



**ВЕСТНИК  
КОМИ НАУЧНОГО ЦЕНТРА  
УРАЛЬСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ  
РОССИЙСКОЙ АН**

**ВЫП. 33**

**Сыктывкар  
2018**

**ТРУДЫ МЕЖДУНАРОДНОГО СЕМИНАРА  
«ТЕОРЕТИКО-ГРУППОВЫЕ  
МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ  
ФИЗИЧЕСКИХ СИСТЕМ»**

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Коми научный центр  
Уральского отделения  
Российской академии наук

*Научный сборник посвящен 45-летию  
физико-математических исследований  
в Коми НЦ УрО РАН*

# **ВЕСТНИК**

## Коми научного центра УрО РАН

Выпуск 33

Труды Международного семинара  
«Теоретико-групповые методы исследования физических систем»  
(21–23 сентября 2017 г., г. Сыктывкар)

Сыктывкар 2018

**Труды Международного семинара «Теоретико-групповые методы исследования физических систем».** Сыктывкар, 2018. 186 с. (Вестник Коми НЦ УрО РАН; Вып. 33).

В данном специальном выпуске «Вестника Коми научного центра УрО РАН» представлены доклады Международного научного семинара «Теоретико-групповые методы исследования физических систем» (21–23 сентября 2017 г., г. Сыктывкар), отражающие результаты исследований по применению теоретико-групповых методов в физике, решению проблем и задач физики конденсирования сред, механики сплошных сред, теории вероятностей и ее приложений, построению математических моделей в экологических исследованиях, спектроскопии нано- и биоматериалов.

Научный сборник может представлять интерес для научных работников, аспирантов и студентов.

Редколлегия

В.В. Володин (отв. редактор), А.Я. Полле (отв. секретарь),  
А.В. Самарин, В.И. Пунегов, Н.А. Громов, В.Н. Сивков, Д.Б. Ефимов

*Печатается по решению Ученого совета Коми НЦ УрО РАН  
от 29 марта 2018 г.*

# Содержание

Введение . . . . .	5
Андрюкова В.Ю. Нелинейные колебания прямоугольных пластин . . . . .	7
Веко О.В., Войнова Я.А., Редьков В.М. Частица со спином $1/2$ и аномальным магнитным моментом: нерелятивистское приближение, учет кулоновского поля . . . . .	13
Громов Н.А., Куратов В.В. Гармонический осциллятор на плоскостях Кэли-Клейна с римановой и вырожденной метриками . . . . .	21
Ефимов Д.Б. Обобщенный определитель и перечисление ограниченных перестановок . . . . .	37
Жубр А.В. Об одном обобщении операции "связной суммы" для многомерных узлов . . . . .	41
Казаков Д.В. Влияние нарушений пространственно-периодической структуры на дифракцию рентгеновских лучей в сверхрешетках InAs/GaSb с латеральной модуляцией . . . . .	53
Карпов А.В. Теория компланарной рентгеновской дифракции на кристалле с поверхностным рельефом . . . . .	63
Авдейчиков В.В., Богданова Г.А., Борзунов Ю.Т., Волков В.Ю., Воробьев А.П., Гаврищук О.П., Головня С.Н., Дунин В.Б., Киреев В.И., Кокоулина Е.С., Кутов А.Я., Никитин В.А., Петухов Ю.П., Путырский М.Н., Руфанов И.А., Шуляковский Р.Г., Рядовилов В.Н., Тимошин С.И. Изучение адронных и ядерных взаимодействий в области большой множественности с образованием пионного конденсата . . . . .	71
Кисель В.В., Овсиюк Е.М., Веко О.В., Редьков В.М. Фермион с внутренним спектром масс во внешних полях . . . . .	81
Костяков И.В., Куратов В.В. Об одной контракции группы Пуассона-Ли . . . . .	89
Лапина Л.Э. Пампинг-эффект в природных системах . . . . .	95
Лапина Л.Э., Успенский И.М. Анализ данных по температуре воздуха по данным метеостанции города Сыктывкара в период с 1900 по 2015 г. . . . .	102
Лапина Л.Э., Успенский И.М. Динамика температурного режима почвы по данным метеостанции города Сыктывкара в период с 1970 по 2015 г. . . . .	108
Некипелов С.В., Мингалева А.Е., Петрова О.В., Пийр И.В., Сивков В.Н. Рентгеновские исследования титанатов висмута, допированных атомами $3d$ -металлов . . . . .	115
Пунегов В.И. Динамическая теория рентгеновской дифракции на полупроводниковом кристалле с металлической поверхностной решеткой . . . . .	119
Сивков В.Н., Петрова О.В., Мингалева А.Е., Некипелов С.В. Применение метода полного электронного выхода для измерения сечений поглощения в области NEXAFS $C1s$ – порога ионизации . . . . .	126
Сивков Д.В. Применение генетического алгоритма для решения обратной задачи рентгеновской дифракции . . . . .	131
Ткаль В.А., Бушуев В.А., Жуковская И.А., Бабаев А.А. Роль фазового и амплитудного спектров при реконструкции изображений дефектов структуры с помощью дискретного Фурье-анализа . . . . .	135
Ткаль В.А., Жуковская И.А., Бабаев А.А. Вейвлет-анализ экспериментальных топографических и поляризационно-оптических изображений дефектов структуры монокристаллов . . . . .	141
Ткаль В.А., Жуковская И.А., Бабаев А.А. Диагностика качества веществ различной физико-химической природы и выявление фальсифицированной продукции по цветовым характеристикам . . . . .	148
Ткаль В.А., Жуковская И.А., Бабаев А.А. Качественный и количественный анализ топографических и поляризационно-оптических изображений дефектов структуры монокристаллов . . . . .	162
Толкачев Е.А. Дуально инвариантная формулировка уравнений для бессильных электромагнитных полей . . . . .	166
Турьев А.В., Полешиков С.М., Асадуллин Ф.Ф. Ангармонический двухъямный потенциал несимметричной формы . . . . .	170
Mingaleva A.E., Petrova O.V., Nekipelov S.V., Obiedkov A.M., Kaverin B.S., Sivkov V.N. NEXAFS study of composite MWCNT/(pyrolytic metal) . . . . .	174

## Динамика температурного режима почвы по данным метеостанции города Сыктывкара в период с 1970 по 2015 г.

Лапина Л.Э., Успенский И.М.

Физико-математический институт Коми НЦ УрО РАН,  
ул. Коммунистическая, 24, г. Сыктывкар, 167982, Россия  
e-mail: lapina@dm.komisc.ru; igor@ksc.komisc.ru

### Введение

Температура почвы является интегральным показателем климата, в котором отражаются изменения в температуре приземного воздуха и 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 [1–3]. Как показано в статье [4], температура почвы – это один из главных факторов, влияющих на эмиссию парниковых газов.

Цель исследования – изучить особенности динамики температурного режима почвы по данным наблюдений на метеостанции г. Сыктывкара за период 1970–2015 гг., а также рассчитать коэффициент температуропроводности.

### 1. Описание данных

Сведения по температуре почвы получены из данных ВНИИГМИ-МЦД (<http://meteo.ru/climate>) [5]. Измерения на глубинах 20, 40, 80, 160, 320 см проводятся один раз в сутки приблизительно в 14 ч., а на поверхности почвы – каждые 3 ч, это учитывалось при расчетах, например, амплитуд годовых колебаний температуры. При расчете годовых колебаний на поверхности почвы брались только значения измерений, близкие к 14 ч. Иногда в измерениях имеются пропуски. Существует и другая сетка измерений, а именно: 2, 5, 10, 15, 20, 40, 60, 80, 120, 160, 240, 320 см. Используется она в отечественном приборе, сделанном в Институте мониторинга климатических и экологических систем в Томске и технические характеристики которого упомянуты в работе [6]. Эти приборы применяются, например, при исследовании болот в Западной Сибири и лесных почв в Тункинской котловине в Республике Бурятия.

### 2. Анализ данных

По данным ВНИИГМИ-МЦД, для каждого года и каждой глубины методом наименьших квадратов рассчитывались амплитуды годовых колебаний, т.е., другими словами, на каждой глубине температуру почвы ( $T$ ) аппроксимировали функцией вида:

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

где  $A$  – амплитуда годовых колебаний,  $\omega$  – частоты годовых колебаний, выраженные в сутках, т.е.  $\omega = 2\pi/365$ ,  $\varphi$  – сдвиг фазы колебаний,  $B$  – среднегодовая температура.

Сдвиг фаз  $\varphi$  аппроксимировался функцией вида:  $\varphi = a + bz$ , а среднегодовая температура – функцией вида:

$$B = Ce^{-\gamma z} + D. \quad (2)$$

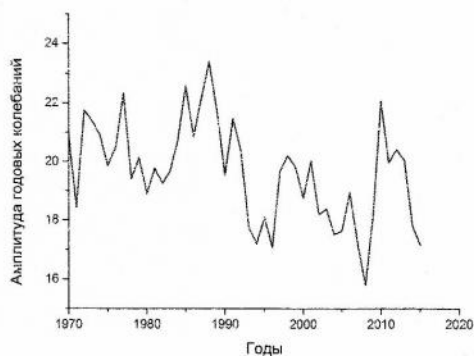
Эта аппроксимация данных наблюдений затем используется при расчете коэффициента эффективной температуры по аналитической формуле, подробный вывод которой дан в работе [7].

В отдельные годы аппроксимация среднегодовой температуры по формуле (2) дает нереальные значения, связанные, по-видимому, с тем, что в данный период она неадекватно описывает наблюдения. В частности, такие случаи наблюдались в 1972 и 1974 гг. Параметр  $\gamma$  в эти годы был практически нулевой.

На рис. 1 показана динамика амплитуд годовых колебаний в течение всего рассматриваемого периода наблюдений на различных глубинах. На нем видно, что наиболее интенсивные колебания происходят на поверхности почвы, уже на глубине 20 см они значительно снижаются, а на глубине 320 см эта амплитуда почти постоянна во времени.

На рис. 2 представлена динамика среднегодовой температуры воздуха и температуры почвы на поверхности почвы и глубине 20 и 320 см.

а)



б)

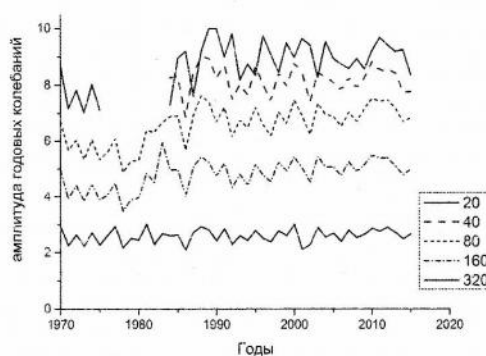
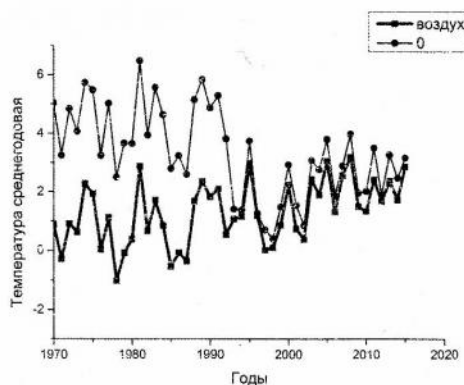


Рис. 1. Амплитуды годовых колебаний на поверхности почвы (а) и различных глубинах (б).

а)



б)

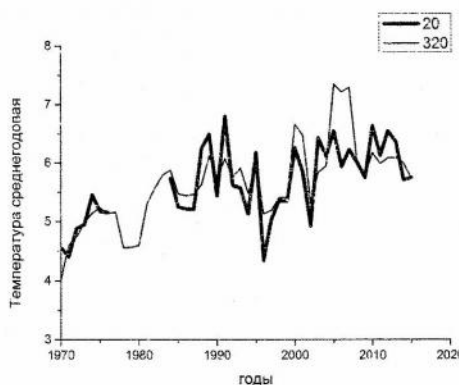


Рис. 2. Динамика среднегодовых температур воздуха, температуры почвы на поверхности почвы (а) и глубинах 20 и 320 см (б).

Из рис. 2а видно, что сначала изменения температуры почвы и воздуха вплоть до середины 90-х гг. прошлого столетия идут в разных направлениях, а затем – в унисон, это может быть связано с тем, что в зависимости от периода главную роль играли различные факторы, а именно: до середины 1990-х гг. первое место занимал такой фактор, как снижение высоты снежного покрова (за 50 лет отмечено снижение примерно в два раза), а затем, когда высоты

снега стало недостаточно, большую роль стала играть температура воздуха. На рис. 26 изображена динамика температуры почвы на глубине 20 и 320 см, на остальных глубинах поведение аналогичное, поэтому мы их не стали отображать в графике.

На рис. 3 показаны некоторые характеристики годового хода температуры почвы, а именно максимальные, минимальные и среднемноголетние значения температуры на различных глубинах. Из рис. 3 видно, что, во-первых, сама температура почвы достаточно хорошо описывается формулой (1), т.е. одной гармоникой, во-вторых, размах значений (разница между максимальным и минимальным значениями) уменьшается с глубиной, а следовательно, и амплитуда годовых колебаний.

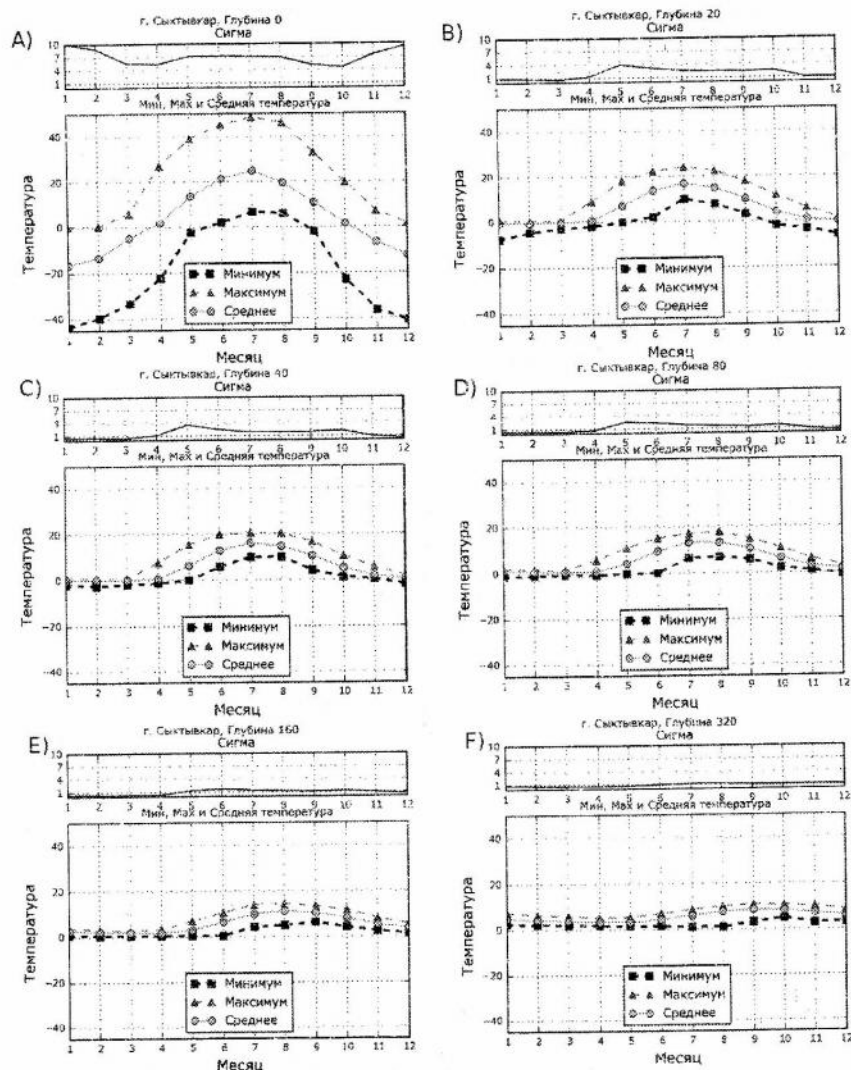


Рис. 3. Годовой ход температуры почвы на различных глубинах по данным наблюдений с 1970 по 2015 г.

Поэтому амплитуды колебаний можно аппроксимировать функцией вида

$$A = A_0 \exp(-\beta z), \quad (3)$$

где  $A_0$  – амплитуда на поверхности почвы, коэффициент  $\beta$  описывает затухание температурных волн, поэтому его называют коэффициентом затухания. Через него часто вычисляют коэффициент температуропроводности. Значения этого коэффициента меняются в пределах от 0.0065 до 0.0085 со средним многолетним значением 0.0074.

### 3. Расчет коэффициента температуропроводности

Согласно словарю по физике почв [8], коэффициент температуропроводности характеризует способность среды выравнять свою температуру, которая определяется не только теплопроводностью среды, но и ее объемной теплоемкостью. Этот коэффициент является производной теплофизической характеристикой. Он численно равен повышению температуры, которое произойдет в единице объема почвы при поступлении в нее тепла, численно равного ее теплопроводности. Имеет размерность ( $\text{см}^2/\text{с}$  или  $\text{м}^2/\text{сутки}$ ) такую же, как коэффициент диффузии, поэтому его нередко называют термодиффузивностью. Знание коэффициента температуропроводности необходимо, например, для оценки потоков тепла.

Существует много методов расчета этого коэффициента, все в основном базируются на решении линейного уравнения теплопроводности в предположении однородности как в пространстве, так и во времени свойств почвы. Обзор этих методов можно найти в работах [9–13].

#### 3.1. Первый метод расчета

Коэффициент  $\beta$  из формулы (3) и коэффициент температуропроводности  $K_T$  связаны друг с другом следующей формулой

$$K_T = \frac{\pi}{365 \cdot 24 \cdot \beta^2}. \quad (4)$$

Результаты расчетов по этому способу представлены на рис. 4.

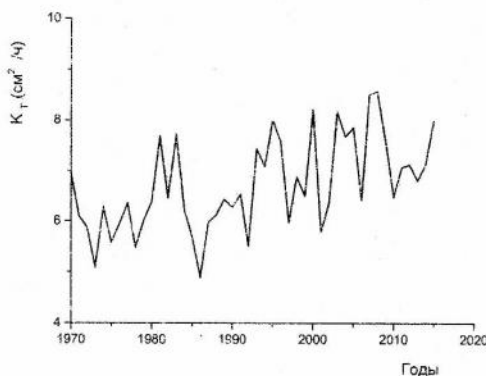


Рис. 4. Динамика коэффициента температуропроводности, рассчитанного по формуле (4).

#### 3.2. Второй метод расчета

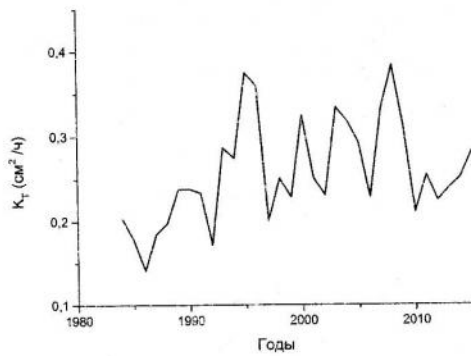
Он базируется на формуле:

$$K_T = \frac{\pi(z_2 - z_1)^2}{T \ln^2 \left( \frac{A(z_2)}{A(z_1)} \right)}, \quad (5)$$

которая была использована, например, в работе [14] для почв типичной тундры европейского Северо-Востока России. Поскольку до 1984 г. имеются отдельные пропуски в измерениях на глубинах 20 и 40 см, то в расчет брали только значения с 1984 г. Результаты расчетов представлены на рис. 5. Видно, что на глубине 0–20 см происходят наиболее существенные изменения в значениях исследуемого параметра. На поверхности его значение близко к нулю, а на глубине 20 см составляет от 10 до 25  $\text{см}^2/\text{час}$ . В 2010 г. значение коэффициента температуропроводности на поверхности почвы оценивалось в 0,21. Это значение будет использовано при сравнении третьего способа расчета с результатами второго и оценки адекватности результатов расчета по методу, предложенному в работе [7].



а)



б)

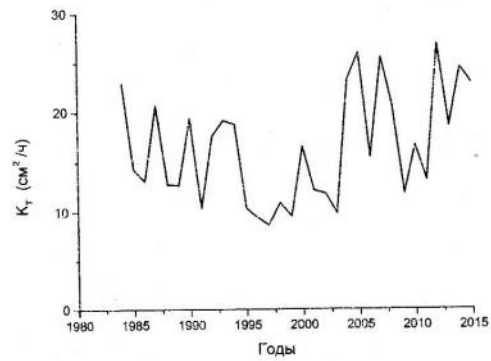


Рис. 5. Динамика коэффициента температуропроводности почвы, рассчитанная по формуле (5) в интервале глубин 0–20 см (а) и 20–40 см (б).

### 3.3. Третий метод расчета

Базируется на формуле, выведенной в статье [7]. Формулу можно модифицировать и при рассмотрении только исключительно годовых колебаний. В таком случае она будет иметь вид:

$$K_T = \frac{K_0}{-\gamma C e^{-\gamma z} + B_0}, \quad (6)$$

где

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

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

Остальные параметры были определены в формулах (1), (2), (3). Временной ход данного параметра в течение 2010 г. представлен на рис. 6.

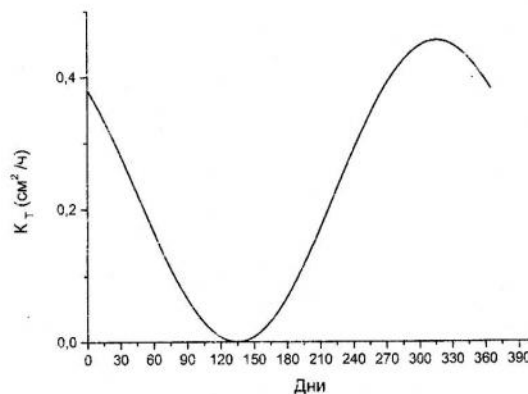


Рис. 6. Годовой ход коэффициента температуропроводности, рассчитанный по формуле (6).

Если осреднить за год все рассчитанные значения, получим 0,23, что практически совпадает с результатом, полученным с помощью второго метода. Достоинство этого метода вычислений заключается в том, что позволяет по амплитуде годовых колебаний и коэффициенту затухания определить полностью значения в течение года. Как видим, эти значения могут изменяться примерно в два раза.

## Заключение

Подводя итоги проведенных исследований, можно сделать следующие выводы:

1. Амплитуда годовых колебаний существенно не изменяется на всех глубинах на протяжении всего периода измерений. Наибольшая амплитуда колебаний на поверхности почвы имеет пределы от 15° до 24°. На глубине 320 см амплитуда колебаний меняется от 2° до 3°.
2. Амплитуда колебаний уменьшается с глубиной и хорошо описывается формулой (3). Параметр экспоненты описывает затухание температурных волн с глубиной.
3. Температура почвы достаточно хорошо описывается функцией типа синуса, причем достаточно одной гармоникой.
4. Формула (6) помогает восстановить годовой ход коэффициента температуропроводности по данным измерений температуры, причем осредненное за год значение практически совпадает с оценкой, полученной по формуле (5). Таким образом, формула (6) достаточно адекватно описывает поведение данной характеристики.

## Литература

1. 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. № 3. С.59–66.
2. Дюкарев Е.А. Влияние температуры воздуха и снежного покрова на характеристики сезонно-мерзлого слоя почвогрунтов // *Криосфера Земли*. 2015. Т. XIX. № 3. С.45–51.
3. Трофимова И.Е., Балыбина А.С. Мониторинг температуры почвы и толщины снежного покрова на территории Иркутской области // *Лед и снег*. 2012. № 1. С.62–68.
4. Лапина Л.Э., Успенский И.М. Корреляционный анализ микрометеорологических данных по мезоолиготрофному болоту в Республике Коми в вегетационный период 2012–2013 гг. // *Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем*. 2016. Т.27. № 2. С.29–41.
5. Шерстюков А.Б. Массив суточных данных о температуре почвогрунтов на глубинах до 320 см по метеорологическим станциям Российской Федерации // *Тр. ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД»*. Обнинск, 2012. Вып.176. С.233–256.
6. Лапина Л.Э., Воропай Н.Н., Дюкарев Е.А., Кураков С.А. 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.
7. Лапина Л.Э. Метод вычисления коэффициента эффективной температуропроводности по данным измерениям температуры почвы // *Известия Коми научного центра УрО РАН*. 2017. № 2 (30). С.12–15.
8. Шеин Е.В., Карпачевский Л.О. Толковый словарь по физике почв. М.: ГЕОС, 2003. 126 с.
9. Михайлов Ф.Д., Шеин Е.В. Теоретические основы экспериментальных методов определения температуропроводности почв // *Почвоведение*. 2010. № 5. С.597–605.
10. Попович Л.В. Определение термических характеристик и теплообмена в почве. М.: Изд-во МГУ, 1987. 56 с.
11. Русин И.Н. Оценка потока тепла в почву при произвольном размещении по глубине почвенных термометров // *Труды главной геофизической обсерватории им. А.И.Воейкова*. СПб., 2014. № 570. С.149–162.
12. Лайхтман Д.Л. Новая формула для вычисления теплового потока в почве по экспериментальным данным // *Труды НИУ ГУГМС*. Л., 1947. Сер.1. Вып.39. С.23–26.
13. Цейтин Г.Х. К вопросу об определении некоторых тепловых свойств почвы // *Труды ГГО*. Л., 1953. Вып.39 (101). С.201–213.

14. Лапина Л.Э., Успенский И.М., Каверин Д.А., Пастухов А.В. Динамика температурных волн в почвах типичной тундры европейского Северо-Востока России // *Водные ресурсы: новые вызовы и пути решения (материалы конференции)*. Новочеркасск: Лик, 2017. С.222–226.