

Метод определения коэффициента температуропроводности по данным измерениям температуры почвы

Лапина Л.Э.

Физико-математический институт Коми научного
центра УрО РАН
Г.Сыктывкар



Пятая национальная конференция
«Математические модели в экологии»,
16-20 октября 2017, Пущино



Мотивация работы



- Для изучения пампинг-эффекта в почвах необходимо знать коэффициент температуропроводности как функцию от температуры почвы. Для этого необходимо по имеющимся измерениям температуры почвы найти временной ход коэффициента, а затем, зная временной ход температуры, найти нужную функциональную зависимость. Кроме того, знание функциональной зависимости коэффициента температуропроводности от температуры почвы на различных глубинах необходимо для решения ряда других задач.

Что такое пампинг-эффект?

(Зырянов, 2007, Зырянов, 2013, Лапина, 2001)

- Пампинг-эффект играет роль важного нелинейного механизма перераспределения потоков тепла (и не только) на Земле. (Зырянов, 2013).
- Где встречается:
- Распространение приливных волн на мелководье (приводит к повышению среднего уровня воды, что дает дополнительные остаточный перенос консервативной примеси в устьевых областях рек).
- Также приводит к более глубокому проникновению соленых вод в устья рек по сравнению с бесприливными случаями. Приблизительная оценка несколько км.
- при интрузии морских вод в подземные горизонты в приливных морях.
- Вариации амплитуды колебаний температуры поверхности океана приводят либо к закачке тепла в глубинные слои, либо, к откачке тепла из глубинных слоев. (Зырянов, 2007)
- Также влияет на распределение температуры во льдах, ледниках и многолетней мерзлоте.
- Для оценки пампинг-эффекта необходимо знать функцию температуропроводности как функцию от температуры.

теория

- Общая форма уравнения

$$\frac{\partial T}{\partial t} = b \operatorname{div}[F(T) \operatorname{grad} T],$$

- b – некоторая константа, $F(T)$ - функция среды. Рассмотрим одномерный аналог уравнения на полупрямой $x > 0$ с граничными условиями

$$T(x = 0) = f(t), T(x \rightarrow \infty) < C < \infty,$$

- где $f(t)$ – периодическая функция с периодом τ . Обычно

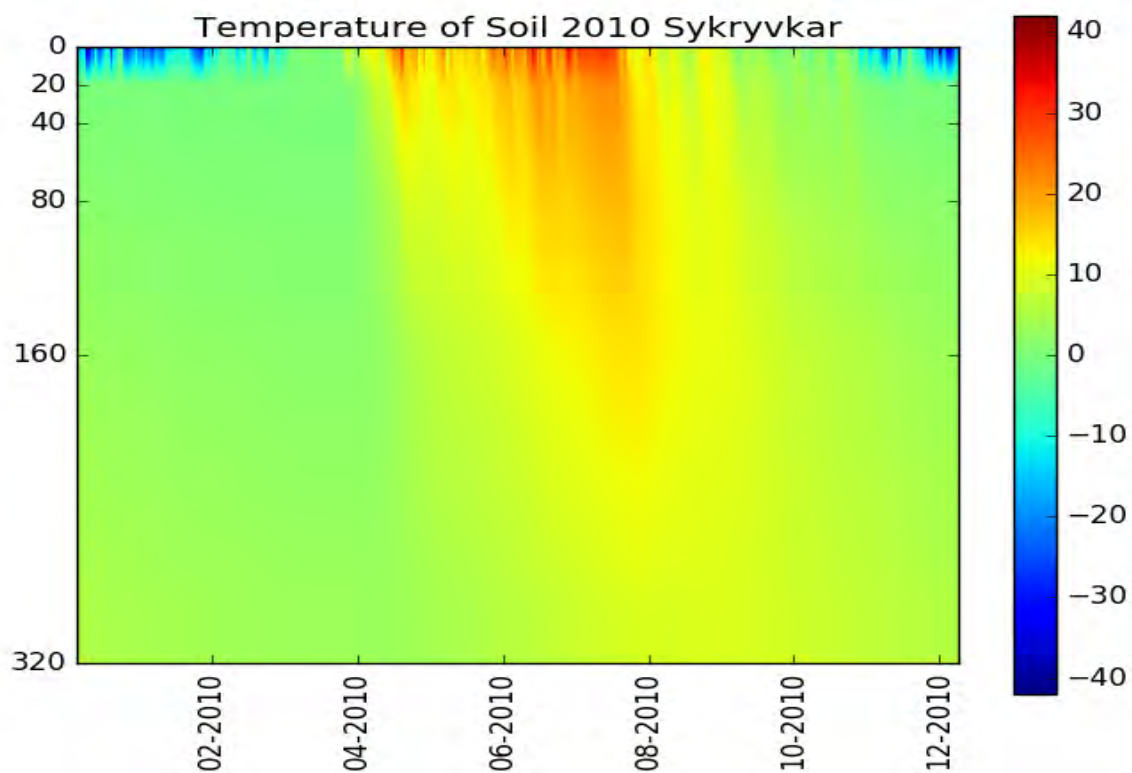
$$f(t) = T_0 + T_1 \cos(\omega t)$$

- Теорема: [Зырянов, Хубларян, 2006) Периодическое решение уравнения с данными граничными условиями стремится при $x \rightarrow \infty$ к константе, вообще говоря не совпадающей с T_0

Использованные данные

- Температура почвы является чувствительным интегральным показателем климата, в котором учтены изменения в температуре приземного воздуха, атмосферных осадков. Она играет важную роль во всех физических, биологических и микробиологических процессах, происходящих в почве. Большое количество работ посвящено исследованию трендов температуры почвы на основе данных наблюдений метеорологических станций [Галичинский и др., 2000, Дюкарев, 2015]
- Использованы данные по температуре на метеостанции Сыктывкар за период 1970-2015гг. Данные по температуре почвы получены из массива данных ВНИИГМИ-МЦД (<http://meteo.ru/climate>) [Шерстюков, 2012] Измерения на глубинах 20,40, 80, 160,320см проводятся один раз в сутки приблизительно в 14 часов, а на поверхности почвы проводятся каждые три часа, это учитывалось при расчетах, например, амплитуд годовых колебаний температуры. При расчете годовых колебаний на поверхности почвы брались только значения измерений, близкие к 14 часам. Также они использованы для сравнения разрабатываемого метода расчета и двух имеющихся представлений.

Температура почвы в 2010г



Анализ данных

- На каждой глубине температуру почвы аппроксимировали функцией вида:

$$T = A \sin(\omega t + \varphi) + B$$

- Сдвиг фаз аппроксимировался функцией вида:

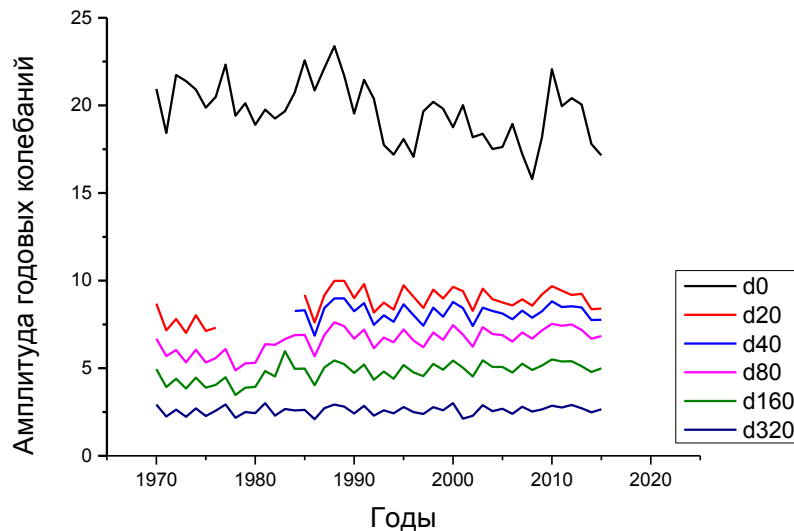
$$\varphi = a + bz$$

- Среднегодовая температура аппроксимировалась функцией вида:

$$B = C e^{-\gamma z} + D$$

- Параметры a и b практически не изменяются во времени, параметр γ серьезно меняется во времени, особенно выделяются года 2010-2013, когда эта величина увеличилась примерно на порядок, по сравнению с многолетним значением.

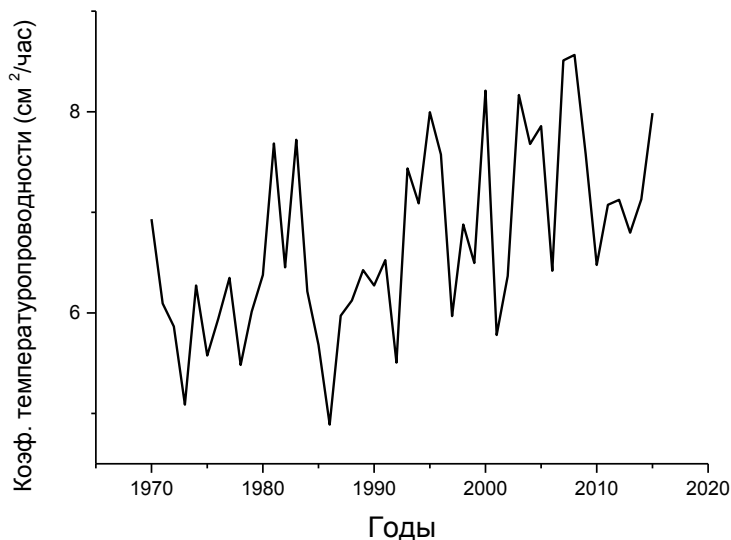
Динамика амплитуд годовых колебаний температуры почвы на различных глубинах



- Амплитуда уменьшается с глубиной
- Значимого тренда нет
- Амплитуду как функцию от z можно аппроксимировать функцией

$$A = A_0 e^{-\beta z}$$

Методы расчета коэффициента температуропроводности

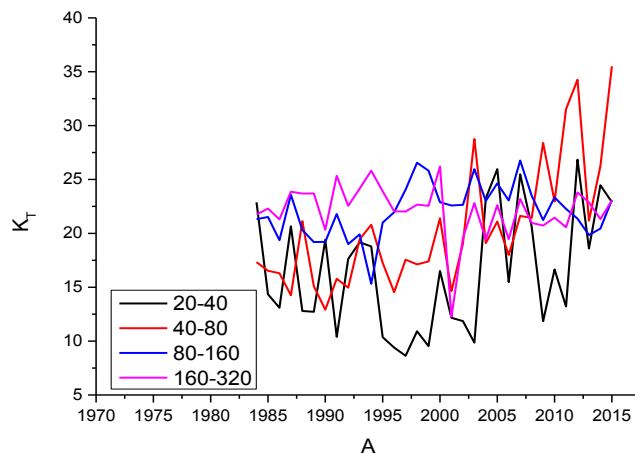
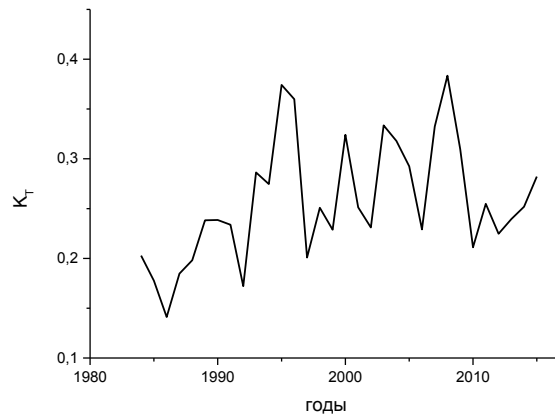


- Первый способ расчета коэффициента температуропроводности по затуханию амплитуд годовых колебаний

$$k_T = \frac{\pi}{\beta^2 T}$$

- В- коэффициент затухания,
- Т – период годовых колебаний, выраженный в часах.
- Недостатки:
- Предполагается однородность почвы
- Коэффициент считается постоянным , имеет смысл осредненного за год коэффициенинта

Второй метод расчета коэффициента температуропроводности

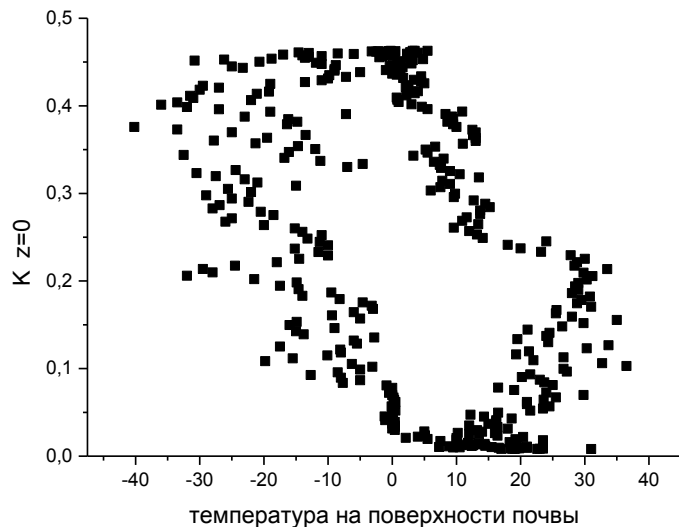
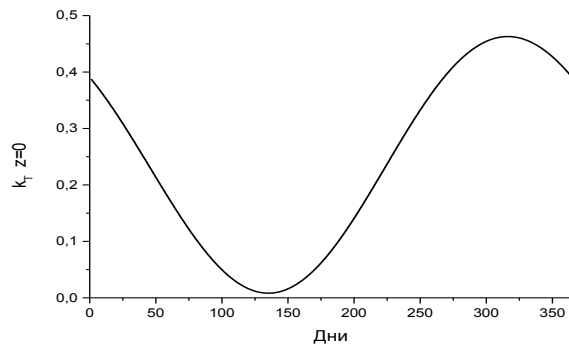


$$K_T = \frac{\pi(z_2 - z_1)^2}{T \ln^2 \left(\frac{A(z_2)}{A(z_1)} \right)}$$

- Недостатки:
- Если амплитуды в двух соседних точках близки, то очень большая погрешность в вычислениях
- Формула асимптотически неверна.
- Использовано решение линейного уравнения теплопроводности
- Можно использовать в точках, близких к поверхности.

Третий способ расчета

Результаты за 2010 год



Формула

$$K_T = \frac{K_0}{-\gamma C e^{-\gamma z} + B_0}$$

$$K_0 = \omega_0 A_0 e^{-\beta z} \left(\frac{b}{\beta^2 + b^2} \sin(\omega_0 t + a + bz) - \frac{\beta}{\beta^2 + b^2} \cos(\omega_0 t + a + bz) \right)$$

$$B_0 = A_0 e^{-\beta z} \left(-\beta \sin(\omega_0 t + a + bz) + b \cos(\omega_0 t + a + bz) \right)$$

- Недостаток: использовано представление температуры в виде синусоидальной функции от температуры, что выполняется далеко не всегда

Выводы

- 1. Способ расчета коэффициента температуропроводности с использованием аппроксимации данных измерений температуры почвы годится для вычисления коэффициента на большой глубине, например, на глубине 320 см, где с гораздо большей точностью выполняется синусоидальный ход температуры, а для дальнейших расчетов возможно использовать численное интегрирование. Необходимо дальнейшее развитие такого подхода для разных случаев зависимости среднегодовой температуры почвы от глубины.
- 2. Коэффициент температуропроводности в районе нулевой температуры терпит неустранимый разрыв, поэтому в окрестности нуля требуется использовать асимптотические представления, численные методы могут не сработать.
- 3. Основные изменения происходят в поверхностном слое до 20 см.
- 4. Амплитуда годовых колебаний существенно не изменяется на всех глубинах на протяжении всего периода измерений. По вертикали амплитуда колебаний наиболее существенно меняется на глубинах от 0 до 20 см.
- 5. Значимого тренда в динамике амплитуд годовых колебаний нет.

- Спасибо за внимание!

Литература

- Галичинский Д.А., Быховец С.С., Соровиков В.А. и др. Использование данных метеорологических станций для оценки тенденций многолетних изменений температуры почв на территории сезонной и многолетней криолитозоны России//Криосфера Земли, 2000, т.IV. N3, с.59-66.
- Е.А.Дюкарев Влияние температуры воздуха и снежного покрова на характеристики сезонномерзлого слоя почвогрунтов//Криосфера Земли, 2015, т. XIX, N3, с.45-51
- Зырянов В.Н. Нелинейный пампинг-эффект в колебательных процессах в геофизике//Водные ресурсы, 2013, т.40, N3, с.227-239
- Зырянов В.Н. Антипотепление глубинных слоев Мирового океана //океанология, 2007, т.47, N5, с.666-673.
- Л.Э.Лапина, Н.Н.Воропай, Е.А.Дюкарев, С.А.Кураков О вертикальных профилях температуры почвы на разных объектах // Материалы докладов межрегиональной научно-практической конференции «Вклад академической науки в развитие производительных сил Республики Коми», Сыктывкар, 2016, с.152-159

- Ф.Д.Микайылов, Е.В.Шеин Теоретические основы экспериментальных методов определения температуропроводности почв //Почвоведение, 2010, N5, с.597-605
- Л.В.Попович Определение термических характеристик и теплообмена в почве. Изд-во МГУ, 1987, 56с.
- П.Н.Тверской Курс метеорологии (физика атмосферы) Л., Гидрометеиздат, 1962, 700с.
- Шерстюков А.Б. Массив суточных данных о температуре почвогрунтов на глубинах до 320 см по метеорологическим станциям Российской Федерации //Тр. ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД», 2012, вып.176, с.233-256