



**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., Путьрский 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 бессиловых электромагнитных полей . . . . .	166
Турьев А.В., Полещиков 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

## Анализ данных по температуре воздуха по данным метеостанции города Сыктывкара в период с 1900 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

Условия климата оказывают воздействие на жизнь и деятельность человека с первых этапов его существования. Температура воздуха является одной из важнейших характеристик климата. Изменения средней температуры воздуха с 1881 по 1988 г. по отдельным полушариям и Земному шару в целом представлены в работе [1], согласно которой линейный тренд глобально осредненной приземной температуры воздуха составил  $0,4-0,5^{\circ}\text{C}/100$  лет. Однако пространственное распределение многолетних изменений температуры воздуха неоднородно. Как следует из статьи [2], в некоторых регионах происходило даже похолодание. Кроме того, долговременные изменения температуры воздуха неоднородны не только в пространстве, но и во времени. Исследователи [1,3,4] приходят к выводу, что в холодное полугодие изменения температур существенно превышают аналогичные изменения в теплые периоды.

Цель данной работы – выявить статистически надежный тренд изменения среднегодовой температуры воздуха для условий г. Сыктывкара.

### 1. Описание данных

Среднесуточные данные по температуре воздуха, сумме атмосферных осадков, ветровому режиму, высоте снежного покрова и температуре почвы на глубинах 20,40,80,160 и 320 см на метеостанции г. Сыктывкара получены из массива данных ВНИИГМИ-МЦД [5] (<http://www.meteo.ru/climate>). Пример использования значений по метеостанции Бакчар (Томская область) за период с 1963 по 2011 г. для задачи прогнозирования глубины промерзания почвы с помощью простейшей регрессионной модели приведен в статье [6]. Также применялись сведения по 16 метеостанциям, взятые с того же ресурса открытых данных, для анализа трендов температуры воздуха и осадков в работе [7].

### 2. Анализ данных

Анализ данных проводился с использованием процедуры осреднения как посуточно, так и помесечно, так и в течение каждого года наблюдений. Для среднегодовых значений температуры воздуха и ряда других важных параметров, приведенных в табл. 1, строился доверительный интервал для каждого года, а для среднесуточных и среднемесячных значений также считались среднеквадратические отклонения. На рис. 1 показана динамика среднегодовых температур с указанием доверительных интервалов, полученных при уровне значимости 0,05 (т.е. вероятность отвергнуть правильную статистическую гипотезу). Границы доверительных интервалов рассчитывались по формуле [8]:

$$\bar{x} - 1,96 \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \leq x \leq \bar{x} + 1,96 \frac{\sigma}{\sqrt{n}}, \quad (1)$$

где  $n$  – число данных,  $\sigma$  – выборочное среднеквадратическое отклонение.

Таблица 1

## Средние многолетние характеристики температуры

Параметр	Группы, гг.				
	1900–1929	1930–1959	1960–1989	1990–2015	Все
Средняя многолетняя годовая температура	$0.55 \pm 0.25$	$0.69 \pm 0.24$	$0.73 \pm 0.24$	$1.67 \pm 0.24$	$0.89 \pm 0.12$
Средняя многолетняя температура в летние месяцы	$15.22 \pm 0.17$	$15.27 \pm 0.17$	$15.03 \pm 0.18$	$15.36 \pm 0.18$	$15.22 \pm 0.08$
Среднее многолетнее значение в зимние месяцы	$-14.18 \pm 0.34$	$-13.53 \pm 0.31$	$-14.33 \pm 0.34$	$-12.29 \pm 0.34$	$-13.62 \pm 0.16$
Сумма эффективных* температур за год	$1934 \pm 64$	$1893 \pm 55$	$1911 \pm 79$	$2030 \pm 71$	$1939 \pm 34$
Количество дней с положительной температурой в год	$194 \pm 4$	$195 \pm 4$	$199 \pm 4$	$206 \pm 5$	$199 \pm 3$

\*Примечание. Температура воздуха выше  $+5^{\circ}\text{C}$ .

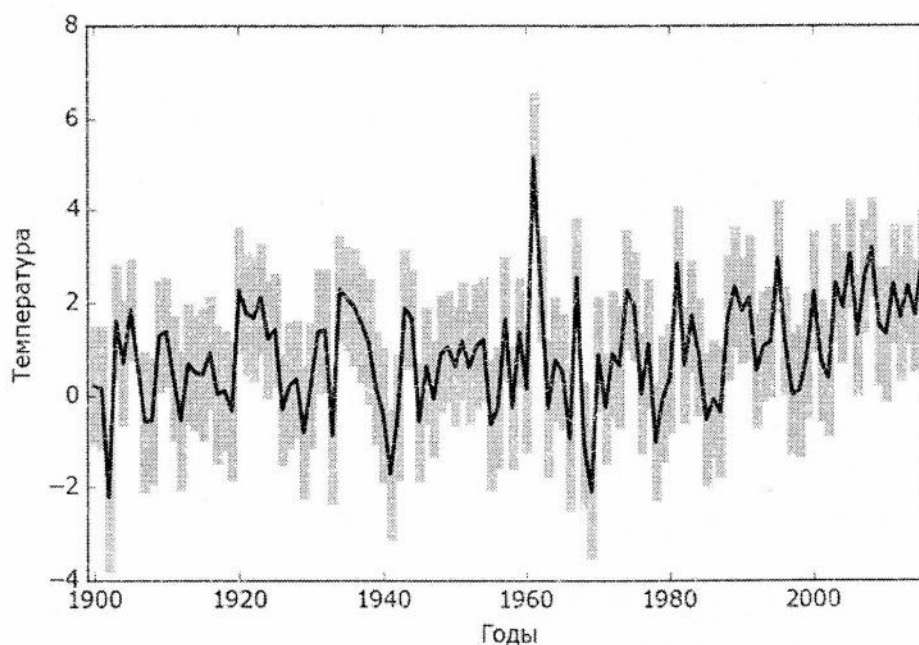


Рис. 1. Динамика среднегодовых температур воздуха с указанием доверительных интервалов.

Заметим, что аналогичный график поведения среднегодовых температур, но без использования доверительных интервалов, полученный по данным метеостанции г. Сыктывкара, есть в монографии [9, гл.1], на котором автор проводит тренд по температуре, угловой коэффициент равен  $0,8^{\circ}\text{C}$  градуса на 100 лет (судя по приведенной там же таблице), но величина полуинтервала оценки среднегодовой температуры составляет примерно  $1,5 - 2^{\circ}$  в обе стороны на протяжении всего периода наблюдений. Поэтому вывод о повышении температуры воздуха и оценка тренда являются недостаточно статистически надежными. Как правило, средние величины принято представлять в виде  $y = \bar{y} \pm \Delta y$ , где в качестве  $\Delta y$  выступает или среднеквадратическое отклонение, или длина половины доверительного интервала в зависимости от уровня значимости  $\alpha$ . Формулы для интервального оценивания различных параметров для разных типов распределений приведены в книге [8]. Кроме того, в работе [9, гл.1] недостаточно четко выделен период, начиная с которого реально можно говорить о повышении температуры.

Для использования формулы (1) необходимо проверить гипотезу о нормальном законе распределения случайной величины температуры воздуха. Для ее проверки предложено множество



критериев, направленных на защиту нулевой гипотезы нормальности распределения от всевозможных альтернатив. Описание многих из них приведено в монографии [8]. Гипотезу о нормальном законе распределения проверяли по двум критериям: по Колмогорову-Смирнову (показал, что нет оснований отвергать данную гипотезу) и Шапиро (не привел к отклонению гипотезы о нормальном законе распределения), а значит, у нас есть основания оценивать доверительные интервалы по приведенной формуле (1).

Для построения доверительных интервалов для других оценок параметров с числом данных меньше 100 для расчета необходимого параметра  $t_\gamma$  (равного 1,96 при большом числе данных) применялась несколько упрощенная формула расчета в зависимости от числа степеней свободы, приведенная в книге [8.С.106].

В климатических исследованиях принято использовать 30-летний период для оценки средне-многолетних значений температуры. Поэтому набор сведений был разделен на четыре группы: 1900–1929, 1930–1959, 1960–1989, 1990–2015 гг., а также рассматриваются все данные. В табл. 1 приведены средние многолетние значения характеристик, связанных с температурой воздуха, указанием границ доверительных интервалов, рассчитанных по формуле (1) и уровню значимости  $\alpha = 0.05$ . Анализ средних многолетних годовых температур с учетом доверительных интервалов показывает, что до 1990 г. говорить о повышении среднегодовой температуры воздуха не приходится, так как разница в значениях находится в пределах доверительного интервала. И только с 1991 г. можно утверждать о повышении среднегодовой температуры воздуха.

В табл. 2 представлены характеристики лишь среднесуточных температур за весь период наблюдений, поэтому результаты сглажены. Реально среднесуточные значения температур в отдельные моменты времени могут выходить за пределы указанного диапазона. Так, например, 31 декабря 1978 г. была самая холодная новогодняя ночь  $-48^\circ\text{C}$ . Это значение вышло за пределы «правила трех сигм», что не противоречит нормальному закону распределения, так как отдельные значения (примерно 3 из тыс.) выходят за три сигмы. Данные табл. 2 представлены графически на рис. 2.

Таблица 2

**Характеристики среднесуточных температур воздуха по месяцам,  
полученные в 1900–2015 гг.**

Месяц	Параметры			
	Минимум	Максимум	Среднее	$\sigma$
Январь	-42,5	1,4	-15,13	9,13
Февраль	-40	2	-13,54	7,87
Март	-29,8	9,1	-7	6,31
Апрель	-17,5	18,4	1,35	5,21
Май	-9,6	25	8	5,5
Июнь	-0,9	28,2	14,55	5,07
Июль	4,6	28,4	17,05	4,22
Август	3,4	28,3	14,03	4,18
Сентябрь	-4,4	20,2	7,93	4,13
Октябрь	-22,8	14,6	0,74	4,8
Ноябрь	-34,4	9,2	-6,34	6,72
Декабрь	-42,4	3,5	-12,2	8,64

На рис. 2 под средним понимается среднемесячная температура, под минимумом и максимумом – минимум и максимум среднесуточных температур. Из рис. 2 видно, что зимние месяцы характеризуются большей вариабельностью, описываемой параметром сигма, по сравнению с летними месяцами. На рис. 3 представлен годовой ход температуры воздуха в отдельные года

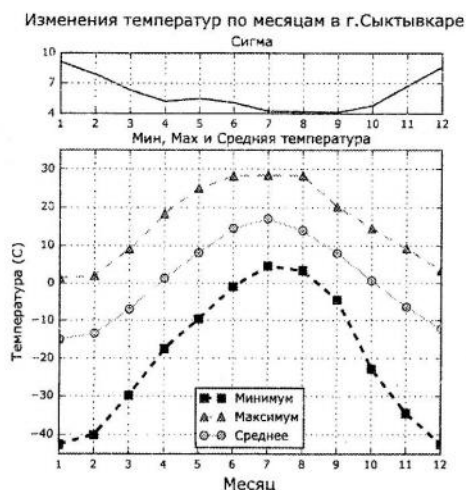


Рис. 2. Годовой ход среднесуточных температур за весь период наблюдений (1900–2015 гг.).

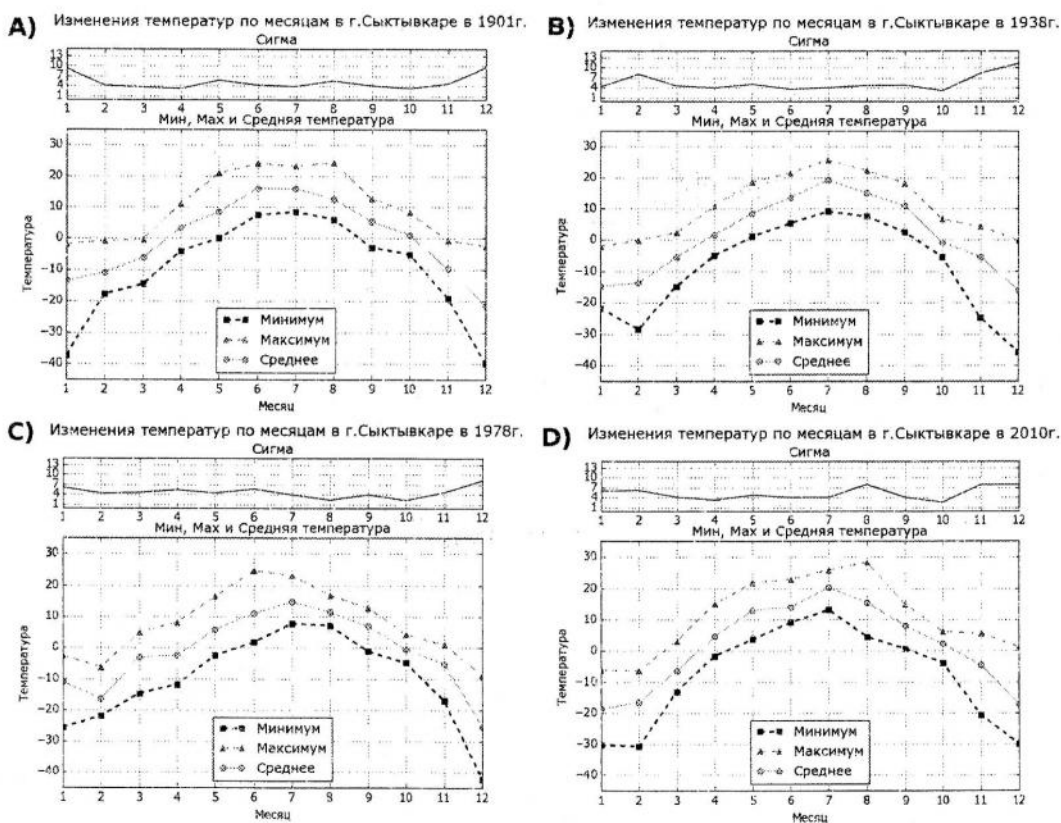


Рис. 3. Годовой ход температуры воздуха в отдельные годы наблюдений.

наблюдений: 1901, 1938, 1978, 2010 гг. Выбор 2010 г. обусловлен особенностями поведения температуры почвы именно в этот год [10], в 1978 г. отмечалась одна из самых низких температур в декабре, 1938 г. обусловлен интересной особенностью поведения – минимальная среднесуточная температура февраля оказалась существенно меньше значения той же характеристики в январе, а 1901 г. взят в качестве точки отсчета для сравнения годового хода температур в различные моменты времени. Из рис.3 следует, что заметного изменения в годовом ходе температур воздуха за 115 лет не наблюдается. Небольшие колебания, скорее, связаны с естественной изменчивостью.



В заключение рассмотрим рис.4, на котором приводится график среднемноголетних температур, рассчитанных за 30-летние периоды начиная с 1900 по 1985 г. Это значит, что к 1900 г. приписано среднемноголетнее значение температуры воздуха, осредненное за период с 1900 по 1929 г., т.е. год на график означает начало периода осреднения. Кроме того, на этом же графике изображены доверительные интервалы. Четко видно, что потепление происходит начиная с 1990 г. за счет зимних месяцев, а в летние месяцы повышения температуры не наблюдается.

Анализ динамики среднеквадратических отклонений для каждого месяца в отдельности не выявил значимых трендов.

#### Средние температуры в г.Сыктывкаре

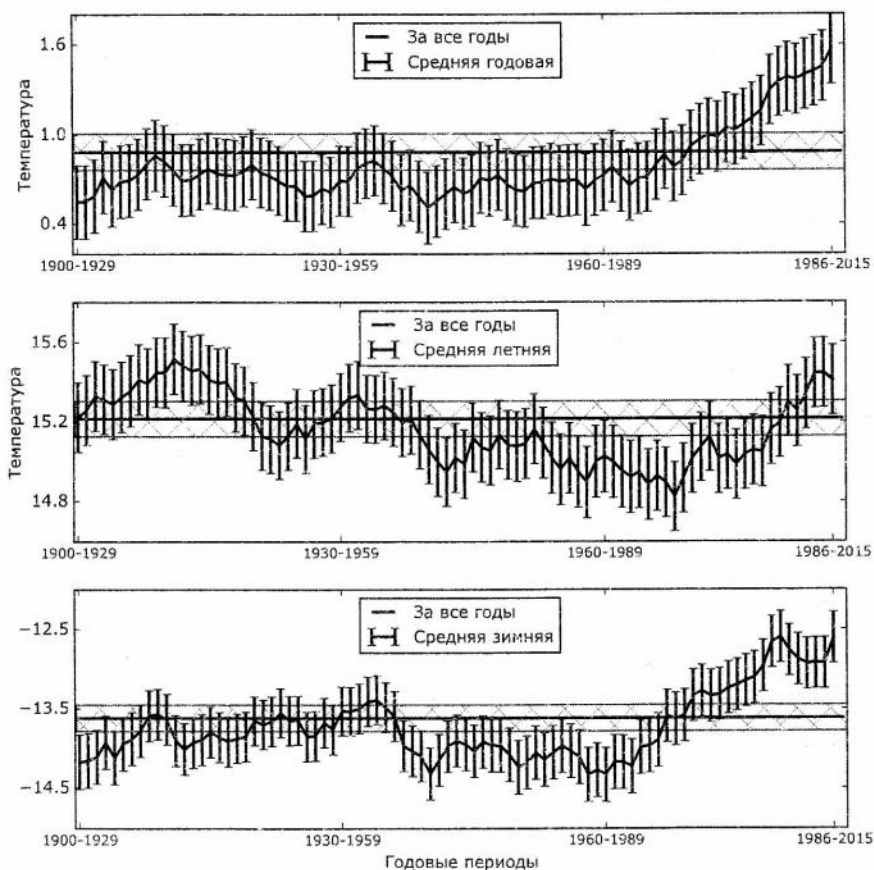


Рис. 4. Динамика среднемноголетних температур воздуха, осредненных за 30-летние периоды как в целом для всего года, так и отдельно для летних ( июнь, июль, август) и зимних (декабрь, январь, февраль) месяцев.

#### Выводы

1. Статистически надежным можно считать положительный тренд температуры воздуха начиная с 1990 г. с оценкой  $0,1^{\circ}\text{C}/10$  лет, что может быть связано с урбанизацией территории, прилегающей к метеостанции. Эта оценка немного выше оценки линейного тренда для приземной среднегодовой температуры воздуха, приведенной в работе [11], составляющей  $0,078^{\circ}\text{C}/10$  лет для Северного полушария, но полученного для совокупности значений с 1909 по 2010 г., поэтому эта разница может быть связана именно с различием в рассматриваемых периодах.
2. Большею вариабельностью характеризуются зимние месяцы, именно с ними связан положительный тренд в температуре воздуха.
3. Не наблюдается заметного изменения в годовом ходе температур. Небольшие колебания, скорее, вызваны естественной изменчивостью факторов.

### Литература

1. Предстоящие изменения климата / Под ред. М.И.Будыко, Ю.А.Израэля, М.С.Маккракена и др. Л.: Гидрометеоиздат, 1981. 272 с.
2. Груза Г.В., Ранькова Э.Я. Структура и изменчивость современного климата // *Метеорология и гидрология*. 1989. № 7. С.14–18.
3. Будыко М.И., Ефимова Н.А., Лугина К.М. Современное потепление // *Метеорология и гидрология*. 1993. № 7. С.29–35.
4. Будыко М.И. Антропогенное изменение глобального климата // *Метеорология и гидрология*. 1981. № 8. С.5–14.
5. Булыгина О.Н., Разуваев В.Н., Александрова Т.М. Описание массива данных суточной температуры воздуха и количества осадков на метеорологических станциях России и бывшего СССР (ТТТР). Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2014620942 <http://meteo.ru/data/162-temperature-precipitation#> описание-массива-данных.
6. Дюкарев Е.А. Прогноз глубины промерзания почвы с помощью простейшей регрессионной модели // *Вестник Томского государственного университета*. 2014. № 387. С.266–270.
7. Крышнякова О.С., Малинин В.Н. К анализу трендов в колебаниях температуры воздуха и осадков на Европейской территории России // *Известия Русского географического общества*. 2009. Т.141. № 2. С.23–34.
8. Кобзарь А.И. Прикладная математическая статистика для инженеров и научных работников. М.: Физматлит, 2012. 816 с.
9. Загирова С.В., Шнейдер Ю. Экосистема мезоолиготрофного болота на северо-западе России: эволюция, структура, функции. Сыктывкар, 2016. 172 с.
10. Лапина Л.Э., Успенский И.М. Динамика температурного режима почвы по данным метеостанции города Сыктывкара в период с 1970 по 2015 г. // *Материалы Международного семинара «Теоретико-групповые методы исследования физических систем»*. Сыктывкар, 2018. С.109–115.
11. Переведенцев Ю.П., Шанталинский К.М. Неоднородность изменения температурного режима Земли в XIX–XXI столетиях // *Географический вестник, ПГНИУ*. 2011. № 3. С.46–58.