
АГРОХИМИЯ, ПОЧВОВЕДЕНИЕ, ЭКОЛОГИЯ

**Влияние подвижности почвенных коллоидов
на водоудерживающую способность почв**

**Горепекин Иван Владимирович[✉], Федотов Геннадий Николаевич,
Сухарев Алексей Игоревич, Грачева Татьяна Александровна**

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,
Москва, Россия

[✉] **Автор, ответственный за переписку:** gorepekiniv@my.msu.ru

Аннотация

Коллоидная составляющая почв влияет на многие почвенные свойства, в том числе на водоудерживающую способность. Для отражения структуры коллоидной составляющей в 30–50-е гг. XX в. был введен термин «пленки-гели». Диагностическим свойством гелей как коллоидных систем является способность к коагуляции и пептизации, то есть к процессам, которые определяют подвижность коллоидных частиц. Целью исследований являлась проверка влияния подвижности почвенных гелей и их компонентов на водоудерживающую способность почв. Исследования проведены на образцах серой лесной почвы и чернозема выщелоченного. Водоудерживающую способность почв определяли методом равновесного центрифугирования, а подвижность коллоидных частиц – путем оценки оптической плотности вытяжек из почв. По результатам опытов установлено, что высушивание почв достоверно снижает водоудерживающую способность почв по сравнению со свежесобранными образцами. Добавление раствора аммиачной воды к воздушно-сухим образцам позволяет увеличить отрицательный заряд гуминовых веществ в почвах и их подвижность, что подтверждается увеличением оптической плотности вытяжек из почв с повышением концентрации аммиачной воды. Параллельно с увеличением подвижности гуминовых вещества возрастает водоудерживающая способность почв. Полученные результаты позволяют предположить, что увеличивать водоудерживание можно за счет внесения не только дополнительных водоудерживающих компонентов, но и веществ, способствующих блокировке почвенных капилляров.

Ключевые слова

коагуляция, пептизация, заряд коллоидов в почвах, почвенные гели

Благодарности

Исследование выполнено в рамках государственного задания МГУ имени М.В. Ломоносова (тема №122011800459–3 «Почвенные биомаркеры: идентификация, устойчивость, активность, возможность использования для мониторинга»).

Для цитирования

Горепекин И.В., Федотов Г.Н., Сухарев А.И., Грачева Т.А. Влияние подвижности почвенных коллоидов на водоудерживающую способность почв // *Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии*. 2026. № 2. С. 20–31.

Effect of soil colloid mobility on soil water retentivity

Ivan V. Gorepekin[✉], Gennadiy N. Fedotov, Alexey I. Suharev,
Tatiana A. Gracheva

Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

[✉]Corresponding author: gorepekiniv@my.msu.ru

Abstract

The colloidal component of soils affects many soil properties, including water retentivity. To reflect the structure of the colloidal component, the term “gel films” was introduced in the 1930s-1950s. A diagnostic property of gels as colloidal systems is their ability to coagulate and peptize – processes that determine the mobility of colloidal particles. The study aimed to investigate the effect of soil gel mobility and their components on soil water retentivity. The research was conducted on samples of grey forest soil and leached chernozem. Soil water retentivity was determined using the equilibrium centrifugation method, while the mobility of colloidal particles was assessed by measuring the optical density of soil extracts. The experimental results showed that soil drying significantly reduces its water retentivity compared to freshly sampled soil. Adding an ammonia water solution to air-dry samples increases the negative charge of humic substances in the soil and enhances their mobility. This is confirmed by an increase in the optical density of soil extracts as the ammonia water solution concentration rises. As the mobility of humic substances increases, soil water retentivity enhances. The findings suggest that water retentivity can be increased not only by adding water-retaining components, but also by using substances that help block soil capillaries.

Keywords

coagulation, peptization, colloid charge in soils, soil gels

Acknowledgments

The study was carried out within the framework of the state assignment of the Lomonosov Moscow State University (topic No. 122011800459–3 “Soil biomarkers: identification, stability, activity, possibility of use for monitoring”).

For citation

Gorepekin I.V., Fedotov G.N., Suharev A.I., Gracheva T.A. Effect of soil colloid mobility on soil water retentivity. *Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy*. 2026;(2):20–31.

Введение

Introduction

Коллоидная составляющая определяет свойства почв – поглонительную способность [1], обуславливающую содержание питательных веществ и закрепление поллютантов [2, 3], водоудерживающую способность почв [4, 5], их структурные характеристики [6] и другие почвенные свойства. Поэтому коллоидную составляющую почв и ее проявления в свойствах изучают в различных разделах почвоведения: агрохимии [7, 8], химии и физике почв [4, 9, 10], микроморфологии [11-13] и т.д.

Размеры коллоидов и фракции ила в российской и международной классификациях пересекаются. Так, верхняя граница илистой фракции равна 1 мкм, а в международном – 2 мкм [14]. При этом верхняя граница коллоидной составляющей

в зарубежной литературе проходит на уровне 1 мкм, то есть соответствует илу в российской классификации [14]. Поэтому для отражения сходства этих фракций в дальнейшей работе мы будем использовать термин илесто-коллоидной фракции.

О роли илесто-коллоидной составляющей почв в водоудерживании говорит ряд экспериментальных фактов:

1. Искусственное отделение коллоидной фракции и ее органических компонентов снижает водоудерживающую способность почв до 40% для дерново-подзолистых почв и до 70% для черноземов [15].

2. Кутаны – лабильная часть почвенной плазмы¹, обладающая высокой способностью к набуханию, – ее гигроскопичность более чем в 2,5 раза выше, чем у внутривершинной массы. Повышенную гигроскопичность принято объяснять более высоким содержанием частиц гранулометрической фракции ила [16].

3. Органическое вещество в почвах находится преимущественно в коллоидной форме и способно как непосредственно удерживать воду в силу высокой дисперсности, так и взаимодействовать с неколлоидными минералами с образованием «рыхлых» органоминеральных структур [17].

Описанные свойства: повышенная гигроскопичность, расположение коллоидов на поверхностях более крупных педов, а также органоминеральная природа – позволяют обобщить строение коллоидной составляющей термином «пленки-гели».

Термин «пленки-гели» сформировался в 30-50-е гг. XX в. в работах А.Ф. Тюлина, который исследовал химические особенности поверхности почвенных коллоидов и их взаимодействие с жидкой фазой почв [18]. Диагностическим свойством гелей как коллоидных систем является способность к коагуляции и пептизации [19], при которых меняется подвижность коллоидов. Применительно к почвенным свойствам это означает, что рН и влажность образцов могут влиять на водоудерживающую способность почв.

Цель исследований: проверка влияния подвижности почвенных гелей и их компонентов на водоудерживающую способность почв.

Методика исследований

Research method

Объекты исследований. Эксперименты проведены на образцах гумусово-аккумулятивных горизонтов среднесуглинистой серой лесной почвы с содержанием гумуса 2,4% и тяжелосуглинистого чернозема выщелоченного с содержанием гумуса 5,6%. В опытах использовали как свежесобранные образцы, так и образцы, высушенные до воздушно-сухого состояния.

Методы исследований. *Водоудерживающая способность почв.* Основную гидрофизическую характеристику (ОГХ) определяли методом центрифугирования [21], при котором удаление воды из почвенного образца происходит под действием центробежных сил. Они возникают при вращении центрифуги и выражаются числом ускорений свободного падения (g). После центрифугирования определяли влажность почвенного образца, получая пары значений «Потенциал почвенной влаги – влажность образца» для построения ОГХ.

¹ В микроморфологии илесто-коллоидную составляющую называют почвенной плазмой. Основанием для такой группировки служит сходный размер частиц. Плазму формируют частицы размером 1-2 мкм [20] (примеч. авт.).

Оптическая плотность почвенных вытяжек. Для приготовления вытяжек для определения оптической плотности к воздушно-сухому образцу чернозема выщелоченного добавляли воду или растворы аммиачной воды: 0.05 н; 0.1 н; 0.2 н – до достижения влажности 45%, выдерживали влажный образец в течение суток. После этого из образцов готовили водные вытяжки из расчета: абсолютно сухая почва: вода, равное 1:5. Затем суспензию помещали на час в ротатор, после чего полученную суспензию центрифугировали в течение 10 мин при 5000 оборотах в минуту. Измерение оптической плотности производили на фотоколориметре КФК-3 при длине волны 465 нм и длине светопоглощающего слоя 3 см.

Результаты и их обсуждение

Results and discussion

Результаты исследований. На первом этапе исследований было изучено влияние высушивания почв до воздушно-сухого состояния на их водоудерживающую способность. Результаты опытов представлены на рисунках 1 и 2.

По результатам опытов можно сделать вывод о том, что во всем изученном диапазоне потенциала почвенной влаги рF воздушно-сухие образцы серой лесной почвы и чернозема выщелоченного удерживают меньшие количества воды по сравнению со свежесобранными образцами.

На следующем этапе исследований было изучено влияние условий увлажнения на водоудерживающую способность чернозема выщелоченного. Были изучены следующие варианты образцов:

1. Воздушно-сухой образец с добавлением дистиллированной воды до влажности 45% – влажности свежесобранного образца.
2. Воздушно-сухой образец с добавлением 0,2 н водного раствора аммиачной воды до влажности 45%.
3. Свежесобранный образец с влажностью 45%.

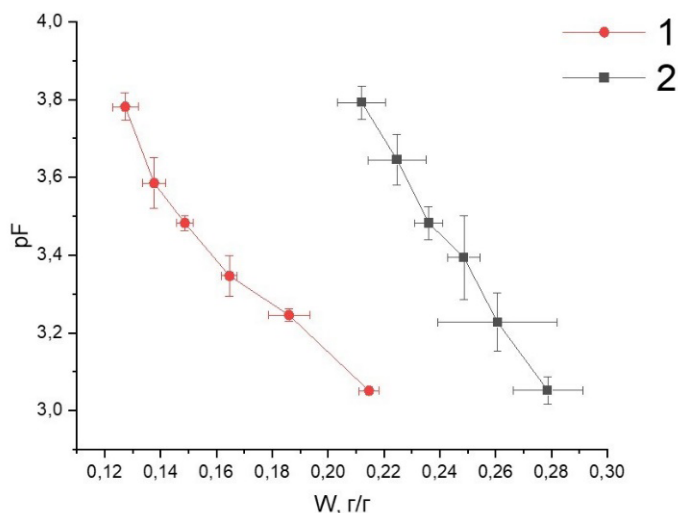


Рис. 1. Влияние высушивания на водоудерживающую способность серой лесной почвы.

Цифрами обозначены: 1. Высушенная до воздушно-сухого состояния и увлажненная дистиллированной водой почва; 2. Свежесобранная почва

Figure 1. Effect of drying on water retentivity of gray forest soil. The numbers indicate: 1. Soil dried to an air-dry state and moistened with distilled water; 2. Freshly sampled soil

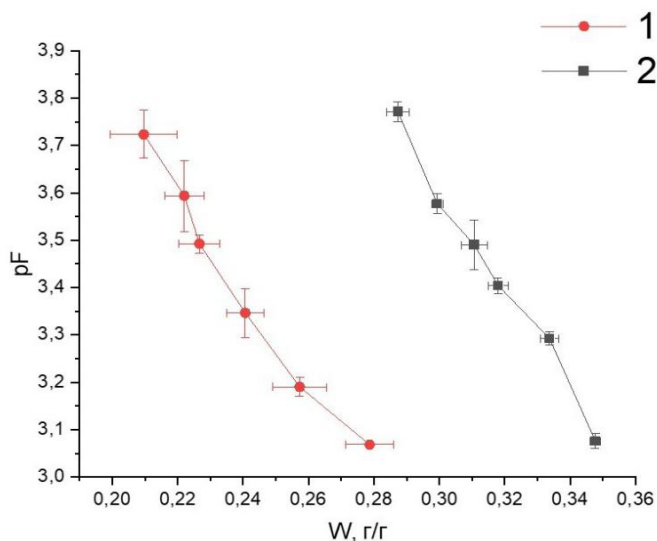


Рис. 2. Влияние высушивания на водоудерживающую способность чернозема выщелоченного. Цифрами обозначены:
 1. Высушенная до воздушно-сухого состояния и увлажненная дистиллированной водой почва;
 2. Свежеотобранная почва

Figure 2. Effect of drying on the water retentivity of leached chernozem. The numbers indicate:
 1. Soil dried to an air-dry state and moistened with distilled water;
 2. Freshly sampled soil

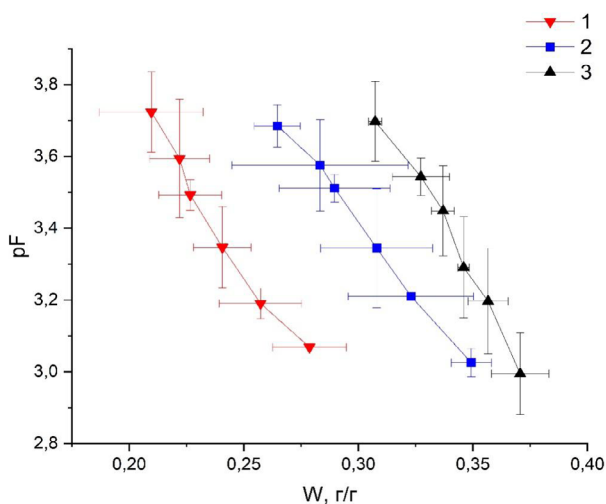


Рис. 3. Влияние условий увлажнения на водоудерживающую способность чернозема выщелоченного. Цифрами обозначены:
 1. Воздушно-сухой чернозем выщелоченный с добавлением дистиллированной воды до влажности образца 45%;
 2. Воздушно-сухой чернозем выщелоченный с добавлением 0,2 н водного раствора аммиака до влажности образца 45%;
 3. Свежеотобранный образец чернозема выщелоченного влажностью 45%

Figure 3. Effect of moisture conditions on the water retentivity of leached chernozem. The numbers indicate:
 1. Air-dry leached chernozem with distilled water added to reach a sample moisture content of 45%;
 2. Air-dry leached chernozem with 0.2 n of an ammonia water solution added to reach a sample moisture content of 45%;
 3. Freshly sampled leached chernozem with a moisture content of 45%

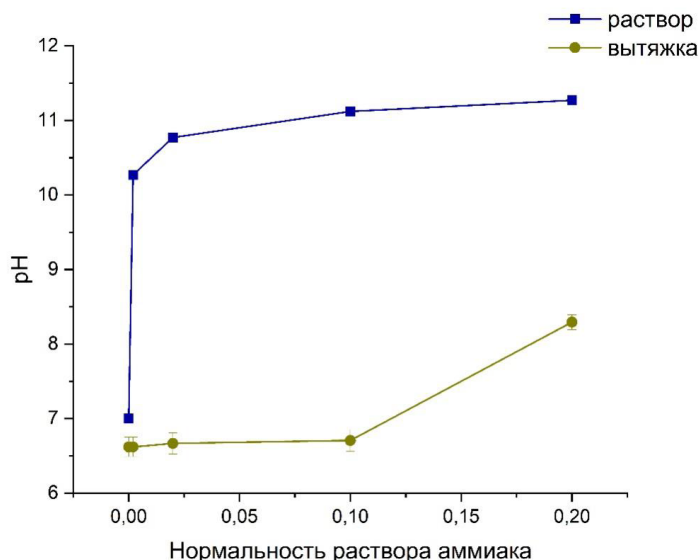


Рис. 4. Изменение рН аммиачной воды различной нормальности и влияние аммиачной воды на рН водных вытяжек чернозема выщелоченного

Figure 4. Changes in the pH of ammonia water of various normality and the effect of ammonia water on the pH of aqueous extracts from leached chernozem

Результаты проведенных опытов свидетельствуют о том, что водоудерживающая способность образцов чернозема выщелоченного возрастает в ряду: воздушно-сухой образец с добавлением дистиллированной воды – воздушно-сухой образец с добавлением 0,2 н раствора аммиачной воды – свежееотобранный образец, то есть свежееотобранный образец характеризуется наибольшей водоудерживающей способностью.

На следующем этапе работы было изучено, как соотносятся между собой рН аммиачной воды, добавляемой в почву, и значения рН почвенного раствора. Результаты опытов показывают, что при добавлении в почву аммиачной воды значительно теряет свою эффективность. Только значение концентрации аммиачной воды 0,2 н достоверно повышает значение рН почвенной вытяжки с 6,67 до 8,29.

Было изучено также влияние добавления различных концентраций аммиачной воды к образцам чернозема выщелоченного на оптическую плотность водных вытяжек, характеризующих подвижность органического вещества. Результаты опытов представлены в таблице.

Представленные в таблице результаты свидетельствуют о том, что с повышением концентрации аммиачной воды в растворе, который добавляли к чернозему выщелоченному до достижения влажности 45%, возрастает оптическая плотность вытяжек из почв. Добавление к чернозему выщелоченному 0,2 н раствора аммиачной воды обеспечивает почти 5-кратное увеличение оптической плотности по сравнению с дистиллированной водой: 1,617 против 0,343.

Обсуждение результатов. Выше отмечено, что коагуляция и пептизация коллоидов в почвах могут зависеть от влажности образцов и значения их рН. Результаты опытов по высушиванию почв (рис. 1, 2) свидетельствуют о том, что водоудерживающая способность воздушно-сухих образцов достоверно ниже, чем свежееотобранных. Полученные результаты согласуются с данными о том, что гуминовые вещества, входящие в состав почвенных гелей, при выделении из воздушно-сухих почв имеют большие размеры, чем при выделении из свежееотобранных образцов (рис. 5) [22].

Кроме того, в литературе также отмечается, что высушивание почв способствует гидрофобизации поверхности почвенных частиц и усиливает органоминеральные взаимодействия [23]. Гидрофобизация и уменьшение объема гелей при коагуляции в ходе высушивания способны затруднять смачивание почв и удержание ими воды при повторном увлажнении.

Таблица 1

Влияние условий увлажнения на оптическую плотность водных вытяжек из чернозема выщелоченного, предварительно выдержанного при влажности 45%, полученной добавлением воды или растворов аммиачной воды

Table 1

Effect of moisture conditions on the optical density of aqueous extracts from leached chernozem, previously maintained at a moisture content of 45%, obtained by adding water or ammonia water solutions

Вариант опыта	Оптическая плотность
Дистиллированная вода	0,343
0,05 н раствора аммиачной воды	0,461
0,1 н раствора аммиачной воды	1,165
0,2 н раствора аммиачной воды	1,617

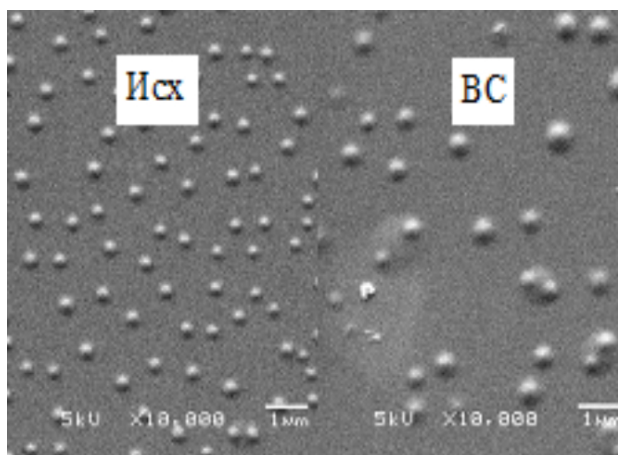


Рис. 5. Надмолекулярные образования гуминовых веществ, выделенные из дерново-подзолистой почвы: Исх – исходной (свежеотобранной); BC – воздушно-сухой. Цитируется по Федотов и др., 2024 [23]

Figure 5. Supramolecular formations of humic substances extracted from sod-podzolic soil: “Исх” – original (freshly sampled), “BC” – air-dry. Cited after Fedotov et al., 2024 [23]

Исследования по влиянию способа увлажнения на водоудерживающую способность почв показывают (рис. 2), что простого увлажнения почв дистиллированной водой недостаточно для восстановления их водоудерживающей способности. Для вязкости почвенных паст ранее была обнаружена аналогичная закономерность [23].

Из результатов проведенных опытов следует, что способность почв к удерживанию воды повышается только при использовании пептизирующего агента – раствора аммиачной воды (рис. 3), которая увеличивает отрицательный заряд гуминовых веществ и тем самым способствует их разделению и повышению подвижности. Об увеличении подвижности гуминовых веществ свидетельствуют данные оптической плотности (табл.), которая возрастает при повышении концентрации добавляемой к почве аммиачной воды, то есть увеличение подвижности гуминовых веществ сопровождается повышением водоудерживающей способности почв. Это означает, что наряду с термодинамической водоудерживающей способностью почв, которая определяется величиной энергии связи воды с твердой фазой почвы [24], может действовать и кинетический фактор – частичная закупорка порового пространства почв мигрирующими гуминовыми веществами и фрагментами органоминеральных почвенных гелей. В результате действия кинетического фактора в почве может сохраняться не только прочно связанная, но и свободная вода. Такой подход позволяет увеличивать водоудерживание за счет внесения не только дополнительных водоудерживающих компонентов, но веществ, способствующих блокировке почвенных капилляров. Однако последнее предположение требует дополнительной экспериментальной проверки.

Выводы

Conclusions

1. На образцах серой лесной почвы и чернозема выщелоченного показано, что свежееотобранные образцы достоверно лучше удерживают воду по сравнению с воздушно-сухими образцами.

2. Добавление раствора 0,2 н аммиачной воды повышает водоудерживающую способность образцов воздушно-сухих почв. Это говорит о том, что использование пептизирующих добавок может быть резервом для повышения водоудерживающей способности почв.

3. Оптическая плотность выделяемых из почв вытяжек возрастает с увеличением концентрации аммиачной воды, то есть отрицательно заряженные коллоиды – в частности, гуминовые вещества, увеличивают свою подвижность.

Список источников

1. Khaledian Y., Brevik E.C., Pereira P., Cerdà A. et al. Modeling soil cation exchange capacity in multiple countries. *Catena*. 2017;158:194-200. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2017.07.002>

2. Ge N., Wei X., Wang X., Liu X. et al. Soil texture determines the distribution of aggregate-associated carbon, nitrogen and phosphorous under two contrasting land use types in the Loess Plateau. *Catena*. 2019;172:148-157. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2018.08.021>

3. Wang J., Han Z., Zhang C., Wang M. et al. Effects of soil colloids on adsorption and migration of benzo (a) pyrene on contaminated sites under runoff infiltration processes. *Environmental Pollution*. 2024;353:124150. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2024.124150>

4. Смагин А.В. К термодинамической теории водоудерживающей способности и дисперсности почв // *Почвоведение*. 2018. № 7. С. 836–851. <https://doi.org/10.1134/S0032180X18070092>
5. Wang C., Li S.Y., He X.J., Chen Q. et al. Improved prediction of water retention characteristic based on soil gradation and clay fraction. *Geoderma*. 2021;404:115293. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2021.115293>
6. Филиппова О.И., Холодов В.А., Сафронова Н.А., Юдина А.В. и др. Микроагрегатный, гранулометрический и агрегатный состав гумусовых горизонтов зонального ряда почв европейской России // *Почвоведение*. 2019. № 3. С. 335–347. <https://doi.org/10.1134/S0032180X19030031>
7. Zhang Q., Yu G., Zhou Q., Li J. et al. Eco-friendly interpenetrating network hydrogels integrated with natural soil colloid as a green and sustainable modifier for slow release of agrochemicals. *Journal of Cleaner Production*. 2020;269:122060. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122060>
8. Calero J., Plaza I., Ontiveros A., Aranda V. et al. Effects of organic agriculture in structure and organic carbon adsorption at colloidal scale in marginal olive groves, characterized by the extended DLVO model. *Frontiers in Environmental Science*. 2022;10:805668. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.805668>
9. Сыщиков Д.В., Агурова И.В. Изменение поглотительной способности почв деградированных агроэкосистем Донбасса // *Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева*. 2023. № 117. С. 101–117. <https://doi.org/10.19047/0136-1694-2023-117-101-117>
10. Zeng L., Li X., Jiang F., Yin M. et al. The effect of kaolinite on ferrihydrite colloid migration in soil: molecular-scale mechanism study. *Environmental Science: Nano*. 2023;10:2754-2766. <https://doi.org/10.1039/D3EN00333G>
11. Турсина Т.В., Соколов И.А. Макро- и микроморфологическая диагностика генезиса ферралитных тропических почв Лаоса // *Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева*. 2008. № 62. С. 22–35. EDN: KUYSAR
12. Абакумов Е.В., Гагарина Э.И., Сапега В.Ф., Власов Д.Ю. Микроморфологическая характеристика мелкозема и скелета почв Западной Антарктики (районы расположения российских станций) // *Почвоведение*. 2013. № 12. С. 1464–1464. <https://doi.org/10.7868/S0032180X13120022>
13. Карпова Д.В., Балабко П.Н., Чижикова Н.П., Бескин Л.В., Колобова Н.А. и др. Микроморфология и минералогия серых лесных почв Владимирского ополья // *Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева*. 2018. № 94. С. 101–123. <https://doi.org/10.19047/0136-1694-2018-94-101-123>
14. Юдина А.В., Фомин Д.С., Котельникова А.Д., Милановский Е.Ю. От понятия элементарной почвенной частицы к гранулометрическому и микроагрегатному анализам (обзор) // *Почвоведение*. 2018. № 11. Рр. 1340-1362. <https://doi.org/10.1134/S0032180X18110096>
15. Смагин А.В., Садовникова Н.Б., Башина А.С., Кириченко А.В. Количественная оценка энергии водоудерживания и дисперсности почвенных коллоидов по данным их дифференциальной сушки // *Экологический Вестник Северного Кавказа*. 2015. Т. 11, № 4. С. 43–53. EDN: UWRVDB
16. Бронникова М.А. Кутаны дерново-подзолистых почв как источник почвенно-генетической информации: Дис. ... канд. биол. наук. Москва, 2000. 258 с. EDN: QDGYZF
17. Шеин Е.В., Позднякова А.Д., Шваров А.П., Ильин Л.И. и др. Гидрофизические свойства высокозольных низинных торфяных почв // *Почвоведение*. 2018. № 10. С. 1259–1264. <https://doi.org/10.1134/S0032180X18100118>

18. Тюлин А.Ф. *Органоминеральные коллоиды в почве, их генезис и значение для корневого питания растений*. М.: Изд-во АН СССР, 1958. 52 с.
19. Воюцкий С.С. *Курс коллоидной химии*. М.: Химия, 1975. 512 с.
20. Гагарина Э.И. *Микроморфологический метод исследования почв*. СПб.: Изд-во Санкт-Петербургского университета, 2004. 156 с. EDN: QKWHRR
21. *Полевые и лабораторные методы исследования физических свойств и режимов почв: Методическое руководство*. М.: Изд-во МГУ, 2001. 200 с.
22. Kaiser M., Kleber M., Berhe A.A. How air-drying and rewetting modify soil organic matter characteristics: an assessment to improve data interpretation and inference. *Soil Biology and Biochemistry*. 2015;80:324-340. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2014.10.018>
23. Федотов Г.Н., Шоба С.А., Ушкова Д.А., Горепекин И.В. и др. Восстановление свойств органоминеральных гелей в высушенных образцах почв // *Доклады Российской академии наук. Науки о Земле*. 2024. Т. 517, № 1. С. 849–858. <https://doi.org/10.31857/S2686739724070198>
24. Шейн Е.В. *Курс физики почв*. М.: Изд-во Московского университета, 2005. 430 с. EDN: RBBKE

References

1. Khaledian Y., Brevik E.C., Pereira P., Cerdà A. et al. Modeling soil cation exchange capacity in multiple countries. *Catena*. 2017;158:194-200. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2017.07.002>
2. Ge N., Wei X., Wang X., Liu X. et al. Soil texture determines the distribution of aggregate-associated carbon, nitrogen and phosphorous under two contrasting land use types in the Loess Plateau. *Catena*. 2019;172:148-157. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2018.08.021>
3. Wang J., Han Z., Zhang C., Wang M. et al. Effects of soil colloids on adsorption and migration of benzo (a) pyrene on contaminated sites under runoff infiltration processes. *Environmental Pollution*. 2024;353:124150. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2024.124150>
4. Smagin A.V. About thermodynamic theory of water retention capacity and dispersity of soils. *Pochvovedenie*. 2018;(7):836-851. (In Russ.) <https://doi.org/10.1134/S1064229318070098>
5. Wang C., Li S.Y., He X.J., Chen Q. et al. Improved prediction of water retention characteristic based on soil gradation and clay fraction. *Geoderma*. 2021;404:115293. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2021.115293>
6. Filippova O.I., Kholodov V.A., Safronova N.A., Yudina A.V. et al. Particle-size, microaggregate-size, and aggregate-size distributions in humus horizons of the zonal sequence of soils in European Russia. *Pochvovedenie* 2019;(3):335-347. (In Russ.) <https://doi.org/10.1134/S1064229319030037>
7. Zhang Q., Yu G., Zhou Q., Li J. et al. Eco-friendly interpenetrating network hydrogels integrated with natural soil colloid as a green and sustainable modifier for slow release of agrochemicals. *Journal of Cleaner Production*. 2020;269:122060. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122060>
8. Calero J., Plaza I., Ontiveros A., Aranda V. et al. Effects of organic agriculture in structure and organic carbon adsorption at colloidal scale in marginal olive groves, characterized by the extended DLVO model. *Frontiers in Environmental Science*. 2022;10:805668. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.805668>

9. Syshchykov D.V., Agurova I.V. Changes in the absorptive capacity of soils of Donbass degraded agroecosystems. *Dokuchaev Soil Bulletin*. 2023;(117):101-117. (In Russ.) <https://doi.org/10.19047/0136-1694-2023-117-101-117>
10. Zeng L., Li X., Jiang F., Yin M. et al. The effect of kaolinite on ferrihydrite colloid migration in soil: molecular-scale mechanism study. *Environmental Science: Nano*. 2023;10:2754-2766. <https://doi.org/10.1039/D3EN00333G>
11. Tursina T.V., Sokolov I.A. Macro- and micromorphological diagnostics of the genesis of ferrallite tropical soils in Laos. *Dokuchaev Soil Bulletin*. 2008;(62):22-35. (In Russ.)
12. Abakumov E.V., Gagarina E.I., Sapega V.F., Vlasov D.Yu. Micromorphological features of the fine earth and skeletal fractions of soils of West Antarctica in the areas of Russian Antarctic stations. *Pochvovedenie*. 2013;(46):1464-1464. (In Russ.) <https://doi.org/10.1134/S1064229313120028>
13. Karpova D.V., Balabko P.N., Chizhikova N.P., Beskin L.V. et al. The micromorphology and mineralogy of gray forest soils in Vladimir opolye. *Dokuchaev Soil Bulletin*. 2018;(94):101-123. (In Russ.) <https://doi.org/10.19047/0136-1694-2018-94-101-123>
14. Yudina A.V., Fomin D.S., Kotelnikova A.D., Milanovskii E.Y. From the notion of elementary soil particle to the particle-size and microaggregate-size distribution analyses: a review. *Pochvovedenie*. 2018;(11):1340-1362. (In Russ.) <https://doi.org/10.1134/S1064229318110091>
15. Smagin A.V., Sadovnikova N.B., Bashina A.S., Kirichenko A.V. Quantitative evaluation of water retention energy and dispersion of soil colloids according to their differential drying. *The North Caucasus Ecological Herald*. 2015;11(4):43-53. (In Russ.)
16. Bronnikova M.A. *Cutans of sod-podzolic soils as a source of soil-genetic information*: CSc (Bio) thesis. Moscow, Russia, 2000:258. (In Russ.)
17. Shein E.V., Pozdnyakova A.D., Shvarov A.P., Il'in L.I. et al. Hydrophysical properties of the high-ash lowmoor peat soils. *Pochvovedenie*. 2018;(10):1259-1264. (In Russ.) <https://doi.org/10.1134/S1064229318100113>
18. Tyulin A.F. *Organo-mineral colloids in the soil, their genesis and importance for the root nutrition of plants*. Moscow, USSR: izd-vo AN SSSR, 1958:52. (In Russ.)
19. Voyutskiy S.S. *The course of colloidal chemistry*. Moscow, USSR: Khimiya, 1975:512. (In Russ.)
20. Gagarina E.I. *Micromorphological method of soil research*. St. Petersburg, Russia: Saint Petersburg State University, 2004:156. (In Russ.)
21. *Field and laboratory methods for studying the physical properties and regimes of soils*: a methodological guide. Sheina E.V. (Ed). Moscow, Russia: Moscow State University, 2001:200. (In Russ.)
22. Kaiser M., Kleber M., Berhe A.A. How air-drying and rewetting modify soil organic matter characteristics: an assessment to improve data interpretation and inference. *Soil Biology and Biochemistry*. 2015;80:324-340. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2014.10.018>
23. Fedotov G.N., Shoba S.A., Ushkova D.A., Gorepekin I.V. et al. Recovery of organomineral gel properties in dried soil samples. *Doklady Rossijskoj akademii nauk. Nauki o Zemle*. 2024;517(1):849-858. (In Russ.) <https://doi.org/10.1134/S1028334X24601755>
24. Shein E.V. *Soil physics course*. Moscow, Russia: Moscow State University, 2005:430. (In Russ.)

Сведения об авторах

Иван Владимирович Горепекин, канд. биол. наук, научный сотрудник, факультет почвоведения, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова»; 119991, Российская Федерация, г. Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 12; e-mail: gorepekiniv@my.msu.ru; <https://orcid.org/0009-0000-1016-1906>

Федотов Геннадий Николаевич, д-р биол. наук, ведущий научный сотрудник, факультет почвоведения, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова»; 119991, Российская Федерация, г. Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 12; e-mail: gennadiy.fedotov@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0001-8910-3433>

Сухарев Алексей Игоревич, студент, факультет почвоведения, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова»; 119991, Российская Федерация, г. Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 12; e-mail: suharevai@my.msu.ru; <https://orcid.org/0000-0002-7596-423X>

Грачева Татьяна Александровна, канд. биол. наук, старший преподаватель, факультет почвоведения, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова»; 119991, Российская Федерация, г. Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 12; e-mail: tanyadunaeva12@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0005-6476-8048>

Information about the authors

Ivan V. Gorepekin, CSc (Bio), Research Associate, Faculty of Soil Science, Lomonosov Moscow State University; 1, Bldg. 12, Leninskie Gory, Moscow, 119991, Russian Federation; e-mail: gorepekiniv@my.msu.ru; <https://orcid.org/0009-0000-1016-1906>

Gennadiy N. Fedotov, DSc (Bio), Leading Research Associate, Faculty of Soil Science, Lomonosov Moscow State University; 1, Bldg. 12, Leninskie Gory, Moscow, 119991, Russian Federation; e-mail: gennadiy.fedotov@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0001-8910-3433>

Alexey I. Suharev, student, Faculty of Soil Science, Lomonosov Moscow State University; 1, Bldg. 12, Leninskie Gory, Moscow, 119991, Russian Federation; e-mail: suharevai@my.msu.ru; <https://orcid.org/0000-0002-7596-423X>

Tatiana A. Gracheva, CSc (Bio), Senior Lecturer, Faculty of Soil Science, Lomonosov Moscow State University; 1 Bldg. 12, Leninskie Gory, Moscow, 119991, Russian Federation; e-mail: tanyadunaeva12@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0005-6476-8048>