

УДК 631.4

ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТОРФОЗЕМА НА НИЗИННОМ ТОРФЕ

© 2019 г. Е. В. Шеин^{a, b, *}, А. Д. Позднякова^c, Н. В. Сорокина^a,
А. В. Дембовецкий^a, А. П. Шваров^a, Л. И. Ильин^d^aМГУ им. М.В. Ломоносова, Ленинские горы, 1, Москва, 119991 Россия^bПочвенный институт им. В.В. Докучаева, Пыжевский пер., 7, Москва, 119017 Россия^cВсероссийский научно-исследовательский институт мелиорированных земель,
п. Эммаусс, Калининский р-н, Тверская обл., 170530 Россия^dВладимирский НИИСХ, ул. Центральная, 3, п. Новый, Суздальский р-н, Владимирская область, 601261 Россия

*e-mail: evgeny.shein@gmail.com

Поступила в редакцию 06.03.2019 г.

После доработки 03.04.2019 г.

Принята к публикации 24.04.2019 г.

Температурный режим и зависимость теплопроводности от объемной влажности высокозольных торфоземов, развитых на древесном торфе, подстилаемых залежью травяного, осокового и древесного торфа (Sapric Drainic Histosols (Lignic)) Яхромской долины (Московская область) исследовали в полевых режимных наблюдениях и в лабораторных условиях на образцах ненарушенного сложения. Зависимости теплопроводности в лабораторных условиях определяли в процессе иссушения образца методом Кондратьева (steady-state radial heat flow), а по полевым динамическим данным о суточном ходе температуры – методом решения обратной задачи (метод “тепловой волны”). Зависимости, полученные лабораторным и полевым методами, имели куполообразную форму, максимумы которых были близки (при 57–60% объемной влажности), но теплопроводность, полученная по полевым определениям была меньше в точке максимума в 1.2 раза. Учитывая дальнейшее использование зависимости в прогнозных математических моделях, аппроксимация кривых по методу Чанга и Хортон позволила оценить достоверность параметров аппроксимации и сравнить их. Ошибки аппроксимации по результатам лабораторного метода достоверно увеличивались с ростом измеряемой величины теплопроводности, что указывает на наличие систематической ошибки при лабораторном измерении теплопроводности от влажности, для полевого метода такого не отмечалось. Наличие систематической ошибки при лабораторных исследованиях предположительно связано с процессами усадки и паропереноса.

Ключевые слова: торфяные почвы, теплопроводность, тепловой режим, суточная динамика температуры почвы

DOI: 10.1134/S0032180X1911011X

ВВЕДЕНИЕ

Функционирование как природной, так и антропогенно-измененной торфяной системы определяется, прежде всего, ее гидротермическим режимом. Это положение считается справедливым и для торфяных почв, в которых температурный фактор иногда оказывается лимитирующим биологическую деятельность [1–3, 8]. В данном случае используется термин “гидротермический режим” на основе признаваемой в физике почв тесной взаимосвязи водного и температурного режимов и важности для функционирования биоты гидро- и теплофизических факторов [5, 8, 9]. Отметим, что для минеральных почв выработаны научные обоснованные подходы, методы анализа, прогноза и оптимизации режимов, а для торфяных почв такие методы весьма ограничены. Сложность изучения

гидротермического режима торфяных почв во многом связана с их специфическими физическими свойствами: низкой плотностью, гидрофобностью в сухом состоянии, резким набуханием, трудностями лабораторных экспериментов с ненарушенными образцами торфа и др.

Но актуальность производственного использования торфоземов требует количественных расчетов и прогнозов их теплового (температурного) режима. В частности, в производственных условиях нередко возникает задача определения и краткосрочного предсказания температуры почвы на конкретной глубине, когда для сельскохозяйственных культур надо знать температуру на определенной глубине для уточнения сроков посева или посадки. Развитие количественной наземной экологии предполагает реали-

зовать возможности осуществления дифференцированного подхода к оценке тепловых ресурсов различных участков исследуемого наземного массива в зависимости от параметров почвенного покрова, в том числе от температуры подпочвенных слоев. В этом случае оперативной информацией от корневой системы растений и ее развития) глубине. Проблема состоит в том, что температуру поверхности почвы в настоящее время можно определить быстро и на значительной площади с помощью средств дистанционного зондирования, однако необходима оценка температуры по всему профилю торфяных почв, то есть значительно ниже поверхности. В этом случае определение температуры на некоторой глубине (глубине посадки, обработки и др.) связано с распространением тепловой волны от поверхности вглубь почвы, которое основано на использовании теплофизических функций, в частности зависимости температуропроводности от влажности торфозема [6, 10, 11]. Возникают вопросы разработки методов оценки теплофизических свойств торфяных почв, требуемых для такого рода расчетов, а также необходимо оценить возможные погрешности некоторых распространенных для минеральных почв методов, возможные причины этих погрешностей, способы их уменьшения.

Цель работы – обоснование методов изучения зависимости температуропроводности торфозема от влажности, как основной характеристики для количественных расчетов и прогноза гидротермического режима торфяных почв. Задачи: экспериментальное изучение зависимости температуропроводности от влажности в лабораторных условиях с ненарушенными образцами торфозема Яхромской долины (Дмитровский район Московской области), апробация полевого метода определения указанной зависимости на основе исследования послонной динамики температуры с помощью цифровых термодатчиков, сравнение методов и исследование возможных погрешностей определения указанной зависимости.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Объектом исследования являлся низинный торф центральной части долины р. Яхромы на восьмом квартале стационара “Дальний” территории Дмитровского отдела Всероссийского НИИ мелиорированных земель (Дмитровский район, Московская область). Это один из старейших объектов мелиорации, осушенный в 1933 г. открытой сетью с глубиной картовых каналов 0.8–1.2 м. В 1964 г. на восьмом квартале сеть открытых каналов между собирателями была заменена закрытым дренажем с расстоянием между дренами 40, 30, 20 м при средней глубине дрен 1.0–1.6 м. Мощность торфяной залежи центральной поймы Яхромы от 1.5

до 6 м, в среднем около 3 м. Встречается низинный торф следующих видов: древесно-осоковый, древесно-травяной, березовый, еловый, сосновый, тростниково-древесный [4, 7]. Описание торфозема на древесно-осоковом торфе:

Почва: торфозем типичный глубокопахотный на среднемощных (1.7 м) древесно-осоковых торфах.

РТ1, 0–25 см. Влажный, темно-серый, почти черный. Мелкокомковатая структура. Хорошо оструктурен, рыхлый, степень разложения более 80%. Встречаются редкие мелкие ветки, корни травянистых растений. Переход постепенный, граница ровная.

РТ2, 25–43 см. Влажный, темно-серый. Сильная степень разложения (около 80%), комковатая структура, отмечается горизонтальная слоистость. Плотнее предыдущего горизонта. Встречаются редкие корни, разложенные фрагменты древних травянистых остатков. Переход ясный, граница слабоволнистая.

ТТ1, 43–76 см. Сырой, темно-серый с бурым оттенком торф. Встречаются отдельные рыжеватобурые пятна. Средняя степень разложения (около 40–50%). Встречаются ожелезненные зоны, корни, стебли, в том числе корни осоки. Переход ясный, граница волнистая.

ТТ2, 76–100 см. В верхней части сырой, в нижней (глубже 90 см) мокрый, сочится вода, буроватотемно-серый торф с сизоватым оттенком. Слабая степень разложения 30%. Отмечается слоистость. Встречаются локальные зоны ожелезнения по корням, отмершие корни, ветки, стебли (осока), шишка.

Торфоземы, развитые на древесном и древесно-разнотравном торфе, наиболее плодородны, они лучше других поддаются осушению и окультуриванию, богаты азотом, содержат большое количество нитратов. Содержание фосфора зависит от питания грунтовых вод, обогащенных фосфором, и присутствия в залежи фосфорных минералов: вивианита или бенаунита, а при их отсутствии этот недостаток легко ликвидируется внесением в почву фосфатов. Накопление железа в поверхностных горизонтах зависит от водного режима, содержания железа в водах, питающих торфяную залежь, нормы осушения и, что самое главное, от времени, прошедшего с момента проведения осушительных мелиораций и системы земледелия на них: под пропашными культурами в пахотном горизонте железа в 2–3 раза больше, чем в нижележащих горизонтах (3.2–9.0% против 2.2–4.7%). В табл. 1 приведены основные свойства изученных торфоземов для слоев, в которых проводили подробные исследования температуры и влажности.

Температурный режим торфоземов долины Яхромы является одним из лимитирующих факторов выращивания овощных культур. Поэтому

Таблица 1. Свойства поверхностных слоев торфоземов, развитых на мощной древесно-осоковой торфяной залежи

Глубина, см	Зольность, %	Степень разложения, %	Плотность, г/см ³	Влажность в момент определения плотности, θ , см ³ /см ³
5–15	24.81	83.4	0.32	0.51
25–40	21.52	81.3	0.28	0.62
40–60	22.61	80.8	0.30	0.70

необходимо не только подбирать культуры, но и регистрировать, по возможности предсказывать, изменения теплового режима, что будет способствовать получению более высоких урожаев овощей. Наблюдения и физически обоснование прогнозирования возможно только в случае наличия прогнозных моделей, а именно зависимости теплопроводности торфоземов от их влажности.

Коэффициент теплопроводности определяли лабораторным методом Кондратьева [10, 13], а также полевым методом, основанным на динамическом (суточном) измерении температуры почвы на двух соседних глубинах и одновременном определении влажности. Полевой метод основан на представлении суточной динамики температуры в виде гармонической (например, синусоидальной) функции, а коэффициент теплопроводности κ можно найти из величины уменьшения суточной амплитуды температуры с глубиной и по запаздыванию фазы температурной волны на двух соседних глубинах – “метод температурной волны” [6, 10, 11]. Преимущество этого метода заключается в том, что наблюдения происходят в естественной почве, а не на почвенных образцах, подверженных процессам набухания и усадки. Особенно важно это для торфяных почв, ненарушенные образцы из которых нередко отобрать слишком сложно. Кроме того, можно использовать несколько измеряемых во времени значений почвенных температур по соседним слоям T_i ($i = 1, 2, 3, 4$). Этот метод позволяет найти более устойчивое решение и определить величину теплопроводности, κ , для произвольного периода τ_0 , по формуле:

$$\kappa = \frac{4\pi(x_2 - x_1)^2}{\tau_0 \ln^2 \left[\frac{(T_1' - T_3')^2 + (T_2' - T_4')^2}{(T_1'' - T_3'')^2 + (T_2'' - T_4'')^2} \right]}, \quad (1)$$

где T_i' и T_i'' – температура почвы на глубинах x_1 и x_2 в момент времени $t_i = i\tau_0/4$ ($i = 1, 4$) (например, если $\tau_0 = 24$ ч, то $t = 6, 12, 18$ и 24 ч). Как видно из приведенной формулы, измеряя температуру почвы на двух глубинах x_1 и x_2 через каждые 6 ч в

течение суток, можно вычислить коэффициент теплопроводности без применения специальных приборов. Именно по формуле (1) проведены расчеты теплопроводности в полевом эксперименте методом температурной волны [6, 11, 12]. Так как температура слоев 0–5, 5–10 см имеет синусоидальную динамику, варьирующую из-за облачности, ветрового режима и других случайных факторов, экспериментальные суточные данные аппроксимировали, по уравнению синусоидальной динамики $T = T_0 + T_a \sin(\omega t + \varepsilon)$, где T_0 – среднесуточная температура, T_a – амплитуда, ε – сдвиг фазы, зависящей от начала отсчета времени, в данном случае, параметр аппроксимации. Полученную аппроксимационную модель

$$T = 28.071 + 8 \sin(12t + 13.3388)$$

использовали для расчета коэффициента теплопроводности. Дополнительная процедура аппроксимации экспериментальной суточной динамики синусоидальным уравнением позволила получить стабильные, менее варьирующие величины теплопроводности. Вариабельность экспериментальных величин указанной зависимости в основном определяется полевыми данными влажности торфа в указанном слое, полученными буровым методом. Следует отметить, что полевой метод температурной волны дает усредненное значение коэффициента теплопроводности за рассматриваемый период времени, для конкретной торфяной толщи, имеющей влажность (θ). Для этой влажности и рассчитывали κ . Для определения κ при другой влажности в том же слое почвы необходимо подобрать период, когда почва более иссушена или увлажнена. Так получали пары значений κ – θ , на основании которых возможно получение функции теплопроводности – зависимости теплопроводности конкретного слоя почвы от влажности $\kappa(\theta)$ – важнейшей почвенной теплофизической функции.

Суточная динамика температуры на разных глубинах (рис. 1) была получена с помощью стационарно установленных цифровых регистраторов RC-4&5, датчики которых представляют собой термисторы для получения информации о температуре. Метеорологические условия конца июля 2018 г. позволили получить стабильные и

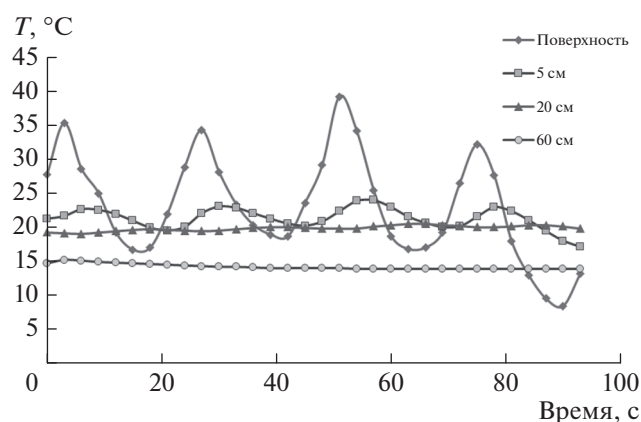


Рис. 1. Пример послышной динамика температуры почвы (25–30 июля 2018 г.).

равномерные данные по суточной динамике температуры различных слоев торфозема. Кроме того, существенная суточная динамика температуры и различия ее по слоям почвы позволили надежно определить коэффициент температуропроводности для поверхностных слоев торфозема. Отметим, что суточная динамика температуры почвы выражена до глубины 30 см, а на глубине 60 см температура практически постоянна. Этот факт указывает на то, что при практическом моделировании динамики температуры торфоземов возможно использование постоянной температуры в качестве нижнего граничного условия.

На основе полученных данных послышной суточной динамики температуры почвы и регулярном определении влажности появилась возможность рассчитать зависимость температуропроводности от влажности. Рассчитанные результаты по температуропроводности относятся к слою 10–30 см (для слоев 10–20 и 20–30 см). Именно в них была отмечена суточная динамика температуры, что позволило рассчитать зависимость температуропроводности от влажности по мере иссушения этого слоя. Диапазон полевой экспериментально определенной влажности составил от 30 до 87%. Отметим, что высоких значений влажности удалось достичь за счет искусственного полива, а заметного иссушения этого слоя за счет высокого испарения в июле–августе 2018 г.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

На рис. 2 приведены данные зависимости температуропроводности от влажности торфа, полученные двумя способами: лабораторным методом Кондратьева и полевым методом температурной волны. С увеличением объемного содержания влаги от 30 до 55% температуропроводность торфозема возрастает, достигая максимумов при 55–60% влажности для двух методов. Однако температу-

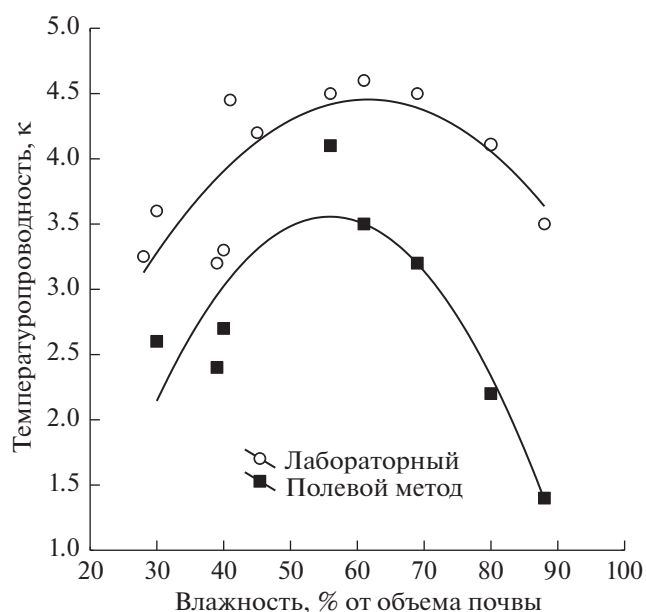


Рис. 2. Зависимость температуропроводности торфозема от влажности.

ропроводность по методу температурной волны с использованием полевых данных о суточной динамике была меньше в точке максимума примерно в 1.2 раза (4.32 и 3.65 $\text{см}^2/\text{ч}$ для лабораторного и полевого методов соответственно). Затем по мере увеличения влажности в диапазоне 60–90% температуропроводность снижалась за счет увеличения водной фазы, уменьшения количества контактов твердофазных частиц и увеличения теплоемкости. Отметим, что подобного вида зависимости характерны и для минеральных почв [13, 16, 21].

В табл. 2 представлены основные параметры аппроксимации зависимости температуропроводности от влажности ($\kappa(\theta) = b_1 + b_2\theta + b_3\theta^{0.5}$), полученной двумя методами. Важно отметить, что все параметры аппроксимации *полевого* метода определения зависимости температуропроводности от влажности уравнением (1) оказываются значимыми с уровнем значимости <0.05 . А для *лабораторного* метода значим (уровень значимости близок к 0.05) лишь параметр b_2 , что указывает на наличие случайных ошибок в его определении при указанных степенях свободы. Вероятно, что увеличение повторностей и уточнение методик определения температуропроводности по лабораторному методу Кондратьева приведет к более достоверному определению указанных параметров.

Зная параметры аппроксимации и их статистику (в частности, среднеквадратические ошибки S_b), по полученным параметрам можно сравнить аппроксимации зависимости температуропроводности от влажности статистически. Так, для параметров аппроксимации (b_n' и b_n'') двух раз-

Таблица 2. Статистики параметров аппроксимации (b_1, b_2, b_3) теплопроводности ($\kappa, \text{см}^2/\text{мин}$) от объемной влажности ($\theta, \text{см}^3/\text{см}^3$) по уравнению $\kappa = b_1 + b_2\theta + b_3\theta^{0.5}$ [19]

Метод	Параметр	Значение	Стандартная ошибка
Лабораторный (по Кондратьеву)	b_1	-0.227	6.568
	b_2	-0.082	0.133
	b_3	1.200	1.899
Полевой (температурной волны)	b_1	-27.101*	10.433
	b_2	-0.461*	0.166
	b_3	7.559*	2.687

* Параметр значим при уровне значимости <0.05 .

Примечание. При лабораторных определениях по Кондратьеву число степеней свободы 8, при полевых – 5.

ных методов и соответствующих выборок можно рассчитать t -критерий по следующей формуле:

$$t = \frac{|b'_n - b''_n|}{\sqrt{(S_{b'_n})^2 + (S_{b''_n})^2}},$$

где $S_{b'_n}$ и $S_{b''_n}$ – стандартные отклонения параметров

b'_n и b''_n . Соответственно если t -критерий оказывается больше табличного для данной степени свободы и уровня значимости (традиционно 0.05), то параметры двух выборок значимо отличаются друг от друга. В этом случае можно утверждать о достоверности различий соответствующих характеристик процесса. Расчеты показали, что достоверно различаются лишь параметры b_3 , которые указывают на положение исследуемой зависимости по вертикали. Иначе говоря, отмеченное на рис. 2 более низкое положение зависимости для полевых ее определений подтверждается статистически, то есть полевой метод статистически стабильно дает более низкие результаты расчетов теплопроводности, несмотря на возможно большую вариабельность полученных значений за счет высокой изменчивости полевых условий определения.

Исследуем наличие систематических ошибок, возникающих при лабораторных и полевых определениях в случае аппроксимации этих данных одной и той же зависимостью [14–16, 21]. Эта оценка на систематические ошибки включает графическое исследование зависимости получаемых при аппроксимации погрешностей ($\Delta i = \kappa_{\text{эксп}} - \kappa_{\text{расч}}$, где $\kappa_{\text{эксп}}$ и $\kappa_{\text{расч}}$ – экспериментальные и рассчитанные по аппроксимационному уравнению значения теплопроводности κ). Из рис. 3 видно, что для полевого метода не наблюдается определенной зависимости между погрешностями и реальной величиной теплопроводности. А для лабораторных определений наблюдается линейная возрастающая зависимость,

указывающая на систематическую ошибку возрастания погрешности при увеличении самой величины теплопроводности. Сейчас можно только гипотетически предположить физически обоснованную причину происхождения такого рода систематических ошибок. Пунктирные линии указывают направление изменения погрешностей в зависимости от измеряемой величины теплопроводности.

Погрешности лабораторного эксперимента при иссушении возрастают, а погрешности полевого метода даже при их высоком разбросе практически не зависят от величины теплопроводности и близки к нулю. Линейное возрастание погрешностей при лабораторном определении теплопроводности указывает на то, что, видимо, некото-

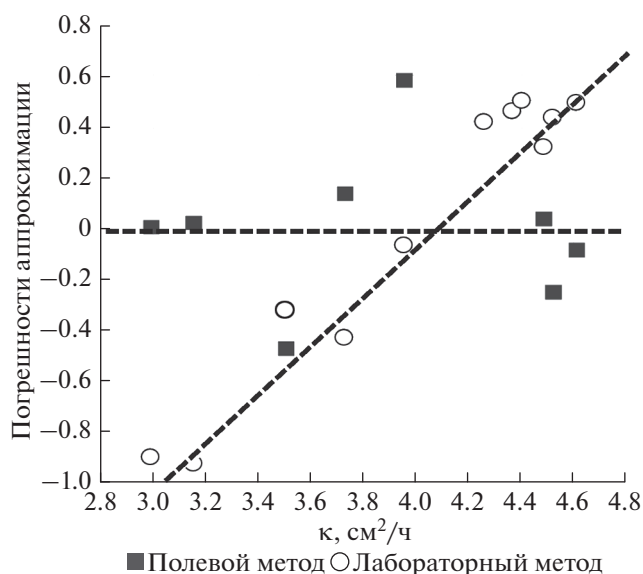


Рис. 3. Изменение погрешностей аппроксимации реальных полевых и лабораторных данных уравнением Чанга и Хортон [15]. Пунктирные линии указывают направление изменения погрешностей в зависимости от измеряемой величины теплопроводности.

рый постоянно действующий фактор вмешивается в их определение. Полагаем, что торф при лабораторном иссушении заметно уплотняется за счет осадки, что характерно для торфов [9, 17, 18, 20]. Вследствие этого его проводимость непропорционально возрастает, а в поле за счет внешнего давления он в меньшей мере изменяет свое поровое пространство. Кроме того, лабораторные методы дают ошибки за счет неконтролируемого переноса парообразной влаги [19]. Возможно, что природная вариабельность метеоусловий (солнечной активности, колебаний температуры почвенных слоев и др.) была снижена за счет процедуры аппроксимации суточной динамики синусоидальной функцией. Однако наличие систематических ошибок в лабораторном методе указывает на более надежное использование полевого метода температурной волны для определений одной из основных теплофизических функций – зависимости температуропроводности торфа от влажности.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Температурный режим торфоземов может являться критическим фактором для выращивания сельскохозяйственной продукции, прежде всего, за счет медленного прогревания и достижения оптимума температур в корнеобитаемой толще. Поэтому изучение температурного режима торфоземов в связи с особенностями их состава и гидрологии является необходимой частью почвенных гидротермических исследований и прогнозов, в основе которых лежит зависимость температуропроводности торфоземов от их объемной влажности. Учитывая особенности набухания торфов, существенные изменения их порового пространства при колебании влажности, полевые исследования указанной зависимости методом тепловой волны имеют существенно меньшую систематическую ошибку по сравнению с методами лабораторных исследований на торфяных монолитных образцах.

ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ

Исследования выполнены частично за счет средств РФФИ, проект № 19-04-01056.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Добровольская Т.Г., Головченко А.В. и др. Функционирование микробных комплексов в верховых торфяниках – анализ причин медленной деструкции торфа. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2013. С. 128.
2. Зайдельман Ф.Р. Деградация мелиорированных почв России и сопредельных стран в результате изменения их водного режима и способы защиты. Воронеж: Кварта, 2014. 269 с.
3. Зенова Г.М., Грядунова А.А., Поздняков А.И., Звягинцев Д.Г. Аэробные и микроаэрофильные актиномицеты агроторфяной и торфяной типичных почв // Почвоведение. 2008. № 2. С. 235–240.
4. Ковалев Н.Г., Поздняков А.И., Мусекаев Д.А., Позднякова Л.А. Торф, торфяные почвы, удобрения. М.: Изд-во РАСХН, 1998. 240 с.
5. Кухаренко О.С., Початкова Т.Н., Поздняков Л.А. Физико-химическая характеристика верховых и низинных торфяников // Функционирование микробных комплексов в верховых торфяниках – анализ причин медленной деструкции торфа. М.: Товарищество научных изданий, 2013. С. 20–27.
6. Михайлов Ф.Д., Шеин Е.В. Теоретические основы экспериментальных методов определения температуропроводности почв // Почвоведение. 2010. № 5. С. 597–605.
7. Минкина Ц.И., Белякова В.Я., Старцева Н.Д. Исследование основного участка опытного хозяйства ЦТБОС. Отчет ЦТБОС, 1966. Тема 4. С. 25–77.
8. Поздняков А.И., Ковалев Н.Г., Мусекаев Д.А., Поздняков Л.А., Позднякова А.Д., Широкова Е.В., Бородкина Р.А., Шваров А.П., Дуброва М.С. Торф и эутрофныеторфоземы при длительном сельскохозяйственном использовании. Тверь: ТвГУ, 2014. 356 с.
9. Рабинович Г.Ю., Широкова Е.В., Поздняков Л.А., Позднякова А.Д., Анциферова О.Н., Пантелеева Т.Н. Деграционные процессы в мелиорированных низинных торфяных почвах ландшафтов Яхромской долины // Новые методы и результаты исследований ландшафтов в Европе, Центральной Азии и Сибири. М., 2018. С. 306–310.
10. Теории и методы физики почв / Под ред. Шеина Е.В., Карпачевского Л.О. Тула: Гриф и К, 2007. 616 с.
11. Шеин Е.В., Мазиров М.А., Михайлов Ф.Д., Мартынов А.И. Теплофизические характеристики почв – основа расчета и управления тепловым режимом почв // Земледелие. 2016. № 6. С. 20–23.
12. Шеин Е.В., Рыжова И.М. Математическое моделирование в почвоведении. Иваново, 2016. 400 с.
13. Arkhangel'skaya T.A., Luk'yashchenko K.I., Tikhonravova P.I. Thermal diffusivity of typical Chernozems in the Kamennaya Steppe reserve // Eurasian Soil Science. 2015. V. 48. № 2. P. 177–182. <https://doi.org/10.1134/S1064229315020027>
14. Busby J. Determination of thermal properties for horizontal ground collector loops // Proceedings World Geothermal Congress, Melbourne, Australia. 2015. 19–25 April.
15. Chung S.O., Horton R. Soil heat and water flow with a partial surface mulch // Ter Resour. Res. 1987. V. 23. № 12. P. 2175–2186.
16. Ghader A. Clay – loam soil thermal properties survey // Int. J. Adv. Appl. Sci. 2014. V. 1. № 6. P. 31–36.
17. Joosten H., Tanneberger F., Moen A. Mires and peatlands of Europe. Stuttgart, Schweizerbart: Science Publ., 2017. 780 p.

18. *Keddy P.A.* Wetland Ecology: Principles and Conservation. UK. Cambridge: Cambridge University Press, 2010. 497 p.
19. *Mahdavi S.M., Neyshabouri M.R., Fujimaki H.* Assessment of some soil thermal conductivity models via variation in temperature and bulk density at low moisture range // *Eurasian Soil Science*. 2016. V. 49. P. 915–925. <https://doi.org/10.1134/S1064229316080068>
20. *Rezanezhad F., Price J.S., Quinton W.L., Lennartz B., Milojevic T., Van Cappellen P.* Structure of peat soils and implications for water storage, flow and solute transport: A review update for geochemists // *Chem. Geol.* 2016. V. 429. P. 75–84.
21. *Usowicz B., Lipiec J., Łukowski M., Marczewski W., Usowicz J.* The effect of biochar application on thermal properties and albedo of loess soil under grassland and fallow // *Soil Till. Res.* 2016. V. 164. P. 45–51.

Thermophysical Properties of Histosol on Lowmoor Peat

E. V. Shein^{1,2,#}, A. D. Pozdnyakova³, N. V. Sorokina¹, A. V. Dembovetsky¹, A. P. Shvarov¹, and L. I. Ilin⁴

¹*Lomonosov Moscow State University, Moscow, 119991 Russia*

²*All-Russia Research Institute of Reclaimed Lands, Emmauss, Kalininsky District, Tver oblast, 170530 Russia*

³*Dokuchaev Soil Science Institute, Moscow, 119017 Russia*

⁴*Vladimir Scientific Research Institute of Agriculture, Novyi, Suzdal district, Vladimir oblast, 601261 Russia*

[#]*e-mail: evgeny.shein@gmail.com*

The temperature regime and the dependence of thermal diffusivity on the volumetric water content in high-ash peat soils (Sapric Drainic Histosols (Lignic)) developed from woody peat underlain by grass, sedge, and woody peat deposit in the Yakhroma River valley (Moscow oblast) were studied in the field and under laboratory conditions on undisturbed samples. The dependences of thermal diffusivity under laboratory conditions were determined in the course of sample draining by the Kondratiev method (steady-state radial heat flow); field dynamic data on the daily temperature variation were used to solve the inverse problem by the heat wave method. The dependences obtained by laboratory and field methods had a dome-like shape, the maxima of which were close (at 57–60% volumetric water content), but the thermal diffusivity obtained from field data was 1.2 times lower at the maximum point. Considering the further use of dependences in predictive mathematical models, approximation of the curves by the method of Chang and Horton made it possible to evaluate the accuracy of the approximation parameters and compare them. According to the results of the laboratory method, the approximation errors significantly increased with an increase in the measured thermal diffusivity, which indicates the presence of a systematic error in the laboratory measurement of the thermal diffusivity as dependent on the water content; this was not observed for the field method. The presence of systematic errors in laboratory studies is presumably associated with the processes of shrinkage and vapor transfer.

Keywords: peat soils, thermal diffusivity, thermal regime, daily dynamics of soil temperature