

ОЦЕНКА СОВРЕМЕННЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ ТЕНДЕНЦИЙ В НОВОСИБИРСКОЙ ОБЛАСТИ МЕТОДОМ КВАНТИЛЬНОЙ РЕГРЕССИИ

О.В. Климов, В.М. Топоров

*ФГБУ «Сибирский региональный научно-исследовательский
гидрометеорологический институт», Новосибирск*

Приводятся результаты оценки трендовой составляющей изменения температуры воздуха и осадков для территории Новосибирской области, рассчитанной с помощью квантильной регрессии. Оценка рассчитана для 19 пунктов, расположенных в различных физико-географических зонах. Расчеты детализированы по сезонам года (весь период, лето, зима). Метод квантильной регрессии позволяет определить изменение метеорологических параметров для любых квантилей интегральной кривой распределения вероятностей.

В результате были получены различные статистические характеристики рядов среднегодовой температуры не только за весь период наблюдений (85 лет), но и за два последовательных отрезка ряда (42 и 43 года). Кроме того, такие же характеристики были рассчитаны для средних сезонных значений температур (лето, зима). Анализ полученных результатов позволяет сделать ряд выводов, главный из которых заключается в определении тренда среднегодовых температур не только для всех рассматриваемых временных периодов, но и для оценки изменения квантилей температур.

Ключевые слова: летние, зимние температуры воздуха, квантильный анализ, интерквантильное расстояние, высшие экстремумы, низшие экстремумы.

ASSESSMENT OF CURRENT CLIMATE TRENDS IN THE NOVOSIBIRSK REGION USING THE QUANTILE REGRESSION METHOD

O.V. Klimov, V.M. Toporov

Siberian Regional Research Hydrometeorological Institute, Novosibirsk

The results of the assessment of the trend component of the change in air temperature and precipitation for the territory of the Novosibirsk region, calculated using quantile regression, are presented. The estimate is calculated for nineteen

points located in different physical and geographical zones. The calculations are detailed by seasons of the year (entire period, summer, winter). The quantile regression method allows to determine the change in meteorological parameters for any quantiles of the integral probability distribution curve.

As a result, various statistical characteristics of the mean annual temperature series were obtained not only for the entire observation period (85 years), but also for two consecutive segments of the series (42 and 43 years). In addition, the same characteristics were calculated for average seasonal temperatures (summer, winter). An analysis of the results obtained allows us to draw a number of conclusions, the main of which is to determine the trend of average annual temperatures not only for all considered time periods, but also to assess the change in temperature quantiles.

Key words: *summer, winter air temperatures, quantile analysis, interquantile distance, higher extremes, lower extremes.*

Введение

Теме изменения климата посвящено значительное количество статей, монографий и просто заметок в различных источниках [1–5]. В них, с различной степенью детальности и масштабности процессов, рассматриваются тенденции изменения метеорологических элементов за различные интервалы времени. Как правило, эти интервалы ограничены наличием материалов наблюдений и используемым математическим аппаратом. Среди огромного числа литературы нельзя не отметить труды Г.В. Груза, Э.Я. Раньковой, особенно капитальную монографию об изменении климата России [6]. Среди метеорологических величин чаще всего исследуют температуру приземного воздуха и осадки. Что касается анализируемых периодов, то здесь нет единого подхода. Данные за отдельные рассматриваемые периоды сравниваются с многолетними данными за весь период наблюдений или с любым периодом за последние годы. Наиболее часто используется тридцатилетний период, как правило, за 1960–1990 гг., который был рекомендован ВМО в качестве среднего значения за последние годы, хотя как раз этот случай наименее обоснован с точки зрения как физики, так и математики [6, 7].

Основными инструментами, используемыми при анализе гидрометеорологических рядов, являются статистические методы, базирующиеся на регрессионных зависимостях и разложениях рядов по различным составляющим, имеющим закономерные изменения. Наиболее часто используются расчеты трендовой составляющей либо разложение рядов по естественным ортогональным составляющим или рядам Фурье [8–10].

Классический способ расчета тренда основан на определении параметров с помощью «метода наименьших квадратов» и отображает тенденцию изменений лишь средних значений переменных, оставляя без внима-

ния весь их диапазон. Кроме того, метод является параметрическим и требует соблюдения ряда условий при его применении.

При регрессионном анализе, выполняемом методом квантильной регрессии, наглядной характеристикой полученного результата является так называемая процесс-диаграмма. Напомним, что *квантиль* – это значение, которое заданная случайная величина не превышает с фиксированной вероятностью. Анализ климатического тренда проводят с помощью процесс-диаграмм, представляющих собой зависимость значения климатического тренда от значения квантиля (квантиль изменяется в диапазоне от 0 до 1). Если вероятность задана в процентах, то квантиль называется *процентилем*, или *перцентилем*.

Достоинством метода квантильной регрессии является полнота информации о поведении исследуемой величины. В результате его применения в климатологии возможно получить вектор квантильных трендов в диапазоне квантилей от 0 до 1 практически с любой степенью детализации в зависимости от полноты входных данных, тогда как классический метод наименьших квадратов предоставляет всего одно значение тренда. Не менее важное преимущество заключается в том, что метод не является параметрическим, и следовательно, не предполагает, что распределение исследуемой величины принадлежит параметрическому семейству.

Целью исследований является анализ статистических характеристик рядов температуры воздуха, полученных для разных сезонов и различных многолетних периодов. Одной из главных задач является определение изменений не только для средней температуры воздуха за период, но и для различных квантилей температуры за этот же период, прежде всего квантилей 0,05 и 0,95.

Основные положения метода квантильной регрессии хорошо изложены в работах [11, 12].

Методика расчета и результаты

Большинство авторов публикаций, где для анализа применяется аппарат квантильной регрессии, используют суточные базы данных [13–15]. В этом случае определяют значения квантилей для каждого года, затем для каждого квантиля вычисляется временной тренд. Таким образом, определяются тренды для всего диапазона рассматриваемых величин. В нашей работе рассматриваются среднемесячные значения температуры воздуха, поэтому методика расчетов несколько отличается от описанной выше.

Для расчетов использовались среднемесячные данные о температуре воздуха на 19 метеорологических станциях, расположенных на территории Новосибирской области. Все данные имеют длительные ряды наблюдений

(1936–2020 гг.), минимум пропусков, а метеостанции распределены равномерно по различным природным зонам. Новосибирская область расположена в четырех природных зонах: тайге (северная часть и восточная часть), зоне смешанных лесов, лесостепи и степи [16].

Расчеты статистических характеристик температур проведены для трех внутригодовых периодов: календарного года, зимнего и летнего сезонов. Каждый из периодов был разделён на два временных отрезка. Таким образом, для каждого периода были рассчитаны три варианта параметров. Первый вариант – для полного ряда наблюдений, второй и третий – для частей ряда, полученных при его делении. Границы указанных временных отрезков были определены с учетом данных разностных интегральных кривых, которые были построены для всех рядов температуры воздуха, взятых для расчета. Немаловажную роль играет и количество лет во временных отрезках. Для правильного сопоставления данных расчета длительность отрезков должна быть примерно одинаковой.

На рис. 1 в качестве примера приведены разностные интегральные кривые среднегодовой температуры воздуха для пункта Барабинск. На нем четко прослеживается временной отрезок, когда усредненное значение температур за это время было меньше среднего за весь период наблюдений (кривая направлена вниз), и отрезок с превышениями температур (кривая направлена вверх). Перелом приходится на 1975–1978 гг. Подобные кривые получены и для остальных пунктов наблюдений. Учитывая синхронность хода температур для всей Новосибирской области, было решено выбрать единые временные отрезки расчета характеристик для всех пунктов наблюдений. Первый отрезок – 1936–1977 гг., второй отрезок – 1977–2020 гг. Для краткости изложения в дальнейшем будем их называть первым и вторым отрезками.

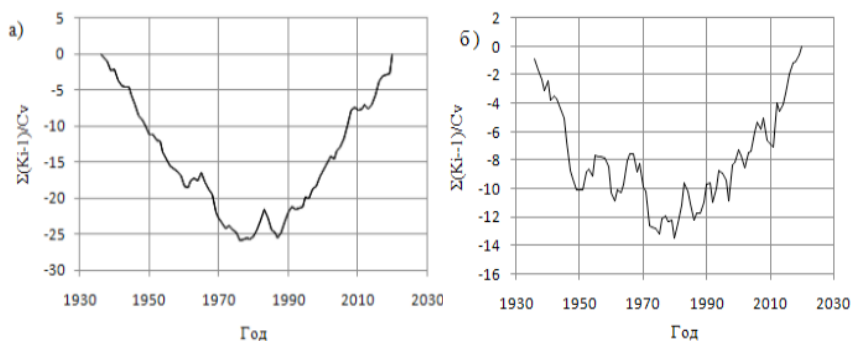


Рис. 1. Разностные интегральные кривые среднегодовых температур воздуха для календарного года (I–XII) (а) и летнего сезона (VI–VIII) (б), г. Барабинск

Длительность полного периода наблюдений составляет 85 лет, двух отрезков, – соответственно, 42 и 43 года. Таким образом, для каждого из этих временных отрезков рассчитывались 3 варианта: один для среднегодовых значений за календарный год, два других для зимних и летних сезонов.

Летний сезон представлен средними температурами за 3 месяца (VI–VIII). Зимний сезон, продолжительностью 5 месяцев, включает ноябрь и декабрь предыдущего года и январь, февраль, март следующего (XI–III). Весенние и осенние сезоны не рассматривались.

В результате расчетов были получены характеристики, которые приведены в табл. 1 и 2. В таблицах помещены результаты расчетов только для летнего и зимнего сезонов без среднегодовых значений за календарный год. Два рассмотренных сезона полностью определяют и изменчивость температур за год.

Таблицы содержат следующие характеристики:

$T_{\text{ср}}$ – среднемесячная температура воздуха за рассматриваемый период;

a , °C/10 лет – коэффициент тренда в градусах за 10 лет;

D – вклад тренда в дисперсию исходных временных рядов (в долях от 1);

$T_{0,05}, \dots, T_{0,95}$ – температуры, соответствующие квантилям 0,05; 0,25; 0,50; 0,75; 0,95;

R – размах колебаний, разность между максимальной и минимальной наблюдавшимися среднемесячными температурами;

X – интерквантильное расстояние, равное разности между $T_{0,75}$ и $T_{0,25}$ и характеризующее интервал, содержащий 50 % выборки.

Все статистические параметры рассчитываются стандартными методами математической статистики.

Температура за год. В основной период (1936–2020 гг.) среднегодовая многолетняя температура по области составляет 0,8 °C, изменяясь по территории от 0,0 °C для северо-западных районов (Кыштовка, Северное, Убинское) до 1,7 °C для южных районов (Карасук). При этом максимальная среднемесячная температура на всех пунктах наблюдалась в один и тот же 2020 г. и составила 4 °C для области. Самой высокой она была в Карасуке (4,9 °C), а самой низкой за этот год – в Маслянино (3,2 °C).

Минимальные годовые температуры во всех пунктах тоже наблюдались в одном 1969 г. Наибольшая температура здесь равна –1,4 °C (Карасук), наименьшая –3,2 °C (Северное). Коэффициент тренда для среднегодовой температуры был положительным для всех пунктов. За весь период наблюдений средний для области коэффициент равен 0,30 °C для десятилетнего периода. Наибольший коэффициент равен 0,34 °C/10 лет (Кочки), наименьший был 0,25 °C/10 лет (Болотное, Кыштовка).

Таблица 1

Статистические характеристики межгодовой изменчивости зимних температур

Пункт	Зима 1936–1976										Зима 1977–2020									
	T_{cp}	$a^{\circ}C/10$	D	$T_{0,05}$	$T_{0,25}$	$T_{0,5}$	$T_{0,75}$	$T_{0,95}$	R	X	T_{cp}	$a^{\circ}C/10$	D	$T_{0,05}$	$T_{0,25}$	$T_{0,5}$	$T_{0,75}$	$T_{0,95}$	R	X
Барабинск	-14,9	0,27	0,02	-18,3	-16,7	-14,9	-13,1	-11,0	11,5	3,54	-12,3	0,34	0,03	-15,9	-13,7	-12,1	-10,3	-8,8	12	3,40
Болотное	-14,2	0,15	0,01	-17,1	-15,7	-13,8	-12,8	-11,1	11,0	2,9	-12,0	0,27	0,03	-14,6	-13,0	-12,3	-10,5	-8,6	9,8	2,5
Здвинск	-15,3	0,30	0,02	-18,9	-17,1	-14,9	-14,0	-12,0	7,9	2,9	-12,9	0,35	0,04	-15,5	-14,1	-13,0	-11,4	-9,4	11,0	2,7
Карасук	-14,7	0,27	0,02	-18,5	-16,5	-14,5	-13,3	-11,3	7,9	3,1	-12,3	0,31	0,03	-13,3	-12,9	-12,0	-10,6	-8,8	6,5	2,3
Кольвань	-14,8	0,23	0,01	-17,8	-16,3	-14,2	-13,2	-11,5	6,9	2,6	-12,2	0,34	0,04	-13,2	-12,5	-11,8	-10,8	-8,8	5,7	3,1
Кочки	-15,3	0,17	0,01	-18,7	-17,0	-15,0	-13,8	-11,7	7,7	3,4	-12,6	0,16	0,01	-15,4	-14,0	-13,0	-10,9	-9,0	8,1	3,1
Красноозерск	-14,8	0,15	0,05	-18,5	-16,9	-14,1	-13,4	-11,7	7,7	3,5	-12,3	0,19	0,01	-15,5	-13,4	-12,7	-10,8	-8,6	8,2	2,7
Купино	-15,0	0,20	0,01	-18,3	-16,9	-14,6	-13,5	-11,9	10,6	3,4	-12,6	0,14	0,01	-15,9	-13,8	-13,0	-11,2	-8,7	8,8	2,6
Кыштовка	-15,3	0,04	0,00	-18,3	-16,8	-14,9	-13,8	-12,0	7,4	3,0	-13,2	0,16	0,01	-16,3	-14,7	-13,5	-11,7	-10,8	7,7	3,0
Маслянино	-15,4	0,17	0,01	-18,5	-17,6	-15,0	-13,5	-12,2	6,8	4,1	-12,8	0,14	0,06	-15,5	-14,3	-13,2	-11,7	-10,1	7,8	2,6
Мошково	-14,4	0,36	0,05	-18,1	-15,6	-14,3	-13,2	-11,3	7,9	2,4	-11,8	0,12	0,01	-16,7	-12,8	-11,8	-10,6	-8,5	7,7	2,2
Огурцово	-14,4	0,13	0,01	-17,2	-15,8	-13,9	-12,7	-10,7	15,6	3,1	-11,9	0,16	0,01	-14,7	-13,3	-12,3	-10,5	-8,3	10,2	2,7
Ордынское	-14,4	-0,12	0,00	-18,1	-16,7	-14,0	-12,8	-10,9	15,8	3,9	-12,1	0,10	0,00	-15,0	-13,2	-12,5	-10,6	-8,6	10,8	2,6
Посевная	-14,2	0,17	0,08	-17,3	-15,8	-13,6	-12,7	-11,0	11,0	3,1	-11,7	0,14	0,01	-14,1	-12,8	-12,0	-10,4	-8,4	9,9	2,4
Северное	-15,2	0,00	0,00	-18,1	-18,1	-18,1	-18,1	-18,1	12,7	0,0	-13,0	0,27	0,02	-16,0	-14,4	-13,5	-11,4	-9,3	9,5	3,0
Татарск	-14,8	0,25	0,08	-18,1	-16,3	-14,8	-13,3	-11,4	12,0	3,0	-12,4	0,13	0,01	-15,7	-13,7	-12,7	-10,9	-8,5	9,5	2,8
Убинское	-15,7	0,26	0,02	-19,4	-17,2	-15,4	-14,3	-12,6	12,2	2,9	-13,1	0,15	0,01	-16,0	-14,4	-13,6	-11,7	-9,3	10,3	2,6
Чистоозерное	-15,1	0,18	0,01	-18,1	-16,4	-14,9	-13,6	-11,8	7,4	2,8	-12,7	0,15	0,01	-15,7	-14,0	-13,1	-11,3	-8,9	7,3	2,7
Чулым	-15,1	0,12	0,00	-18,3	-16,8	-14,6	-13,7	-12,1	12,2	3,1	-12,5	0,19	0,01	-15,4	-13,8	-12,8	-11,1	-8,8	10,2	2,7
Среднее	-14,9	0,17	0,02	-18,2	-16,6	-14,7	-13,6	-11,9	9,0	3,0	-12,4	0,2	0,0	-15,3	-13,6	-12,7	-11,0	-9,0	9,0	2,7

Таблица 2

Статистические характеристики межметодовой изменчивости летних температур

Пункт	Лето 1936–1976										Лето 1977–2020									
	T_{cp}	$a^{\circ}C/10$	D	$T_{0,05}$	$T_{0,25}$	$T_{0,5}$	$T_{0,75}$	$T_{0,95}$	R	X	T_{cp}	$a^{\circ}C/10$	D	$T_{0,05}$	$T_{0,25}$	$T_{0,5}$	$T_{0,75}$	$T_{0,95}$	R	X
Барабинск	17,0	0,11	0,03	15,5	16,5	17,1	17,4	18,4	3,8	0,9	17,5	0,11	0,02	16,1	16,9	17,5	18,2	18,7	4,4	1,25
Болотное	16,9	0,03	0,00	15,6	16,4	16,7	17,5	18,4	4,1	1,1	17,1	0,1	0,03	16,0	16,6	17,2	17,7	17,7	4,0	1,1
Здвинск	17,5	0,06	0,01	15,9	17,0	17,5	18,1	19,1	4,0	1,1	17,9	0,14	0,04	16,6	17,3	17,9	18,5	18,9	4,4	1,2
Карасук	18,7	0,07	0,01	16,8	18,1	18,6	19,3	20,4	3,6	1,2	19,2	0,15	0,04	19,0	19,3	19,6	20,0	20,4	2,8	0,7
Кольвань	16,9	0,16	0,05	15,5	16,3	16,8	17,6	18,2	3,8	1,3	17,5	0,23	0,12	17,2	17,7	17,9	18,1	19,0	2,7	1,1
Кочки	17,0	0,15	0,04	15,6	16,3	17,0	17,8	18,3	4,2	1,5	17,8	0,09	0,02	16,6	17,2	17,9	18,5	19,0	3,8	1,1
Красноозерск	17,8	0,08	0,01	16,0	17,1	17,7	18,4	19,3	3,9	1,3	18,3	0,18	0,06	16,8	17,6	18,4	18,9	19,4	4,4	1,3
Купино	18,0	0,00	0,00	16,4	17,4	18,1	18,6	19,6	4,2	1,2	18,4	0,06	0,01	16,8	17,8	18,5	19,0	19,7	4,1	1,2
Кыштовка	16,3	0,03	0,00	14,7	15,8	16,3	16,8	17,3	3,6	1,0	16,6	0,12	0,03	15,2	16,0	16,5	17,0	17,7	3,9	1,0
Маслянино	16,2	0,06	0,01	15,3	15,6	16,1	16,8	17,5	3,3	1,2	16,8	0,19	0,10	15,8	16,1	16,7	17,1	17,6	3,2	0,9
Мошково	16,6	0,04	0,04	15,0	15,9	16,5	17,1	17,8	3,7	1,2	17,0	0,15	0,06	15,5	16,4	17,0	17,6	18,3	3,2	1,1
Огурцово	17,3	0,02	0,00	16,2	16,7	17,3	18,0	19,2	5,0	1,3	17,9	0,21	0,09	16,6	17,2	18,0	18,3	19,1	4,2	1,1
Ордынское	17,5	0,10	0,02	16,4	16,8	17,5	18,2	18,8	3,9	1,4	18,2	0,12	0,03	17,0	17,6	18,2	18,7	19,3	4,6	1,1
Посевная	16,7	0,13	0,03	15,1	15,9	16,4	17,4	18,2	4,1	1,4	17,1	0,16	0,06	16,1	16,5	17,2	17,6	18,3	4,5	1,1
Северное	16,0	0,06	0,01	14,6	15,5	16,0	16,5	17,1	3,0	1,0	16,6	0,11	0,02	15,3	15,9	16,6	17,3	17,9	4,6	1,4
Татарск	17,2	0,25	0,10	15,6	16,6	17,4	17,8	18,8	3,7	1,2	17,8	0,07	0,01	16,3	17,3	17,9	18,4	19,2	4,8	1,1
Убинское	16,4	0,02	0,10	15,1	15,8	16,4	17,0	17,7	3,3	1,2	16,9	0,01	0,00	15,6	16,3	16,8	17,4	18,0	4,0	1,2
Чистоозерное	17,9	0,12	0,03	16,2	17,3	18,0	18,5	19,3	3,9	1,2	18,5	0,08	0,01	16,8	17,8	18,6	19,2	19,8	4,5	1,4
Чулым	16,9	0,01	0,00	15,7	16,5	16,9	17,5	18,2	3,3	1,0	17,2	0,10	0,02	15,8	16,7	17,4	17,7	18,4	4,6	1,1
Среднее	17,1	0,08	0,03	15,6	16,5	17,1	17,7	18,5	3,8	1,2	17,6	0,13	0,04	0,04	16,4	17,7	18,2	18,8	4,0	1,1

Зимний сезон. Как уже отмечалось, зимний сезон включает 5 месяцев: ноябрь и декабрь предыдущего года и январь–март следующего. Полученное среднее значение температуры за этот период формально отнесено к году с 3 месяцами. Средняя температура зимних месяцев по области для основного периода (1936–2020) составляет $-13,6^{\circ}\text{C}$, изменяясь по станциям от $-12,9$ до $-14,4^{\circ}\text{C}$. Средняя зимняя температура по области в первый временной отрезок (1936–1977) была $-14,9^{\circ}\text{C}$, во втором отрезке (1978–2020) стала $-12,4^{\circ}\text{C}$, т. е. увеличилась на $2,5^{\circ}\text{C}$.

Коэффициенты трендов для всех пунктов наблюдений за полный период положительные. Среднее значение коэффициентов равно $0,48^{\circ}\text{C}$ за 10 лет. Наибольший коэффициент был в Мошково и Здвинске и составил $0,53^{\circ}\text{C}/10$ лет, а наименьший – в Кыштовке ($0,41^{\circ}\text{C}/10$ лет).

Самая теплая зима за весь период наблюдений была в 2020 г. во всех пунктах наблюдений. Максимум средних зимних температур достигал $-6,7^{\circ}\text{C}$ в Ордынском, а минимум $-8,5^{\circ}\text{C}$ в Кыштовке. Самая холодная зима тоже наблюдалась в одном 1969 г. Минимальная температура была в Северном (-23°C). Рост средних зимних температур по области увеличился во втором отрезке времени. Если в первом среднее значение коэффициента тренда равно $0,17^{\circ}\text{C}/10$ лет, то во втором оно увеличивается до $0,20^{\circ}\text{C}/10$ лет.

Интерквантильное расстояние уменьшилось с $3,0$ до $2,7^{\circ}\text{C}$. Левая граница сдвинулась с $-11,9$ до -9°C , а правая с $-18,2$ до $-5,3^{\circ}\text{C}$. Сдвиг произошел в сторону потепления.

Летний сезон. Три летних месяца относятся к летнему сезону (июнь, июль, август). Одной из основных характеристик является средняя температура воздуха. Для Новосибирской области средняя температура за лето равна $17,4^{\circ}\text{C}$ за весь период наблюдений. Ее максимум $18,9^{\circ}\text{C}$ был в Карасуке, а минимум $16,3^{\circ}\text{C}$ – в Северном, что указывает на широтную зональность распределения поля температур в области. Самые высокие значения летних температур для всех станций наблюдались в 2012 г. Из этих значений максимум в $21,5^{\circ}\text{C}$ был в Карасуке, минимум $14,2^{\circ}\text{C}$ – в Северном. Самые низкие значения летних температур были в 1972 г. Самая низкая температура была в Северном ($14,2^{\circ}\text{C}$), а самая высокая – в Карасуке ($16,8^{\circ}\text{C}$).

Коэффициент тренда летних температур за период наблюдений составляет в среднем $0,12^{\circ}\text{C}/10$ лет. За первый период его значение было $0,08^{\circ}\text{C}/10$ лет, за второй период он увеличился до $0,13^{\circ}\text{C}/10$ лет.

Среднее значение летних температур мало изменилось для двух периодов. В первый период оно было $17,1^{\circ}\text{C}$, а во втором стало $17,6^{\circ}\text{C}$.

Выводы

Анализ рассчитанных данных позволяет сделать ряд выводов. Прежде всего, подтверждается отмеченный многими авторами вывод об изменении средней температуры воздуха в последнее время в сторону потепления [17 и др.].

Основные результаты сводятся к следующему.

1. Тренд среднегодовых температур за весь период наблюдений (85 лет, $a = 0,03$ °C/10 лет) показывает рост средней температуры по области за это время на 2,5 °C.

2. Температура воздуха в первый отрезок времени (1936–1977) имеет небольшой положительный тренд ($a = 0,09$ °C/10 лет) при отрицательной средней температуре (–0,01 °C). Второй период характеризуется резким потеплением. Средняя температура за этот период составила 1,47 °C, коэффициент тренда $a = 0,25$ °C/10 лет. Следует отметить, что существенный вклад в распределение характеристик температур вносят отдельные экстремальные годы. Для Новосибирской области таких было два. На характеристики минимальных температур значительное влияние оказал 1969 г., а на максимальные характеристики – 2020 г.

Эти два года определяют экстремальные температуры для всех пунктов наблюдений и значительно влияют как на годовые температуры, так и на сезонные.

3. Характеристики температур в зимний и летний сезоны имеют свои особенности. Прежде всего это касается темпов потепления. Если в зимний период коэффициент тренда за полный период равен 0,48 °C/10 лет, то в летний сезон всего 0,12 °C/10 лет. Отличаются они и в разные временные отрезки. Средние температуры по области во втором рассматриваемом отрезке времени зимой оказались теплее на 2,5 °C, в то время как в летний сезон только на 0,5 °C.

4. Оценки многолетних колебаний проведем, используя крайние квантили $T_{0,05}$ и $T_{0,95}$ для полного ряда наблюдений. Годы, значение температур в которых «выходят» за границы интерквантильного расстояния, будем считать холодными или теплыми. Годы могут совпадать для отдельных пунктов или различаться. В зависимости от статистических параметров распределения ряда, в нем могут присутствовать несколько лет, удовлетворяющие условию, или не быть ни одного. Каждый из них учитывается как отдельная единица. Таким образом, общее количество годовых точек составляет $85 \times 19 = 1615$. Как и следовало ожидать, к холодным годам, с температурой ниже $T_{0,05}$ квантиля, можно суммарно отнести 75 лет из первого периода и 8 из второго. Все теплые годы приходятся на второй период (85 лет). Вывод можно сделать только один. Вторая половина периода теплее не только в средних параметрах, но и в значениях интерквантильных температур.

Литература

1. Бедрицкий А.И., Блинов В.Г., Гершинкова Д.А., Голицын Г.С., Дымников В.П., Израэль Ю.А., Катцов В.М., Котляков В.М., Мелешико В.П., Осипов В.И., Семенов С.М. (Ред.). Оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Т. 1. Изменения климата. М.: Росгидромет, 2008. 227 с.
2. Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Общее резюме / Под ред. А.В. Фролова. М.: Росгидромет, 2014. 60 с.
3. Груза Г.В., Рейтенбах Р.Г. Статистика и анализ гидрометеорологических данных. Л.: Гидрометеониздат, 1982. 216 с.
4. Ранькова Э.Я., Груза Г.В. Индикаторы изменений климата России // Метеорология и гидрология. 1998. № 1. С. 5–18.
5. Груза Г.В., Ранькова Э.Я. Обнаружение изменений климата: состояние, изменчивость и экстремальность климата // Метеорология и гидрология. 2004. № 4. С. 50–66.
6. Груза Г.В., Ранькова Э.Я. Наблюдаемые и ожидаемые изменения климата России: температура воздуха. Обнинск: ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД», 2012. 194 с.
7. Курганова И.Н., Лопес де Гереню В.О., Аблеева В.А., Быховец С.С. Климат южного Подмосковья: современные тренды и оценка аномальности // Фундаментальная и прикладная климатология. 2017. № 4. С. 66–81.
8. Ашабоков Б.А., Ташилова А.А., Кешева Л.А., Теунова Н.В., Таубекова З.А. Климатические изменения средних значений и экстремумов приповерхностной температуры воздуха на юге Европейской территории России // Фундаментальная и прикладная климатология. 2017. № 1. С. 4–19.
9. Ташилова А.А. Квантильный анализ экстремумов осадков на юге Европейской части России // Успехи современного естествознания. 2021. № 11. С. 138–143.
10. Сонечкин Д.М., Даценко Н.М., Иващенко Н.Н. Оценка тренда глобального потепления с помощью вейвлетного анализа // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. 1997. Т. 33, № 2. С. 184–194.
11. Михалач С.Г., Мингалев Д.Э., Евдокимов С.И. Использование анализа временных рядов в изучении многолетних температурных изменений // Вестн. ПсковГУ. 2014. № 4. С. 17–24.
12. Тимофеев А.А., Стерин А.М. Применение метода квантильной регрессии для анализа изменений характеристик климата // Метеорология и гидрология. 2010. № 5. С. 27–41.
13. Бардин М.Ю., Платова Т.В. Изменения порогов экстремальных значений температур и осадков на территории России в период глобального потепления // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. 2013. № 25. С. 71–93.
14. Стерин А.М., Лавров А.С. Использование квантильной регрессии для оценки пространственных особенностей характеристик трендов приземной температуры на территории России // Фундаментальные и прикладные материалы. 2022. Т. 8, № 2. С. 238–257.

15. Бардин М.Ю., Платова Т.В. Изменения экстремальных квантилей распределения основных климатических переменных в Европейской части СНГ // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. 2013. № 27. С. 83–91.
16. Воронина Л.В., Гриценко А.Г. Климат и экология Новосибирской области. Новосибирск: СГГА, 2011. 228 с.
17. Паромов В.В., Земцов В.А., Копысов С.Г. Климат Западной Сибири в фазу замедления потепления (1986–2015 гг.) и прогнозирование гидроклиматических ресурсов на 2021–2030 гг. // Изв. Том. политехн. ун-та. Инжиниринг георесурсов. 2017. Т. 328, № 1. С. 62–74.