

УДК 631.436

DOI: 10.55959/MSU0137-0944-17-2024-79-4-105-113



ТЕМПЕРАТУРОПРОВОДНОСТЬ ПОЧВЕННО-ТОРФЯНЫХ СМЕСЕЙ: НЕЛИНЕЙНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ ОТ СОДЕРЖАНИЯ ТОРФА

Т. А. Архангельская^{1*}, Е. В. Телятникова², А. Б. Умарова¹

¹ МГУ имени М.В. Ломоносова, факультет почвоведения, 119991, Россия, Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 12

² Бурятский государственный университет имени Доржи Банзарова, 670000, Россия, Улан-Удэ, ул. Ранжурова, д. 4

* E-mail: t.a.arhangelskaia@yandex.ru

Исследована температуропроводность верхнего пахотного горизонта урбанозема, отобранного на территории Почвенного стационара МГУ, низинного пакетированного торфа, а также их смесей. Просеянную через сито 1 мм почву из гор. Апах смешивали с торфом в различных долевых соотношениях; содержание торфа в смесях составляло от 1 до 80% по сухой массе. Почвой, торфом и их смесями набивали металлические цилиндры высотой 10 см и диаметром 3,8 см. Измерения температуропроводности проводили, используя метод регулярного режима с рабочим интервалом температур 20–26°C. Измеряли скорость нагревания набивных образцов после помещения в жидкостный термостат с постоянной температурой воды. Для каждого из исследованных образцов провели серию измерений при пошаговом изменении влажности образца от максимальной после капиллярного насыщения до минимальной при воздушно-сухом состоянии. При изменении влажности в исследованном диапазоне температуропроводность разных образцов менялась в 1,3–3,5 раза; наибольшие изменения были характерны для минеральной почвы. Зависимость температуропроводности от влажности для торфа оказалась почти линейной, для почвы это была S-образная кривая со слабо выраженным максимумом. Наиболее низкая температуропроводность получена для торфа и смесей с его высоким содержанием; наиболее высокая — для почвы без примеси торфа. Выявлен нелинейный характер зависимости температуропроводности от содержания торфа в образцах. Небольшие добавки торфа к минеральной почве приводили к заметному снижению температуропроводности смеси; небольшие добавки почвы к торфу практически не влияли на температуропроводность. Температуропроводность изученных субстратов увеличивалась с увеличением плотности образцов и уменьшалась с увеличением содержания органического вещества. Сделан вывод, что для почвенно-торфяных смесей характерны те же закономерности, что и для ранее исследованных торфо-песчаных смесей, но в случае почвенно-торфяных смесей эти закономерности выражены менее отчетливо.

Ключевые слова: метод регулярного режима, городские почвы, почвенные конструкции, торфование.

Введение

Одним из приоритетных направлений наук о почве в России является конструирование улучшенных и искусственных почв [Krasilnikov, 2022]. Задачи исследований в этом направлении могут быть разными: это и увеличение содержания агрономически ценных агрегатов с целью стимулирования роста и развития растений [Yakimenko et al., 2021], и долгосрочная секвестрация углерода в пахотных почвах [Husniev et al., 2023], и предотвращение эрозии почв [Orts et al., 1999], и сокращение непродуктивных потерь почвенной влаги [Смагин и др., 2023], и оптимизация функционирования зеленых насаждений в крупных мегаполисах [Flores Ramírez, 2018]. В данной статье пойдет речь о тепло-

вых свойствах почвенно-торфяных смесей, используемых в городском озеленении.

В городах присутствуют и природные почвы, в первую очередь на территории парково-рекреационных зон, но, например, в Москве значительную долю городских почв составляют разновозрастные антропогенно-сформированные почвы с насыпными поверхностными горизонтами из различных рекультивантов, которые представлены торфо-песчаными смесями, сапропелями, почвенными органоминеральными горизонтами [Гончарова и др., 2021]. Помимо насыпных поверхностных горизонтов, применяются слоистые конструкции, в которых торфяные слои располагаются в средней части почвенного профиля [Сусленкова и др., 2018; Смагин и др., 2023]. Использование слоистых кон-

струкций позволяет повысить устойчивость органических почвомодификаторов к биodeградации и увеличить срок их службы по сравнению с традиционным мульчированием торфом поверхности почвы [Смагин и др., 2023]. Эту же цель преследует использование торфо-песчаных и почвенно-торфяных смесей вместо чистого торфа. Добавление песка или почвы в торф увеличивает теплопроводность получившейся смеси по сравнению с чистым торфом, благодаря чему температурная волна лучше проникает вглубь почвенного профиля. Это позволяет избежать перегрева приповерхностного слоя и замедлить минерализацию органического вещества, уменьшая углеродный след созданной конструкции.

В ходе функционирования почвенных конструкций содержание органического вещества в них достаточно быстро сокращается; одновременно происходит трансформация почвенной структуры на микроуровне и изменение гранулометрического состава. Эти изменения становятся заметны уже через два года после закладки конструкций [Сусленкова и др., 2018]. Скорость происходящих трансформаций и соответственно правильность и долговременность функционирования созданной конструкции в значительной степени определяются начальными физическими характеристиками компонентов конструкции [Глушакова и др., 2021]. Как нам представляется, немаловажную роль играют тепловые свойства использованных субстратов и порядок расположения слоев в почвенном профиле, которые определяют температурный режим искусственной почвы, а значит, и скорость происходящих в ней процессов.

Для торфо-песчаных смесей ранее были получены многочисленные данные, свидетельствующие о выраженно нелинейном отклике водных и тепловых свойств этих смесей на изменение долевого соотношения торфа и песка [Архангельская, Телятникова, 2023; Walczak et al., 2002; Witkowska-Walczak et al., 2002; Zhao, Si, 2019]. Оказалось, что кривые водоудерживания и доступность кислорода растениям, а также плотность смеси и зависимости теплопроводности от влажности сильно меняются с содержанием торфа в смесях, но лишь пока это содержание остается невысоким. Небольшое количество торфа, будучи добавленным в песок, существенно снижает теплопроводность полученной смеси по сравнению с песком, и степень этого снижения растет с увеличением количества добавленного торфа. При этом то же количество по весу песка, добавленное в торф, практически не увеличивает способность смеси прогреваться по сравнению с чистым торфом. Возможно, дело в том, что песок и торф очень контрастны по своим тепловым свойствам: теплопроводность песка в несколько раз выше, чем теплопроводность торфа, практически во всем диапазоне влажности. При смешивании столь различных по своим свойствам субстратов возникают нелинейные эффекты:

чувствительность теплопроводности песка к добавлению торфа намного выше, чем чувствительность теплопроводности торфа к добавлению песка.

Будет ли наблюдаться сходный эффект для почвенно-торфяных смесей с менее контрастными свойствами используемых субстратов? Насколько сильно меняется теплопроводность почвенно-торфяных смесей при изменении долевого соотношения почвы и торфа? Актуальность этих вопросов обусловлена тем, что долевое соотношение торфа и почвы в таких смесях может быть самым разным, в том числе и меняться во времени из-за довольно быстрой минерализации внесенного органического вещества. Например, в статье [Vidal-Beaudet, Charpentier, 2000] обсуждаются лабораторные смеси с 20 и 40% объемного содержания торфа, что соответствует 2,8 и 5,6% содержания углерода по сухой массе. Существенно большее содержание углерода, а именно 7–19% по сухой массе, приводится в работе [Moscal et al., 2001] для отобранных в поле образцов почв, улучшенных торфованием. В работах [Lashermes et al., 2009; Vidal-Beaudet et al., 2012] приводятся намного более скромные оценки остаточного содержания углерода в почвах спустя длительное время после внесения торфа: 1–10 г С/кг для сельскохозяйственных почв и до 50 г С/кг сухой массы для городских почв, что соответствует 0,1–1 и 5% содержания углерода.

При прогнозировании поведения почвенной системы одним из ключевых параметров модели долгосрочной динамики углерода в почвах, восстановленных внесением большого количества органического вещества, является температура [Vidal-Beaudet et al., 2012]. Можно ожидать, что по мере минерализации внесенного в почву торфа теплопроводность почвы будет постепенно увеличиваться, приводя к увеличению амплитуды колебаний температуры в суточном и годовом ходе. Оценить эти изменения температурного режима почвы можно, зная теплопроводность почвенно-торфяных смесей и ее изменения при уменьшении содержания торфа.

Цель работы: получение, сопоставление и анализ зависимостей теплопроводности от влажности для образцов почвенно-торфяных смесей при различных долеговых соотношениях торфа и почвы, в частности при самых небольших содержаниях торфа.

Материалы и методы

Объектами исследований были низинный обогашенный пакетированный торф «Селигер-Агро» и гор. Апах урбанозема с территории Почвенного стационара МГУ, которые ранее были использованы при создании модельных конструктоземов [Сусленкова и др., 2018], а также их смеси. Гранулометрический состав почвы определяли пипет-

Таблица 1

Гранулометрический состав гор. Апах

	Размер частиц, мм					
	0,25–1	0,05–0,25	0,01–0,05	0,005–0,01	0,001–0,005	<0,001
Содержание фракций, %	12	18	28	13	7	22

методом с предварительной пирофосфатной диспергацией [Теории и методы..., 2007]; содержание органического углерода в торфе и почве — методом сухого сжигания в токе кислорода [Когут и др., 1993; Schumacher, 2002].

Смеси почвы с торфом готовили в различных пропорциях, чтобы исследовать чувствительность температуропроводности смесей к содержанию торфа. Эти пропорции были такими же, как пропорции песка и торфа в опубликованной ранее работе [Архангельская, Телятникова, 2023]. Доли торфа в смесях составляли 1, 3, 5, 10, 20, 40, 60 и 80% по сухой массе. Содержание органического углерода в смесях рассчитывали исходя из содержания органического углерода в торфе и почве и долевых соотношений торфа и почвы в смеси. Полученными смесями с усилием набивали тонкостенные металлические цилиндры высотой 10 см и диаметром 3,8 см. Сформированные образцы насыщали водой путем капиллярного подпитывания и затем постепенно подсушивали до воздушно-сухого состояния, измеряя температуропроводность при различных значениях влажности. После очередного подсушивания образец заворачивали в полиэтилен и оставляли не менее чем на 24 ч, чтобы обеспечить равномерное распределение почвенной влаги в образце. После этого проводили очередное измерение температуропроводности. После окончания серии измерений для каждого образца определяли его плотность термовесовым методом.

Измерения температуропроводности проводили, используя метод регулярного режима [Теории и методы..., 2007; Parikh et al., 1993] с рабочим интервалом температур 20–26°C. Для каждого образца проводили серию измерений при пошаговом изменении влажности от максимальной после капиллярного насыщения до минимальной при воздушно-сухом состоянии. При проведении очередного измерения образец, предварительно выдержанный при комнатной температуре около 20°C, герметично закрывали и помещали в жидкостный циркуляционный термостат с температурой воды 26°C. Скорость прогревания образца измеряли с помощью дифференциальной медно-константановой термопары.

Измерения зависимостей температуропроводности от влажности для почвы и торфа проводили в трех повторностях; для почвенно-торфяных смесей — в одной повторности для каждого из восьми вариантов.

Результаты

В табл. 1 и 2 представлены основные физические свойства исследованных образцов, которые влияют на температуропроводность. В гор. Апах преобладала фракция 0,01–0,05 мм; содержание физической глины (частиц с диаметром менее 0,01 мм) составляло 42%, что соответствует тяжелому суглинку по Н.А. Качинскому [Теории и методы..., 2007].

По мере увеличения доли торфа от 0 до 100% плотность набивных образцов закономерно уменьшалась; плотность образца чистого торфа была в 4 раза меньше по сравнению с плотностью образца из гор. Апах. Содержание органического углерода ($C_{орг}$) в исследованных образцах возрастало от 2,7% для гор. Апах до 38,5% для торфа (табл. 2).

Зависимости температуропроводности от влажности для почвы и торфа различались и диапазоном значений, и формой кривых (рис. 1). В воздушно-сухом состоянии температуропроводность почвы была выше температуропроводности торфа в 1,2 раза; при увеличении влажности эти расхождения усиливались. Температуропроводность влажной почвы достигала $4,1 \times 10^{-7}$ м²/с, температуропроводность уплотненного при набивке торфа не превышала $1,5 \times 10^{-7}$ м²/с во всем диапазоне влажности. Для образцов гор. Апах была характерна S-образная форма кривой, типичная для тяжелосуглинистых почв [Архангельская, 2020], с особенно длинным выположенным участком в области зна-

Таблица 2

Содержание торфа (p), плотность набивки (ρ_b) и содержание органического углерода ($C_{орг}$) в образцах гор. Апах, торфа и почвенно-торфяных смесей

p , %	ρ_b , г/см ³	$C_{орг}$, %
0	1,20	2,7
1	1,29	3,1
3	1,22	3,8
5	1,20	4,5
10	1,11	6,3
20	1,02	9,9
40	0,76	17,0
60	0,45	24,2
80	0,45	31,3
100	0,31	38,5

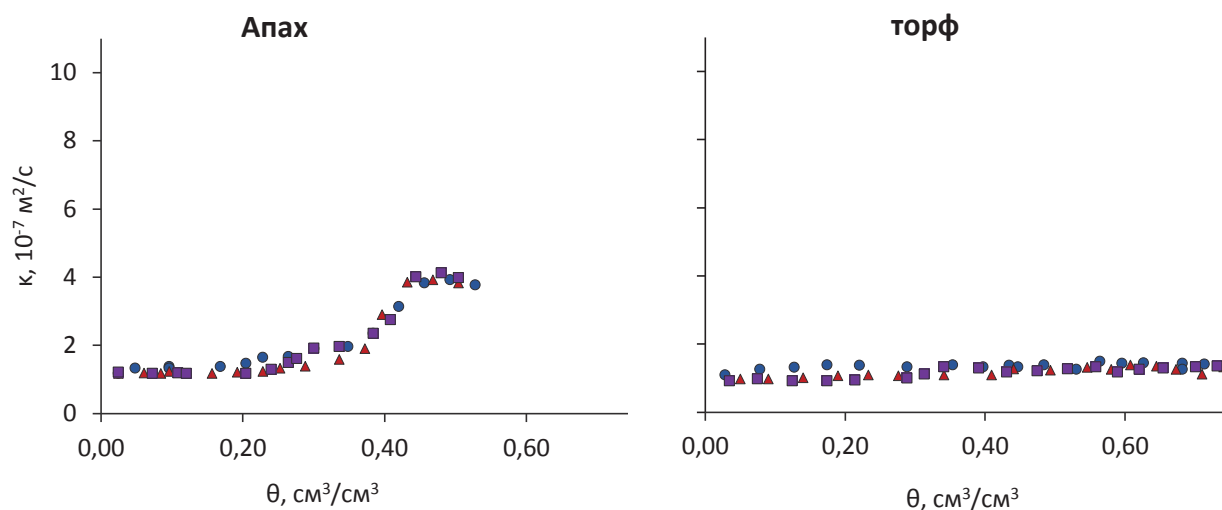


Рис. 1. Зависимости температуропроводности (κ) от влажности (θ) для гор. Апах и торфа.
Разными символами обозначены три повторности

чений влажности менее $0,20 \text{ см}^3/\text{см}^3$. Это длинное плато можно объяснить затрудненным конвективным переносом влаги в набивном образце, что приводит к небольшому росту теплопроводности с влажностью, сопоставимому с ростом теплоемкости. При пропорциональном увеличении теплопроводности и теплоемкости температуропроводность, равная отношению этих двух тепловых свойств, остается постоянной, пока теплопроводность не начнет расти быстрее теплоемкости в области подвижной почвенной влаги. Образцы торфа демонстрировали небольшое увеличение температуропроводности во всем диапазоне влажности.

Полученные для почвы и торфа зависимости температуропроводности от влажности практически не различались между тремя повторностями (рис. 1). Поэтому при дальнейшей работе с почвенно-торфяными смесями измерения температуропроводности проводили в одной повторности, что позволило подробно исследовать отклик температуропроводности смесей на изменение содержания торфа.

Основные изменения температуропроводности смесей приходились на диапазон содержания торфа от 0 до 60% (рис. 1, 2). При увеличении доли торфа от 0 до 60% наблюдался постепенный переход от высоких значений температуропроводности, характерных для гор. Апах, к низким значениям, характерным для торфа. Для смесей с содержанием торфа 60, 80 и 100% зависимости температуропроводности от влажности практически совпадали (рис. 1, 2).

Обсуждение

Закономерности изменения температуропроводности почвенно-торфяных смесей в зависимости от содержания торфа сходны с полученными ранее закономерностями для торфо-песчаных

смесей [Архангельская, Телятникова, 2003], но не столь ярко выражены (рис. 3). И для капиллярно-насыщенных, и для воздушно-сухих образцов наблюдается нелинейное уменьшение температуропроводности (κ) с увеличением доли торфа в смеси (p). Быстрое падение в области низких содержаний торфа сменяется постепенным выполаживанием кривой $\kappa(p)$; при долевого содержания торфа более 60% температуропроводность смеси остается постоянной, примерно равной температуропроводности торфа. Это значит, что добавление небольшого количества торфа в почву заметно снижает температуропроводность смеси. При этом, наоборот, даже значительные добавления почвы к торфу, вплоть до половины по массе, практически никак не влияют на температуропроводность, пока содержание торфа не снизится до 60%. Например, добавление 20% торфа в почву приводит к уменьшению температуропроводности в полтора раза, а добавление 20% почвы в торф никак на нее не влияет (рис. 3).

Различия между почвенно-торфяными и торфо-песчаными смесями обусловлены различиями между гор. Апах и песком, поскольку торф в двух сериях экспериментов использовался один и тот же. Гор. Апах по гранулометрическому составу является тяжелым суглинком (табл. 1), а в работе [Архангельская, Телятникова, 2003] использовался рыхлый песок.

Температуропроводность тяжелых суглинков может меняться в довольно широких пределах в зависимости от влажности, плотности и содержания органического вещества, достигая $5,9 \times 10^{-7} \text{ м}^2/\text{с}$ [Архангельская, 2020]. Для рыхлых песков характерна существенно более высокая температуропроводность, которая может превышать $1 \times 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ [Архангельская, 2020]. Расхождения в гранулометрическом составе почвы и песка являются одной из

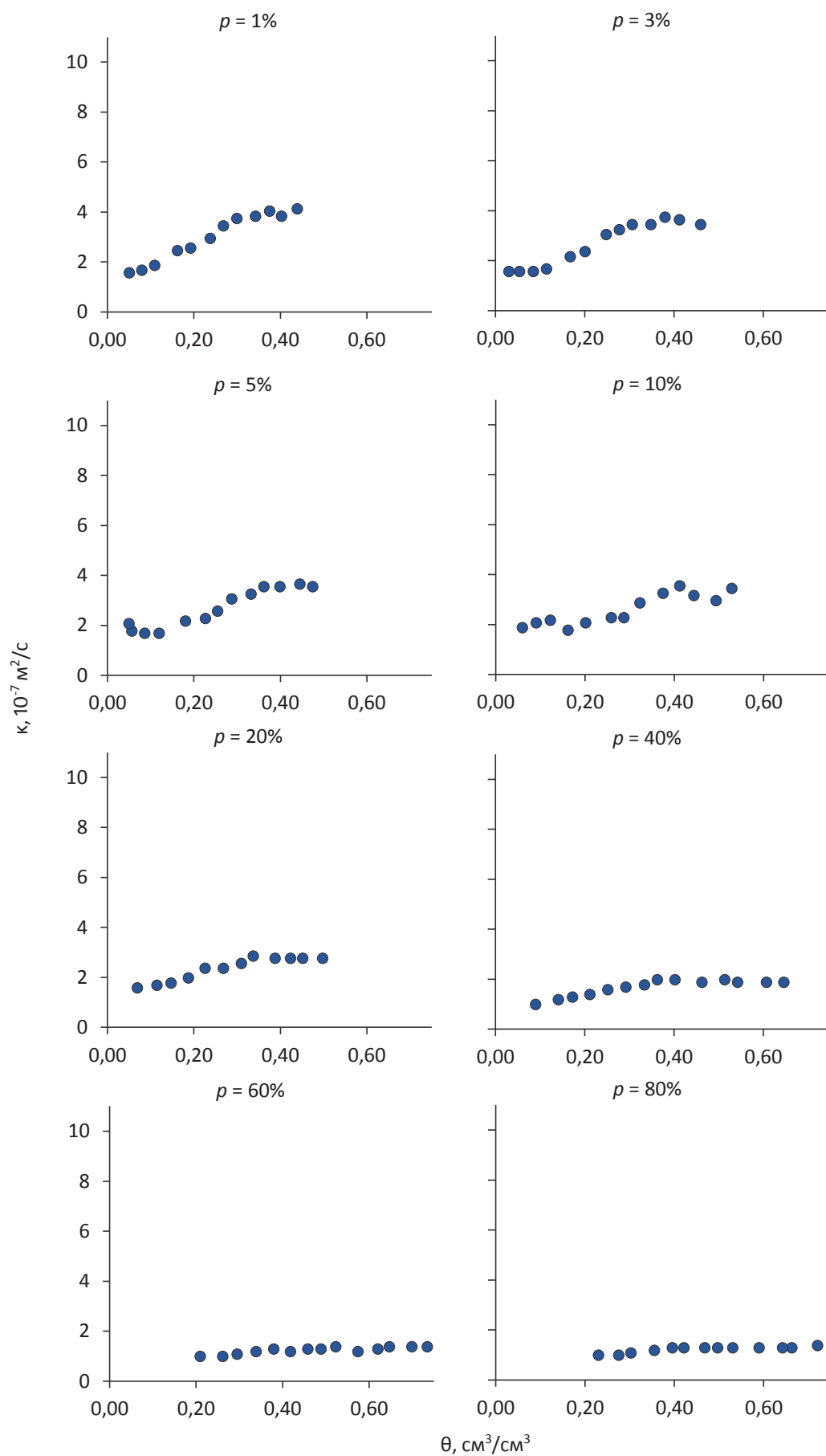


Рис. 2. Зависимости температуропроводности (κ) от влажности (θ) для почвенно-торфяных смесей с различным содержанием торфа (p)

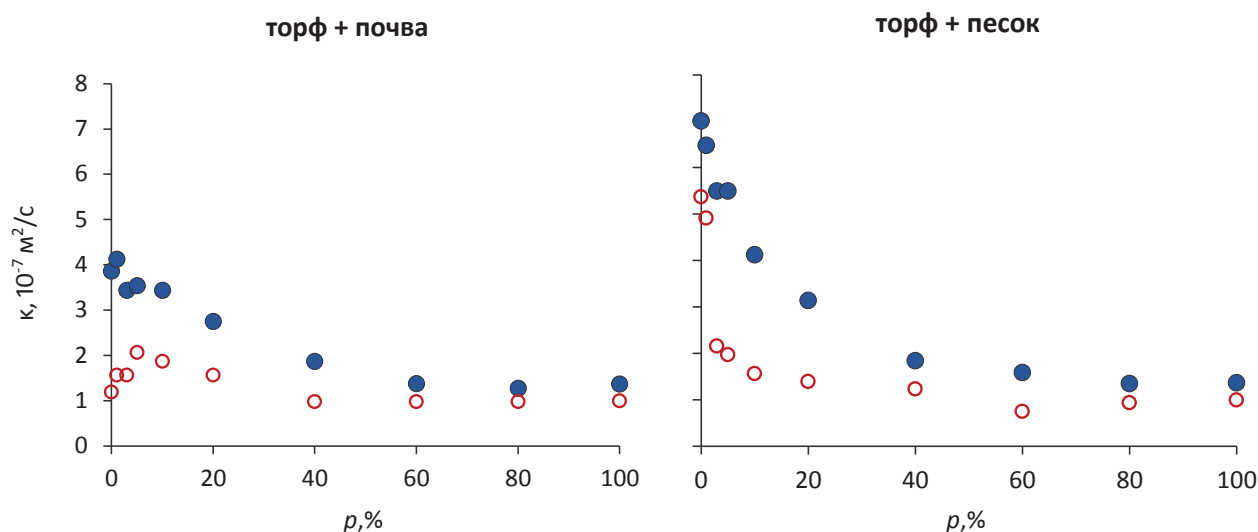


Рис. 3. Температуропроводность (κ) капиллярно-насыщенных (черные символы) и воздушно-сухих (белые символы) образцов при различной массовой доле торфа (p) в почвенно-торфяных и торфо-песчаных [Архангельская, Телятникова, 2023] смесях

причин разницы в их температуропроводности, а значит, и температуропроводности их смесей с торфом.

Кроме гранулометрического состава, на температуропроводность влияют плотность и содержание органического вещества. Низкая плотность торфа и высокое содержание органического вещества являются факторами уменьшения температуропроводности торфяных образцов, и наоборот: существенно более высокая плотность в сочетании с относительно небольшим содержанием органического вещества способствует формированию высокой температуропроводности почвенных образцов и еще более высокой температуропроводности песчаных образцов. Представляется, что менее резкое падение температуропроводности при небольшом добавлении торфа в почву по сравнению

с добавлением торфа в песок объясняется меньшей контрастностью смешиваемых субстратов в почвенно-торфяных смесях.

При увеличении доли торфа в почвенно-торфяных смесях плотность образцов уменьшалась почти линейно в отличие от выраженного нелинейного характера уменьшения плотности торфо-песчаных образцов (рис. 4). Поэтому мы можем заключить, что нелинейность зависимости температуропроводности почвенно-торфяных смесей от содержания торфа не может быть объяснена исключительно характером изменения плотности образцов.

Мы предполагаем, что причиной выявленного нелинейного характера уменьшения температуропроводности с увеличением содержания торфа в смесях является совместное действие ряда факторов. Помимо уменьшения плотности, это возрас-

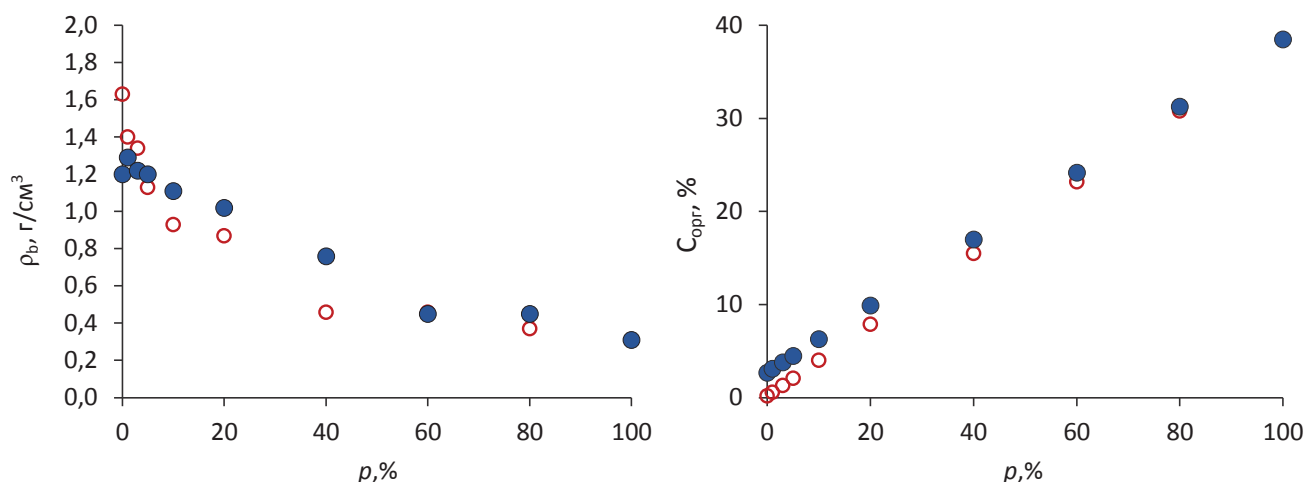


Рис. 4. Плотность образцов (ρ_b) и содержание органического углерода ($C_{\text{орг}}$) в зависимости от массовой доли торфа (p) для почвенно-торфяных (черные символы) и торфо-песчаных (белые символы) [Архангельская, Телятникова, 2023] смесей

тание содержания органического углерода и уменьшение содержания крупных частиц в смеси.

Содержание углерода в почвенно-торфяных смесях возрастало при переходе от гор. Апах к торфу в 14 раз (табл. 1, рис. 4); при этом при $p = 0\%$, т.е. в материале гор. Апах без примеси торфа содержание углерода составляло 2,7%, что гораздо больше, чем 0,2% для чистого песка. Мы полагаем, что разница в содержании углерода при $p = 0\%$ вносила существенный вклад в расхождения между температуропроводностью капиллярно-насыщенных образцов гор. Апах и песка (рис. 3).

Механизм влияния содержания крупных частиц на температуропроводность смеси подробно обсуждается в [Архангельская, Телятникова, 2023] и сводится к тому, что при добавлении небольшого количества торфа в песок мы получаем значительное количество мелких торфяных частиц, распределенных в песчаной толще, что сильно меняет теплопроводность полученной смеси по сравнению с песком. В случае добавления небольшого количества песка в торф единичные крупные зерна песка оказываются разбросанными по торфяной толще, что не меняет теплопроводности основной толщи. Поэтому температуропроводность торфо-песчаных смесей с небольшим содержанием песка практически не отличается от температуропроводности торфа. В случае почвенно-торфяных смесей этот эффект, по-видимому, менее выражен в силу разницы в гранулометрическом составе гор. Апах и песка, но мы полагаем, что он может вносить заметный вклад в нелинейный характер зависимости температуропроводности смесей от содержания торфа.

Заключение

Температуропроводность торфа намного меньше температуропроводности суглинистой почвы. При смешивании столь различных субстратов возникают нелинейные эффекты: чувствительность температуропроводности почвы к добавлению торфа выше, чем чувствительность торфа к добавлению почвенного материала. Внесение небольших добавок торфа в почву может приводить к существенному снижению температуропроводности. Для получения сколько-либо значимого увеличения температуропроводности торфяного субстрата необходимо внести в него не менее 60% почвенного материала.

Информация о финансировании работы

Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 19-29-05252).

СОБЛЮДЕНИЕ ЭТИЧЕСКИХ СТАНДАРТОВ

В данной работе отсутствуют исследования человека или животных.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Архангельская Т.А. Параметры зависимости температуропроводности минеральных почв от влажности для различных текстурных классов // Почвоведение. 2020. № 1.
2. Архангельская Т.А., Телятникова Е.В. Температуропроводность торфо-песчаных смесей с разным соотношением торфа и песка // Почвоведение. 2023. № 4.
3. Глушакова А.М., Качалкин А.В., Лысак Л.В. и др. Ауксин-продуцирующая активность штаммов бактерий и дрожжевых грибов, выделенных из компонентов почвенных конструкций // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 17. Почвоведение. 2021. Т. 76, № 4.
4. Гончарова О.Ю., Семенюк О.В., Стома Г.В. Исследование почв на урбанизированных территориях: анализ методических аспектов и подходов (на примере г. Москвы) // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 17. Почвоведение. 2021. Т. 76, № 4.
5. Козут Б.М., Большаков В.А., Фрид А.С. и др. Аналитическое обеспечение мониторинга гумусового состояния почв. М., 1993.
6. Смагин А.В., Садовникова Н.Б., Беляева Е.А. и др. Имитационное моделирование и практическое использование гидрологической функции детрита в технологиях почвенного конструирования // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 17. Почвоведение. 2023. Т. 78, № 4.
7. Сусленкова М.М., Умарова А.Б., Бутылкина М.А. Микроструктура почв разного генезиса и ее трансформация в составе конструкторов в условиях г. Москвы // Почвоведение. 2018. № 10.
8. Suslenkova M.M., Umarova A.B., Butylkina M.A. Microstructure of soils of different geneses and its transformation in constructozems of Moscow // Eurasian Soil Sci. 2018. Vol. 51, № 10. <https://doi.org/10.1134/S1064229318100125>
9. Теории и методы физики почв / Под ред. Е.В. Шейна, Л.О. Карпачевского. М., 2007.
10. Flores Ramírez E. Purpose-designed technogenic materials for sustainable urban greening. Doctoral thesis. Berlin, 2018.
11. Husniev I., Romanenkov V., Siptits S. et al. Perspectives on effective long-term management of carbon stocks in chernozem under future climate conditions // Agriculture. 2023. Vol. 13, № 10.
12. Lashermes G., Nicolardot B., Parnaudeau V. et al. Indicator of potential residual carbon in soils after exogenous organic matter application // Eur. J. Soil Sci. 2009. Vol. 60, № 2.
13. Krasilnikov P. Soil priorities in Russia // Geoderma Regional. 2022. Vol. 29, № e00538.
14. Moskal T.D., Leskiw L., Naeth M.A. et al. Effect of organic carbon (peat) on moisture retention of peat: mineral mixes // Can. J. Soil Sci. 2001. Vol. 81, № 2.
15. Orts W.J., Sojka R.E., Glenn G.M. et al. Preventing soil erosion with polymer additives // Polymer News. 1999. Vol. 24.
16. Parikh R.J., Havens J.A., Scott H.D. Thermal diffusivity and conductivity of moist porous media // Soil Sci. Soc. Am. J. 1979. Vol. 43.

17. *Schumacher B.A.* Methods for the determination of total organic carbon (toc) in soils and sediments. Las Vegas, 2002.

18. *Vidal-Beaudet L., Charpentier S.* Percolation theory and hydrodynamics of soil-peat mixtures // *Soil Sci. Soc. Am. J.* 2000. Vol. 64.

19. *Vidal-Beaudet L., Grosbellet C., Forget-Caubel V. et al.* Modelling long-term carbon dynamics in soils reconstituted with large quantities of organic matter // *Eur. J. Soil Sci.* 2012. Vol. 63, № 6.

20. *Walczak R., Rovdan E., Witkowska-Walczak B.* Water retention characteristics of peat and sand mixtures // *Int. Agrophys.* 2002. Vol. 16.

21. *Witkowska-Walczak B., Bieganski A., Rovdan E.* Water-air properties in peat, sand and their mixtures // *Int. Agrophys.* 2002. Vol. 16.

22. *Yakimenko O.S., Gruzdenko D.A., Stepanov A.A. et al.* Polyelectrolytes for the construction of artificial soils // *Polym. Sci. Ser. C.* 2021. Vol. 63.

23. *Zhao Y., Si B.* Thermal properties of sandy and peat soils under unfrozen and frozen conditions // *Soil Till. Res.* 2019. Vol. 189.

Поступила в редакцию 08.07.2024

После доработки 20.07.2024

Принята к публикации 06.08.2024

THERMAL DIFFUSIVITY OF SOIL-PEAT MIXTURES: NONLINEAR DEPENDENCE ON PEAT CONTENT

T. A. Arkhangel'skaya, E. V. Telyatnikova, A. B. Umarova

The thermal diffusivity of the upper plow horizon of the urban soil from the territory of MSU Experimental soil station, lowland packed peat, and their mixtures was studied. The soil from Ap horizon was sieved through a 1 mm sieve and mixed with peat in various proportions; the content of peat in mixtures ranged from 1 to 80% by dry weight. Metal cylinders 10 cm high and 3.8 cm in diameter were filled with soil, peat, and soil-peat mixtures. The thermal diffusivity was measured using the unsteady-state method with a working temperature range of 20–26°C. The heating rate of the packed samples was measured after the samples were placed in a liquid thermostat with a constant water temperature. For each sample, a series of measurements was carried out with a step-by-step change in soil water content from the maximum one after capillary saturation of the sample to the minimum one, corresponding to the air-dry state. Within the studied range of water contents, the thermal diffusivity of different samples changed by a factor of 1.3–3.5; the greatest changes with water content were typical for mineral soil. The thermal diffusivity vs. water content dependence was almost linear for peat, and for soil it was an S-shaped curve with a weakly expressed maximum. The lowest thermal diffusivity was obtained for peat and mixtures with high peat contents; the highest one — for soil without peat additions. The non-linear character of the thermal diffusivity vs. peat content dependence was revealed. Small additions of peat to mineral soil resulted in a noticeable decrease in the thermal diffusivity of the mixture; small additions of soil to peat had practically no effect on thermal diffusivity. The thermal diffusivity of the studied substrates increased with increasing sample bulk density and decreased with increasing organic matter content. It was concluded that the patterns typical for soil-peat mixtures are similar to those earlier obtained for peat-sand mixtures, but in the case of soil-peat mixtures these patterns are less clearly expressed.

Keywords: the unsteady-state method, urban soils, soil constructions, peating.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Архангельская Татьяна Александровна, докт. биол. наук, профессор кафедры физики и мелиорации почв факультета почвоведения МГУ имени М.В. Ломоносова, e-mail: t.a.arhangel'skaia@yandex.ru

Телятникова Екатерина Владимировна, вед. специалист отдела подготовки кадров высшей квалификации Бурятского государственного университета имени Доржи Банзарова, e-mail: katya_2403@mail.ru

Умарова Аминат Батальбиевна, докт. биол. наук, профессор, зав. кафедрой физики и мелиорации почв факультета почвоведения МГУ имени М.В. Ломоносова, e-mail: a.b.umarova@gmail.com