, e-mail: [vkholod@mail.ru](mailto:vkholod@mail.ru).*

<sup>2</sup>*FGBNU “Kursk Federal Agrarian Research Center”,  
10 Chermushki village, Kursk region 305526, Russian Federation.*

*Received 22.08.2022, Revised 17.10.2022, Accepted 08.11.2022*

**Abstract:** Water-extractable organic matter is the most active and mobile form of soil carbon. The other active fraction and extremely biolabile is the carbon constituent of microorganisms. Both of these fractions play an essential role in agrocenoses and in the global carbon cycle on our planet. The aim of the work was to estimate the carbon content of water-extractable organic matter as well as that of microbial origin in typical chernozems (Protocalcic Chernozems) of

different land-use types. Protocalcic Chernozem samples taken from the fields of long-term experiments with different types of land use were investigated: a permanent bare fallow for 55 years (since 1964); conventional tillage – four-field crop rotation, first rotation; direct seeding – crop rotation similar to direct seeding, first rotation; a 21-year fallow (since 1998) after 34 years of bare fallow (since 1964). We determined the carbon content of water-extractable organic matter and the carbon content of microbial origin. In the studied series of variants, the proportion of carbon of water-extractable organic matter in the total amount of organic matter in the upper horizon (0–15 cm) was 0.69, 0.85, 1.01, and 0.98%, respectively, while that of carbon of microbial origin was 0.27, 0.55, 0.53, and 1.52%. It was noted that against the background of increasing the content of total organic carbon in direct seeding variant, compared with the traditional soil treatment, the microbial biomass in this variant does not increase. The fallow variant, unlike all other types of land use, is characterized by a higher proportion of microbial carbon, in contrast to the carbon of water-extractable organic matter.

**Keywords:** dissolved organic matter, microbial carbon, Protocalcic Chernozems, water-extractable organic matter, fumigation, lysis.

## ВВЕДЕНИЕ

Растворенное органическое вещество (РОВ) – важная составляющая почвенного органического вещества (ОВ). Это наиболее подвижная, активная и, видимо, доступная для микроорганизмов часть ОВ ([Дьяконова, 1967](#); [Дьяконова, Булеева 1987](#); [Когут, 1996](#); [Караванова, 2013](#); [Bengtsson et al., 2018](#); [Chantigny, 2003](#); [Gmach et al., 2020](#); [Rodrigues et al., 2016](#)). Для его изучения обычно применяют процедуру экстракции ([Дьяконова, Булеева 1987](#); [Караванова, 2013](#); [Холодов и др., 2020](#)), поэтому ОВ в полученных вытяжках называют водозэкстрагируемое ОВ (ВЭОВ), а углерод, из которого оно состоит, – водозэкстрагируемый. Весьма схожий подход широко применяется для оценки микробной биомассы с помощью фумигирования почв хлороформом ([Jenkinson 1976](#); [Oren et al., 2018](#); [Vance et al., 1987](#)). Считается, что при обработке парами хлороформа происходит лизис клеток, и углерод микробного происхождения после этой процедуры переходит в водную или солевую вытяжку, поэтому по разнице содержания углерода в вытяжках из фумигированной и нефумигированной почвы можно оценить содержание микробного углерода. Обычно для этого ис-

пользуют экстракцию 0.5 М  $K_2SO_4$ . Однако недавно было показано, что для этой цели допустимо, а по ряду параметров даже предпочтительно, использование экстракции водой ([Swenson et al., 2015](#)). Такой подход позволяет одновременно оценивать содержание углерода ВЭОВ и углерода микробного происхождения, что делает его весьма привлекательным в ряду других подобных методов.

Целью работы было оценить содержание углерода ВЭОВ и углерода микроорганизмов в типичных черноземах разного вида использования. В работе исследованы образцы почв, на которых недавно внедрили новую для России технологию – прямой посев, а также для сравнения – чернозема под традиционной интенсивной технологией с аналогичным плодосменом и вариантов многолетних опытов с деградировавшим и восстанавливающимся ОВ.

## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Типичные черноземы – Protocalcic Chernozems ([WRB, 2015](#)) были отобраны на стационаре ФГБНУ “Курский ФАНЦ” (п. Черемушки, Курского района Курской области). Отбор всех образцов проводили в один день в 2019 г. Отбирали пять индивидуальных образцов методом конверта из которых потом формировали средний образец. На момент отбора образцов осадков не было уже три недели. Данное обстоятельство позволило не рассматривать динамику микробиологической активности, связанной с поступлением осадков или сильно различающимися уровнями влаги в почвах, но при этом сравнивать разные виды использования черноземов. После отбора образцы хранили при  $-18\text{ }^\circ\text{C}$  до момента использования.

Были отобраны образцы черноземов 4 вариантов использования:

- 1) Бессменный черный пар с 1964 г. (пар). Здесь не допускается рост сорняков, вариант ежегодно перепахивается с оборотом пласта.
- 2) Залежь с 1998 г. после бессменного черного пара (с 1964 г. по 1998) – часть вышеописанного опыта, которая была отведена под залежь, сегодня там плакорное степное травяное сообщество.

- 3) Прямой посев с 2013 г. (ПП) – опытный четырехпольный зерновой севооборот, плодосмен: озимая пшеница, кукуруза, ячмень, горох, – с прямым посевом культур.
- 4) Контрольный вариант к прямому посеву (традиционная обработка, ТО) – аналогичный плодосмен, но по традиционной технологии с применением вспашки.

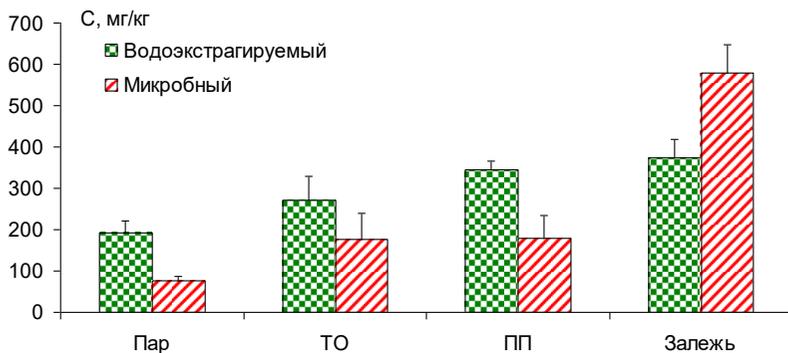
Для получения вытяжек из одного смешанного образца брали две навески. В первой – фумигированием осуществляли лизис микробных клеток и определяли содержание углерода в водной вытяжке, во второй – просто определяли содержание углерода в водной вытяжке. Соответственно, по разнице между содержанием углерода в водных вытяжках фумигированной и нефумигированной почвы рассчитывали содержание углерода микробного происхождения.

Для процедуры фумигации первую навеску помещали в вакуумный эксикатор, в котором предварительно устанавливали стакан с хлороформом, не содержащим спирта. Эксикатор закрывали и откачивали из него воздух до начала кипения хлороформа, затем оставляли в темном месте на 24 ч. После экспозиции над парами спускали вакуум, удаляли стакан с хлороформом, а в эксикаторе с почвой 5–6 раз вновь создавали и сбрасывали разряжение для удаления следов паров хлороформа. Затем фумигированную навеску переносили в центрифужную пробирку на 50 мл с завинчивающейся крышкой, заливали деионизованной водой с удельным сопротивлением больше 18 МОм, не содержащей CO<sub>2</sub> в массовом соотношении 1 : 5, и оставляли встряхиваться на обратном ротаторе на ночь. Аналогичную процедуру (все манипуляции, за исключением фумигирования) проводили параллельно со второй (нефумигированной) навеской. В полученных экстрактах определяли содержание растворенного органического углерода (C<sub>орг.</sub>) на анализаторе TOC-L CSN (Shimadzu, Япония).

Экстракции выполняли в трехкратной повторности. Для оценки значимости различий использовали дисперсионный анализ при уровне значимости 0.05.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Содержание углерода ВЭОВ и углерода микробного происхождения показано на рисунке. В зависимости от вида использования рассматриваемый показатель в ВЭОВ варьировал от 168 до 424 мг/л. Минимальное содержание ВЭОВ было обнаружено в варианте пар, максимальное – в черноземе под залежью. При этом значимо ( $\alpha = 0.05$ ) от всех вариантов отличалось только содержание углерода ВЭОВ в черноземе под паром. Ранее нами в этих объектах было определено общее содержание органического углерода, его средние значения составили 2.8, 3.2, 3.4 и 3.8% для пара, ТО, ПП и залежи соответственно ([Холодов и др., 2021а](#); [Холодов и др., 2021б](#)). Эти данные позволили оценить долю ВЭОВ в ОВ черноземов. Она составила 0.69, 0.85, 1.01 и 0.98% от общего органического углерода для пара, ТО, ПП и залежи соответственно. Интересно отметить, что чернозем под прямым посевом (ПП) имеет значение показателя, практически не отличающееся от восстанавливающегося варианта залежь. Возможно, это указывает на активизацию при ПП процессов, сходных с природными.



**Рис. 1.** Содержание водоекстрагируемого углерода и углерода микробного происхождения в типичных черноземах разного вида использования.

**Fig. 1.** Content of water-extractable carbon and carbon of microbial origin in typical chernozems (Protocalcic Chernozems) of different land-use types.

Содержание микробного углерода (см. рис.) в черноземах изменялось от 66 мг/кг (пар) до 628 мг/кг (залежь), так же, как и в случае ВЭОВ, варианты ТО и ПП занимали промежуточное положение. При этом, согласно данным дисперсионного анализа, от всех вариантов значимо отличались содержания микробного углерода в пару и залежи, а между ТО и ПП значимых отличий не было. Доля микробного углерода от общего составила 0.27, 0.55, 0.53 и 1.52% соответственно вариантам.

Как показали результаты, введение прямого посева не оказало влияния на микробную биомассу. Возникает вопрос: почему при возрастании доли растительных остатков, которое характерно для технологии ПП, не возрастает доля микробного углерода. Ранее было показано, что содержание углерода за одну ротацию (4 года) в варианте ПП значимо выросло, по сравнению с ТО – пахотным контролем ([Холодов и др., 2021a](#)). Наблюдаемые закономерности указывают, что поступающие при ПП растительные остатки, видимо, менее доступны микроорганизмам (по сравнению с пахотным аналогом). С одной стороны, отсутствие обработки способствует восстановлению структуры почвы и, вероятно, включению отмерших подземных частей растений в состав почвенных агрегатов, внутри которых они “физически” защищены от разложения ([Six et al., 2004](#)). С другой стороны, наземная часть жнивья не заделывается в почву, что замедляет ее разложение. Все это может способствовать сохранению микробной биомассы на прежнем, характерном для пахотных черноземов, уровне.

Вариант залежь после черного парования восстанавливался 17 лет. В серии работ было показано, что за это время там сформировался растительный покров, характерный для ненарушенной степи, увеличилось примерно на 1% содержание углерода, однако ряд характеристик (агрегатный состав, строение термолabileй фракции, строение фракции гумусовых кислот, связанных с кальцием) еще близки к варианту пар ([Холодов и др., 2020b](#)). В варианте залежь (единственном в ряду рассматриваемых почв) доля микробного углерода превосходит долю водорастворимого. Возможно, это характерно для восстанавливающихся черноземов. Кроме того, доля углерода ВЭОВ в залежи значимо не отличается от таковой в вариантах ТО и ПП, несмотря на гораздо большую

биомассу микроорганизмов и поступающих ежегодно растительных остатков. Это указывает на высокий расход ВЭОВ в данной почве. Можно предположить, что отчуждение растворенного углерода из почвенного раствора связано, с одной стороны, с его вовлечением в метаболические циклы микроорганизмов (на это указывает высокая доля микробного углерода). С другой – с фиксацией углерода ВЭОВ в более устойчивых пулах (прежде всего в пассивном) в связи с их ненасыщенностью по углероду, вызванной деградацией ОВ в ходе длительного черного парования. Это предположение хорошо согласуется с выводами, сделанными на основе сравнительного анализа содержания денсиметрических фракций, оптических свойств экстрагируемых фракций и молекулярного строения термических фракций этого чернозема ([Холодов и др., 2019](#); [Холодов и др., 2020а](#); [Фарходов и др., 2020](#)).

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные работы на примере многолетних полевых опытов на черноземах демонстрируют зависимости содержания водозэкстрагируемого и микробного углерода от вида использования почв. Таким образом, показана перспективность применения этих параметров для экспрессной и недорогой оценки состояния биологической компоненты в агроценозах. Ценность ее возрастает при совместном рассмотрении наиболее лабильной и активной фракции органического вещества – ВЭОВ. Весьма перспективно подкрепление подобных данных оптическими характеристиками ВЭОВ и метаболомным анализом водной вытяжки после фумигирования.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Дьяконова К.В.* Методы исследования органических веществ почвенных растворов // Почвоведение. 1967. № 6. С. 64–67.
2. *Дьяконова К.В., Булеева В.С.* Баланс и трансформация органического вещества дерново-подзолистых почв Центра Нечерноземной зоны // Органическое вещество пахотных почв. М., 1987. С. 12–20.
3. *Караванова Е.И.* Водорастворимые органические вещества: фракционный состав и возможности их сорбции твердой фазой лесных почв (обзор литературы) // Почвоведение. 2013. № 8. С. 924–936.

4. *Козут Б.М.* Трансформация гумусового состояния черноземов при их сельскохозяйственном использовании: Дис. ... докт. с.-х. наук. М., 1996. 353 с.
5. *Фарходов Ю.Р., Ярославцева Н.В., Яшин М.А., Хохлов С.Ф., Ильин Б.С., Лазарев В.И., Холодов В.А.* Выход денсиметрических фракций из типичных черноземов разного землепользования // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. 2020. Вып. 103. С. 85–107. DOI: [10.19047/0136-1694-2020-103-85-107](https://doi.org/10.19047/0136-1694-2020-103-85-107).
6. *Холодов В.А., Белобров В.П., Ярославцева Н.В., Яшин М.А., Юдин С.А., Ермолаев Н.Р., Дридигер В.К., Ильин Б.С., Лазарев В.И.* Влияние технологии прямого посева на распределение органического углерода и азота во фракциях агрегатов черноземов типичных, обыкновенных и южных // Почвоведение. 2021. № 2. С. 240–246.
7. *Холодов В.А., Фарходов Ю.Р., Ярославцева Н.В., Айдиев А.Ю., Лазарев В.И., Ильин Б.С., Иванов А.Л., Куликова Н.А.* Термостабильное и термостабильное органическое вещество черноземов разного землепользования // Почвоведение. 2020а. № 8. С. 970–982.
8. *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 структуры соотношения фракций агрегатов в гумусовых горизонтах черноземов как отклик на вид использования // Почвоведение. 2019. № 2. С. 184–193.
9. *Холодов В.А., Ярославцева Н.В., Фарходов Ю.Р., Яшин М.А., Лазарев В.И., Ильин Б.С., Филиппова О.И., Воликов А.Б., Иванов А.Л.* Оптические характеристики экстрагируемых фракций органического вещества типичных черноземов в многолетних полевых опытах // Почвоведение. 2020б. № 6. С. 691–702.
10. *Холодов В.А., Ярославцева Н.В., Яшин М.А., Фарходов Ю.Р., Ильин Б.С., Лазарев В.И.* Распределение органического углерода и азота в размерных фракциях агрегатов типичных черноземов // Почвоведение. 2021. № 3. С. 320–326.
11. *Bengtsson M.M., Attermeyer K., Catalán N.* Interactive effects on organic matter processing from soils to the ocean: are priming effects relevant in aquatic ecosystems? // *Hydrobiologia*. 2018. Vol. 822. P. 1–17.
12. *Chantigny M.H.* Dissolved and water-extractable organic matter in soils: A review on the influence of land use and management practices // *Geoderma*. 2003. Vol. 113. No. 3–4. P. 357–380.
13. *Gmach M.R., Cherubin M.R., Kaiser K., Cerri C.E.P.* Processes that influence dissolved organic matter in the soil: A review // *Sci. Agric*. 2020. Vol. 77. No. 3. P. 1–10.
14. IUSS Working Group WRB. World Reference Base for Soil Resources 2014, update 2015. International soil classification system for naming soils

and creating legends for soil maps. World Soil Resources Reports. No. 106. Rome: FAO, 2105.

15. *Jenkinson D.S.* The effects of biocidal treatments on metabolism in soil-IV. The decomposition of fumigated organisms in soil // *Soil Biology and Biochemistry*. 1976. Vol. 8. No. 3. P. 203–208.

16. *Oren A., Rotbart N., Borisover M., Bar-Tal A.* Chloroform fumigation extraction for measuring soil microbial biomass: The validity of using samples approaching water saturation // *Geoderma*. 2018. Vol. 319. No. 1. P. 204–207.

17. *Rodrigues S.M., Trindade T., Duarte A.C., Pereira E., Koopmans G.F., Römken P.F.A.M.* A framework to measure the availability of engineered nanoparticles in soils: Trends in soil tests and analytical tools // *TrAC – Trends Anal. Chem.* 2016. Vol. 75. P. 129–140.

18. *Six J., Bossuyt H., Degryze S., DeNef K.* A history of research on the link between (micro)aggregates, soil biota, and soil organic matter dynamics // *Soil and Tillage Research*. 2004. Vol. 79. P. 7–31.

19. *Swenson T.L., Jenkins S., Bowen B.P., Northen T.R.* Untargeted soil metabolomics methods for analysis of extractable organic matter // *Soil Biology and Biochemistry*. 2015. Vol. 80. P. 189–198.

20. *Vance E.D., Brookes P.C., Jenkinson D.S.* An extraction method for measuring soil microbial biomass C // *Soil Biology and Biochemistry*. 1987. Vol. 19. No. 6. P. 703–707.

## REFERENCES

1. Dyakonova K.V., Metody issledovaniya organicheskikh veshchestv pochvennykh rastvorov (Investigation methods of organic compounds of soil solutions, *Pochvovedenie*, 1967, No. 6, pp.46–67.

2. Dyakonova K.V., Buleeva V.S., Balans i transformacija organicheskogo veshchestva dernovo-podzolistykh pochv Cenrtra Nechernozenoi zony (Balance and transformation of organic matter of sod-podzol soils of Centrum of Non-chernozems zone), In: *Organicheskoe veshchestvo pahotnyh pochv* (Organic matter in arable soils), Moscow, 1987, pp. 12–20.

3. Karavanova E.I., Dissolved organic matter: Fractional composition and sorbability by the soil solid phase (Review of literature), *Eurasian Soil Science*, 2013, Vol. 46, No. 8, pp. 833–844, DOI: [10.1134/S1064229313080048](https://doi.org/10.1134/S1064229313080048).

4. Farkhodov Yu.R., Yaroslavtseva N.V., Yashin M.A., Khokhlov S.F., Iliyn B.S., Lazarev V.I., Kholodov V.A., The yield values of densimetric fractions from typical chernozems of different land use types, *Dokuchaev Soil Bulletin*, 2020, Vol. 103, pp. 85–107, DOI: [10.19047/0136-1694-2020-103-85-107](https://doi.org/10.19047/0136-1694-2020-103-85-107).

5. Kogut B.M., *Transformacija gumusnogo sostoyasniya chernozemov pri ih selskohozyajstvennom ispolzovanii: Diss. ... dokt. s.-kh. nauk* (Transformation of humic state of Chernozems under agriculture use, Dr. agric. sci. thesis), Moscow, 1996, 353 p.
6. Kholodov V.A., Belobrov V.P., Yaroslavtseva N.V., Yashin M.A., Yudin S.A., Ermolaev N.R., Dridiger V.K., Ilyin B.S., Lazarev V.I., Influence of no-till system on the distribution of organic carbon and nitrogen by aggregate size fractions in Protocalcic, Endocalcic, and Pantocalcic Chernozems, *Eurasian Soil Science*, 2021, Vol. 54, No. 2, pp. 285–290, DOI: [10.1134/S1064229321020071](https://doi.org/10.1134/S1064229321020071).
7. Kholodov V.A., Farkhodov Y.R., Yaroslavtseva N.V. et al., Thermolabile and thermostable organic matter of chernozems under different land uses, *Eurasian Soil Science*, 2020, Vol. 53, No. 8, pp. 1066–1078, DOI: [10.1134/S1064229320080086](https://doi.org/10.1134/S1064229320080086).
8. 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, No. 2, pp. 162–170, DOI: [10.1134/S1064229319020066](https://doi.org/10.1134/S1064229319020066).
9. Kholodov V.A., Yaroslavtseva N.V., Farkhodov Y.R., Yashin M.A., Ivanov A.L., Lazarev V.I., Ilyin B.S., Philippova O.I., Volikov A.B., Optical properties of the extractable organic matter fractions in typical chernozems of long-term field experiments, *Eurasian Soil Science*, 2020, Vol. 53, No. 6, pp. 739–748, DOI: [10.1134/S1064229320060058](https://doi.org/10.1134/S1064229320060058).
10. Kholodov V.A., Yaroslavtseva N.V., Yashin M.A., Farkhodov Y.R., Ilyin B.S., Lazarev V.I., Contents of organic carbon and nitrogen in particle-size fractions of aggregates of typical chernozems (Protocalcic Chernozems), *Eurasian Soil Science*, 2021, Vol. 54, No. 3, pp. 366–371, DOI: [10.1134/S1064229321030078](https://doi.org/10.1134/S1064229321030078).
11. Bengtsson M.M., Attermeyer K., Catalán N., Interactive effects on organic matter processing from soils to the ocean: are priming effects relevant in aquatic ecosystems? *Hydrobiologia*, 2018, Vol. 822, pp. 1–17.
12. Chantigny M.H., Dissolved and water-extractable organic matter in soils: A review on the influence of land use and management practices, *Geoderma*, 2003, Vol. 113, No. 3–4, pp. 357–380.
13. Gmach M.R., Cherubin M.R., Kaiser K., Cerri C.E.P., Processes that influence dissolved organic matter in the soil: A review, *Sci. Agric.*, 2020, Vol. 77, No. 3, pp. 1–10.
14. IUSS Working Group WRB. *World Reference Base for Soil Resources* 2014, update 2015. International soil classification system for naming soils

and creating legends for soil maps. World Soil Resources Reports No. 106. Rome: FAO, 2105.

15. Jenkinson D.S., The effects of biocidal treatments on metabolism in soil-IV. The decomposition of fumigated organisms in soil, *Soil Biology and Biochemistry*, 1976, Vol. 8, No. 3, pp. 203–208.

16. Oren A., Rotbart N., Borisover M., Bar-Tal A., Chloroform fumigation extraction for measuring soil microbial biomass: The validity of using samples approaching water saturation, *Geoderma*, 2018, Vol. 319, No. 1, pp. 204–207.

17. Rodrigues S.M., Trindade T., Duarte A.C., Pereira E., Koopmans G.F., Römkens P.F.A.M., A framework to measure the availability of engineered nanoparticles in soils: Trends in soil tests and analytical tools, *TrAC – Trends Anal. Chem.*, 2016, Vol. 75, pp. 129–140.

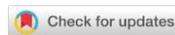
18. Six J., Bossuyt H., Degryze S., DeNef K., A history of research on the link between (micro)aggregates, soil biota, and soil organic matter dynamics, *Soil and Tillage Research*, 2004, Vol. 79, pp. 7–31.

19. Swenson T.L., Jenkins S., Bowen B.P., Northen T.R., Untargeted soil metabolomics methods for analysis of extractable organic matter, *Soil Biology and Biochemistry*, 2015, Vol. 80, pp. 189–198.

20. Vance E.D., Brookes P.C., Jenkinson D.S., An extraction method for measuring soil microbial biomass C, *Soil Biology and Biochemistry*, 1987, Vol. 19, No. 6, pp. 703–707.

УДК 631.4

DOI: 10.19047/0136-1694-2022-112-134-159



### Ссылки для цитирования:

Ермолаев Н.Р., Юдин С.А., Белобров В.П., Дридигер В.К., Гаджиумаров Р.Г. Количественная оценка растительных остатков в прямом посеве по данным дистанционного зондирования и полевого обследования почвенного покрова // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. 2022. Вып. 112. С. 134-159. DOI: 10.19047/0136-1694-2022-112-134-159

### Cite this article as:

Ermolaev N.R., Yudin S.A., Belobrov V.P., Dridiger V.K., Gadzhumarov R.G., Quantitative assessment of crop residues in no-till technology according to remote sensing data and field soil cover survey, Dokuchaev Soil Bulletin, 2022, V. 112, pp. 134-159, DOI: 10.19047/0136-1694-2022-112-134-159

## Количественная оценка растительных остатков в прямом посеве по данным дистанционного зондирования и полевого обследования почвенного покрова

© 2022 г. Н. Р. Ермолаев<sup>1\*</sup>, С. А. Юдин<sup>1</sup>, В. П. Белобров<sup>1</sup>,  
В. К. Дридигер<sup>2\*\*</sup>, Р. Г. Гаджиумаров<sup>2</sup>

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

\*<https://orcid.org/0000-0003-4317-9277>, e-mail: [n.r.ermolaev94@gmail.com](mailto:n.r.ermolaev94@gmail.com).

<sup>2</sup>ФГБНУ “Северокавказский ФНАЦ”, Россия,  
356241, Ставропольский край, Шпаковский р-н,  
г. Михайловск, ул. Никонова, д. 49,

\*\* e-mail: [dridiger.victor@gmail.com](mailto:dridiger.victor@gmail.com).

Поступила в редакцию 08.02.2022, после доработки 13.09.2022,  
принята к публикации 08.11.2022

**Резюме:** Ключевой особенностью технологии прямого посева (no-till) является сохранение на поверхности почвы растительных остатков. Их количественная оценка является важной задачей при внедрении технологии в производство. На основании полевых исследований и данных дистанционного зондирования земли (ДЗЗ) рассмотрены разные

подходы к этой оценке. Исследования проводились в Буденновском районе Ставропольского края на полях хозяйств, использующих как традиционную технологию (ТТ), так и технологию прямого посева (ПП). В качестве данных ДЗЗ использовались снимки системы Sentinel-2, на основании которых были рассчитаны спектральные индексы NDTI и NDVI. Для оценки проективного покрытия растительными остатками использовалось три метода: 1) весовой учет растительных остатков на единице площади; 2) полевое определение проективного покрытия методом линейных трансект; 3) камеральный анализ фотографий поверхности почвы. По полученным результатам строились модели линейной зависимости значений NDTI от проективного покрытия растительными остатками поверхности почв. Также проанализирована возможность количественного учета растительных остатков только на основании данных ДЗЗ. Наиболее высокий коэффициент детерминации ( $R^2 = 0.97$ ) при наименьшем квадратном корне среднеквадратической ошибки ( $RMSE = 7.93$ ) был получен при моделировании на основе анализа фотографий поверхности почвы, покрытой растительными остатками. На основании модели зависимости значений NDTI от проективного покрытия растительными остатками, полученными в результате анализа фотографий по спутниковым данным Sentinel-2 за вегетационный сезон 2020–2021, получены данные о динамике значений покрытия почвы растительными остатками (CRC) в масштабе отдельно взятого поля и разных технологий обработки. В качестве апробации подхода и оценки его использования для решения производственных задач анализировалась динамика проективного покрытия растительными остатками при разных культурах и разных условиях рельефа. Анализ динамики значений CRC позволил выделять различные этапы возделывания культур при ТТ и ПП, а также в масштабе отдельного поля выявил неоднородность проективного покрытия почв растительными остатками, связанную с особенностями мезорельефа.

**Ключевые слова:** no-till, пожнивные остатки, NDTI, ресурсосберегающее земледелие, оценка проективного покрытия, линейные модели.

## **Quantitative assessment of crop residues in no-till technology according to remote sensing data and field soil cover survey**

© 2022 N. R. Ermolaev<sup>1\*</sup>, S. A. Yudin<sup>1</sup>, V. P. Belobrov<sup>1</sup>,  
V. K. Dridiger<sup>2\*\*</sup>, R. G. Gadzhumarov<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Federal Research Centre “V.V. Dokuchaev Soil Science Institute”,  
7 Bld. 2 Pyzhevskiy per., Moscow 119017, Russian Federation,  
\*<https://orcid.org/0000-0003-4317-9277>, e-mail: [n.r.ermolaev94@gmail.com](mailto:n.r.ermolaev94@gmail.com).*

<sup>2</sup>*North Caucasian Federal Agrarian Centre,  
49 Nikonova Str., Mikhaylovsk 356241, Shpakovsky District  
Stavropol Territory, Russian Federation,  
\*\*e-mail: [dridiger.victor@gmail.com](mailto:dridiger.victor@gmail.com).*

*Received 08.02.2022, Revised 13.09.2022, Accepted 08.11.2022*

**Abstract:** The key feature of the no-till technology is the preservation of crop residues on the soil surface. Crop residues quantitative assessment is an important task when introducing technology into production. On the basis of field and remote sensing data, different approaches to this assessment are considered. The research was carried out in the Budennovsky district of the Stavropol Territory in the fields of farms using both traditional technology (TT) and no-till (ПП). Images of the Sentinel-2 system were used as remote sensing data, on the basis of which the spectral indices NDTI and NDVI were calculated. Three methods were used to estimate the projective cover by plant residues: 1) weight accounting of plant residues per unit area; 2) field determination of the projective cover by the method of line transects; 3) desk analysis of photographs of the soil surface. Based on the obtained results, models of the linear dependence of NDTI values on the projective cover of the soil surface with plant residues were constructed. The possibility of quantitative accounting of plant residues only on the basis of remote sensing data was also analyzed. The highest coefficient of determination ( $R^2 = 0.97$ ) with the smallest square root of the standard error (RMSE = 7.93) was obtained by modeling based on the analysis of photographs of the soil surface covered with plant residues. Based on the model of the dependence of NDTI values on the projective cover of plant residues obtained as a result of the analysis of photographs based on Sentinel-2 satellite data for the growing season 2020–2021, data were obtained on the dynamics of soil coverage with plant residues (CRC) on the scale of a single field and different tillage technologies. As an approbation of the approach and an assessment of its use for solving production problems, the dynamics of the projective cover with plant residues was analyzed under different crops and different relief conditions. An analysis of the dynamics of CRC values made it possible to distinguish between different stages of crop cultivation under traditional technology (TT) and no-till (ПП), and also on the scale of an individual field revealed the heterogeneity of the projective soil cover with plant residues associated with the features of the mesorelief.

**Keywords:** no-till, crop residues, NDTI, conservation agriculture, projective cover assessment, linear models.

## ВВЕДЕНИЕ

Интенсификация сельскохозяйственного производства приводит к увеличению негативного антропогенного влияния на природные компоненты почвы ([Kiryushin, 2019](#); [Иванов и др., 2021](#)). Многолетнее использование традиционной технологии (вспашка с оборотом пласта) с последующими культивациями чистых паров снижает почвенное плодородие, что сопровождается потерей органического вещества почвы ([Дридигер и др., 2020](#)), ухудшением физических свойств почвы ([Li et al., 2019](#); [Холодов и др., 2019](#)), снижением продуктивной влаги в почве, потерей питательных элементов и усилением дефляции и водной эрозии ([Белобров и др., 2021](#); [Дридигер и др., 2020](#)).

Для обеспечения устойчивого воспроизводства сельскохозяйственной продукции необходимо введение в производство ресурсосберегающей технологии прямого посева ПП ([Scopel et al., 2013](#)), которая основывается на трех основных принципах: отказ от механического воздействия на почву, постоянный органический покров на поверхности почв и применение севооборота ([Baker et al., 2006](#)).

При использовании ПП пожнивные остатки сохраняются на поверхности почвы в качестве мульчи после ежегодной жатвы. Они оказывают влияние на процессы гумификации, дыхания и водонасыщения почв и, как следствие, урожайность сельскохозяйственных культур в зависимости от их количества, возделываемой культуры и климатических условий. В связи с этим наблюдение за состоянием и оценка проективного покрытия мульчи является важным разделом работ по успешному использованию технологии ПП ([Zhang et al., 2014](#)).

Существует несколько методов оценки проективного покрытия растительными остатками поверхности почв: объектно-ориентированный анализ изображений ([Hulet et al., 2014](#)); анализ цифровых фотографий ([Chen et al., 2010](#); [Hofmann, Blaschke, 2008](#)); по индексу урожая (Johnson et al., 2006); и методы, основанные на анализе данных дистанционного зондирования ([Aguilar](#)

[et al., 2012](#); [Najafi et al., 2019](#); [Zheng et al., 2012](#)). Достаточно часто используют метод визуальной оценки ([Laamrani et al., 2017](#); [Shelton, 2009](#)), но на его достоверность сильно влияет субъективный фактор, что отражается на точности результатов ([Dethier et al., 1993](#); [Vanha-Majamaa et al., 2000](#)). Наиболее распространенным и точным методом является использование точечных рамок, ([Sharma et al., 2016](#); [Vanha-Majamaa et al., 2000](#)) недостатком которого является трудоемкость и большие временные затраты.

Растительные остатки на поверхности почвы формируют своеобразный горизонт, подобный опадку в лесной зоне или степному войлоку. Его количество и проективное покрытие являются критериями для оценки качества применения прямого посева, а также для принятия решений по использованию культур (в том числе и почвопокровных) в плодосменах. Для дешифрирования растительных остатков используются спектральные индексы, объединяемые под названием индексы обработок (tillage indexes), рассчитываемые по данным ДЗЗ ([Eskandari et al., 2016](#); [Morrison Jnr et al., 1993](#); [Nagler et al., 2000](#); [Najafi et al., 2019](#); [Quemada, Daughtry, 2016](#); [South et al., 2004](#); [Sullivan et al., 2008](#); [Zheng et al., 2013](#)). Физической основой для использования данных индексов являются отражательно-поглощительные свойства лигнина и целлюлозы, содержащихся в растительных остатках, в диапазоне электромагнитного спектра близком к 2 100 нм.

NDVI является на данный момент наиболее распространенным вегетационным индексом, используемым для решения широкого спектра задач, связанных с сельским хозяйством ([Tucker, 1979](#)). Для определения растительных остатков на поверхности почв индекс NDTI считается более перспективным ([Beeson et al., 2020](#); [Eskandari et al., 2016](#); [Hively et al., 2018](#); [Jin et al., 2015](#); [Zheng et al., 2012](#)). Необходимо учитывать некоторые ограничения при использовании данного индекса: повышенная влажность почвы и зеленая растительность влияет на значения отражения в каналах SWIR диапазона, что приводит к аномалиям в значениях NDTI. ([Beeson et al., 2020](#); [Daughtry et al., 2005](#); [Quemada, Daughtry, 2016](#)). Для вычисления данного индекса используются каналы платформ ДЗЗ таких как Landsat и Sentinel. Преимуществами при использовании данных систем являются: широкий пространственный охват

данных и свободный доступ к архивным и актуальным изображениям.

Технология ПП перспективна для внедрения в систему земледелия РФ ([Кулинцев, 2013](#); [Иванов и др., 2021](#)). В этой связи одной из приоритетных задач является разработка цифровых решений для оптимизации сельскохозяйственного производства в системе прямого посева, учета и контроля применения данной ресурсосберегающей технологии. Использование данных ДЗЗ является наиболее перспективным подходом для решения данной задачи.

Цель работы – анализ и выбор оптимального подхода к количественной оценке растительных остатков на основании данных ДЗЗ и результатов полевых обследований и его апробация в условиях производства сельскохозяйственной продукции.

## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Объекты исследования расположены на территории Буденовского района Ставропольского края (44°32'50.70" с. ш., 44°10'31.68" в. д.). Преобладающим типом почв являются темнокаштановые (Haplic Kastanozems Chromic, WRB, 2006) ([Единый..., 2014](#)). Климат региона исследования – континентальный с максимумом температур в июле–августе и годовым количеством осадков около 450 мм ([Кулинцев, 2013](#)). Сочетание почвенно-климатических ресурсов способствует активному развитию земледелия. Наиболее распространенными культурами являются озимая пшеница, подсолнечник, ряд бобовых культур.

Объект исследования – почвенный покров полей двух хозяйств, применяющих ТТ и ПП. СПК “Архангельский” применяет технологию прямого посева в зернопропашном севообороте в течение 11 лет. Расположенное рядом с СПК “Архангельский” ООО СП “Добровольное” постоянно применяет традиционную технологию с использованием чистых паров.

Для решения поставленных задач было выбрано три поля. Два из них прямого посева: ПП1 – в год проведения исследований культура – озимая пшеница, с максимальным (~ 100%) покрытием растительными остатками в сезон 2021 г., площадью 155 га; и ПП2 – подсолнечник, с проективным покрытием почвы растительными

остатками около 30–50%, площадью 102 га (рис. 1). Традиционная технология представлена третьим полем, площадью 110 га, на поверхности почв которого растительные остатки отсутствуют. Выбор для анализа двух полей ПП обусловлен применением в севообороте разных культур, проективное покрытие которых различно, что отражается на данных ДЗЗ.

На рисунке 2 отражена общая схема исследования. В качестве программного обеспечения для обработки данных в рамках работы использовался язык программирования python и модули для работы с геопространственными данными – Geopandas, Rasterio, и статистической обработки – Sci-py, Scikit-learn, Seaborn. Подбор космических снимков осуществлялся с помощью сервиса Google earth engine (GEE) ([Google Earth Engine, 2019](#)).

**Сбор полевых данных.** Полевые работы в рамках исследования проводились 08.09.2021. Данные о количественных параметрах растительных остатков собирались в 9 точках (площадках) методом конверта в 5-кратной повторности. Расположение точек фиксировалось при помощи GPS приемника garmin 64 (точность +/-3.65 м) (рис. 3). Для апробации предложенного в работе подхода 5 из 9 точек были выбраны в пределах поля ПП1 для оценки состояния растительных остатков при разных условиях рельефа (табл. 1). Абсолютная высота была получена из данных SRTM. Формы рельефа выделялись экспертно.



**Рис. 1.** А – поверхность поля ПП1, Б – поверхность поля ПП2, В – поверхность поля ТТ.

**Fig. 1.** А – surface ПП1, Б – surface ПП2, В – surface ТТ.

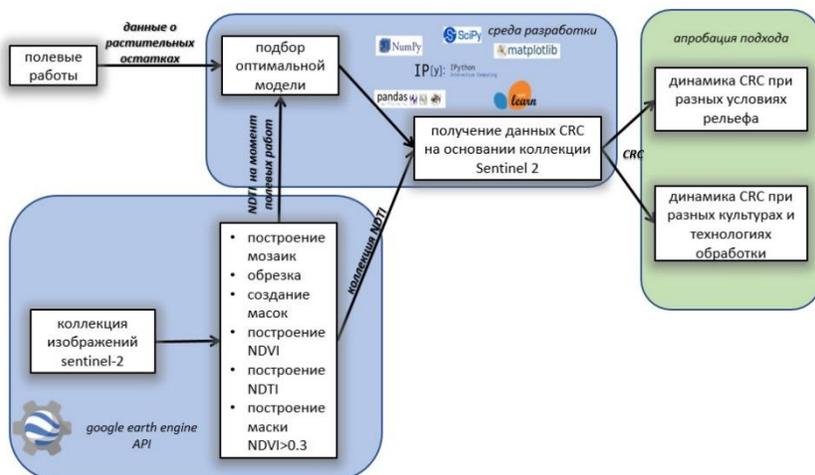


Рис. 2. Общая схема исследования.

Fig. 2. Research design.

Таблица 1. Формы мезорельефа поля ПП1 по данным SRTM

Table 1. Mesorelief forms of the ПП1 field according to SRTM data

Номер точки отбора	Формы	Абс. высота (м)
525	Приводораздельный склон (уклон ~1°)	178
526	Приводораздельный склон (уклон ~1°)	175
528	Верхняя часть днища широкой ложбины стока	174
527	Тальвег средней части днища ложбины стока	171.5
586	Тальвег нижней части днища ложбины стока, ограниченный лесополосой	170

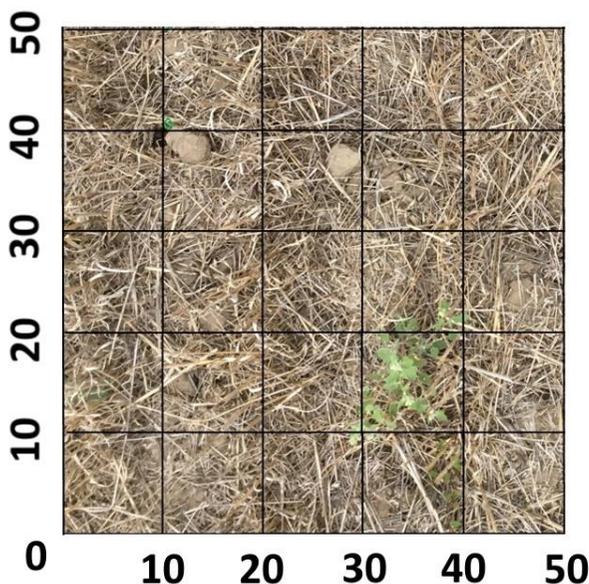
Во всех точках данные о состоянии растительных остатков отбирались тремя методами:

1) Весовой анализ – в пределах участка  $50 \times 50$  см, ограниченного рамкой, собирались пожнивные остатки. Взвешивание растительных остатков производилось при отборе при помощи бытовых кухонных весов (точность до 1 грамма).

2) Полевое определение проективного покрытия – отбор осуществлялся по методу линейных трансект (Line-Transect method), описанному в литературе ([Shelton, 2009](#)). Суть метода заключается в подсчете точек пересечения растительных остатков с линейным объектом, используемым для измерения (веревка, размеченная узлами на равные участки, мерная линейка).

3) Камеральное определение проективного покрытия на основании фотоснимков поверхности – поверхность почвы фотографировалась со стандартной высоты 1.5 м ([De Wit, 2018](#); [Demarez et al., 2008](#); [Prudnikova et al., 2019](#)). Для расчета процентного покрытия почвы растительными остатками на фото в графическом редакторе накладывалась цифровая сетка плотностью  $10 \times 10$  см, и подсчитывалось количество пересечений растительных остатков и узлов сетки (рис. 3) ([Laamrani et al., 2017](#)).

**Обработка и анализ данных ДЗЗ.** В качестве данных дистанционного зондирования земли использовались мультиспектральные изображения высокого разрешения Sentinel-2 уровня коррекции 2A (Surface Reflectance). Изображения отбирались за период с 15 ноября 2020 г. по 15 ноября 2021 г., облачное покрытие на которых не превышало 10%. Так как объект исследования был расположен на границе двух сцен, для увеличения коллекции и повышения информативности данных формировались мозаики, охватывающие область изучения. Из мозаик изображений удалялись пиксели, соответствующие теням облаков и облакам для каждого изображения на основании данных, содержащихся в слое SCL (scene classification layer), это классифицированное изображение, получаемое в результате применения алгоритма sen2cor, используемое для фильтрации данных, инструментами GEE. Используя каналы полученных цифровых изображений для каждой сцены в полученной коллекции рассчитывались NDVI и NDTI.



**Рис. 3.** Фотография поверхности почвы, покрытой растительными остатками, с высоты 1.5 м и с наложенной цифровой сеткой с шагом 10 см.

**Fig. 3.** Photograph of the soil surface covered with crop residues taken from 1.5 m height and overlaid with a digital grid with 10 cm step.

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED},$$

$$NDTI = \frac{SWIR1 - SWIR2}{SWIR1 + SWIR2},$$

где RED, NIR, SWIR1, SWIR2 – каналы Sentinel 2 в диапазонах 650–680 нм, 785–899 нм, 1 565–1 655 нм, 2 100–2 280 нм соответственно.

По данным NDVI строилась маска живой растительности. Порогом для исключения живой растительности являлось значения выше 0.3 NDVI (Beeson et al., 2020). Наиболее близкими по времени к моменту проведения полевых работ являлись данные за

21.09.2021, на основании которых строились модели линейной зависимости значений NDTI от данных, полученных в ходе полевых работ.

Наряду с методами количественного учета растительных остатков путем построения линейных моделей существует метод оценки без полевых данных ([Beeson et al., 2020](#)). По результатам исследований Peter C. Beeson, Craig S.T. Daughtry и Steven A. Wallander, зависимость между значениями NDTI и проективного покрытия растительными остатками линейна и, следовательно, можно использовать формулу вида:

$$CRC = m(NDTI) + b,$$

$$m = \frac{(RCmax - RCmin)}{(NDTI_{max} - NDTI_{min})},$$

$$b = -1 * (m * NDTI_{min}) + 0),$$

где CRC – процент покрытия растительными остатками, NDTI – значения пикселя, RCmax – максимальное значение покрытия растительными остатками на основании литературных данных, RCmin – минимальный покров растительными остатками, NDTI<sub>max</sub> и NDTI<sub>min</sub> – среднее NDTI +/-3 станд. откл.

Условием использования данного метода является наличие объектов с минимальным (открытая поверхность почвы в ТТ) и максимальным (поля, на которых используется ПП) проективным покрытием растительными остатками в пределах одного изображения. Проективное покрытие для разных культур определяется на основании литературных данных. Для озимой пшеницы максимальное проективное покрытие – RCmax – составляет 85%, RCmin – для открытой почвы 0% ([Shelton, 1995](#)). Качество моделей при использовании данного метода оценивалось на основании результатов полевого определения проективного покрытия и камерального способа оценки.

Таким образом, проанализировано четыре метода учета растительных остатков:

1. Полевая оценка покрытия растительными остатками и мо-

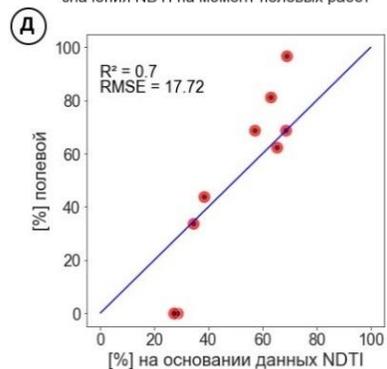
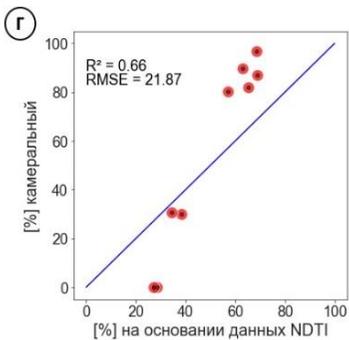
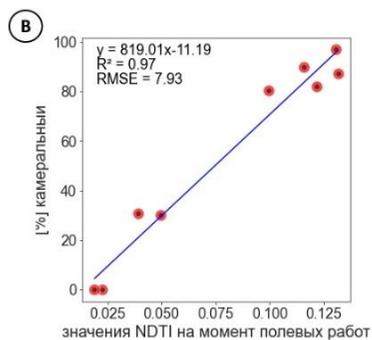
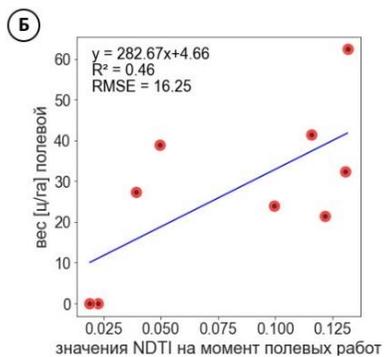
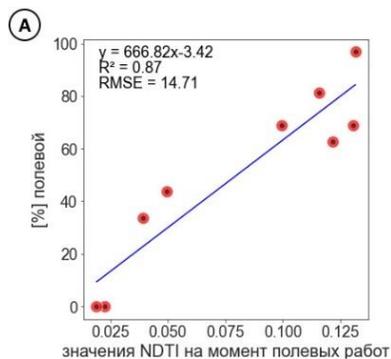
- делирование на основании данных ДЗЗ.
2. Полевая оценка массы растительных остатков на единицу площади и моделирование на основании данных ДЗЗ.
  3. Камеральная обработка фотографий поверхности методом фасеток и дальнейшее моделирование на основании данных ДЗЗ.
  4. Получение результатов о количестве растительных остатков только на основании данных ДЗЗ.

Моделирование осуществлялось при помощи метода линейной регрессии. Метриками оценки качества модели служили  $R^2$  – коэффициент детерминации и RMSE – квадратный корень среднеквадратической ошибки. Так как выборки имели ограниченный объем, для объективной оценки полученных моделей использовалась кросс-валидация методом Leave one out. Для оценки точности данных, полученных при помощи подхода, представленного в работе Peter C., рассчитывались меры  $R^2$  и RMSE на основании значений, полученных при полевом и камеральном определении активного покрытия.

На основании метода, показавшего наиболее высокие метрики качества, были получены данные CRC (crop residue cover, %) – меры количественной оценки покрытия поверхности растительными остатками за все доступные в коллекции моменты времени в масштабе. Для апробации наилучшего подхода была проанализирована динамика состояния растительных остатков при разных технологиях обработки и оценена неоднородность покрова в зависимости от условий рельефа в пределах поля ПП1. Для статистического подтверждения влияния рельефа на неоднородность покрова растительных остатков проводилось статистическое тестирование методом Краскера–Уолиса (Н-тест – непараметрический аналог ANOVA) ([Kruskal, Wallis, 1952](#)). Статистическое тестирование осуществлялось при уровне  $\alpha = 0.0001$ .

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

На рисунке 4 представлены линейные модели взаимосвязи полевых данных и данных ДЗЗ.



**Рис. 4.** Модели количественной оценки покрытия растительными остатками на основании полевых данных и данных ДЗЗ. **А** – Модель зависимости значений NDTI от состояния проективного покрытия, полученного методом линейных трансект; **Б** – Модель зависимости значений NDTI от веса растительных остатков на единицу площади; **В** – Модель зависимости значений NDTI от состояния проективного покрытия, полученного на основании анализа фотографий поверхности; **Г** – Оценка точности данных, полученных по методу Peter C., и состояния проективного покрытия, полученного на основании анализа фотографий поверхности; **Д** – Оценка точности данных, полученных по методу Peter C., и состояния проективного покрытия, полученного методом линейных трансект.

**Fig. 4.** Models for quantifying crop residue coverage based on field and remote sensing data. **A** – Model of the dependence of NDTI indicators on the state of the projective cover obtained by the method of line transects; **B** – Model of the dependence of NDTI on the weight of plant residues per unit area; **B** – Model of the dependence of NDTI indicators on the state of the projective coverage obtained on the basis of the analysis of the surface; **Г** – Assessment of the state of the initial coverage by the method of Peter C. and the state of the projective coverage obtained on the basis of the analysis of the surface photographs; **Д** – Assessment of the state of the initial coverage by the method of Peter C. and the state of the projective cover obtained by the method of line transects.

Модель 4А, основанная на взаимосвязи проективного покрытия растительными остатками, определенными в поле с данными ДЗЗ, показала значение  $R^2 = 0.87$  при  $RMSE = 14.71$ . Моделирование на основании весовой оценки растительных остатков и данных ДЗЗ (рис. 4Б) показывает низкий коэффициент детерминации и высокую ошибку, что говорит о низкой линейной зависимости данных показателей. Модели, представленные на рисунках 4Г и 4Д имеют высокое значение  $RMSE$  относительно других представленных моделей, что говорит об ограниченной информативности и качестве этих моделей.

Наиболее высокий коэффициент детерминации и меньшую ошибку имеет модель, построенная на данных, полученных в ходе камерального определения растительных остатков на основании анализа фотографий (рис. 4В). Кроме максимальных значений

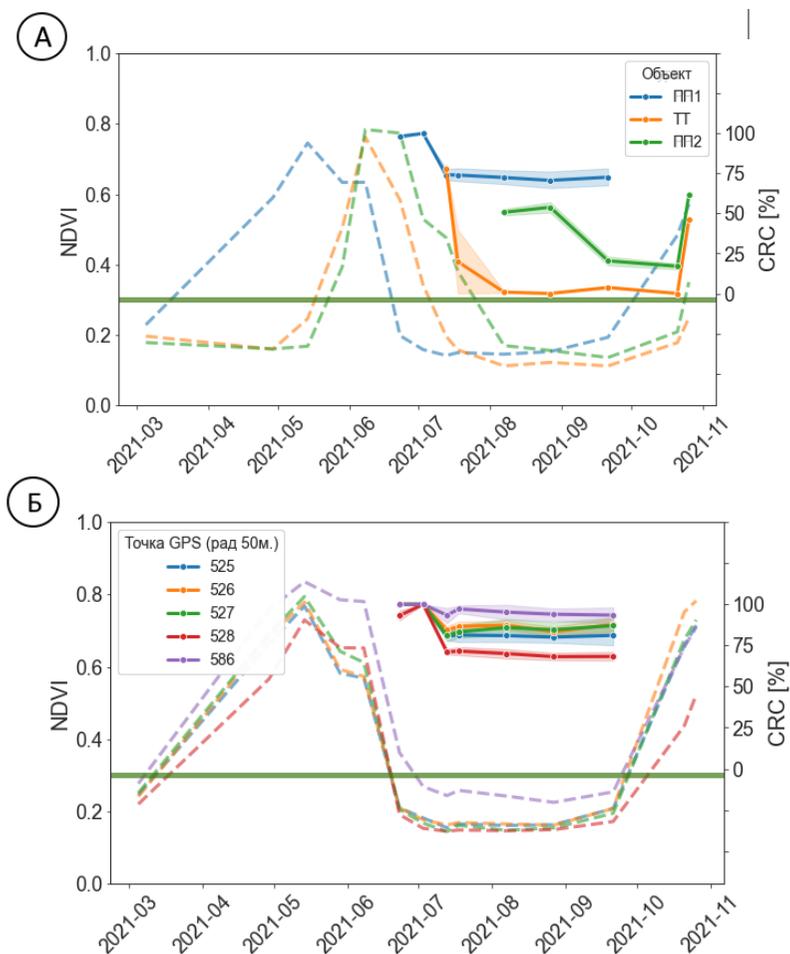
метрик качества, в процессе работы были выявлены следующие преимущества данного подхода к анализу состояния растительных остатков, в сравнении с другими, описанными в исследовании, которые могут быть решающими при внедрении в производство:

- 1) Фотографирование поверхности технически проще реализовать, чем расчет проективного покрытия растительными остатками непосредственно в поле.
- 2) Оперативный отбор большого объема данных.
- 3) Оценка фотографий проводится оператором в камеральных условиях.

При большом количестве фотографий возможна замена работы оператора на машинные методы анализа фотографий.

На основании модели зависимости данных NDTI от состояния проективного покрытия, полученного на основании анализа фотографий поверхности, были вычислены значения CRC за вегетационный сезон 2020–2021, представленные на рисунке 5. Для ПП1 средние по полю значения площади покрытия растительными остатками с 23.06.2021 по 03.07.2021 равны 100%, после уборки, которая, судя по динамике значений NDVI, была примерно 15.07.2021, они снижаются до 75% и держатся на таком уровне до 21.09.2021. После этого из-за осенней вегетации и/или появления сорной растительности оценивать CRC дистанционными методами стало невозможно, так как появление живой растительности значительно искажает значения индекса NDTI. Для ПП2 и ТТ также можно установить момент уборки урожая, приходящийся на 27.08.2021 и 13.07.2021 соответственно.

На рисунке 5А в правой части графика показан резкий рост значений CRC с 0% до 50–60% для ТТ, и с 25% до 50–60% – для ПП1, этот рост связан с появлением сорной растительности на полях. Данная ошибка возникла несмотря на создание маски значений  $NDVI > 0.3$ , из чего можно сделать вывод, что порог NDVI в 0.3 не является окончательным. Более точное построение масок живой растительности для получения наиболее корректных значений CRC требует продолжения работ по подбору порогового значения, чтобы исключить влияние живой растительности.



**Рис. 5.** Динамика значений NDVI (пунктирные линии), проективное покрытие растительными остатками (сплошные линии); горизонтальной зеленой линией обозначена граница NDVI равная 0.3. **А** – для полей; **Б** – для ключевых участков поля ПП1.

**Fig. 5.** Dynamics of NDVI values (dotted lines), projective cover with plant residues (solid lines); horizontal green line indicates the NDVI boundary equal to 0.3. **A** – for fields; **B** – for key sections of the PPP1 field.

Для демонстрации перспектив использования подхода при решении практических задач в условиях производства была проведена оценка динамики неоднородности покрова растительных остатков в пределах поля ПП1.

Анализ динамики проективного покрытия растительными остатками в связи с формами мезорельефа на поле ПП1 показал, что за период более двух месяцев значения по всем ключевым точкам близки (табл. 2).

**Таблица 2.** p-value полученные в результате статистического тестирования по методу Краскера–Уолиса (H-теста)

**Table 2.** p-values obtained as a result of statistical testing according Krasker–Wallis method (H-test)

Дата	Сравниваемые показатели	Варианты сравнения выборок $\alpha = 0.0001$		
		525, 526, 527	525, 526, 527, 528	525, 526, 527, 528, 586
13.07.2021	NDVI	0.0012	0.0001	<0.0001
	CRC	0.181	0.0001	<0.0001
18.07.2021	NDVI	0.3024	0.0009	<0.0001
	CRC	0.123	0.0001	<0.0001
07.08.2021	NDVI	0.0021	0.0003	<0.0001
	CRC	0.1355	0.0001	<0.0001
27.08.2021	NDVI	0.7049	0.0112	<0.0001
	CRC	0.4416	0.0001	<0.0001
21.09.2021	NDVI	0.3163	0.0004	<0.0001
	CRC	0.2027	0.0001	<0.0001

Это подтверждает, что за столь короткий период времени процессы разложения растительности не приводят к уменьшению площади проективного покрытия. Тем не менее, наиболее контрастные значения динамик имеют точки 528 и 586, расположенные в пределах одной формы мезорельефа (днище ложбины), но в разных по увлажнению условиях. Значения проективного покрытия в точках 525, 526 и 527 составляют около 80–85%, тогда как в точках 528 и 586 – 68–70% и 93–97% соответственно. Значения

CRC и NDVI в точках 525, 526, 527 и 528 не имеют статистически достоверных различий, следовательно, покрытие в данных точках однородное.

В тоже время при сравнении этих точек с 586 различия значимы во все временные промежутки как у CRC, так и NDVI. Во время вегетационного пика значения для точки участка 586 были самые высокие. Расположение растительных остатков в тальвеге ложбины способствует их накоплению за счет ветрового переноса, что создает разные условия разложения пожнивных остатков в мезорельефе полей и приводит к трансформации продуктивных свойств почв. Формы мезорельефа являются маркерами разных условий почвообразования и формирования структуры почвенного покрова полей, что сказывается на условиях роста возделываемых культур и их урожайности.

## ВЫВОДЫ

1. Наиболее точную оценку при моделировании результатов покрытия растительными остатками на основании полевых исследований и данных дистанционного зондирования земли дает метод моделирования на основании данных, полученных в результате камерального определения проективного покрытия, при котором используется наложение цифровой сетки на фотографии, сделанные в полевых условиях с дальнейшей обработкой изображения.
2. Данные спектрального индекса NDTI позволяют анализировать в динамике характер проективного покрытия почв поля растительными остатками в масштабе отдельных полей и хозяйств.
3. Исходный алгоритм обработки данных ДЗЗ для получения CRC на основании NDTI, предложенный в литературе, требует доработки. Построение масок на основании данных NDVI  $> 0.3$  не является оптимальным в силу возникающих ошибок. Требуется более точный подбор порогового значения NDVI или использование иного вегетационного индекса.
4. Апробация предложенного подхода демонстрирует возможности его применения для решения задач контроля и управления растительными остатками в системах ресурсосберегающего земледелия и имеет перспективу для внедрения в условиях производ-

ства.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Белобров В.П., Дридигер В.К., Юдин С.А., Ермолаев Н.Р., Докучаева В.В. К вопросу о диагностике и защите почв от дефляции в Ставропольском крае // Аграрный вестник Урала. 2021. Т. 02. № 205. С. 12–25.
2. Дридигер В.К., Иванов А.Л., Белобров В.П., Кутовая О.В. Восстановление свойств почв в технологии прямого посева // Почвоведение. 2020а. № 9. С. 1111–1120.
3. Дридигер В.К., Белобров В.П., Антонов С.А., Юдин С.А., Гаджумаров Г.С., Лиходиевская С.А., Ермолаев Н.Р. Защита почв от водной эрозии и дефляции в технологии no-till // Земледелие. 2020b. Т. 6. С. 11–17.
4. Ермолаев Н.Р., Юдин С.А., Белобров В.П., Дридигер В.К., Гаджумаров Р.Г. Идентификация прямого посева (no-till) по растительным остаткам на поверхности почв при использовании мультитременного интегрального индекса minNDTI // АгроЭкоИнфо. 2021. Т. 4. № 46. С. 1–14.
5. Иванов А.Л., Кулинцев В.В., Дридигер В.К., Белобров В.П. Освоение технологии прямого посева на черноземах России // Достижения науки и техники в АПК. 2021. Т. 35. № 4. С. 8–16.
6. Кулинцев В.В. Система земледелия нового поколения Ставропольского края. Ставрополь: АГРУС Ставропольского гос. аграрного ун-та, 2013. 520 с.
7. 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.
8. Единый государственный реестр почвенных ресурсов России. Версия 1.0 / Под ред. Иванова А.Л., Шобы С.А. М.: Почв. ин-т им. В.В. Докучаева. Тул-а: Гриф и К, 2014. 768 с.
9. Расписание погоды. URL: <https://rp5.ru/>.
10. Aguilar J., Evans R., Vigil M., Daughtry C.S.T. Remotely sensed estimates of crop residue cover for standing and flat wheat stubble // Am. Soc. Agric. Biol. Eng. Annu. Int. Meet. 2012, Vol. 2. P. 1610–1618.
11. Baker C.J., Saxton K.E., Ritchie W.R., Chamen W.C.T., Reicosky D.C., Ribeiro M.F.S., Justice S.E., Hobbs P.R. No-tillage seeding in conservation agriculture: Second edition. 2006. 326 p.

12. *Beeson P.C., Daughtry C.S.T., Wallander S.A.* Estimates of conservation tillage practices using landsat archive // *Remote Sens.* 2020. Vol. 12. No. 16. P. 1–18.
13. *Chen Z., Chen W., Leblanc S.G., Henry G.H.R.* Digital Photograph Analysis for Measuring Percent Plant Cover in the Arctic // *ARCTIC.* 2010. Vol. 63. No. 3. P. 261–379.
14. *Daughtry C.S.T., Hunt E.R., Doraiswamy P.C., McMurtrey J.E.* Remote sensing the spatial distribution of crop residues // *Agron. J.* 2005. Vol. 97. No. 3. P. 864–871.
15. *Demarez V., Duthoit S., Baret F., Weiss M., Dedieu G.* Estimation of leaf area and clumping indexes of crops with hemispherical photographs // *Agric. For. Meteorol.* 2008. Vol. 148. No. 4. P. 644–655.
16. *Dethier M.N., Graham E.S., Cohen S., Tear L.M.* Visual versus random-point percent cover estimations: “objective” is not always better” // *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 1993. Vol. 96. No. 1. P. 93–100.
17. *Eskandari I., Navid H., Rangzan K.* Evaluating spectral indices for determining conservation and conventional tillage systems in a vetch-wheat rotation // *Int. Soil Water Conserv. Res.* 2016. Vol. 4. No. 2. P. 93–98.
18. *Google Earth Engine.* Earth Engine Data Catalog.
19. *Hively W.D., Lamb B.T., Daughtry C.S.T., Shermeyer J., McCarty G.W., Quemada M.* Mapping crop residue and tillage intensity using WorldView-3 satellite shortwave infrared residue indices // *Remote Sens.* 2018. Vol. 10. No. 10. 1657.
20. *Hofmann Strobl J., Blaschke T.P.* A method for adopting global image segmentation methods to images of different resolutions. // *International Archives of Photogrammetry.* 2008. P. 343–349.
21. *Hulet A., Roundy B.A., Petersen S.L., Jensen R.R., Bunting S.C.* Cover estimations using object-based image analysis rule sets developed across multiple scales in Pinyon-Juniper Woodlands // *Rangel. Ecol. Manag.* 2014. Vol. 67. No. 3. P. 318–327.
22. *Jin X., Ma J., Wen Z., Song K.* Estimation of maize residue cover using Landsat-8 OLI image spectral information and textural features // *Remote Sens.* 2015. Vol. 7. No. 11. P. 14559–14575.
23. *Johnson J.M.F., Allmaras R.R., Reicosky D.C.* Estimating source carbon from crop residues, roots and rhizodeposits using the national grain-yield database // *Agron. J.* 2006. Vol. 98. No. 3. P. 622–636.
24. *Kiryushin V.I.* Scientific prerequisites of optimization of land resources // *Vestn. Russ. Agric. Sci.* 2019. No. 4. P. 7–10.
25. *Kruskal W.H., Wallis W.A.* Use of ranks in one-criterion variance analysis // *J. Am. Stat. Assoc.* 1952. Vol. 47. No. 260. P. 583–621.

26. *Laamrani A., Joosse P., Feisthauer N.* Determining the number of measurements required to estimate crop residue cover by different methods // *J. Soil Water Conserv.* 2017. Т. 72. № 5. P. 471–479.
27. *Li Y., Li Z., Cui S., Jagadamma S., Zhang Q.* Residue retention and minimum tillage improve physical environment of the soil in croplands: A global meta-analysis // *Soil Tillage Res.* 2019. Vol. 194. No. June. P. 104–292.
28. *McNairn H., Protz R.* Mapping corn residue cover on agricultural fields in oxford county, ontario, using thematic mapper // *Can. J. Remote Sens.* 1993. Vol. 19. No. 2. P. 152–159.
29. *Morrison Jnr J.E., Huang C.H., Lightle D.T., Daughtry C.S.T.* Residue measurement techniques // *J. Soil Water Conserv.* 1993. Vol. 48. No. 6. P. 478–483.
30. *Nagler P.L., Daughtry C.S.T., Goward S.N.* Plant litter and soil reflectance // *Remote Sens. Environ.* 2000. Vol. 71. P. 207–215.
31. *Najafi P., Navid H., Feizizadeh B., Eskandari I.* Object-based satellite image analysis applied for crop residue estimating using Landsat OLI imagery // *Int. J. Remote Sens.* 2018. Vol. 39. No. 19. P. 6117–6136.
32. *Najafi P., Navid H., Feizizadeh B., Eskandari I., Blaschke T.* Fuzzy object-based image analysis methods using Sentinel-2A and Landsat-8 data to map and characterize soil surface residue // *Remote Sens.* 2019. Vol. 11. No. 21. 2583.
33. *Prudnikova E., Savin I., Vindeker G., Grubina P., Shishkonakova E., Sharychev D.* Influence of soil background on spectral reflectance of winter wheat crop canopy // *Remote Sens.* 2019. Vol. 11. No. 16. P. 1–25.
34. *Quemada M., Daughtry C.* Spectral Indices to Improve Crop Residue Cover Estimation under Varying Moisture Conditions // *Remote Sens.* 2016. Vol. 8. No. 8. 660.
35. *Scopel E., Triomphe B., Affholder F., Silva F.A.M.E. Da, Corbeels M., Xavier J.H.V., Lahmar R., Recous S., Bernoux M., Blanchart E., Carvalho Mendes I. De, Tourdonnet S. De.* Conservation agriculture cropping systems in temperate and tropical conditions, performances and impacts. A review // *Agron. Sustain. Dev.* 2013. Vol. 33. No. 1. P. 113–130.
36. *Sharma V., Irmak S., Kilic A., Sharma V., Gilley J.E., Meyer G.E., Knezevic S.Z., Marx D.* Quantification and mapping of surface residue cover for maize and soybean fields in south central Nebraska // *Trans. ASABE.* 2016. Vol. 59. No. 3. P. 925–939.
37. *Shelton D.P.* Estimating percent residue cover using the line-transect method // *Eng. Ext. Agric.* 2009. No. January. P. 1–3.

38. *Shelton D.P.* Estimating percent residue cover using the calculation method // *Hist. Mater. from Univ. Nebraska-Lincoln Ext.* 1995. No. January. P. 1–3.
39. *South S., Qi J., Lusch D.P.* Optimal classification methods for mapping agricultural tillage practices // *Remote Sens. Environ.* 2004. Vol. 91. No. 1. P. 90–97.
40. *Sullivan D.G., Lee D., Beasley J., Brown S., Williams E.J.* Evaluating a crop residue cover index for determining tillage regime in a cotton-corn-peanut rotation // *J. Soil Water Conserv.* 2008. Vol. 63. No. 1. P. 28–36.
41. *Tucker C.J.* Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation // *Remote Sens. Environ.* 1979. Vol. 8. No. 2. P. 127–150.
42. *Vanha-Majamaa I., Salemaa M., Tuominen S., Mikkola K.* Digitized photographs in vegetation analysis – a comparison of cover estimates // *Appl. Veg. Sci.* 2000. Vol. 3. No. 1. P. 89–94.
43. *Weiss M., Jacob F., Duveiller G.* Remote sensing for agricultural applications: A meta-review // *Remote Sens. Environ.* 2020. Vol. 236. 111402.
44. *Wit A.R.V. De.* A dataset of spectral and biophysical measurements over Russian wheat fields // *Open Data J. Agric. Res.* 2018. Vol. 4. P. 22–27.
45. *Zhang P., Wei T., Jia Z., Han Q., Ren X., Li Y.* Effects of straw incorporation on soil organic matter and soil water-stable aggregates content in semiarid regions of Northwest China // *PLoS One.* 2014. Vol. 9. No. 3. e92839.
46. *Zheng B., Campbell J.B., Serbin G., Daughtry C.S.T.* Multitemporal remote sensing of crop residue cover and tillage practices: A validation of the minNDTI strategy in the United States // *J. Soil Water Conserv.* 2013a. Vol. 68. No. 2. P. 120–131.
47. *Zheng B., Campbell J.B., Beurs K.M. de.* Remote sensing of crop residue cover using multi-temporal Landsat imagery // *Remote Sens. Environ.* 2012. Vol. 117. P. 177–183.
48. *Zheng B., Campbell J.B., Shao Y., Wynne R.H.* Broad-Scale Monitoring of Tillage Practices Using Sequential Landsat Imagery // *Soil Sci. Soc. Am. J.* 2013b. Vol. 77. No. 5. P. 1755–1764.

## REFERENCES

1. Belobrov V.P., Dridiger V.K., Judin S.A., Ermolaev N.R., Dokuchaeva V.V., K voprosu o diagnostike i zashhite pochv ot defljacii v Stavropol'skom krae (On the issue of diagnostics and protection of soils from deflation in the Stavropol Territory), *Agrarnyj vestnik Urala*, 2021, Vol. 02,

No. 205, pp. 12–25.

2. Dridiger V.K., Ivanov A.L., Belobrov V.P., Kutovaja O.V., Vosstanovlenie svojstv pochv v tehnologii prjamogo poseva (Restoration of soil properties in direct seeding technology), *Pochvovedenie*, 2020a, No. 9, pp. 1111–1120.
3. Dridiger V.K., Belobrov V.P., Antonov S.A., Judin S.A., Gadzhumarov G.S., Lihodievskaja S.A., Ermolaev N.R., Zashhita pochv ot vodnoj jerozii i defljacii v tehnologii no-till (Soil protection from water erosion and deflation in no-till technology), *Zemledelie*, 2020b, Vol. 6, pp. 11–17.
4. Ermolaev N.R., Judin S.A., Belobrov V.P., Dridiger V.K., Gadzhumarov R.G., Identifikacija prjamogo poseva (no-till) po rastitel'nyh ostatkam na poverhnosti pochv pri ispol'zovanii mul'tivremennogo integral'nogo indeksa minNDTI (Identification of direct sowing (no-till) by plant residues on the soil surface using the multitemporal integral index minNDTI), *AgroJekoInfo*, 2021, Vol. 4, No. 46, pp. 1–14.
5. Ivanov A.L., Kulincev V.V., Dridiger V.K., Belobrov V.P., Osvoenie tehnologii prjamogo poseva na chernozemah Rossii (Mastering the technology of direct sowing on the chernozems of Russia), *Dostizhenija nauki i tehniki v APK*, 2021, Vol. 35, No. 4, pp. 8–16.
6. Kulincev V.V., *Sistema zemledelija novogo pokolenija Stavropol'skogo kraja* (Farming system of a new generation in the Stavropol Territory), Stavropol': AGRUS Stavropol'skogo gos. agrarnogo un-ta, 2013, 520 p.
7. Kholodov V.A., Jaroslavceva N.V., Farhodov Yu.R., Belobrov V.P., Yudin S.A., Ajdiev A.Ja., Lazarev V.I., Frid A.S., Izmenenie sootnoshenija frakcij agregatov v gumusovyh gorizontah chernozemov v razlichnyh uslovijah zemlepol'zovanija (Changes in the ratio of aggregate fractions in the humus horizons of chernozems under different land use conditions), *Pochvovedenie*, 2019, No. 2, pp. 184–193.
8. Ivanov A.L., Shoba S.A. (Eds), *Edinyj gosudarstvennyj reestr pochvennyh resursov Rossii. Versija 1.0* (Unified State Register of Soil Resources of Russia. Version 1.0), Moscow: Pochv. in-t im. V.V. Dokuchaeva, Tul-a: Grif i K, 2014, 768 p.
9. *Raspisanie pogody* (Weather schedule), URL: <https://rp5.ru/>.
10. Aguilar J., Evans R., Vigil M., Daughtry C.S.T., Remotely sensed estimates of crop residue cover for standing and flat wheat stubble, *Am. Soc. Agric. Biol. Eng. Annu. Int. Meet.*, 2012, Vol. 2, pp. 1610–1618.
11. Baker C.J., Saxton K.E., Ritchie W.R., Chamen W.C.T., Reicosky D.C., Ribeiro M.F.S., Justice S.E., Hobbs P.R., *No-tillage seeding in conservation agriculture: Second edition.*, 2006, 326 p.
12. Beeson P.C., Daughtry C.S.T., Wallander S.A., Estimates of conservation

tillage practices using landsat archive, *Remote Sens.*, 2020, Vol. 12, No. 16, pp. 1–18.

13. Chen Z., Chen W., Leblanc S.G., Henry G.H.R., Digital Photograph Analysis for measuring percent plant cover in the Arctic, *ARCTIC*, 2010, Vol. 63, No. 3.

14. Daughtry C.S.T., Hunt ER., Doraiswamy P. C., McMurtrey J.E., Remote sensing the spatial distribution of crop residues, *Agron. J.*, 2005, Vol. 97, No. 3, pp. 864–871.

15. Demarez V., Duthoit S., Baret F., Weiss M., Dedieu G., Estimation of leaf area and clumping indexes of crops with hemispherical photographs, *Agric. For. Meteorol.*, 2008, Vol. 148, No. 4, pp. 644–655.

16. Dethier M.N., Graham E.S., Cohen S., Tear L.M., Visual versus random-point percent cover estimations: “objective” is not always better”, *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 1993, Vol. 96, No. 1, pp. 93–100.

17. Eskandari I., Navid H., Rangzan K., Evaluating spectral indices for determining conservation and conventional tillage systems in a vetch-wheat rotation, *Int. Soil Water Conserv. Res.*, 2016, Vol. 4, No. 2, pp. 93–98.

18. Google Earth Engine. Earth Engine Data Catalog.

19. Hively W.D., Lamb B.T., Daughtry C.S.T., Shermeyer J., McCarty G.W., Quemada M., Mapping crop residue and tillage intensity using WorldView-3 satellite shortwave infrared residue indices, *Remote Sens.*, 2018, Vol. 10, No. 10, 1657.

20. Hofmann Strobl J., Blaschke T.P., A method for adopting global image segmentation methods to images of different resolutions, *International Archives of Photogrammetry*, 2008, pp. 343–349.

21. Hulet A., Roundy B.A., Petersen S.L., Jensen R.R., Bunting S.C., Cover estimations using object-based image analysis rule sets developed across multiple scales in Pinyon-Juniper Woodlands, *Rangel. Ecol. Manag.*, 2014, Vol. 67, No. 3, pp. 318–327.

22. Jin X., Ma J., Wen Z., Song K., Estimation of maize residue cover using Landsat-8 OLI image spectral information and textural features, *Remote Sens.* 2015, Vol. 7, No. 11, pp. 14559–14575.

23. Johnson J.M.F., Allmaras R.R., Reicosky D.C., Estimating source carbon from crop residues, roots and rhizodeposits using the national grain-yield database, *Agron. J.*, 2006, Vol. 98, No. 3, pp. 622–636.

24. Kiryushin V.I., Scientific prerequisites of optimization of land resources, *Vestn. Russ. Agric. Sci.*, 2019, No. 4, pp. 7–10.

25. Kruskal W.H., Wallis W.A., Use of ranks in one-criterion variance analysis, *J. Am. Stat. Assoc.*, 1952, Vol. 47, No. 260, 583 p.

26. Laamrani A., Joosse P., Feisthauer N., Determining the number of measurements required to estimate crop residue cover by different methods, *J.*

*Soil Water Conserv.*, 2017, Vol. 72, No. 5, pp. 471–479.

27. Li Y., Li Z., Cui S., Jagadamma S., Zhang Q. Residue retention and minimum tillage improve physical environment of the soil in croplands: A global meta-analysis, *Soil Tillage Res.*, 2019, Vol. 194, No. June, pp. 104–292.

28. McNairn H., Protz R., Mapping corn residue cover on agricultural fields in oxford county, ontario, using thematic mapper, *Can. J. Remote Sens.*, 1993, Vol. 19, No. 2, pp. 152–159.

29. Morrison Jnr J.E., Huang C.H., Lightle D.T., Daughtry C.S.T., Residue measurement techniques, *J. Soil Water Conserv.*, 1993, Vol. 48, No. 6, pp. 478–483.

30. Nagler P.L., Daughtry C.S.T., Goward S.N., Plant litter and soil reflectance, *Remote Sens. Environ.*, 2000, Vol. 71, pp. 207–215.

31. Najafi P., Navid H., Feizizadeh B., Eskandari I., Object-based satellite image analysis applied for crop residue estimating using Landsat OLI imagery, *Int. J. Remote Sens.*, 2018, Vol. 39, No. 19, pp. 6117–6136.

32. Najafi P., Navid H., Feizizadeh B., Eskandari I., Blaschke T., Fuzzy object-based image analysis methods using Sentinel-2A and Landsat-8 data to map and characterize soil surface residue, *Remote Sens.*, 2019, Vol. 11, No. 21, 2583.

33. Prudnikova E., Savin I., Vindeker G., Grubina P., Shishkonakova E., Sharychev D., Influence of soil background on spectral reflectance of winter wheat crop canopy, *Remote Sens.*, 2019, Vol. 11, No. 16, pp. 1–25.

34. Quemada M., Daughtry C., Spectral indices to improve crop residue cover estimation under varying moisture conditions, *Remote Sens.*, 2016, Vol. 8, No. 8, 660 p.

35. Scopel E., Triomphe B., Affholder F., Silva F.A.M.E. Da, Corbeels M., Xavier J.H.V., Lahmar R., Recous S., Bernoux M., Blanchart E., Carvalho Mendes I. De, Tourdonnet S. De., Conservation agriculture cropping systems in temperate and tropical conditions, performances and impacts, A review, *Agron. Sustain. Dev.*, 2013, Vol. 33, No. 1, pp. 113–130.

36. Sharma V., Irmak S., Kilic A., Sharma V., Gilley J.E., Meyer G.E., Knezevic S.Z., Marx D., Quantification and mapping of surface residue cover for maize and soybean fields in south central Nebraska, *Trans. ASABE*, 2016, Vol. 59, No. 3, pp. 925–939.

37. Shelton D.P., Estimating percent residue cover using the line-transect method, *Eng. Ext. Agric.*, 2009, No. January, pp. 1–3.

38. Shelton D.P., Estimating percent residue cover using the calculation method, *Hist. Mater. from Univ. Nebraska-Lincoln Ext.*, 1995, No. January, pp. 1–3.

39. South S., Qi J., Lusch D.P., Optimal classification methods for mapping

agricultural tillage practices, *Remote Sens. Environ.*, 2004, Vol. 91, No. 1, pp. 90–97.

40. Sullivan D.G., Lee D., Beasley J., Brown S., Williams E.J., Evaluating a crop residue cover index for determining tillage regime in a cotton-corn-peanut rotation, *J. Soil Water Conserv.*, 2008, Vol. 63, No. 1, pp. 28–36.

41. Tucker C.J., Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation, *Remote Sens. Environ.*, 1979, Vol. 8, No. 2, pp. 127–150.

42. Vanha-Majamaa I., Salemaa M., Tuominen S., Mikkola K., Digitized photographs in vegetation analysis – a comparison of cover estimates, *Appl. Veg. Sci.*, 2000, Vol. 3, No. 1, pp. 89–94.

43. Weiss M., Jacob F., Duveiller G., Remote sensing for agricultural applications: A meta-review, *Remote Sens. Environ.*, 2020, Vol. 236, 111402.

44. Wit A.R.V. De., A dataset of spectral and biophysical measurements over Russian wheat fields, *Open Data J. Agric. Res.*, 2018, Vol. 4, pp. 22–27.

45. Zhang P., Wei T., Jia Z., Han Q., Ren X., Li Y., Effects of straw incorporation on soil organic matter and soil water-stable aggregates content in semiarid regions of Northwest China, *PLoS One*, 2014, Vol. 9, No. 3, e92839.

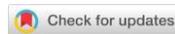
46. Zheng B., Campbell J.B., Serbin G., Daughtry C.S.T., Multitemporal remote sensing of crop residue cover and tillage practices: A validation of the minNDTI strategy in the United States, *J. Soil Water Conserv.*, 2013a, Vol. 68, No. 2, pp. 120–131.

47. Zheng B., Campbell J.B., Beurs K.M. de, Remote sensing of crop residue cover using multi-temporal Landsat imagery, *Remote Sens. Environ.*, 2012, Vol. 117, pp. 177–183.

48. Zheng B., Campbell J.B., Shao Y., Wynne R.H., Broad-scale monitoring of tillage practices using sequential Landsat imagery, *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 2013b, Vol. 77, No. 5, pp. 1755–1764.

УДК 632.111.7:632\*232.33

DOI: 10.19047/0136-1694-2022-112-160-180



### Ссылки для цитирования:

Кулик А.В., Гордиенко О.А., Шайфуллин М.Р. Динамика промерзания и оттаивания почвы в агролесоландшафте // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. 2022. Вып. 112. С. 160-180. DOI: 10.19047/0136-1694-2022-112-160-180

### Cite this article as:

Kulik A.V., Gordienko O.A., Shaifullin M.R., Dynamics of soil freezing and thawing in the agroforestry landscape, Dokuchaev Soil Bulletin, 2022, V. 112, pp. 160-180, DOI: 10.19047/0136-1694-2022-112-160-180

### Благодарность:

Работа выполнена в рамках государственного задания ФГБНУ Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения РАН № FNFE-2022-0012.

### Acknowledgments:

The work was performed within the framework of the state assignment of the Federal Scientific Centre of Agroecology, Complex Melioration, and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences (No. FNFE-2022-0012).

## Динамика промерзания и оттаивания почвы в агролесоландшафте

© 2022 г. А. В. Кулик\*, О. А. Гордиенко\*\*, М. Р. Шайфуллин\*\*\*

*ФГБНУ Федеральный научный центр агроэкологии,  
комплексных мелиораций и защитного лесоразведения*

*РАН (ФНЦ агроэкологии РАН), Россия,*

*400062, Волгоград, пр-т Университетский, д. 97,*

*\*<https://orcid.org/0000-0001-8736-5464>, e-mail: [kulik-a@vfanc.ru](mailto:kulik-a@vfanc.ru),*

*\*\*<https://orcid.org/0000-0001-5381-9114>,*

*\*\*\*<https://orcid.org/0000-0001-5055-7251>.*

*Поступила в редакцию 30.09.2022, после доработки 21.10.2022,  
принята к публикации 08.11.2022*

**Резюме:** В работе представлена динамика промерзания и оттаивания почвы в агролесоландшафте сухостепной зоны. Эти процессы в зимы с неустойчивым снежным покровом имеют свои особенности. Целью данного исследования стало изучение характера промерзания и

оттаивания почвы в агролесоландшафте в условиях малоснежной зимы. Наблюдения проводились в зимний период 2020–2021 г. на действующем стоково-эрозионном стационаре в г. Волгоград. Изучение динамики промерзания и оттаивания почвы осуществлялось с помощью мерзлотометров Данилина, установленных в поле и в центре четырехрядной лесополосы. Одновременно проводили замеры высоты снежного покрова в трехкратной повторности снегомерной рейкой. Погодные условия отличались чередованием оттепелей, способствующих сходу снежного покрова, с заморозками, приводившими к увеличению глубины промерзания почвы. Формирование снежного покрова высотой 10–15 см не повлияло на различия в промерзании почвы. При отсутствии снега на фоне непродолжительной оттепели нижняя граница промерзшего слоя в поле уменьшилась на 11 см, по сравнению с насаждением, которое даже в безлиственном состоянии повлияло на поступление тепловой энергии солнца. Среднее промерзание в конце зимы составило в поле 85 см, в лесополосе – 67 см. Оттаивание в поле происходило быстрее. За первые две недели скорость оттаивания почвы в поле составило в среднем 2.3 см/день, а в лесополосе – 1.3 см/день. После чего глубина промерзания во всем агролесоландшафте сравнялась. За последующие две недели скорость оттаивания увеличилась в два раза. После полного оттаивания почвы в поле в лесной полосе мощность замерзшего слоя составила в среднем 32 см.

**Ключевые слова:** глубина промерзания почв, лесополоса, поле, агролесоландшафт, оттаивание почв, Волгоград.

## Dynamics of soil freezing and thawing in the agroforestry landscape

© 2022 A. V. Kulik\*, O. A. Gordienko\*\*, M. R. Shaifullin\*\*\*

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

\*<https://orcid.org/0000-0001-8736-5464>, e-mail: [kulik-a@vfanc.ru](mailto:kulik-a@vfanc.ru),

\*\*<https://orcid.org/0000-0001-5381-9114>,

\*\*\*<https://orcid.org/0000-0001-5055-7251>.

*Received 30.09.2022, Revised 21.10.2022, Accepted 08.11.2022*

**Abstract:** The article presents the dynamics of soil freezing and thawing in the agroforestry landscape of the dry-steppe zone. These processes in winters with

unstable snow cover have their own characteristics. The purpose of this study was to investigate the character of soil freezing and thawing in the agroforestry landscape under conditions of low snowfall winters. Observations were carried out in the winter period of 2020–2021 at the existing runoff-erosion research station in Volgograd. The dynamics of soil freezing and thawing was studied using Danilin freeze-thaw meters installed in the field and in the center of a four-row forest belt. Simultaneously, snow cover height was measured in triplicate with a snow measuring rod. The weather conditions were characterized by alternating thaws, which promoted snow cover melt, and frosts, which increased the depth of soil freezing. The formation of a 10–15 cm snow cover did not affect soil freezing. In the absence of snow on the background of a brief thaw, the lower boundary of the frozen layer in the field decreased by 11 cm compared to the forest belt, which even in the leafless state affected the inflow of solar thermal energy. Average freezing at the end of winter was 85 cm in the field and 67 cm in the forest belt. Thawing in the field was faster. During the first two weeks, the rate of soil thawing averaged 2.3 cm/day in the field and 1.3 cm/day in the forest belt. After that, the depth of freezing in the whole agroforestry landscape became equal. During the next two weeks, the thawing rate doubled. After complete soil thawing in the field in the forest belt, the thickness of the frozen layer averaged 32 cm.

**Keywords:** soil freezing depth, forest belt, field, agroforestry landscape, soil thawing, Volgograd.

## ВВЕДЕНИЕ

Глубина промерзания почвы является одним из лимитирующих факторов формирования поверхностного стока талых вод ([Барабанов, 2018](#); [Комиссаров, Габассова, 2014](#)). Ее значение зависит от высоты снежного покрова, влажности почвы, динамики температурного режима приземного слоя воздуха в зимний период, характеристик почвенного покрова ([Калужный, 2016](#)). Важную роль имеет очередность процессов снижения температуры воздуха и выпадения осадков в виде снега. Снежный покров является природным теплоизолятором, поэтому большое значение имеет время его образования: до наступления холодов или после ([Осокин, Сосновский, 2016](#)), – что влияет на характер формирования эрозионно-гидрологического процесса. Юньлун Ли и др. ([2021](#)) отмечают, что чем мощнее снежный покров, тем позже весной образуется поверхностный сток талых вод. При неравномер-

ном распределении снега в пределах агроландшафта возникает разница в его мощности. В период снеготаяния это приводит к различию в увлажнении поверхностного слоя почвы, что отражается на изменении времени инфильтрации талой воды. Снег, в свою очередь, обладает определенной водоаккумулирующей способностью и задерживает оттаивание почвы сверху.

При повышении температуры воздуха и прогревании поверхности снежного покрова талая вода, просачиваясь в направлении к поверхности почвы, первоначально приводит к уплотнению снега и только потом начинает впитываться в почву. При глубоком промерзании (более 50 см) и увлажнении верхнего (0–30 см) слоя почвы до уровня, близкого к полной влагоемкости, может сформироваться поверхностный сток талых вод. Процессом промерзания почвы можно управлять различными способами через изменение характера отложения снега на поверхности агроландшафта ([Петелько и др., 2018](#); [Yanai et al., 2017](#)), в том числе путем создания систем защитных лесных полос ([Барабанов, 2018](#); [Евсеева и др., 2017](#); [Сосновский и др., 2018](#)). Лесополосы, воздействуя на снижение скорости ветрового потока при метелях, способствуют осаждению снежных частиц в зоне своего влияния (до 30 высот). При этом они обеспечивают сохранение снега на межполосных полях, препятствуя его сносу в гидрографическую сеть; а также его накоплению внутри насаждений, повышая весеннюю влагозарядку древостоя.

В агролесоландшафте на поле, по сравнению с лесополосой, почва промерзает сильнее. Разницу в значениях связывают с наличием в насаждении лесной подстилки, большим накоплением снега, с отличиями в поглощении солнечной радиации и ветровом режиме ([Воронков, 1988](#); [Калинин, 1982](#)). Наличие подстилки в лесу, с одной стороны, препятствует глубокому промерзанию почв, с другой – задерживает срок полного оттаивания почвы ([Китредж, 1951](#)). В изучаемом полосном насаждении мощность лесной подстилки не превышает 1 см. Ежегодный лиственный опад полностью из него выдувается вследствие ветровой и метельной активности, поэтому ее влияние отсутствует. Снег на кронах деревьев не задерживается, так как лесополоса состоит из лиственных пород с высокой степенью ажурности.

Для условий сухой степи в зимний период характерен неустойчивый снежный покров из-за череды кратковременных оттепелей. Нередко высота снега не превышает 10 см. Промерзание почвы здесь происходит в несколько этапов, при которых чередуются процессы промораживания и оттаивания. При этом динамика глубины промерзания в поле и в лесополосе различна. Целью данного исследования являлось изучение характера промерзания и оттаивания почвы в агролесоландшафте в условиях малоснежной зимы.

## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

### Объект исследования и природно-климатические особенности

Динамика процессов промерзания и оттаивания почвы изучалась на территории стоково-эрозионного стационара “Амфитеатр” ФНЦ агроэкологии РАН г. Волгограда (48°37'59"–48°37'55" с. ш., 44°24'12"–44°24'56" в. д.) в системе стокорегулирующих лесополос. Объект исследования представляет собой агролесоландшафт, расположенный на склоне восточной экспозиции протяженностью 950 м с базисом эрозии 67 м и средней крутизной 3–4°. В геоморфологическом отношении территория относится к южному окончанию Приволжской возвышенности. Склон находится на границе двух водосборов балок Пахотина и Григорова. Здесь получили распространение разные подтипы агроземов – от аккумулятивно-карбонатных (Calcic Kastanozems (Loamic, Aric)) до глинисто-иллювирированных (Eutric Cambisols (Siltic, Aric, Protocalcic)) на палево-желтых легких и средних суглинках ([Гордиенко, Иванцова, 2021](#)).

Климат территории резко континентальный. Среднеголетняя сумма осадков 350 мм ([Сажин и др., 2001](#)). Зимы холодные и малоснежные. Морозный период в среднем длится со второй декады ноября по конец марта. Период со снежным покровом составляет около 96 дней. За период от начала его формирования до полного схода в среднем выпадает 150 мм осадков. В последние годы зимы становятся теплее и нередко во время оттепелей идут

дожди, способствующие сходу снежного покрова и, после возвращения заморозков, увеличению глубины промерзания почв. Последующее снижение температуры воздуха приводит к промораживанию верхнего слоя почвы, а выпавший снег препятствует прогреванию поверхности. Весной это снижает инфильтрацию талой воды и провоцирует потерю влаги в результате формирования поверхностного стока талых вод ([Кулик, Гордиенко, 2022](#)).

Исследование процессов промерзания и оттаивания почвы осуществлялось в поле и в четырехрядной лесной полосе, состоящей из ясеня ланцетного (*Fraxinus lanceolata*), смородины золотистой (*Ribes aureum*) и спиреи зверобоелистной (*Spiraea hypericifolia*). Средняя высота древостоя 7 м, средний диаметр – 10 см. Ширина междурядий 3 м, шаг посадки 1 м.

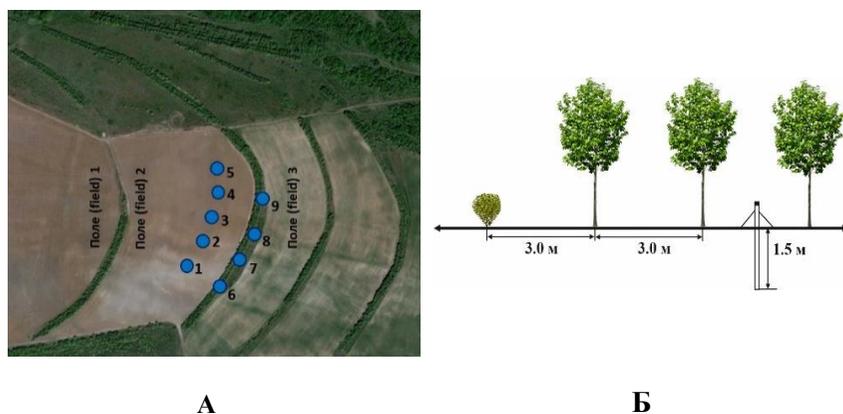
Характер снегоотложения зависит не только от направления и скорости ветра при снегопадах, но и от расположения лесной полосы относительно снегопереноса. Используя формулу Е.А. Гаршинова ([2002](#)) для определения суммарной дальности ветроломного влияния лесополосы на основе анализа розы метелей, установили, что эффективность снегозадержания насаждения, при учете направления ветров при снегопадах, за исследуемый период составила 82.6%, поэтому можно утверждать о ее высокой снегозадерживающей роли, исключая потери на вынос снежных частиц.

### **Методы исследования и используемое оборудование**

Глубина промерзания почвы изучалась с использованием мерзлотомеров Данилина ([Кулик и др., 2018](#)), расположенных в поле (рис. 1А) и в лесной полосе (рис. 1Б). Устанавливали их поздней осенью до начала падения температуры воздуха ниже 0 °С и выпадения осадков в виде снега.

Наблюдения за динамикой промерзания осуществлялись один раз в неделю, при резких перепадах температуры – ежедневно. Параллельно проводились замеры высоты снежного покрова в трехкратной повторности снегомерной рейкой. В период весеннего снеготаяния учитывалась глубина промерзания одновременно с глубиной оттаивания почвы сверху ([Iwata et al., 2012](#)). Статистическая обработка материалов проводилась в XLstat. Названия почв

даны в соответствии с полевым определителем почв России 2008 г. с дополнениями 2021–2022 гг. и международной классификацией почв WRB–2014 (update, 2015) ([Полевой определитель..., 2008](#); [Хитров, Герасимова, 2021](#); [WRB..., 2014](#)).



**Рис. 1.** Размещение мерзлотометров Данилина в агролесоландшафте: 1–5 – в поле, 6–9 – в лесной полосе.

**Fig. 1.** Placement of Danilin frost-depth meter in the agroforestry landscape: 1–5 – in the field, 6–9 – in the forest belt.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

### Погодные условия зимнего периода 2020–2021 г.

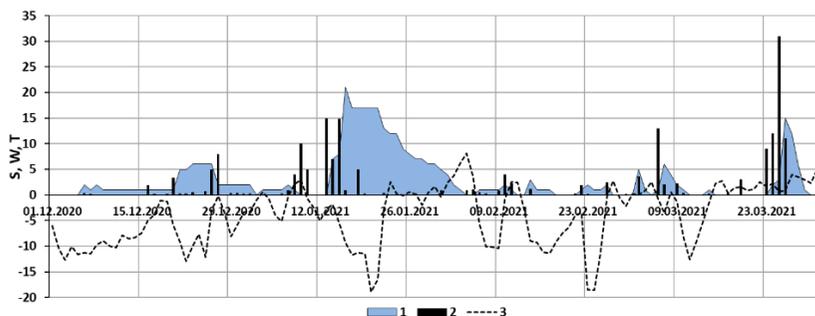
На динамику промерзания почвы и ее оттаивание, в первую очередь, влияют погодные условия, отличающиеся в зоне сухих степей своей переменчивостью. В целом зимний период 2020–2021 гг. выдался теплым, за исключением его начала. Устойчивое снижение температуры воздуха (до  $-14.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) наблюдалось с конца второй декады декабря. В третьей декаде месяца после метелей высота снежного покрова составила 5–6 см. Несмотря на продолжительную оттепель в течение 5 дней при повышении температуры воздуха до  $+1\text{ }^{\circ}\text{C}$ , декабрь был холоднее на  $1.8\text{ }^{\circ}\text{C}$  среднегодовых значений (табл. 1).

**Таблица 1.** Характеристика температурного режима и количества осадков в зимний период 2020–2021 гг. (составлена по данным метеостанции г. Волгограда)

**Table 1.** Characteristics of temperature and precipitation in winter season 2020–2021 (compiled from data of Volgograd weather station)

Месяцы	Температура воздуха, °С							Осадки, мм						среднеголетние
	средняя			за месяц	min	max	среднеголетняя	декады			за месяц			
	декады							I	II	III	всего	из них		
	I	II	III	снег	дождь									
2020 г.														
XII	-10.2	-5.9	-6.9	-7.7	-16.4	+1.5	-6.1	1	6	16	23	12	11	39
2021 г.														
I	-0.9	-8.0	-1.5	-3.5	-22.0	+4.7	-9.5	21	43	2	66	45	21	26
II	-1.3	-6.2	-6.7	-4.7	-24.6	+9.8	-8.9	8	4	5	17	14	3	28
III	-1.2	-1.9	2.5	-0.2	-16.1	+10.4	-2.6	22	4	63	89	39	50	25

На протяжении последующих месяцев наблюдались сильные перепады минимальных и максимальных температур, доходившие в феврале до  $34.4\text{ }^{\circ}\text{C}$  за месяц. Причиной этому послужили оттепели, при которых наблюдалось потепление в дневные часы до  $+9.8\text{ }^{\circ}\text{C}$ , что отразилось на виде выпадающих осадков. В целом за период с декабря по март (включительно) выпало 195 мм осадков, что на 77 мм больше среднеголетней нормы. Ежемесячно осадки в виде дождя составляли от 32 до 50% от общего их количества, поэтому в течение всего периода исследований снежный покров был неустойчив. Отмечались периоды с его полным отсутствием. Оттепели сменялись морозными периодами, на протяжении которых скорость ветра при снегопадах колебалась от 1 до 8 м/с, составляя в среднем  $2.3 \pm 0.3$  м/с. При этом количество выпадающих осадков в виде снега было незначительным ( $1.9 \pm 0.4$  мм за день). Лишь в середине второй декады января за три дня выпало 36.9 мм (max 15 мм/день), что привело к формированию снежного покрова высотой до 22 см (рис. 2). Устойчивое потепление отмечалось с середины второй декады марта. К концу месяца снежный покров окончательно растаял.



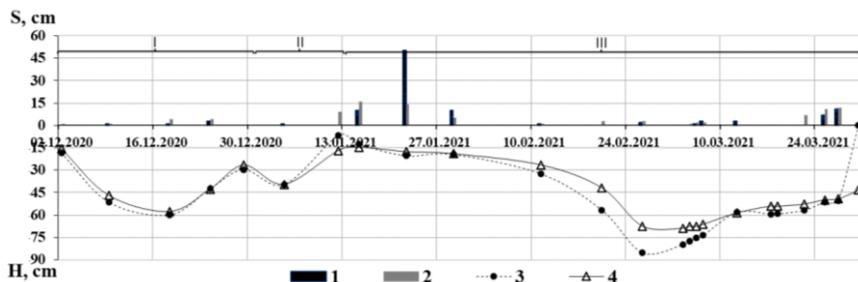
**Рис. 2** Динамика климатических показателей по данным метеостанции г. Волгоград (зима 2020–2021 гг.): 1 – высота снежного покрова (S), см; 2 – количество выпавших осадков (W), мм; 3 – температура воздуха (T),  $^{\circ}\text{C}$ .

**Fig. 2.** Dynamics of climatic indicators according to the data of Volgograd weather station (winter 2020–2021): 1 – height of snow cover (S), cm; 2 – amount of precipitation (W), mm; 3 – air temperature (T),  $^{\circ}\text{C}$ .

### **Изменение глубины промерзания в течение зимы 2020–2021 г.**

По исследованиям Рихтера Г.Д. (1945), суточные колебания температуры воздуха проникают в снежный покров до глубины 25 см. Ниже ее изменения незначительны. На глубине 34–44 см они составляют всего 0.16 °С, поэтому можно допустить, что для снижения промерзания почвы достаточно высоты снежного покрова от 50 см. Погодные условия, сложившиеся в период исследования, не способствовали такому снегонакоплению, поэтому появилась возможность изучения характера промерзания и оттаивания почвы как в поле, так и в лесополосе в условиях малоснежной зимы. Положение точек наблюдения в агролесоландшафте предоставило возможность провести исследование микроклиматических особенностей, складывающихся в насаждении.

Полученные в результате полевых наблюдений данные для поля и лесной полосы усреднены и на их основе построен график динамики глубины промерзания почвы (рис. 3). При анализе показателей в периоды повышения температуры воздуха и выпадения осадков выявлены три периода изменения промерзания. Первый длился в течение декабря. В начале месяца при понижении температуры воздуха до -13.4 °С и отсутствии снежного покрова во всем агролесоландшафте промерзание почвы колебалось в пределах 16–20 см. На протяжении последующих двух недель при устойчивом похолодании до -16.4 °С оно увеличилось в поле до 55–61 см, в лесополосе – до 50–66 см. В течение этого периода высота снега не превышала 1 см. После снегопадов 18 числа (4.7 мм) в поле отложился снежный покров высотой до 4 см, в лесополосе – 3 см, а глубина промерзания на фоне устойчивых отрицательных температур начала сокращаться до 38–47 см и до 36–47 см соответственно. То есть, незначительная высота снежного покрова не повлияла на различия в данных. В конце месяца после оттепели (до +2.4 °С) в течение пяти дней промерзание в поле сократилось в среднем на 16 см, в полосе – на 14 см. При этом снежный покров полностью растаял.



**Рис.3.** Динамика глубины промерзания почвы: S – средняя высота снега (см): 1 – в лесополосе, 2 – в поле; H – средняя глубина промерзания почвы (см): 3 – в поле, 4 – в лесополосе.

**Fig. 3.** Soil freezing depth dynamics: S – average snow height (cm): 1 – in the forest belt, 2 – in the field; H – average soil freezing depth (cm): 3 – in the field, 4 – in the forest belt.

Второй период начался с конца декабря и длился до второй декады января. Отсутствие снега при незначительных отрицательных температурах воздуха (до  $-5.6^{\circ}\text{C}$ ) спровоцировало увеличение глубины промерзания в среднем до 40 см независимо от места расположения мерзлотометров. Последующая оттепель в течение двух дней при потеплении до  $+6.6^{\circ}\text{C}$  привела к снижению промерзания в поле до 6 см, а в лесополосе до 17 см, т. е. насаждение в безлиственном состоянии препятствовало прогреванию поверхности земли.

В начале третьего периода (со второй декады января) после снегопада (15 мм) высота снега в поле составила в среднем 9 см, незначительно (на 1 см) выше, чем в полосе. При этом глубина промерзания колебалась в широких пределах от 10 до 21 см. В течение последующих двух дней на фоне среднесуточной температуры  $-5.5^{\circ}\text{C}$  показатели в агролесоландшафте сравнялись до 12 см. После осадков 15 января (14.9 мм) в поле сформировался снежный покров высотой в среднем 14 см при плотности снега  $0.31\text{ г/см}^3$ , а в лесной полосе – до 48 см и  $0.40\text{ г/см}^3$ , соответственно. На протяжении последующей недели держалось устойчивое похолодание при снижении среднесуточной температуры воздуха до  $-21.2^{\circ}\text{C}$ , что отразилось на глубине промерзания. В поле мак-

симальное значение составило 34 см, в лесополосе – 30 см. Последующая оттепель в течение пяти дней способствовала уменьшению снежного покрова в поле в три раза, в полосе – в шесть раз. Субботин А.И. (1966) установил, что через слой снега мощностью от 5 до 10 см проникает 2–5% солнечной радиации. При увеличении слоя ее проникновение практически отсутствует. Оттаивание почвы с поверхности под невысоким снежным покровом он объясняет тем, что талая вода имеет запас тепла и при контакте с поверхностью почвы способствует ее оттаиванию. При потеплении поступающая тепловая энергия солнца способствовала таянию снега, а непосредственно прогревание поверхности почвы происходило в результате попадания на нее талой воды. Поэтому за этот период промерзание или изменилось незначительно (до 3 см) или осталось неизменным. В начале февраля после оттепелей (до +9.6 °С) снег практически полностью растаял (1 см), а последующее устойчивое похолодание до конца месяца (до -24.3 °С) способствовало увеличению глубины промерзания в поле максимально до 101 см, в лесополосе до 81 см.

При статистической обработке полученных величин промерзания с использованием теста Жака-Бера (табл. 2), установлено, что ряды этих данных принадлежат к ненормальному распределению, поэтому основными их характеристиками послужат значения медианы, а также показатели верхнего и нижнего квартиля. Согласно им, разница глубины промерзания почвы в поле и в лесной полосе при незначительном снежном покрове составляла 5 см. Отмечаются существенные различия в максимальном промерзании, достигающие 20 см.

### **Оттаивание почвы в агролесоландшафте**

С конца февраля началось весеннее потепление до +3.8 °С. К 7 марту оттаивание почвы сверху (по мерзлотомерам Данилина) в среднем в поле составило 11 см, в лесополосе – 6 см. При этом нижняя граница промерзания была на глубине 74 и 66 см соответственно. В последующие дни температура воздуха понижалась до -15.7 °С, что привело к повторному промораживанию почвы сверху. Вместе с этим оттаивание почвы снизу продолжалось и за пятидневный срок сократилось до 57 см в поле и 59 см в полосе.

**Таблица 2.** Проверка значений глубины промерзания в поле и лесной полосе на нормальность распределения

**Table 2.** Checking frost depth values in the field and forest belt for normality of distribution

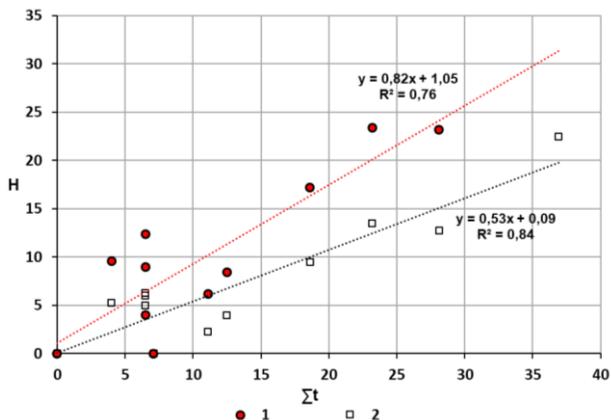
Местоположение	Статистические показатели									
	n	max	min	median	Q1	Q3	std. dev	skewness	kurtosis	Jarque-Bera
Поле	109	101	9	53	34	62	21.1	-0.10	-0.63	60.0
Лесная полоса	118	81	7	48	31	59	18.8	-0.29	-0.85	74.7

**Примечание.** n – количество выборки, max – максимальное значение, median – медиана, Q1 и Q3 – нижний и верхний квартиль; std. dev. – стандартное отклонение, skewness и kurtosis – асимметрия и эксцесс, Jarque-Bera – результат теста Жака-Бера.

С 15 марта сохранялась среднесуточная температура воздуха выше 0 °С, что привело к постепенному размораживанию почвы сверху и уменьшению глубины промерзания почвы в целом. В начале третьей декады марта в течение трех дней выпало 54 мм осадков, из них 31 мм – в виде дождя. Это отразилось на увеличении плотности выпавшего снега до 0.38 г/см<sup>3</sup>. В результате чего сформировался снежный покров в поле высотой 11–12 см (37–44 мм), в лесополосе – 6–10 см (26–30 мм). Несмотря на это к концу месяца на фоне устойчивого потепления до +8.2 °С почва в поле полностью оттаяла, а в лесополосе нижняя граница промерзания сохранилось до глубины 45–50 см. При этом снег на поверхности полностью растаял.

Между среднесуточной положительной температурой воздуха во время весенней оттепели и глубиной оттаивания верхнего слоя почвы в агроландшафте установлена прямая связь (рис. 4). При небольшой высоте снежного покрова (менее 10 см) тепловая энергия солнца способствовала прогреванию поверхностного слоя почвы. Этот процесс в поле происходит более интенсивно, так как здесь нет затенения от древесной растительности, снег тает быстрее, и поверхность раньше освобождается от него. Так, на 28 день после начала весеннего потепления снежный покров во всем агро-

лесоландшафте сошел полностью, и глубина оттаявшего слоя в поле составила 23 см, а в лесной полосе – всего 14 см.

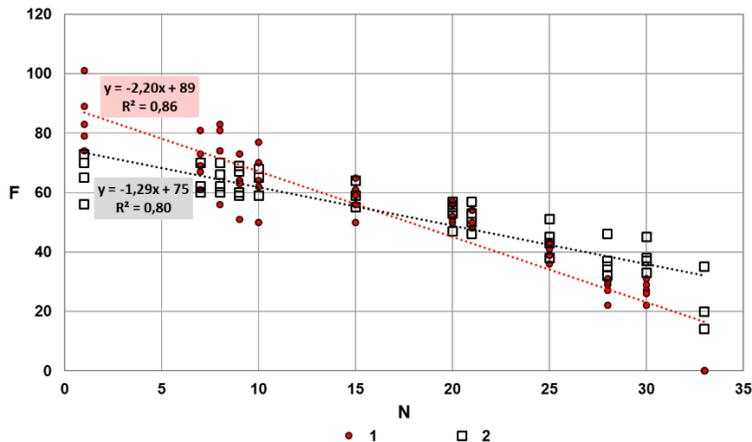


**Рис.4.** Оттаивание почвы сверху в зависимости от температуры воздуха: H – глубина оттаявшего слоя с поверхности почвы, см,  $\Sigma t$  – сумма положительных среднесуточных температур воздуха, 1 – данные наблюдений в поле, 2 – в лесной полосе.

**Fig. 4.** Soil thawing from above depending on air temperature: H – depth of thawed layer from the soil surface, cm,  $\Sigma t$  – sum of positive average daily air temperatures, 1 – observation data in the field, 2 – in the forest belt.

Процесс оттаивания почвы весной происходит не только сверху, но и снизу. Т.П. Марчик, А.Л. Ефремов (2006) отмечают, что “оттаивание идет за счет передачи тепла из нижних горизонтов, когда приток тепла от нижних слоев превышает его потери поверхностью почвы”. Это высказывание подтверждается и результатами наших исследований. После наступления устойчивого потепления, наблюдавшегося после 26 февраля, толщина промерзшего слоя на всех элементах агролесоландшафта заметно сокращалась (рис. 5).

При сопоставлении данных в поле и в лесополосе установлено, что в полевой части уменьшение глубины промерзания почвы происходит быстрее, чем в лесной.



**Рис. 5.** Изменение мощности промерзшего слоя почвы: F – толщина промерзшего слоя почвы (см), N – количество дней от начала весенней оттепели; данные наблюдений: 1 – в поле, 2 – в лесной полосе.

**Fig. 5.** Changes in the thickness of the frozen soil layer: F – thickness of the frozen soil layer (cm), N – number of days from the beginning of the spring thaw; observation data: 1 – in the field, 2 – in the forest belt.

Решив систему уравнений: 
$$\begin{cases} y = -2,20x + 89 \\ y = -1,29x + 75 \end{cases}$$
, получили, что

через 15 дней после начала весенней оттепели толщина промерзшего слоя во всем агролесоландшафте – 55 см. За этот период скорость оттаивания в полевой части составила в среднем 2.3 см/день, а в лесополосе – 1.3 см/день, при среднесуточной средней температуре воздуха +1.0 °С. На 33-й день почва в поле оттаяла полностью, а в полосе величина промерзшего слоя в среднем составила 32 см. При этом скорость оттаивания в поле увеличилась до 4.8 см/день (по расчетным данным) и 6.9 см/день (фактически), и до 2.7 см/день в лесополосе при увеличении среднесуточной положительной температуры до +2.5 °С.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Зима 2020–2021 гг. характеризовалась большими колебаниями температуры воздуха, неоднократными оттепелями и большой долей дождей в сумме осадков, что выразилось в неустойчивости снежного покрова. В начале зимы разницы в глубине промерзания практически не наблюдалось. В течение второго периода выявлено, что на фоне отсутствия снежного покрова и при одинаковом промерзании почвы в агролесоландшафте после непродолжительной оттепели отмечалось уменьшение промерзания. В поле этот процесс шел интенсивнее, чем в лесополосе, разница составила 11 см. Во время третьего периода при неустойчивом снежном покрове и периодических похолоданиях, превышающих  $-20^{\circ}\text{C}$ , максимальное промерзание почвы в поле составило на 20 см больше, чем под насаждениями, где почва промерзала медленнее. Деревья в безлиственном состоянии препятствовали прогреванию поверхности, что приводило к более медленному таянию снега. Оттаивание почвы с поверхности зависело от среднесуточных положительных температур воздуха вследствие невысокого снежного покрова. При полном его отсутствии оттаивание в поле происходило быстрее, чем в лесной полосе.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Барабанов А.Т.* Эрозионно-гидрологическая оценка взаимодействия природных и антропогенных факторов формирования поверхностного стока талых вод и адаптивно-ландшафтное земледелие. Волгоград: ФНЦ агроэкологии РАН, 2017. 188 с.
2. *Воронков Н.А.* Роль лесов в охране вод. Л.: Гидрометеиздат, 1988. 288 с.
3. *Гаршинев Е.А.* Эрозионно-гидрологический процесс и лесомелиорация: Экспериментальная оценка, расчет, проектирование. Волгоград: ВНИАЛМИ, 2002. 220 с.
4. *Гордиенко О.А., Иванцова Е.А.* Морфологические особенности почвенного покрова склоновых земель юга приволжской возвышенности в пределах урболоандшафтов г. Волгограда // Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева. 2021. № 106. С. 77–104. DOI: [10.19047/0136-1694-2021-106-77-104](https://doi.org/10.19047/0136-1694-2021-106-77-104).
5. *Евсеева Н.С., Петров А.И., Каширо М.А., Квасникова З.Н., Батманова А.С., Хон А.В.* Влияние рельефа и растительности на

- распределение снежного покрова в бассейнах малых рек // Геосферные исследования. 2017. № 4. С. 64–74. DOI: [10.17223/25421379/5/6](https://doi.org/10.17223/25421379/5/6).
6. *Калинин М.И.* Лесные мелиорации в условиях эрозионного рельефа. Львов: Вища школа. Изд-во при Львов ун-те, 1982. 279 с.
7. *Калюжный И.Л., Лавров С.А.* Изменчивость глубины промерзания почвы в бассейне р. Волга и ее влияние на процессы формирования зимнего и весеннего стока при изменениях климата // Метеорология и гидрология. 2016. № 7. С. 58–71.
8. *Качинский Н.А.* Замерзание, размерзание и влажность почвы в зимний сезон в лесу и на полевых участках. М.: Изд. Ассоциации Н.-И. Институтов при ф.-м. фак. МГУ, 1927. 168 с.
9. *Китредж Дж.* Влияние леса на климат, почвы и водный режим. М.: Изд-во Иностранной лит-ры, 1951. 456 с.
10. Классификация и диагностика почв СССР. М.: Колос, 1977. 223 с.
11. *Комиссаров М.А., Габбасова И.М.* [Эрозия почв при снеготаянии на пологих склонах в южном Предуралье // Почвоведение. 2014. № 6. С. 734–743. DOI: 10.1134/S1064229314060039](https://doi.org/10.1134/S1064229314060039).
12. *Кулик А.В., Гордиенко О.А.* Условия формирования поверхностного стока талых вод на склоновых землях юга Приволжской возвышенности // Почвоведение. 2022. № 1. С. 44–54. DOI: [10.31857/S0032180X22010099](https://doi.org/10.31857/S0032180X22010099).
13. *Кулик К.Н., Зубов А.Р., Зыков И.Г., Зубов А.А.* Методология изучения эрозионных процессов в лесоаграрных и техногенных ландшафтах. Волгоград: ФНИЦ агроэкологии РАН, 2018. 252 с.
14. *Марчик Т.П., Ефремов А.Л.* Почвоведение с основами растениеводства: учеб. пособие. Гродно: ГрГУ, 2006. 249 с. URL: [https://ebooks.grsu.by/pochva\\_s\\_osn\\_rast/glava-9-teplovye-svoystva-i-teplovoj-rezhim-pochv.htm](https://ebooks.grsu.by/pochva_s_osn_rast/glava-9-teplovye-svoystva-i-teplovoj-rezhim-pochv.htm).
15. *Осокин Н.И., Сосновский А.В.* Пространственное распределение термического сопротивления снежного покрова на территории России и его влияние на промерзание и протаивание грунтов // Лед и Снег. 2016. Т. 56. № 1. С. 52–60. DOI: [10.15356/2076-6734-2016-1-52-60](https://doi.org/10.15356/2076-6734-2016-1-52-60).
16. *Петелько А.И., Барабанов А.Т.* Влияние контурных стокорегулирующих лесных полос из дуба на эрозионногидрологические показатели на Среднерусской возвышенности // Земледелие. 2018. № 2. С. 26–29. DOI: [10.24411/0044-3913-2018-10206](https://doi.org/10.24411/0044-3913-2018-10206).
17. *Петелько А.И., Барабанов А.Т., Лобков В.Т.* Противозэрозионные агроприемы при формировании стока талых вод // Природообустройство. 2018. № 1. С. 84–88. DOI: [10.26897/1997-6011/2018-1-84-88](https://doi.org/10.26897/1997-6011/2018-1-84-88).
18. *Полевой определитель почв России.* М.: Почв. ин-т им. В.В. Докучаева, 2008. 182 с.

19. *Поташкина Ю.Н., Иванцова Е.А.* Влияние полейзащитных лесных полос ажурной конструкции на характер снегораспределения // Природные системы и ресурсы. 2021. Т. 11. № 4. С. 31–36. DOI: [10.15688/nsr.jvolsu.2021.4.3](https://doi.org/10.15688/nsr.jvolsu.2021.4.3).
20. *Рихтер Г.Д.* Снежный покров, его формирование и свойства. М.: Изд-во Академии наук СССР. 1945. 122 с.
21. *Сажин А.Н., Кулик К.Н., Васильев Ю.И.* Погода и климат Волгоградской области. Волгоград: ВНИАЛМИ, 2010. 306 с.
22. *Сосновский А.В., Осокин Н.И., Черняков Г.А.* Динамика снегозапасов на равнинной территории России в лесу и в поле при климатических изменениях // Лед и Снег. 2018. Т. 58. № 2. С. 183–190. DOI: [10.15356/2076-6734-2018-2-183-190](https://doi.org/10.15356/2076-6734-2018-2-183-190).
23. *Субботин А.И.* Сток талых и дождевых вод (по экспериментальным данным). М.: Московское отделение Гидрометеоздата, 1966. 376 с.
24. *Хитров Н.Б., Герасимова М.И.* Диагностические горизонты в классификации почв России: версия 2021 г. // Почвоведение. 2021. № 8. С. 899–910. DOI: [10.31857/S0032180X21080098](https://doi.org/10.31857/S0032180X21080098).
25. IUSS Working Group WRB. World Reference Base for Soil Resources 2014, update 2015. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. World Soil Resources Reports. No. 106. FAO, Rome. 192 p.
26. *Iwata Y., Hirota T., Suzuki T., Kuwao K.* Comparison of soil frost and thaw depths measured using frost tubes and other methods // Cold Regions Science and Technology. 2012. № 71. P. 111–117. DOI: [10.1016/J.COLDREGIONS.2011.10.010](https://doi.org/10.1016/J.COLDREGIONS.2011.10.010).
27. *Yanail Y., Iwata Y., Hirota T.* Optimum soil frost depth to alleviate climate change effects in cold region agriculture // Scientific Reports. 2017. No. 7. 44860. DOI: [10.1038/srep44860](https://doi.org/10.1038/srep44860).
28. *Li Y., Fu Q., Li T., Liu D., Hou R., Li Q., Yi J., Li M., Meng F.* Snow melting water infiltration mechanism of farmland freezing-thawing soil and determination of meltwater infiltration parameter in seasonal frozen soil areas // Agricultural Water Management. 2021. № 258. DOI: [10.1016/j.agwat.2021.107165](https://doi.org/10.1016/j.agwat.2021.107165).

## REFERENCES

1. Barabanov A.T., *Erozionno-gidrologicheskaya otsenka vzaimodeistviya prirodnykh i antropogennykh faktorov formirovaniya poverkhnostnogo stoka talykh vod i adaptivno-landshaftnoe zemledelie* (Erosion-hydrological assessment of interaction between natural and anthropogenic factors in the

- formation of surface melt water runoff and adaptive landscape farming), Volgograd: FNTs agroekologii RAN, 2017, 188 p.
2. Voronkov N.A., *Rol' lesov v okhrane vod* (The role of forests in water), Leningrad: Gidrometeoizdat, 1988, 288 p.
  3. Garshinev E.A., *Eroziionno-gidrologicheskii protsess i lesomelioratsiya: Eksperimental'naya otsenka, raschet, proektirovanie* (Erosion-hydrology process and forest melioration: Experimental estimation, calculation, projecting), Volgograd: VNIALMI, 2002, 220 p.
  4. Gordienko O.A., Ivantsova E.A., Morphological features of the soil cover of slope lands in the south of the Volga uplands within the urban landscapes of Volgograd, *Dokuchaev Soil Bulletin*, 2021, No. 106, pp. 77–104, DOI: [10.190447/0136-1694-2021-106-77-104](https://doi.org/10.190447/0136-1694-2021-106-77-104).
  5. Evseeva N.S., Petrov A.I., Kashiro M.A., Kvasnikova Z.N., Batmanova A.S., Khon A.V., Vliyanie rel'efa i rastitel'nosti na raspredelenie snezhnogo pokrova v basseinakh malykh rek (Influence of the relief and vegetation on the distribution of the snow cover in the pools of small rivers), *Geosferye issledovaniya*, 2017, No. 4, pp. 64–74, DOI: [10.17223/25421379/5/6](https://doi.org/10.17223/25421379/5/6).
  6. Kalinin M.I., *Lesnye melioratsii v usloviyakh eroziionnogo rel'efa* (Forest reclamation under conditions of erosive relief), L'vov: Vishcha shkola. Izd-vo pri L'vov un-te, 1982, 279 p.
  7. Kalyuzhnyi I.L., Lavrov S.A., *Izmenchivost' glubiny promerzaniya pochvy v basseine r. Volga i ee vliyanie na protsessy formirovaniya zimnego i vesennego stoka pri izmeneniyakh klimata* (Variability of frost depth in the Volga river basin and its impact on runoff formation in winter and spring under climate change), *Meteorologiya i gidrologiya*, 2016, Vol. 41, No. 7, pp. 487–496.
  8. Kachinskii N.A., *Zamerzanie, razmerzanie i vlazhnost' pochvy v zimnii sezon v lesu i na polevykh uchastkakh* (Freezing, sizing, and soil moisture during the winter season in the forest and field areas), Moscow: Izd. Associacii N.-I. Institutov pri f.-m. fak. MGU, 1927, 168 p.
  9. Kitredzh Dzh., *Vliyanie lesa na klimat, pochvy i vodnyi rezhim* (Forest influences the effects of woody vegetation on climate. Water and soil), Moscow: Izd-vo Inostrannoi lit-ry, 1951, 456 p.
  10. *Klassifikatsiya i diagnostika pochv SSSR* (Classification and diagnostics of soils of the USSR), Moscow: Kolos, 1977, 223 p.
  11. Komissarov M.A., Gabbasova I.M., Snowmelt-induced soil erosion on gentle slopes in the southern Cis-Ural region, *Eurasian Soil Science*, 2014, Vol. 47, No. 6, pp. 598–607, DOI: [10.1134/S1064229314060039](https://doi.org/10.1134/S1064229314060039).
  12. Kulik A. V., Gordienko O.A., *Usloviya formirovaniya poverkhnostnogo stoka talykh vod na sklonovykh zemlyakh yuga Privolzhskoi vozvyshechnosti*

Conditions of meltwater surface runoff formation on sloping lands in the south of the Volga upland), *Pochvovedenie*, 2022, Vol. 55, No. 1, pp. 36–44, DOI: [10.31857/S0032180X22010099](https://doi.org/10.31857/S0032180X22010099).

13. Kulik K.N., Zubov A.R., Zykov I.G., Zubov A.A., *Metodologiya izucheniya erozionnykh protsessov v lesnoagrarnykh i tekhnogennykh landshaftakh* (Methodology for studying erosion processes in forest-agrarian and anthropogenic landscapes), Volgograd: FNTs agroekologii RAN, 2018, 252 p.

14. Marchik T.P., Efremov A.L., *Pochvovedenie s osnovami rastenievodstva: ucheb. posobie* (Soil science with the basics of crop production: textbook), Grodno: GrSU, 2006, 249 p., URL: [https://ebooks.grsu.by/pochva\\_s\\_osn\\_rast/glava-9-teplovye-svoystva-i-teplovoy-rezhim-pochv.htm](https://ebooks.grsu.by/pochva_s_osn_rast/glava-9-teplovye-svoystva-i-teplovoy-rezhim-pochv.htm).

15. Osokin N.I., Sosnovskiy A.V., Spatial distribution of the snow thermal resistance on the Russian territory and its impact on the ground freezing and thawing, *Ice and Snow*, 2016, Vol. 56, No. 1, pp. 52–60, DOI: [10.15356/2076-6734-2016-1-52-60](https://doi.org/10.15356/2076-6734-2016-1-52-60).

16. Petel'ko A.I., Barabanov A.T., Vliyanie konturnykh stokoreguliruyushchikh lesnykh polos iz duba na erozionnoidrologicheskie pokazateli na Srednerusskoi vozvyshennosti (Influence of contour flow regulating oak forest belts on erosion and hydrological indicators at the central Russian upland), *Zemledelie*, 2018, No. 2, pp. 26–29, DOI: [10.24411/0044-3913-2018-10206](https://doi.org/10.24411/0044-3913-2018-10206).

17. Petel'ko A.I., Barabanov A.T., Lobkov V.T., Protivoerozionnye agropriemy pri formirovanii stoka talykh vod (Erosion-preventive agromethod in the formation of melt water flow), *Prirodoobustrojstvo*, 2018, No. 1, pp. 84–88, DOI: [10.26897/1997-6011/2018-1-84-88](https://doi.org/10.26897/1997-6011/2018-1-84-88).

18. *Polevoi opredelitel' pochv Rossii* (Field soil qualifier of Russia), Moscow: Pochv. in-t im. V.V. Dokuchaeva, 2008, 182 p.

19. Potashkina Yu.N., Ivantsova E.A., Vliyanie polezashchitnykh lesnykh polos azhurnoi konstruktssii na kharakter snegoraspredeleniya (Influence of field-protective forest belts of openwork construction on the character of snow distribution), *Prirodnye sistemy i resursy*, 2021, Vol. 11, No. 4, pp. 31–36, DOI: [10.15688/nsr.jvolsu.2021.4.3](https://doi.org/10.15688/nsr.jvolsu.2021.4.3).

20. Rikhter G.D., *Snezhnyi pokrov, ego formirovanie i svoystva* (Snow cover, its formation and properties), Moscow: Izd-vo Akademii nauk SSSR, 1945, 122 p.

21. Sazhin A.N., Kulik K.N., Vasil'ev Yu.I., *Pogoda i klimat Volgogradskoi oblasti*, (Weather and climate of Volgograd region), Volgograd: VNIALMI, 2010, 306 p.

22. Sosnovsky A.V., Osokin N.I., Chernyakov G.A., Dynamics of snow storages in forests and fields of Russian plains under climate changes, *Ice and snow*, 2018, Vol. 58, No. 2, pp. 183–190, DOI: [10.15356/2076-6734-2018-2-183-190](https://doi.org/10.15356/2076-6734-2018-2-183-190).
23. Subbotin A.I., *Stok talykh i dozhdevykh vod (po eksperimental'nykh dannym)* (Meltwater and rainwater runoff (based on experimental data)), Moscow: Moskovskoe otdelenie Gidrometeoizdata, 1966, 376 p.
24. Khitrov N.B., Gerasimova M.I., Diagnosticheskie gorizonty v klassifikatsii pochv Rossii: versiya 2021 g (Diagnostic horizons in the classification system of Russian soils: version 2021), *Eurasian Soil Science*, 2021, Vol. 54, No. 8, pp. 1131–1140, DOI: [10.31857/S0032180X21080098](https://doi.org/10.31857/S0032180X21080098).
25. IUSS Working Group WRB. World Reference Base for Soil Resources 2014, update 2015. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps, *World Soil Resources Reports*, No. 106, FAO, Rome, 192 p.
26. Iwata Y., Hirota T., Suzuki T., Kuwao K., Comparison of soil frost and thaw depths measured using frost tubes and other methods, *Cold Regions Science and Technology*, 2012, No. 71, pp. 111–117, DOI: [10.1016/J.COLDREGIONS.2011.10.010](https://doi.org/10.1016/J.COLDREGIONS.2011.10.010).
27. Yanai Y., Iwata Y., Hirota T., Optimum soil frost depth to alleviate climate change effects in cold region agriculture, *Scientific Reports*, 2017, No. 7, 44860. DOI: [10.1038/srep44860](https://doi.org/10.1038/srep44860).
28. Li Y., Fu Q., Li T., Liu D., Hou R., Li Q., Yi J., Li M., Meng F., Snow melting water infiltration mechanism of farmland freezing-thawing soil and determination of meltwater infiltration parameter in seasonal frozen soil areas, *Agricultural Water Management*, 2021, No. 258, DOI: [10.1016/j.agwat.2021.107165](https://doi.org/10.1016/j.agwat.2021.107165).

Научное издание

Бюллетень Почвенного института  
имени В.В. Докучаева

Выпуск 112

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](mailto:bulletin@esoil.ru)

Сдано в набор 25.11.2022 г.  
Подписано в печать 25.11.2022 г.  
Формат 60×84/16. Бумага офсетная.  
Усл. печ. л. 10,6 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](mailto:apr-rpa@list.ru)