

УДК 631.42

<https://doi.org/10.31251/pos.v8i1.301>

Водоэкстрагируемое органическое вещество и биологическая активность агродерново-подзолистых почв малого водосбора после снеготаяния

© 2025 В. А. Холодов , А. Р. Зиганшина , Н. Н. Данченко , Д. А. Никитин ,

Н. В. Ярославцева , Е. М. Данилова-Данильян , Ю. Р. Фарходов

ФГБНУ ФИЦ «Почвенный институт им. В.В. Докучаева», Пыжевский пер., 7, стр. 2, г. Москва, 119017, Россия

E-mail: vkholod@mail.ru

Цель исследования. Оценить изменения количества и состава водоэкстрагируемого органического вещества (ВЭОВ) в агродерново-подзолистых почвах на малом водосборе после схода снежного покрова в зависимости от локализации почв на элементах мезорельефа и их биологической активности.

Место и время проведения. Россия, Московская область, муниципальный округ Шаховская, вблизи дер. Андреевское, 09.04.2023 (отбор проб).

Методы. В образцах, отобранных после завершения снеготаяния и до начала активной вегетации, определили pH, содержание водоэкстрагируемого органического углерода и азота, а также измерили субстрат-индуцированное и базальное дыхание почвы, биомассу почвенных прокариот и грибов с применением люминесцентной микроскопии. Для характеристики экстрагированного органического вещества использовали спектрофотометрию в ультрафиолетовом и видимом диапазонах, а также спектрофлуориметрию.

Основные результаты. В почве, просохшей после схода снега и до начала активной вегетации, содержание влаги в целом возрастало вниз по склону, при этом содержание водоэкстрагируемого углерода и азота с увеличением влажности снижалось. Анализ оптических показателей показал, что с увеличением содержания ВЭОВ в почве его преобразованность микроорганизмами снижается. Это сопровождается уменьшением молекулярной массы и снижением активности ароматических и донорно-акцепторных структур; в то же время базальное дыхание микроорганизмов возрастает при увеличении влажности.

Заключение. Установленную обратную зависимость содержания растворённого органического вещества в агродерново-подзолистой почве, просохшей после схода снега, можно объяснить его активным разложением по мере увеличения влажности, прайминг эффектом зимних лизатов и отсутствием влияния высших растений.

Ключевые слова: водоэкстрагируемое органическое вещество почвы; спектрофотометрия; спектрофлуориметрия; субстрат-индуцированное дыхание; базальное дыхание; микробная биомасса.

Цитирование: Холодов В.А., Зиганшина А.Р., Данченко Н.Н., Никитин Д.А., Ярославцева Н.В., Данилова-Данильян Е.М., Фарходов Ю.Р. Водоэкстрагируемое органическое вещество и биологическая активность агродерново-подзолистых почв малого водосбора после снеготаяния // Почвы и окружающая среда. 2025. Том 8. № 1. с301. DOI: [10.31251/pos.v8i1.301](https://doi.org/10.31251/pos.v8i1.301)

ВВЕДЕНИЕ

Органическое вещество (ОВ) почвы является основой ее буферной системы и плодородия (Холодов и др., 2023). Фракция **растворенного органического вещества (РОВ)** – наиболее подвижная составляющая ОВ. Оно взаимодействует с почвенной биотой, твердой фазой почвы, участвует в переносе веществ, играет значимую роль в локальном и глобальном круговороте углерода (Караванова, 2013; Kalbitz et al., 2000). Состав РОВ весьма сложен, содержит более тысячи соединений. К ним относятся специфические почвенные соединения — гуминовые и фульвокислоты, а также аминокислоты, белки, углеводы, растворимые фенольные соединения, карбоновые и ароматические кислоты, амиды, альдегиды, кетоны и спирты (Караванова, 2013).

Эта фракция ОВ почвы более чувствительна к видам использования почвы и особенностям обработки сельскохозяйственных культур, чем ОВ в целом или другие его группы (Roper et al., 2010). Состав РОВ относительно оперативно откликается на переходы землепользования от леса к агроэкосистемам и способен отражать наличие пропашных культур (van Gaalen et al., 2014). В целом, РОВ весьма перспективный индикатор состояния почв.

Следует отметить, для почвы РОВ – это скорее теоретическое понятие, потому что извлечь его, не смещая равновесий почвенного раствора, невозможно. В связи с этим, обычно изучают

водоэкстрагируемое органическое вещество (ВЭОВ). Оптимальным подходом к изучению ВЭОВ является изучение его оптических свойств: спектров поглощения и флуоресценции в ультрафиолетовом (УФ) и видимом диапазонах. Простота и дешевизна подхода сочетается с достаточно большой информативностью. Например, при помощи такого подхода было показано, что оптические свойства различных фракций чернозема зависят от вида землепользования и размера агрегатов (Холодов и др., 2017, 2020; Куликова и др., 2024).

Агродерново-подзолистые почвы России имеют большой потенциал для повышения общей урожайности в нашей стране. Многие угодья, заброшенные в 1990-х годах, теперь возвращены или планируются к введению в сельскохозяйственное производство (Национальный доклад ..., 2023; Митин и др., 2024). При этом в рамках создания технологий, обеспечивающих безопасность и контроль качества сельскохозяйственного сырья и пищевых продуктов, необходима экологизация сельскохозяйственного производства. Поэтому стратегические планы развития сельского хозяйства должны включать обоснование рационального использования природных ресурсов (Кирюшин, 2023). В то же время, РОВ почв агроландшафтов Нечерноземной зоны России изучено недостаточно. Более того, для этой территории практически не известно изменение оптических свойств РОВ в зависимости от сезонов. Отдельный интерес представляет поведение РОВ в период сразу после снеготаяния. В это время активизируется биологическая активность почв, но влияние корней высших растений ещё минимально, что позволяет не рассматривать этот мощнейший фактор воздействия на гумусовые горизонты.

Для получения адекватных сведений о таком лабильном, в плане доступности микроорганизмам, субстрате, как РОВ, необходима оценка их уровня воздействия на него. Кроме того, наши предварительные эксперименты показали, что свежие, воздушно-сухие и длительно увлажняемые образцы демонстрируют разный выход ВЭОВ (Данилин и др., 2024; Danilin et al., 2025). В связи с этим, для изучения РОВ наиболее перспективно использовать свежесобранные образцы, из которых ВЭОВ можно выделять с учетом содержания влаги.

Цель работы – оценить изменения количества и состава водоэкстрагируемого органического вещества в агродерново-подзолистых почвах на малом водосборе после схода снежного покрова в зависимости от локализации почв на элементах мезорельефа и их биологической активности.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектом исследования являлось ВЭОВ катены (от плакора до поймы ручья) агродерново-подзолистых почв, расположенной в Шаховском районе Московской области у д. Андреевское. Катена представляет собой характерную для региона типичную группу агродерново-подзолистых почв разной степени гидроморфизма, закономерно сменяющуюся пойменно-луговыми почвами. До 1991 г. поле обрабатывалось, затем использовалось как сенокос. Для исследования были выделены элементы мезорельефа: плакор, склон, понижение перед поймой ручья и пойма. Образцы отбирали в трех повторностях через 20 м на одной изолинии по направлению стока (рис. 1, табл.).

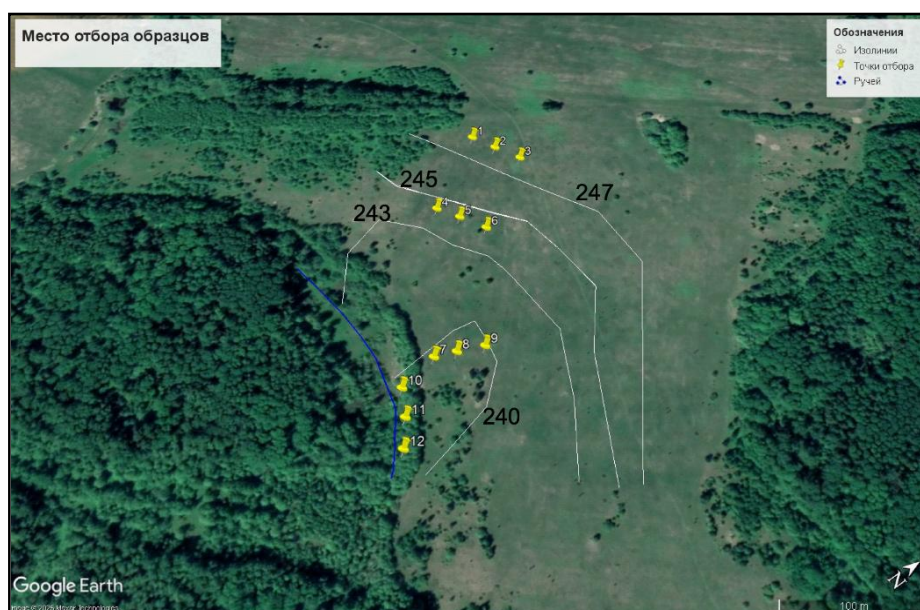


Рисунок 1. Схема отбора образцов.

Таблица

Координаты, высота и приуроченность к элементам рельефа точек отбора почвенных образцов

№	Координаты		Высота, м	Элемент мезорельефа
	с.ш.	в.д.		
1	55,983866	35,610465	247	Плакор
2	55,983957	35,610815	247	Плакор
3	55,984061	35,611188	247	Плакор
4	55,983211	35,611201	244	Склон
5	55,983312	35,611513	244	Склон
6	55,983423	35,611886	244	Склон
7	55,982439	35,613108	240	Понижение перед поймой
8	55,982601	35,61322	240	Понижение перед поймой
9	55,982798	35,61337	240	Понижение перед поймой
10	55,982113	35,61323	240	Пойма
11	55,982008	35,61359	240	Пойма
12	55,981866	35,613928	240	Пойма

Образцы были отобраны 09 апреля 2023 года через неделю после снеготаяния. Отбор проводили из верхнего слоя (0–10 см) гумусово-аккумулятивного горизонта. Каждый индивидуальный образец анализировали отдельно, для этого его делили на три части: в первой определяли влажность, из второй выделяли ВЭОВ, а третью использовали для оценки грибной и микробной биомассы, а также базального и субстрат-индуцированного дыхания.

Влажность определяли весовым способом по разности масс в образце до и после высушивания при 105°C.

Для выделения ВЭОВ на основе данных о влажности рассчитывали такой объем добавляемой для получения вытяжки воды, чтобы отношение масс абсолютно сухой почвы и воды было 1:5. Такой подход позволяет получать сопоставимые результаты для образцов с разной влажностью без высушивания, что весьма важно, так как предварительное высушивание почвы влияет как на ее биологические показатели, так и на характеристики РОВ.

Подробно подходы для выделения и характеристики ВЭОВ были описаны ранее (Холодов и др., 2024а, 2024б). Вытяжку получали, смешивая навеску почвы с водой I типа (с удельным сопротивлением >18 МОм×см), встряхивали 16 часов при помощи орбитального шейкера, центрифугировали, супернатант дополнительно пропускали через целлюлозный гидрофильный фильтр 0,22 мкм. Аликвоты, предназначенные для определения содержания растворенного органического углерода и азота, подкисляли до pH 2 соляной кислотой для вытеснения CO₂; кроме того, в вытяжках дополнительно определяли pH.

Измерение содержания **водоэкстрагируемого органического углерода (ВЭОС) и азота (ВЭН)** проводили на анализаторе Shimadzu TOC-L CSN (ISO 8245:1999).

Оптические свойства ВЭОВ изучали методами спектроскопии в УФ-видимом диапазоне и флуоресцентной спектроскопии. УФ-видимые спектры получали на спектрофотометре Shimadzu UV-

1800 сканированием от 200 до 800 нм. Спектры использовали для расчета оптических дескрипторов $SUVA_{254}$, $E2/E3$, $E4/E6$, $S_{275-295}$, $S_{350-400}$, и S_R (Холодов и др., 2024а, 2024б).

Спектры флуоресценции снимали при длинах возбуждения 220–480 нм с шагом 2 нм, эмиссию флуоресценции фиксировали от 300 до 550 нм; ширина щели при возбуждении и фиксировании эмиссии – 5 нм. Съемку проводили на спектрофлуориметре Shimadzu Rf 6000., скорость сканирования 60000 нм/мин. Для обработки спектров использовали пакет StaRdom для языка R. Обработку проводили согласно рекомендациям (Murphy et al., 2013; Pucher et al., 2019; https://cran.r-project.org/web/packages/staRdom/vignettes/PARAFAC_analysis_of_EEM.html). На основе полученных данных рассчитывали величину общепринятых пиков и индексов: C, A, M, T (Coble, 1996), NIX (Ohno, 2002), FI (Coble, 1996), BIX (Куликова и др., 2024).

Третью часть образцов использовали для оценки биологических показателей. С этой целью определяли физиологические параметры (интенсивность дыхания) и показатели биомассы основных представителей почвенной микробиоты.

Субстрат-индуцированное дыхание (СИД) оценивали по скорости начального максимального дыхания микроорганизмов после обогащения образца глюкозой (Гавриленко и др., 2011). Навеску образца (1 г) помещали в пенициллиновый флакон объем 10 мл, добавляли раствор глюкозы (концентрация 10 мг/г), герметично закрывали и фиксировали время. Обогащенный глюкозой образец почвы инкубировали 4 ч при +22°C, затем исследовали газовую фазу с помощью газоанализатора LI-COR «LI-850» для регистрации CO₂.

Базальное дыхание (БД) определяли по скорости выделения CO₂ почвой за 24 ч инкубации при температуре +22°C и 60% полной влагоемкости (Гавриленко и др., 2011). Измерения БД выполняли так же как СИД, только вместо раствора глюкозы в почву вносили воду (0,2 мл/г почвы). До начала измерений СИД и БД образцы почвы увлажняли до 50–55% полной влагоемкости и инкубировали в течение 7 суток при +5°C.

На основании результатов БД и СИД рассчитан “метаболический” или “дыхательный” коэффициент ($qCO_2 = БД/СИД$), который отражает эффективность преобразования гетеротрофными микроорганизмами органического углерода ($C_{орг}$) в микробную биомассу и, поэтому, может быть использован в качестве индикатора изменений качества почвы. Коэффициент qCO_2 и скорость минерализации $C_{орг}$ в почве имеют решающее значение для углеродного цикла в наземных экосистемах.

Биомассу прокариот оценивали с помощью метода люминесцентной микроскопии с применением флуоресцентного красителя акридина оранжевого (микроскоп “Биомед 5 ПР ЛЮМ”, Россия) при увеличении 1000× с масляной иммерсией (Никитин и др., 2019). Десорбцию клеток с почвы проводили при помощи ультразвуковой установки УЗДН-1 (2 мин, при максимальной мощности, частота 22 кГц). Расчет числа клеток прокариот на 1 г субстрата производили по формуле:

$$N = S_1 \times a \times n/V \times S_2 \times C \quad (1),$$

где N – число клеток в 1 г субстрата; S_1 – площадь препарата (мкм²); a – количество клеток в одном поле зрения (усреднение производится по всем препаратам); n – показатель разведения бактериальной смеси (мл); V – объем капли, наносимой на стекло (мл); S_2 – площадь поля зрения микроскопа (мкм²); C – навеска субстрата (г). В итоге получали массу актиномицетов (A_c , мкг/г) и остальных бактерий (B_c , мкг/г).

Биомассу грибов определяли методом люминесцентной микроскопии с применением флуоресцентного красителя калькофлуора белого (Никитин и др., 2019). Учет спор и длины мицелия осуществляли на люминесцентном микроскопе “Биомед 5 ПР ЛЮМ” (Россия) при увеличении 400×. Десорбцию клеток с почвы проводили при помощи вортекса “MSV-3500” (Латвия) при скорости 3500 об./мин в течение 10 мин. Расчет количества грибных клеток на 1 г субстрата производили по формуле:

$$M = ((4 \times a \times n) / p) \times 10^{10} \quad (2),$$

где M – количество клеток в 1 г почвы; a – среднее число клеток в поле зрения; p – площадь поля зрения (мкм²); n – показатель разведения.

Длину грибного мицелия в 1 г образца (NMA) определяли по формуле:

$$NMA = S_1 \times a \times n/V \times S_2 \times c \times 10^6 \quad (3),$$

где: S_1 – площадь препарата (мкм²); a – средняя длина фрагментов мицелия в поле зрения (мкм); n – показатель разведения суспензии (мл); v – объем капли, наносимой на стекло (мл); V – объем капли, наносимой на стекло (мл); S_2 – площадь поля зрения микроскопа (мкм²); c – навеска образца (г). Расчет грибной биомассы (мг/г почвы) осуществляли, полагая, что плотность спор равна 0,837

г/см³, а плотность мицелия – 0,628 г/см³. Отдельно рассчитывали содержание спор с размерами 2, 3, 5 и 7 мкм. Их размеры оценивали объект-микрометром (линейкой с определенной ценой деления).

Для обработки результатов использовали статистические пакеты из языка R и программу Gretl.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Полученные нами значения изменения влажности (W, %) и количественных показателей ВЭОВ – содержания водозкстрагируемого органического углерода и водозкстрагируемого азота – проиллюстрированы ниже (рис. 2).

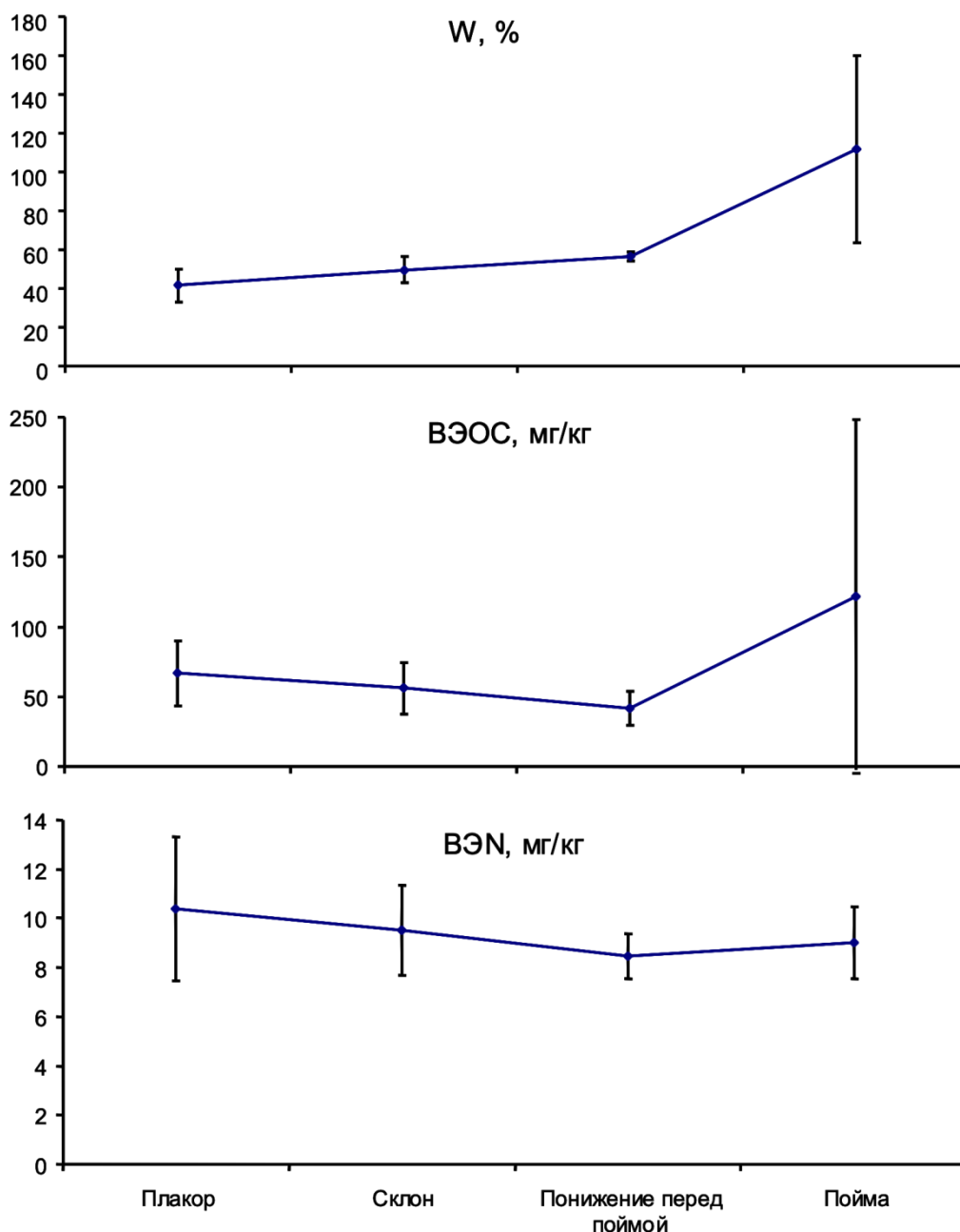


Рисунок 2. Изменение влажности (W) и содержания органического углерода (ВЭОС) и азота (ВЭН) в водозкстрагируемом органическом веществе почв по катене.

Влажность образцов почвы варьировала от 36 до 140% (масс.). На рисунке видна тенденция увеличения влажности вниз по склону, что закономерно для недельного срока после схода снега, когда образцы были отобраны. Однако, в районе поймы был слишком большой разброс показателей – видимо, сказывается влияние ручья и грунтовых вод. Содержание ВЭОС изменялось от 43 до 268 мг/кг почвы при средней величине 72 мг/кг. Эти данные близки к ранее полученным для черноземной полосы. Так, для черноземов разного вида использования и степени смывости было отмечено

варьирование 75–600 мг/кг (Холодов и др., 2020, 2022, 2024а, 2024б). Содержание азота в водной вытяжке изменялось от 7,6 до 13,5 мг/кг почвы. В целом, эти значения были примерно в два раза меньше, чем ранее установленные для черноземов разной степени смывости (Холодов и др., 2024а).

Тенденция содержания ВЭОС и ВЭН была противоположна изменению влажности: их количество в почве уменьшалось вниз по склону, но при этом разброс в пойме, особенно ВЭОС, был чрезвычайно высоким, что указывает на влияние РОВ ручья.

Оптические индексы поглощения и флуоресценции были использованы для классификации объектов в пространстве главных компонент (ГК) (рис. 3А). Аналогично для классификации объектов использовали биологические показатели (рис. 3Б).

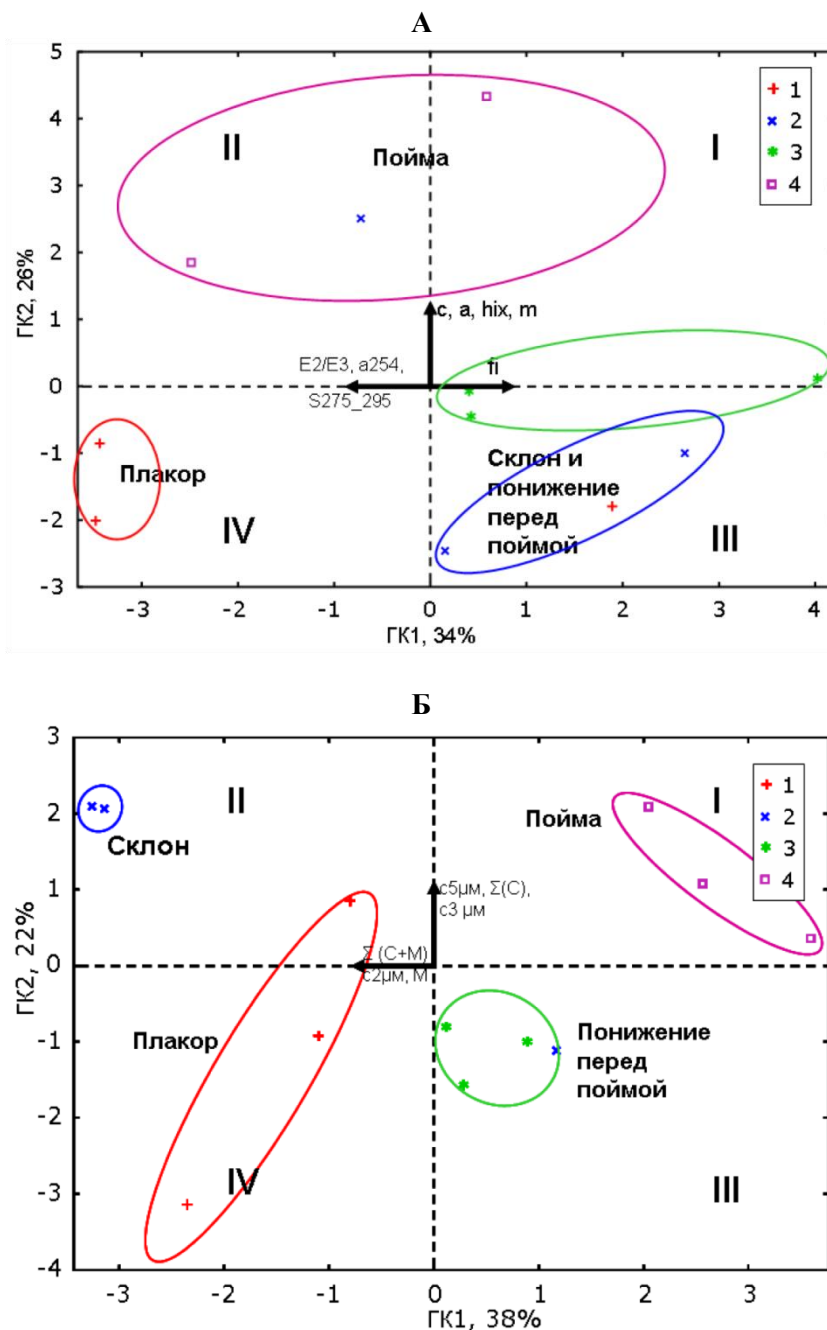


Рисунок 3. Распределение образцов в пространстве первых двух главных компонент в зависимости от оптических свойств ВЭОВ (А) и биологических показателей (Б) почв. Арабскими цифрами обозначены: 1 – плакор, 2 – склон, 3 – понижение перед поймой, 4 – пойма; римскими – четверти графика.

Как видно из распределений (рис. 3), и оптические, и биологические показатели достаточно хорошо разделяют изучаемые объекты. Оптические показатели ВЭОВ демонстрируют, что наибольшими отличиями обладает ВЭОВ плакора, а остальные объекты ближе друг к другу.

Обращает на себя внимание большой разброс значений показателей для образцов из поймы и близость образцов со склона и понижения после поймы – обе эти подвыборки занимают III четверть пространства ГК; видимо, сказывается влияние ОВ из ручья. По первой главной компоненте (ГК1) на основе величин собственных векторов наибольшее разделяющее значение имеют E2/E3, поглощение на длине волны 254 нм (a_{254}) и $S_{275-295}$: они вызывают сдвиг в отрицательную зону. В целом, это отражает увеличения ароматичности ВЭОВ и снижение молекулярной массы, а также уменьшение внутренней сопряженности молекул (Peuravuori, Pihlaja, 1997; Korshin et al., 1997; Sharpless et al., 2014; Vecchio, Blough, 2004; Helms et al., 2008). Кроме того, сдвиг в область положительных значений по ГК1 вызывает увеличение индекса FI, что указывает на рост микробной составляющей в ВЭОВ (McKnight et al., 2001). Следует отметить, что объекты по второй главной компоненте (ГК2) расположены в ряду: склон — понижение перед поймой — пойма в порядке увеличения показателей C, A, НІХ и М. Эти показатели, в целом, отражают увеличение содержания гуминовых веществ (Coble 1996; Ohno, 2002).

Биологические показатели хорошо разделяют почвы всех четырех элементов мезорельефа (рис. 3Б). Основное, что обращает на себя внимание при анализе собственных векторов рассмотренных биологических показателей, это отсутствие существенного влияния на расположение объектов некоторых бактериологических физиологических показателей: базального и субстрат-индуцированного дыхания и микробной биомассы. Наибольший вклад в различия между элементами рельефа вносили показатели, связанные с биомассой почвенных грибов. Причем различия по ГК1 связаны с суммой массы спор и мицелия, содержанием спор с размером 2 мкм и массой мицелия. Наибольший вклад в ГК2 вносят общая масса спор и содержание спор 3 и 5 мкм. Вероятно, почвенные грибы больше зависимы от локальных почвенных условий с невысокой динамикой, формирующихся в зависимости от мезорельефа (содержание углерода, pH, и т.п.), а углерод микробной биомассы, базальное и субстрат-индуцированное дыхание, как более лабильные показатели, меньше связаны с локальной средой, приуроченной к рельефу, но больше отзываются на колебания температуры и влажности.

Полученные данные были использованы для поиска взаимосвязей между содержанием ВЭОС, ВЭН, влажностью, оптическими свойствами ВЭОВ и биологическими показателями почв. Выше (рис. 2) был показан большой разброс во влажности и ВЭОС в образцах из поймы; в связи с этим, при поиске корреляций они не рассматривались.

При анализе зависимости содержания ВЭОС от влажности неожиданно была обнаружена значимая обратная корреляция (рис. 4).

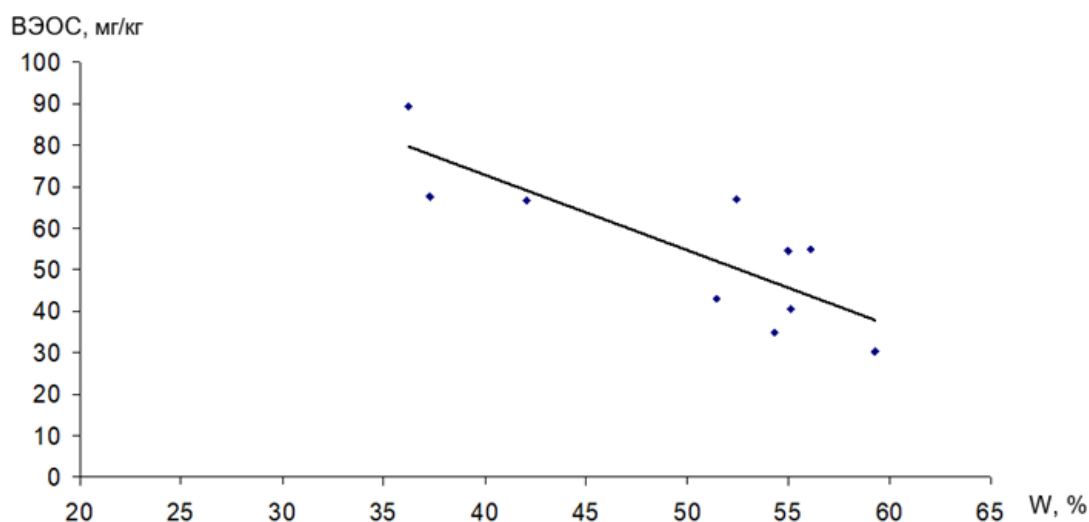


Рисунок 4. Зависимость содержания органического углерода в водной вытяжке (ВЭОС) от влажности почвенных образцов (W).

Изначально ожидалось, что с увеличением влажности образцов, будет возрастать растворимость почвенного органического вещества (ПОВ) и, соответственно, наблюдаться прямая зависимость ВЭОС от влажности. Однако была установлена противоположная зависимость. Полученные результаты согласуются с ранее установленной схожей зависимостью, описанной в

работе (Zsolnay, Görlitz, 1994). В то же время, есть сообщения об отсутствии корреляции влажности и содержания ВЭОС (Seddaiu et al., 2023). Из полученного множества оптических индексов, для шести были обнаружены значимые корреляции с содержанием ВЭОС в почве (рис. 5).

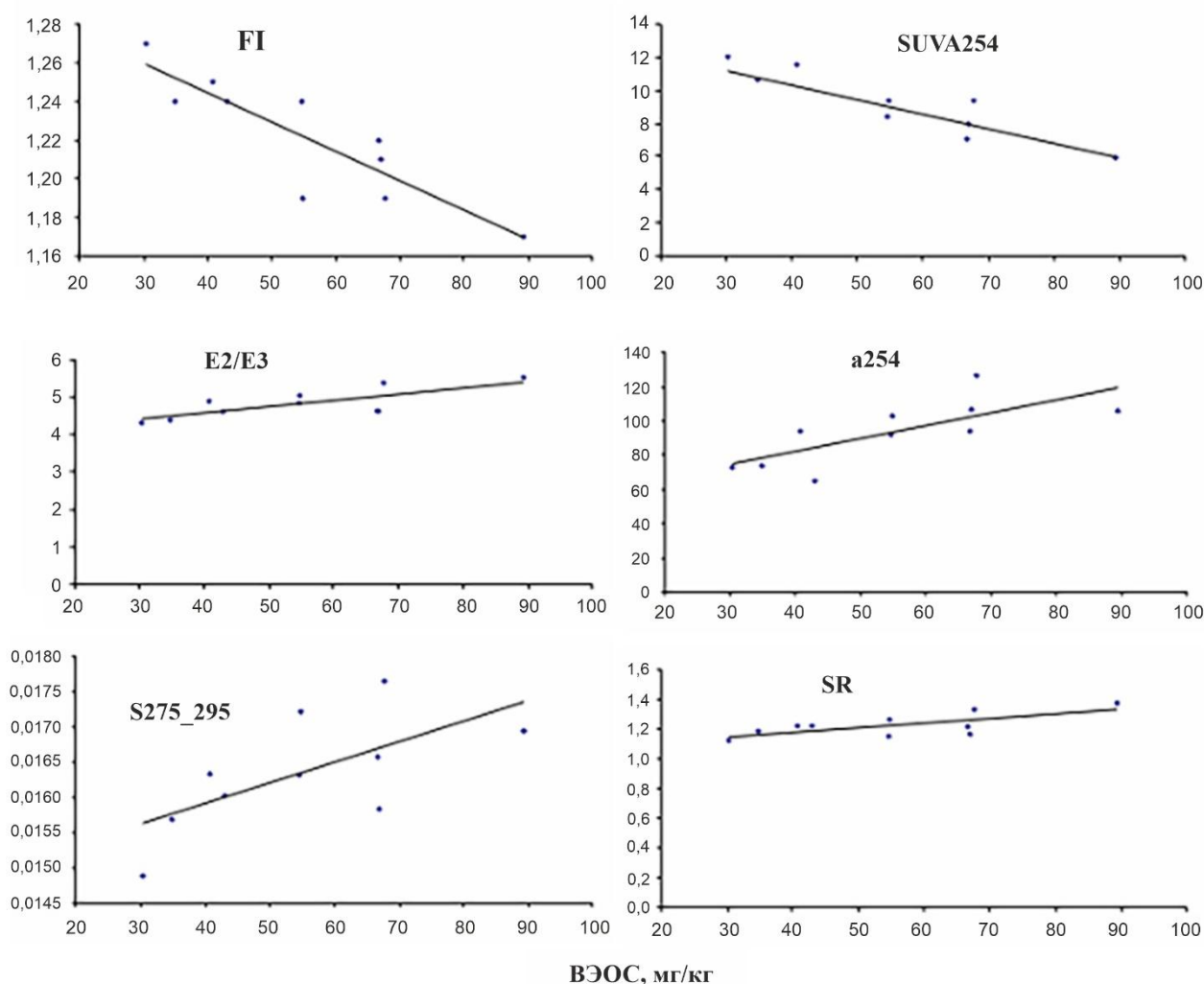


Рисунок 5. Зависимость оптических индексов от содержания водоекстрагируемого углерода в почве.

В первую очередь следует отметить индекс флуоресценции FI. В приложении к почве можно считать, что он тем выше, чем больше в ВЭОВ микробных производных (McKnight et al., 2001). В рассматриваемом случае, коэффициент снижается с увеличением содержания ВЭОС. Аналогично, при увеличении в ВЭОВ содержания углерода, снижается относительная ароматичность ВЭОВ (параметр SUVA254), хотя общее содержание ароматических структур увеличивается, согласно абсорбции при 254 нм (a254). Таким образом, степень микробной трансформации ВЭОВ снижается с увеличением его экстракционного выхода. При этом увеличивается присутствие растворенных компонентов растений лигниновой природы – с этим можно связать рост a254, маркера веществ лигнинового происхождения (Mann et al., 2016), совместно в ВЭОС.

Кроме того, следует отметить положительную корреляцию между ВЭОС и отношением E2/E3, которое обратно связано с активностью ароматических и донорно-акцепторных структур (Korshin et al., 1997; Vecchio, Blough, 2004; Sharpless et al., 2014). Увеличение S_{275–295} и S_R можно связать со снижением молекулярной массы ВЭОВ (Helms et al., 2008).

При строгом корреляционном анализе не было обнаружено связи между содержанием ВЭОС и проявлениями биологической активности. Однако при внимательном изучении корреляционных полей, все же можно выявить некоторые закономерности (рис. 6). Если убрать из выборки наибольшую величину БД, то взаимосвязи для остальных величин становятся значимыми: БД снижается при увеличении содержания ВЭОС и увеличивается совместно с влажностью. Происхождение РОВ в почвах изучено недостаточно, особенно в плане соотношения источников.

Для плакорных почв считается, что РОВ имеет три основных источника: биогенные растительные остатки и выделения почвенной биоты (метаболиты, экссудаты и др.), специфическое почвенное ОБ и атмосферные осадки (Kalbitz et al., 2000; Yano et al., 2005). При этом в работах (Fröberg et al., 2003; Hagedorn et al., 2004; de Troyer et al., 2011) показано, что растворимая составляющая растительных остатков не аккумулируется в РОВ, а практически полностью минерализуется до CO_2 . В то же время, при исследовании разложения меченых ^{14}C листьев в условиях проливных дождей и низких температур показано, что значимая часть их углерода переходит в РОВ, которое переносится или вымывается, превышая потери за счет микробного метаболизма (Usselman et al., 2007).

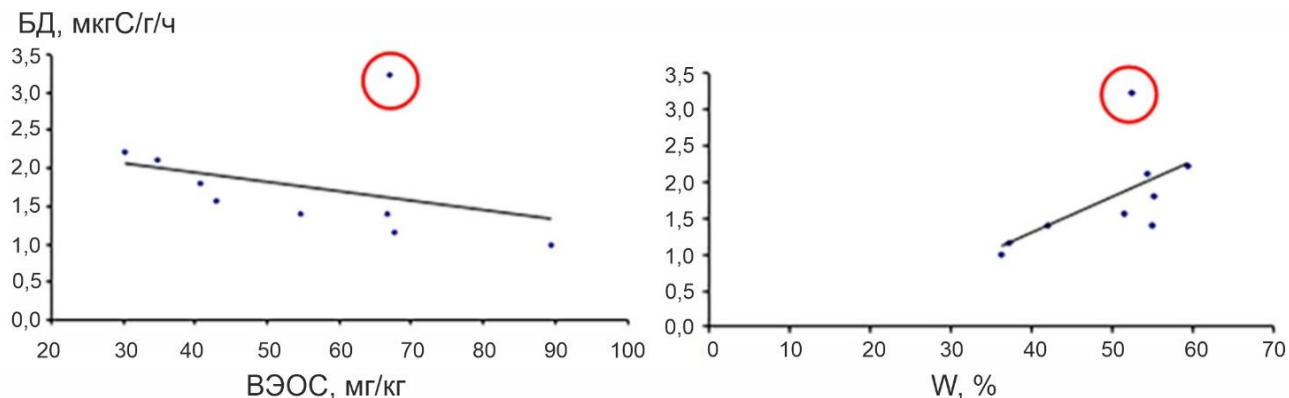


Рисунок 6. Зависимость базального дыхания (БД) от содержания водоекстрагируемого углерода (ВЭОС) в почве и от почвенной влажности (W). Красным обведено максимальное значение БД, при выбраковке которого корреляционные взаимосвязи становятся значимыми.

Полученные закономерности позволяют описать поведение РОВ в агродерново-подзолистых почвах после снеготаяния. После схода снежного покрова и начала высушивания почв, еще до развития растений, биологическая активность в гумусово-аккумулятивных горизонтах почв катены зависит от влажности; в диапазоне полевой влагоемкости она возрастает совместно с увеличением увлажненности. После зимы в составе почвенного раствора много легкодоступных органических веществ – лизатов бактериальных и растительных клеток, образовавшихся в результате замораживания и оттаивания; они и стимулируют биологическую активность. Стимуляция приводит не только к переработке легкодоступных субстратов, но и менее доступного ОБ – к затравочному эффекту или прайминг эффекту (Chen et al., 2019). На фоне отсутствия поступления экссудатов это хорошо заметно в снижении содержания ВЭОС с возрастанием БД и влажности.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На агродерново-подзолистых почвах в пределах малого водосбора достаточно ясно видна зависимость содержания и состава ВЭОВ от приуроченности к элементам рельефа. Среди основных биологических показателей к рельефу четко приурочена биомасса грибов, что, по-видимому, отражает их меньшую подвижность по сравнению с бактериями. При этом основные показатели биомассы, как грибов, так и бактерий, не связаны с содержанием и свойствами ВЭОВ. В то же время можно выявить связь между базальным дыханием, влажностью почвы, содержанием и составом ВЭОВ.

Резюмируя выявленные взаимосвязи между базальным дыханием, влажностью почвы, содержанием и оптическими свойствами ВЭОВ, можно описать его поведение после снеготаяния при отсутствии влияния жизнедеятельности высших растений. В просохших (ниже полной полевой влагоемкости) после снеготаяния агродерново-подзолистых почвах содержание ВЭОВ обратно связано с влажностью почвы, что объясняется отсутствием влияния высших растений и прайминг эффектом зимних лизатов; при этом по мере разложения ВЭОВ увеличивается доля углерода микробного происхождения.

ФИНАНСОВАЯ ПОДДЕРЖКА

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 24-26-00293).

ЛИТЕРАТУРА

- Гавриленко Е.Г., Сусьян Е.А., Ананьева Н.Д., Макаров О.А. Пространственное варьирование содержания углерода микробной биомассы и микробного дыхания почв южного Подмосковья // Почвоведение. 2011. № 10. С. 1231–1245.
- Данилин И.В., Холодов В.А., Зиганшина А.Р., Данченко Н.Н., Буряк А.Д., Фарходов Ю.Р., Ярославцева Н.В. Влияние доступности почвенной влаги на свойства растворенного органического вещества и содержание микробного углерода в ризосфере *Poa pratensis* L. // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. 2024. С. 73–104. <https://doi.org/10.19047/0136-1694-2024-SPYC-73-104>
- Караванова Е.И. Водорастворимые органические вещества: фракционный состав и возможности их сорбции твердой фазой лесных почв // Почвоведение. 2013 № 8. С. 924–936. <https://doi.org/10.7868/S0032180X13080042>
- Кирюшин В.И. Задачи оптимизации землепользования в России // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. 2023. № 116. С. 5–25. <https://doi.org/10.19047/0136-1694-2023-116-5-25>
- Куликова Н.А., Холодов В.А., Фарходов Ю.Р., Зиганшина А.Р., Заварзина А.Г., Карпучин М.М. Растворенное органическое вещество черноземов различного вида использования: взаимосвязь структурных особенностей и минерального состава // Вестник Московского университета. 2024. Серия 17. Почвоведение. Том 74. № 1. С. 24–32. <https://doi.org/10.55959/MSU0137-0944-17-2024-79-1-24-32>
- Митин С.Г., Сысоев Г.В., Старостин И.А., Ещин А.В. Техничко-технологическое обеспечение вовлечения в оборот залежных земель // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. 2024. № 118. С. 276–308. <https://doi.org/10.19047/0136-1694-2024-118-276-308>
- Национальный доклад о ходе и результатах реализации в 2022 году Государственной программы развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия. Москва: Министерство сельского хозяйства Российской Федерации, 2023. 159 с.
- Никитин Д.А., Семёнов М.В., Семиколенных А.А., Максимова И.А., Качалкин А.В., Иванова А.Е. Биомасса грибов и видовое разнообразие культивируемой микобиоты почв и субстратов о. Нортбрук (Земля Франца-Иосифа) // Микология и фитопатология. 2019. Том 53. № 4. С. 210–222. <https://doi.org/10.1134/S002636481904010X>
- Холодов В.А., Иванов В.А., Фарходов Ю.Р., Сафронова Н.А., Артемьева З.С., Ярославцева Н.В. Оптические характеристики фракций органического вещества агрегатов типичных черноземов // Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева. 2017. № 90. С. 56–72. <https://doi.org/10.19047/0136-1694-2017-90-56-72>
- 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. 2020. № 6. С. 691–702. <https://doi.org/10.31857/S0032180X20060052>
- Холодов В.А., Фарходов Ю.Р., Ярославцева Н.В., Данченко Н.Н., Ильин Б.С., Лазарев В.И. Водоэкстрагируемый и микробный углерод черноземов разного вида использования // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. 2022. № 112. С. 122–133. <https://doi.org/10.19047/0136-1694-2022-112-122-133>
- Холодов В.А., Рогова О.Б., Лебедева М.П., Варламов Е.Б., Волков Д.С., Зиганшина А.Р., Ярославцева Н.В. Органическое вещество и минеральная матрица почв: современные подходы, определения терминов и методы изучения (обзор) // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. 2023. № 117. С. 52–100. <https://doi.org/10.19047/0136-1694-2023-117-52-100>
- Холодов В.А., Ярославцева Н.В., Зиганшина А.Р., Данченко Н.Н., Фарходов Ю.Р., Максимович С.В., Жидкин А.П. Водоэкстрагируемое органическое вещество почв разной степени смытости и намытости на малом водосборе в центральной лесостепи Среднерусской возвышенности: распахиваемые почвы // Почвоведение. 2024а. № 6. С. 783–796. <https://doi.org/10.31857/S0032180X24060019>
- Холодов В.А., Ярославцева Н.В., Зиганшина А.Р., Данченко Н.Н., Данилин И.В., Фарходов Ю.Р., Жидкин А.П. Водоэкстрагируемое органическое вещество почв разной степени смытости и намытости на малом водосборе в центральной лесостепи Среднерусской возвышенности: намытые почвы в днище балки // Почвоведение. 2024б. № 7. С. 921–935. <https://doi.org/10.31857/S0032180X24070018>
- Chen L., Liu L., Qin S., Yang G., Fang K., Zhu B., Kuzyakov Y., Chen P., Xu Y., Yang Y. Regulation of priming effect by soil organic matter stability over a broad geographic scale // Nature Communications. 2019. Vol. 10. Article number 5112. <https://doi.org/10.1038/s41467-019-13119-z>
- Coble P.G. Characterization of marine and terrestrial DOM in seawater using excitation-emission matrix spectroscopy // Marine Chemistry. 1996. Vol. 51. No. 4. P. 325–346. [https://doi.org/10.1016/0304-4203\(95\)00062-3](https://doi.org/10.1016/0304-4203(95)00062-3)

- Danilin I.V., Danchenko N.N., Ziganshina A.R., Farkhodov Yu. R., Yaroslavtseva N.V., Kholodov V.A. Divergent response of Chernozem organic matter towards short-term water stress in *Poa pratensis* L. rhizosphere and bulk soil in pot experiments: A spectroscopic study // *Soil and Tillage Research*. 2025. Vol. 245. P. 106285 <https://doi.org/10.1016/j.still.2024.106285>
- de Troyer I., Amery F., Van Moorleghem C., Smolders E., Merckx R. Tracing the source and fate of dissolved organic matter in soil after incorporation of a ¹³C labelled residue: a batch incubation study // *Soil Biology and Biochemistry*. 2011. Vol. 43. No. 3. P. 513–519. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2010.11.016>
- Fröberg M., Berggren D., Bergkvist B., Bryant C., Knicker H. Contributions of Oi, Oe and Oa horizons to dissolved organic matter in forest floor leachates // *Geoderma*. 2003. Vol. 113. No. 3–4. P. 311–322. [https://doi.org/10.1016/S0016-7061\(02\)00367-1](https://doi.org/10.1016/S0016-7061(02)00367-1)
- Hagedorn F., Saurer M., Blaser P. A ¹³C tracer study to identify the origin of dissolved organic carbon in forested mineral soils // *European Journal of Soil Science*. 2004. Vol. 55. No. 1. P. 91–100. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2389.2003.00578.x>
- Helms J.R., Stubbins A., Ritchie J.D., Minor E.C., Kieber D.J., Mopper K. Absorption spectral slopes and slope ratios as indicators of molecular weight, source, and photobleaching of chromophoric dissolved organic matter // *Limnology and Oceanography*. 2008. Vol. 53. No. 3. P. 955–969. <https://doi.org/10.4319/lo.2008.53.3.0955>
- ISO 8245:1999 Water quality – Guidelines for the determination of total organic carbon (TOC) and dissolved organic carbon (DOC). <https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/6d1a2e37-7c6b-4be3-bf46248010a9c257/iso-8245-1999>
- Kalbitz K., Solinger S., Park J.H., Michalzik B., Matzner E. Controls on the dynamics of dissolved organic matter in soils: a review // *Soil Science*. 2000. Vol. 165. No. 4. P. 277–304.
- Korshin G.V., Li C.-W., Benjamin M.M. Monitoring the properties of natural organic matter through UV spectroscopy: a consistent theory // *Water Resources*. 1997. Vol. 31. No. 7. P. 1787–1795. [https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(97\)00006-7](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(97)00006-7)
- Mann P.J., Spencer R.G.M., Hernes P.J., Six J., Aiken G.R., Tank S.E., McClelland J.W., Butler K.D., Dyda R.Y., Holmes R.M. Pan-Arctic Trends in Terrestrial Dissolved Organic Matter from Optical Measurements // *Frontiers in Earth Science*. 2016. Vol. 4. P. 1–18. <https://doi.org/10.3389/feart.2016.00025>
- McKnight D.M., Boyer E.W., Westerhoff P.K., Doran P.T., Kulbe T., Andersen D.T. Spectrofluorometric characterization of dissolved organic matter for indication of precursor organic material and aromaticity // *Limnology and Oceanography*. 2001. Vol. 46. No. 1. P. 38–48. <https://doi.org/10.4319/lo.2001.46.1.0038>
- Murphy K.R., Stedmon C.A., Graeber D., Bro R. Fluorescence spectroscopy and multi-way techniques. PARAFAC // *Analytical Methods*. 2013. Vol. 5 (23). P. 6557–6566. <https://doi.org/10.1039/C3AY41160E>
- Ohno T. Fluorescence Inner-Filtering Correction for Determining the Humification Index of Dissolved Organic Matter // *Environmental Science & Technology*. 2002. Vol. 36 (4). P. 742–746. <https://doi.org/10.1021/es0155276>
- Peuravuori J., Pihlaja K. Molecular size distribution and spectroscopic properties of aquatic humic substances // *Analytica Chimica Acta*. 1997. Vol. 337. No. 2. P. 133–149. [https://doi.org/10.1016/S0003-2670\(96\)00412-6](https://doi.org/10.1016/S0003-2670(96)00412-6)
- Pucher M., Wünsch U., Weigelhofer G., Murphy K., Hein T., Graeber D. staRdom: Versatile software for analyzing spectroscopic data of dissolved organic matter in R // *Water (Switzerland)*. 2019. Vol. 11(11). P. 2366. <https://doi.org/10.3390/w11112366>
- Roper M.M., Gupta V., Murphy D. Tillage practices altered labile soil organic carbon and microbial function without affecting crop yields // *Australian Journal of Soil Research*. 2010. Vol. 48. No. 3. P. 274–285. <https://doi.org/10.1071/SR09143>
- Seddaiu G., Pinna M.V., Agnelli A., Cappai C., Corti G., Demurtas C.E., Pulina A., Roggero P.P. Dynamics of soluble soil organic matter in Mediterranean maize-based forage system under organic and mineral fertilization // *Catena*. 2023. Vol. 220. Part B. P. 106730. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2022.106730>
- Sharpless C.M., Aeschbacher M., Page S.E., Wenk J., Sander M., McNeill K. Photooxidation-induced changes in optical, electrochemical, and photochemical properties of humic substances // *Environmental science & technology*. 2014. Vol. 48. No. 5. P. 2688–2696. <https://doi.org/10.1021/es403925g>
- van Gaalen N., Verschoren V., Clymans W., Poesen J., Govers G., Vanderborght J., Diels J. Controls on dissolved organic carbon export through surface runoff from loamy agricultural soils // *Geoderma*. 2014. Vol. 226–227. P. 387–396. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2014.03.018>
- Vecchio del R., Blough N.V. On the origin of the optical properties of humic substances // *Environmental science & technology*. 2004. Vol. 38. No. 14. P. 3885–3891. <https://doi.org/10.1021/es049912h>

Yano Y., Lajtha K., Sollins P., Caldwell B.A. Chemistry and dynamics of dissolved organic matter in a temperate coniferous forest on andic soils: effects of litter quality // *Ecosystems*. 2005. Vol. 8. P. 286–300. <https://doi.org/10.1007/s10021-005-0022-9>

Zsolnay A., Görlitz H. Water extractable organic matter in arable soils: effects of drought and long-term fertilization // *Soil Biology & Biochemistry*. 1994. Vol. 26. No. 9. P. 1257–1261. [https://doi.org/10.1016/0038-0717\(94\)90151-1](https://doi.org/10.1016/0038-0717(94)90151-1)

Поступила в редакцию 03.03.2025

Принята 23.04.2025

Опубликована 29.04.2025

Сведения об авторах:

Холодов Владимир Алексеевич – доктор сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, заведующий лабораторией органического вещества и биохимии почв ФГБНУ ФИЦ «Почвенный институт им. В.В. Докучаева» (г. Москва, Россия); vkholod@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-6896-7897>

Зиганшина Алия Рустамовна – младший научный сотрудник лаборатории органического вещества и биохимии почв ФГБНУ ФИЦ «Почвенный институт им. В.В. Докучаева» (г. Москва, Россия); ziganshina_ar@esoil.ru; <https://orcid.org/0000-0003-2769-5941>

Данченко Наталья Николаевна – кандидат химических наук, старший научный сотрудник лаборатории органического вещества и биохимии почв ФГБНУ ФИЦ «Почвенный институт им. В.В. Докучаева» (г. Москва, Россия); nataly_danch@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-4358-4419>

Никитин Дмитрий Алексеевич – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории микробиологии почв ФГБНУ ФИЦ «Почвенный институт им. В.В. Докучаева» (г. Москва, Россия); dimnik90@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-1842-1754>

Ярославцева Надежда Васильевна – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории органического вещества и биохимии почв ФГБНУ ФИЦ «Почвенный институт им. В.В. Докучаева» (г. Москва, Россия); nadezhdayros@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-5805-4285>

Данилова-Данильян Елизавета Михайловна – младший научный сотрудник лаборатории микробиологии почв ФГБНУ ФИЦ «Почвенный институт им. В.В. Докучаева» (г. Москва, Россия); danilovadanilyanlm@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-1657-1396>

Фарходов Юлиан Робертович — научный сотрудник лаборатории органического вещества и биохимии почв ФГБНУ ФИЦ «Почвенный институт им. В.В. Докучаева» (г. Москва, Россия); yulian.farkhodov@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0002-0210-380X>

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.



Статья доступна по лицензии [Creative Commons Attribution 4.0 License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Water-extractable organic matter and biological activity of Retisol of a small watershed after snowmelt

© 2025 V. A. Kholodov , A. R. Ziganshina , N. N. Danchenko , D. A. Nikitin , N. V. Yaroslavl'tseva ,
E. M. Danilova-Danilyan , Yu. R. Farkhodov 

V.V. Dokuchaev Soil Science Institute, Pyzhevsky lane 7/2, Moscow, Russia. E-mail: vkholod@mail.ru

The aim of the study was to evaluate qualitative and quantitative characteristics of water-extractable organic matter of Retisol after snowmelt at the small watershed, as related to soil mesorelief location and biological activity.

Location and time of the study. Near Bukholovo village, Shakhovskaya municipal district, Moscow region, Russia, 09.04.2023 (sampling).

Methods. We measured pH, water-extractable organic carbon (WEOC) and nitrogen content, substrate-induced and basal soil respiration and estimated soil prokaryotes and fungi biomass using luminescent microscopy. To characterize extracted Organic matter we used spectroscopy in the ultraviolet and visible ranges and fluorescence spectroscopy.

Results. In soil samples, that were collected already dry after the snowmelt and before the start of active growing, soil water content was found to increase down the slope, whereas the content of WEOC and WEON decreased with increasing moisture. Analysis of optical characteristics showed that increasing soil WEOC its extent of microbial transformation decreased. This is accompanied by the decrease in molecular mass and activity of aromatic and the donor-acceptor structures. The basal respiration increased with increased soil moisture.

Conclusions. The finding that dissolved organic matter in dried below field moisture capacity Retisol after snowmelt was inversely related to soil moisture can be explained by its active decomposition with increasing moisture, the effect of inter lysates and the absence of the influence of higher plants.

Keywords: water-extractable organic matter, UV-Vis spectroscopy; fluorescence spectroscopy; substrate-induced respiration; basal respiration, microbial biomass.

How to cite: Kholodov V.A., Ziganshina A.R., Danchenko N.N., Nikitin D.A., Yaroslavl'tseva N.V., Danilova-Danilyan E.M., Farkhodov Yu.R. Water-extractable organic matter and biological activity of Retisol of small watershed after snowmelt. The Journal of Soils and Environment. 2025. 8(1). e301. DOI: [10.31251/pos.v8i1.301](https://doi.org/10.31251/pos.v8i1.301) (in Russian with English abstract).

FUNDING

The study was financially supported by the Russian Science Foundation (project No. 24-26-00293).

REFERENCES

- Gavrilenko E.G., Susyan E.A., Anan'eva N.D., Makarov O.A. Spatial variability in the carbon of microbial biomass and microbial respiration in soils of the south of Moscow oblast. Eurasian Soil Science. 2011. Vol. 10. No. 10. P. 1125–1138. <https://doi.org/10.1134/S106422931110005X>
- Danilin I.V., Kholodov V.A., Ziganshina A.R., Danchenko N.A., Buriak A.D., Farkhodov Yu.R., Yaroslavl'tseva N.V. Influence of soil moisture availability on dissolved organic matter properties and microbial carbon content in *Poa pratensis* L. rhizosphere. Dokuchaev Soil Bulletin. 2024. P. 73–104. (in Russian). <https://doi.org/10.19047/0136-1694-2024-SPYC-73-104>
- 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. P. 833–844. <https://doi.org/10.1134/S1064229313080048>
- Kiryushin V.I. The goals of land use optimization in Russia. Dokuchaev Soil Bulletin. 2023. No. 116. P. 5–25. (in Russian). <https://doi.org/10.19047/0136-1694-2023-116-5-25>
- Kulikova N.A., Kholodov V.A., Farkhodov Y.R., Ziganshina A.R., Zavarzina A.G., Karpukhin M.M. Dissolved Organic Matter of Chernozems of Different Uses: The Relationship of Structural Features and Mineral Composition. Lomonosov Soil Science Journal. 2024. Vol. 74. No. 1. P. 24–32. (in Russian). <https://doi.org/10.55959/MSU0137-0944-17-2024-79-1-24-32>
- Mitin S.G., Sysoev G.V., Starostin I.A., Eshchin A.V. Technical and technological support for the involvement of fallow lands in agriculture. Dokuchaev Soil Bulletin. 2024. No. 118. P. 276–308. (in Russian). <https://doi.org/10.19047/0136-1694-2024-118-276-308>
- National report on the progress and results of the implementation in 2022 of the State program for the development of agriculture and regulation of agricultural products, raw materials and food markets. Moscow: Ministry of Agriculture of the Russian Federation, 2023. 159 p. (in Russian).
- Nikitin D.A., Semenov M.V., Semikolennykh A.A., Maksimova I.A., Kachalkin A.V., Ivanova A.E. Biomass of fungi and species diversity of the cultivated mycobiota of soils and substrates in Northbrook island (Franz Josef land) // Mycology and Phytopathology. 2019. Vol. 53. No. 4. P. 210–222. (in Russian). <https://doi.org/10.1134/S002636481904010X>
- Kholodov V.A., Ivanov V.A., Farkhodov Ju.R., Safronova N.A., Artemyeva Z.S., Jaroslavceva N.V. The optical characteristics of aggregates organic matter fractions in typical chernozems. Dokuchaev Soil Bulletin. 2017. No. 90. P. 56–72. (in Russian). <https://doi.org/10.19047/0136-1694-2017-90-56-72>
- Kholodov V.A., Yaroslavl'tseva 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. P. 739–748. <https://doi.org/10.1134/S1064229320060058>
- Kholodov V.A., Farkhodov Yu.R., Yaroslavl'tseva 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. No. 112. P. 122–133. (in Russian). <https://doi.org/10.19047/0136-1694-2022-112-122-133>

- Kholodov V. A., Rogova O. B., Lebedeva M. P., Varlamov E. B., Volkov D. S., Ziganshina A. R., Yaroslavl'tseva N. V. Organic matter and mineral matrix of soils: modern approaches, definitions of terms and methods of study (review). Dokuchaev Soil Bulletin. 2023. No. 117. P. 52–100. (in Russian). <https://doi.org/10.19047/0136-1694-2023-117-52-100>
- Kholodov V.A., Yaroslavl'tseva N.V., Ziganshina A.R., Danchenko N.N., Farkhodov Y.R., Maksimovich S.V., Zhidkin A.P. Water-Extractable Organic Matter of Soils with Different Degrees of Erosion-Induced Degradation and Sedimentation in a Small Catchment in the Central Forest-Steppe Part of the Central Russian Upland: Tilled Soils. Eurasian Soil Science. 2024a. Vol. 57. No. 6. P. 889–902. <https://doi.org/10.1134/s1064229324600052>
- Kholodov V.A., Yaroslavl'tseva N.V., Ziganshina A.R., Danchenko N.N., Danilin I.V., Farkhodov Yu.R., Zhidkin A.P. Water-Extractable Organic Matter of the Soils with Different Degrees of Erosion and Sedimentation in a Small Catchment in the Central Forest-Steppe of the Central Russian Upland: Soil Sediments on the Dry Valley Bottom. Eurasian Soil Science. 2024b. Vol. 57. No. 7. P. 1097–1109. <https://doi.org/10.1134/S1064229324600325>
- Chen L., Liu L., Qin S., Yang G., Fang K., Zhu B., Kuzyakov Y., Chen P., Xu Y., Yang Y. Regulation of priming effect by soil organic matter stability over a broad geographic scale. Nature Communications. 2019. Vol. 10. Article number 5112. <https://doi.org/10.1038/s41467-019-13119-z>
- Coble P.G. Characterization of marine and terrestrial DOM in seawater using excitation-emission matrix spectroscopy. Marine Chemistry. 1996. Vol. 51. No. 4. P. 325–346. [https://doi.org/10.1016/0304-4203\(95\)00062-3](https://doi.org/10.1016/0304-4203(95)00062-3)
- Danilin I.V., Danchenko N.N., Ziganshina A.R., Farkhodov Yu. R., Yaroslavl'tseva N.V., Kholodov V.A. Divergent response of Chernozem organic matter towards short-term water stress in *Poa pratensis* L. rhizosphere and bulk soil in pot experiments: A spectroscopic study. Soil and Tillage Research. 2025. Vol. 245. P. 106285 <https://doi.org/10.1016/j.still.2024.106285>
- de Troyer I., Amery F., Van Moorlehem C., Smolders E., Merckx R. Tracing the source and fate of dissolved organic matter in soil after incorporation of a ¹³C labelled residue: a batch incubation study. Soil Biology and Biochemistry. 2011. Vol. 43. No. 3. P. 513–519. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2010.11.016>
- Fröberg M., Berggren D., Bergkvist B., Bryant C., Knicker H. Contributions of Oi, Oe and Oa horizons to dissolved organic matter in forest floor leachates. Geoderma. 2003. Vol. 113. No. 3–4. P. 311–322. [https://doi.org/10.1016/S0016-7061\(02\)00367-1](https://doi.org/10.1016/S0016-7061(02)00367-1)
- Hagedorn F., Saurer M., Blaser P. A ¹³C tracer study to identify the origin of dissolved organic carbon in forested mineral soils. European Journal of Soil Science. 2004. Vol. 55. No. 1. P. 91–100. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2389.2003.00578.x>
- Helms J.R., Stubbins A., Ritchie J.D., Minor E.C., Kieber D.J., Mopper K. Absorption spectral slopes and slope ratios as indicators of molecular weight, source, and photobleaching of chromophoric dissolved organic matter. Limnology and Oceanography. 2008. Vol. 53. No. 3. P. 955–969. <https://doi.org/10.4319/lo.2008>
- ISO 8245:1999 Water quality – Guidelines for the determination of total organic carbon (TOC) and dissolved organic carbon (DOC). <https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/6d1a2e37-7c6b-4be3-bf46248010a9c257/iso-8245-1999>
- Kalbitz K., Solinger S., Park J.H., Michalzik B., Matzner E. Controls on the dynamics of dissolved organic matter in soils: a review. Soil Science. 2000. Vol. 165. No. 4. P. 277–304.
- Korshin G.V., Li C.-W., Benjamin M.M. Monitoring the properties of natural organic matter through UV spectroscopy: a consistent theory. Water Resources. 1997. Vol. 31. No. 7. P. 1787–1795. [https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(97\)00006-7](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(97)00006-7)
- Mann P.J., Spencer R.G.M., Hernes P.J., Six J., Aiken G.R., Tank S.E., McClelland J.W., Butler K.D., Dyda R.Y., Holmes R.M. Pan-Arctic Trends in Terrestrial Dissolved Organic Matter from Optical Measurements. Frontiers in Earth Science. 2016. Vol. 4. P. 1–18. <https://doi.org/10.3389/feart.2016.00025>
- McKnight D.M., Boyer E.W., Westerhoff P.K., Doran P.T., Kulbe T., Andersen D.T. Spectrofluorometric characterization of dissolved organic matter for indication of precursor organic material and aromaticity. Limnology and Oceanography. 2001. Vol. 46. No. 1. P. 38–48. <https://doi.org/10.4319/lo.2001.46.1.0038>
- Murphy K.R., Stedmon C.A., Graeber D., Bro R. Fluorescence spectroscopy and multi-way techniques. PARAFAC. Analytical Methods. 2013. Vol. 5 (23). P. 6557–6566. <https://doi.org/10.1039/C3AY41160E>
- Ohno T. Fluorescence Inner-Filtering Correction for Determining the Humification Index of Dissolved Organic Matter. Environmental Science & Technology. 2002. Vol. 36 (4). P. 742–746. <https://doi.org/10.1021/es0155276>
- Peuravuori J., Pihlaja K. Molecular size distribution and spectroscopic properties of aquatic humic substances. Analytica Chimica Acta. 1997. Vol. 337. No. 2. P. 133–149. [https://doi.org/10.1016/S0003-2670\(96\)00412-6](https://doi.org/10.1016/S0003-2670(96)00412-6)

- Pucher M., Wünsch U., Weigelhofer G., Murphy K., Hein T., Graeber D. staRdom: Versatile software for analyzing spectroscopic data of dissolved organic matter in R. Water (Switzerland). 2019. Vol. 11(11). P. 2366. <https://doi.org/10.3390/w11112366>
- Roper M.M., Gupta V., Murphy D. Tillage practices altered labile soil organic carbon and microbial function without affecting crop yields. Australian Journal of Soil Research. 2010. Vol. 48. No. 3. P. 274–285. <https://doi.org/10.1071/SR09143>
- Seddaiu G., Pinna M.V., Agnelli A., Cappai C., Corti G., Demurtas C.E., Pulina A., Roggero P.P. Dynamics of soluble soil organic matter in Mediterranean maize-based forage system under organic and mineral fertilization. Catena. 2023. Vol. 220. Part B. P. 106730. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2022.106730>
- Sharpless C.M., Aeschbacher M., Page S.E., Wenk J., Sander M., McNeill K. Photooxidation-induced changes in optical, electrochemical, and photochemical properties of humic substances. Environmental science & technology. 2014. Vol. 48. No. 5. P. 2688–2696. <https://doi.org/10.1021/es403925g>
- van Gaalen N., Verschoren V., Clymans W., Poesen J., Govers G., Vanderborght J., Diels J. Controls on dissolved organic carbon export through surface runoff from loamy agricultural soils. Geoderma. 2014. Vol. 226–227. P. 387–396. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2014.03.018>
- Vecchio del R., Blough N.V. On the origin of the optical properties of humic substances. Environmental science & technology. 2004. Vol. 38. No. 14. P. 3885–3891. <https://doi.org/10.1021/es049912h>
- Yano Y., Lajtha K., Sollins P., Caldwell B.A. Chemistry and dynamics of dissolved organic matter in a temperate coniferous forest on andic soils: effects of litter quality. Ecosystems. 2005. Vol. 8. P. 286–300. <https://doi.org/10.1007/s10021-005-0022-9>
- Zsolnay A., Görlitz H. Water extractable organic matter in arable soils: effects of drought and long-term fertilization // Soil Biology & Biochemistry. 1994. Vol. 26. No. 9. P. 1257–1261. [https://doi.org/10.1016/0038-0717\(94\)90151-1](https://doi.org/10.1016/0038-0717(94)90151-1)

Received 03 March 2025

Accepted 23 April 2025

Published 29 April 2025

About the authors:

Vladimir A. Kholodov – Doctor of Science in Agriculture, leading researcher and the head of Lab of Soil Organic matter and Biochemistry of V.V. Dokuchaev Soil Science Institute (Moscow, Russia); vkholod@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-6896-7897>

Alia R. Ziganshina – Master of Ecology, junior researcher of Lab of Soil Organic matter and Biochemistry of V.V. Dokuchaev Soil Science Institute (Moscow, Russia); ziganshina_ar@esoil.ru; <https://orcid.org/0000-0003-2769-5941>

Natalia N. Danchenko – Doctor of Philosophy in Chemistry, senior researcher Lab of Soil Organic matter and Biochemistry of V.V. Dokuchaev Soil Science Institute (Moscow, Russia); nataly_danch@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-4358-4419>

Dmitry A. Nikitin – Doctor of Philosophy in Biology, senior researcher of Soil Microbiology Laboratory of V.V. Dokuchaev Soil Science Institute (Moscow, Russia); dimnik90@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-1842-1754>

Nadezhda V. Yaroslavtseva – Doctor of Philosophy in Biology, senior researcher of Lab of Soil Organic matter and Biochemistry of V.V. Dokuchaev Soil Science Institute (Moscow, Russia); nadezhdayros@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-5805-4285>

Elizaveta M. Danilova-Danilyan – junior researcher of Microbiology Laboratory of V.V. Dokuchaev Soil Science Institute (Moscow, Russia); danilovadanilyanlm@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-1657-1396>

Yulian R. Farkhodov – Doctor of Philosophy in Biology, researcher of Lab of Soil Organic matter and Biochemistry of V.V. Dokuchaev Soil Science Institute (Moscow, Russia); yulian.farkhodov@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0002-0210-380X>

The authors read and approved the final manuscript



The article is available under [Creative Commons Attribution 4.0 License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)