



УДК 631.436

ЗАВИСИМОСТЬ КОЭФФИЦИЕНТА ТЕМПЕРАТУРОПРОВОДНОСТИ ПОЧВЫ ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ СРЕДЫ

Лапина Л.Э.

Институт водных проблем РАН, г.Москва, Российская Федерация, l.e.lapina@yandex.ru

THE DEPENDENCE OF THE THERMAL DIFFUSIVITY OF THE SOIL TEMPERATURE

Lapina L.E.

Institute of Water Problems RAS, Moscow, Russian Federation

Annotation: In this paper, on the basis of data on the Bolshezemelskaya tundra, it is shown that this dependence is discontinuous at the point of zero temperature, i.e. for positive temperatures it is one dependence, for negative temperatures it is another.

Введение

Коэффициент температуропроводности - одна из важнейших теплофизических характеристик среды, знание которой необходимо для расчетов потоков тепла в почву. Обзор существующих подходов к расчету этого коэффициента представлен в работе (Микайылов, 2010). Для расчета этой характеристики также используется амплитуда суточного хода температуры на разных глубинах (Дюкарев, 2012).

Объекты и методы

Полевые работы проводились сотрудниками Института биологии Коми НЦ УрО РАН в Ненецком автономном округе на границе южной и типичной тундры в 55 км к северо-востоку от метеостанции Хорей-Вер. На участке исследований зимняя дорога пересекает тундровые природно-территориальные комплексы на песчаных и суглинистых почвах и крупнобугристо-мочажинный болотный комплекс на торфяных мерзлотных почвах. Более подробное описание участка исследований опубликовано в работе (Каверин и др, 2019). Непрерывные температурные измерения проводились в период с 15 августа 2014 по 15 июля 2015 на 5 площадках с выделением ненарушенного участка и в колее зимней дороги, т.е. всего измерения были на 10 участках. Измерения проводились каждые 4 часа на глубинах 0,2,5,10,20 и 40 см.

Анализ данных

Данные аппроксимировались на каждой глубине каждые сутки для каждого участка функцией следующего вида:

$$T = T_0(z) + A(z) \sin(\omega t + \varphi), \quad (1)$$

где T_0 - имеет смысл среднесуточного значения. По такой же формуле рассчитывались и характеристики годового хода температуры и в таком случае параметр T_0 имел смысл среднегодовой температуры. Далее амплитуды как для суточных колебаний. Так и годовых аппроксимировались функцией вида:

$$A = A_0 \exp(-\beta z) \quad (2)$$

Далее вычислялся коэффициент температуропроводности k_T :

$$k_T = \frac{\pi}{\beta^2 \tau}, \quad (3)$$



где τ – период колебаний. Формула (3) предполагает однородность почвы, в случае неоднородности формула (3) легко трансформируется и в качестве β используется логарифм отношения двух амплитуд па различных глубинах. Эта формула приведена в работе (Микайлов, 2010) и в данной работе не используется. Далее, среднегодовые значения температуры аппроксимировались

$$T_0 = C \exp(-\gamma z) + d \quad (4)$$

Такой вид функции выбирался, чтобы обеспечить асимптотические свойства решения уравнения теплопроводности, а именно $T \rightarrow C, z \rightarrow \infty$. Расчеты показали, что на большинстве участков наблюдалось свойство: чем больше амплитуда колебаний на поверхности почвы, тем меньше было значение параметра d , что является проявлением пампинг-эффекта в почвах, о котором написано в работе (Зырянов, 2013).

Методика расчета

Лабораторные измерения мерзлых грунтов, опубликованные в печати (Гаврильев, 2009), подсказали форму зависимости рассматриваемого коэффициента от температуры среды. Ищем зависимость в следующем виде:

$$k_T = aT^2 + bT + c + dT^{-2/3} \quad (5)$$

На каждом участке получили набор суточных значений k_T . И оказалось, что значения их существенно отличаются при положительных и отрицательных температурах. Учитывая, что рассчитанный по формуле (3) коэффициент температуропроводности представляет собой осредненное как по глубине так и по суткам значение, в качестве температуры среды взяли среднее значение температуры по глубине от 0 до 40 см, которое получили с использованием численного интегрирования температурного поля. Таким образом получили набор значений K_T и \bar{T} . Часть значений была отброшена ввиду неадекватности формулы (3) в некоторых условиях. На части участков не получилось ни одного отрицательного значения температуры, средней по глубине. Далее, с помощью метода наименьших квадратов находились значения параметров формулы (5) для всех участков при отрицательных и положительных значениях. Результаты расчетов представлены в табл.1.

Результаты и обсуждение

Таблица 1. Параметры расчета формулы (5) для положительных температур

Объект	Число данных	a	B	c	d
1, антр	83	-0.5445	4.0988	12.36	-2.743
1, фон	42	-0.1106	2.5870	6.6284	-1.394
2, антр	61	-0.4649	6.0756	1.8972	-0.0051
2, фон	45	1.1739	-11.2958	39.0569	-13.2605
3, антр	80	0.1724	-2.6529	18.1851	-0.1886
3, фон	95	-0.2781	4.3328	0.9808	-0.1875
4, антр	82	-0.8545	5.9277	2.4811	-0.1381
4, фон	86	-0.4627	4.4020	1.9734	-0.1598
5, антр	63	-0.1342	1.6626	3.4278	-1.2043
5, фон	84	-0.7383	5.9718	9.6608	-2.2015

**Таблица 2.** Параметры расчета формулы (5) для отрицательных температур

Объект	Число данных	a	b	c	d
1, антр	0				
1, фон	29	-0.3422	-7.1867	20.6243	0.0604
2, антр	14	1.1748	-7.4140	6.4025	0.5536
2, фон	3	-25.15	4.1721	3.8442	-0.0198
3, антр	77	-0.0032	-2.9579	13.0648	1.0812
3, фон	96	-0.0544	-2.2902	24.7535	2.4566
4, антр	12	-2.98	-14.0775	15.7084	0.4972
4, фон	86	0.2420	-1.0879	20.6709	0.9231
5, антр	12	73.45	4.4109	0.0711	-0.0435
5, фон	0				

В таблицах 1 и 2 представлены результаты расчетов по формуле (5). 1 и 2 площадки представляют собой песчаники, третий участок – торфяное олиготрофное болото, 4 и 5 площадки представляют собой разновидности суглинков.

Выводы

1. Функция температуропроводности является разрывной в точке 0.
2. Подстилающая поверхность и тип почвы влияет на значения параметров этой функции.
3. В данной работе в качестве температуры среды взято среднее значение температуры по глубине измерений. Скорее всего, это не всегда оправданно, особенно если есть измерения на больших глубинах. Возможно, что и для оценки суточного значения коэффициента температуропроводности необходимо применять не только упрощенный способ расчета по амплитудам колебаний, но и другие подходы. Но это вопрос дальнейших исследований.
4. Очевидно, что функция температуропроводности не будет одной и той же на одном объекте в разные годы, так как коэффициенты ее разложения зависят от суммы выпавших осадков. Для более корректного получения этой зависимости необходимо иметь данные о влажности почвы, которых не было у автора статьи.
5. Учитывая результаты, представленные в табл.1 и 2, можно утверждать, что в целом за год пампинг-эффект будет иметь отрицательное значение, т.е. вести к откачке тепла и тем самым охлаждать почву в поверхностных слоях, поэтому вместе с переносом тепла могут переноситься и парниковые газы, но это требует проведение специальных экспериментов. Метод eddy covariance оценки вклада пампинг-эффекта не даст ввиду отсутствия подробных измерений температуры почвы.

Благодарность

Автор благодарит сотрудников Института биологии Коми НЦ УрО РАН Каверина Д.А., Пастухова А.В. за предоставленные данные и сотрудника Физико-математического института Коми научного центра УрО РАН (г.Сыктывкар) Успенского И.М. за автоматизацию некоторых расчетов, использованных в данной работе.



Литература

- Гаврильев Р.И., Кузьмин Г.П. (2009) Определение теплофизических характеристик мерзлых грунтов расчетным методом //Наука и образование, 2009, N4, с.51-54.
- Дюкарев Е.А.(2012) Амплитуда суточного хода температуры торфяной почвы //Вестник Томского государственного университета, 2012,N365,с..01-205
- Зырянов В.Н.(2013) Нелинейный пампинг-эффект в колебательных процессах в геофизике//Водные ресурсы, 2013, т.40, N3, с.227-239
- Каверин Д.А., Лапина Л.Э., Пастухов А.В., Новаковский А.Б.(2019) Влияние трансформации растительного и почвенного покровов на температуру почв при эксплуатации зимней дороги в Большеземельской тундре//Криосфера Земли,2019, т. XXIII, N1, с.17-27.
- Микайылов Ф.Д., Шеин Е.В.(2010) Теоретические основы экспериментальных методов определения температуропроводности почв //Почвоведение, 2010,N5, с.97-605.