

Л.Б. Филандышева, Т.В. Ромашова

Национальный исследовательский Томский государственный университет, г. Томск (Россия)

ХАРАКТЕРИСТИКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ ТЕРМИЧЕСКОГО РЕЖИМА РИТМОВ ЗИМНЕГО СЕЗОНА И ТЕНДЕНЦИЙ ИХ ИЗМЕНЕНИЙ В Г. ТОМСКЕ

Аннотация. Работа посвящена изучению проявления глобального потепления климата в ритмах зимнего сезона года города Томска, расположенного в подтайге юго-востока Западно-Сибирской равнины. Накопленный авторами банк данных о естественных климатических сезонах года за период с 1936 по 2015 гг. дал возможность сравнить между собой показатели термического режима (суммы накопленных отрицательных температур, средние среднесуточные температуры воздуха за зиму и её структурные единицы) за 4 периода (1936-1970 гг., 1971-2006 гг., 2001-2015 гг., 1936-2015 гг.) и выявить тенденции в изменении полученных характеристик. В результате было установлено, что от первого к последующим периодам продолжительность зимы и её центральной фазы заметно уменьшились, как и суровость. Это имеет положительное значение для экономики региона (энергетики, сельского хозяйства, рекреации и т.д.) и для более комфортного проживания населения. Исследование также показало, что сезонный подход к проблеме современного климата углубляет знания об условиях функционирования геосистем, в том числе и урболандшафтов, а также дает возможность получить более глубокие представления о важнейших тенденциях развития протекающих процессов.

Ключевые слова: зимний сезон, структура, фазы, термический режим, тенденции.

L.B. Filandysheva, T.V. Romashova

National Research Tomsk State University, Tomsk (Russia)

CHARACTERISTIC OF THE THERMAL REGIME INDICATORS OF THE RHYTHMS OF THE WINTER SEASON AND THE TRENDS OF THEIR CHANGES IN TOMSK

Abstract. The work is dedicated to the study of the signs of global warming in the rhythms of the winter season of the city of Tomsk, located in the subtaiga (sub-boreal forest) of the southeast of the West Siberian Plain. The data bank accumulated by the authors on the natural climatic seasons of the year for the period from 1936 to 2015 made it possible to compare the indicators of the thermal regime (the sum of accumulated negative temperatures and the average daily air temperatures for the winter and its structural units) for 4 periods (from 1936 to 1970, from 1971 to 2006, from 2001 to 2015, 1936 to 2015) and find trends in changes in the obtained characteristics. As a result, it was revealed that from the first to last periods, the duration of winter and its central phase noticeably decreased, as did their severity. This has a positive meaning both for the economy of the region (energy, agriculture, recreation, etc.) and for a more comfortable living of the population. The study also showed that a seasonal approach to the problem of the modern climate deepens knowledge about the conditions of functioning of geosystems, including urban landscapes, and makes it possible to gain a deeper understanding of the most important trends in the development of ongoing processes.

Keywords: winter season, structure, phases, thermal regime, trends.

Введение

Изменение климата является одним из основных современных вызовов. За последние 130 лет температура в мире возросла примерно на 0,85 °С, а за последнюю четверть века темпы глобального потепления ускорились, превысив 0,18 °С за десятилетие [1]. При этом, как эмпирические, так и модельные данные свидетельствуют о пространственно-временной неоднородности изменений основных климатических показателей на планете, что вызывает необходимость комплексных национальных и региональных исследований происходящих процессов на фоне глобальных климатических перемен [2; 6; 12; 17; 18; 19; 23].

Важнейшей чертой изменения климата Российской Федерации является более интенсивное повышение температуры на её территории, чем в пределах суши в целом и Северного полушария, в частности. За последние 100 лет (1907-2006 гг.) потепление в России составило +1,29 °С, а в период с 1976-2006 гг. оно возросло до +1,33 °С [5].

Для нашей страны с учётом её географического положения, размеров, разнообразия климатических и природных условий, демографической и этнической специфики, экономических и геополитических особенностей глобальное потепление создаёт сложную ситуацию. Согласно прогнозам на XXI век, на значительной части территории России потепления ожидается даже более заметным по сравнению с глобальным, при этом характер его будет существенно зависеть от времени года и региона, особенно это коснется Сибири и субарктических регионов [2; 9; 13].

Географическое положение Томска в подтайге юго-восточной части Западной Сибири (ЗСР) и связанные с этим природные особенности, влияющие на расселение и хозяйственную деятельность населения, требуют мониторинга и изучения сезонных реакций его геосистем на глобальные изменения климата.

Основным сезоном годового цикла сибирских регионов является зима. Погодные условия данного сезона определяют как особенности функционирования природных геосистем, так и условия жизнедеятельности людей. Это подчеркивает актуальность исследования особенностей временной динамики показателей термического режимов зимнего сезона года и его ритмов в современных условиях глобального изменения климата для г. Томска.

Материал, научные подходы и методы исследования

Материалом для исследования изменения термического режима зимнего сезона года и его структурных единиц (фаз) (в естественных границах, а не календарных) послужили данные по температуре приземного слоя воздуха среднесуточного, среднемесячного и среднегодового разрешения из базы данных ВНИИГМИ-МЦД за период с 1936 по 2015 по метеостанции Томск. Ежегодные показатели климатических режимов были сгруппированы в четыре периода (1936 – 1970 гг., 1971 – 2006 гг., 2001- 2015 гг., 1936 – 2015 гг.), границы которых обоснованы нами ранее [22]. Кроме этого, была рассмотрена динамика временных рядов среднегодовых значений температуры воздуха и за более длительный период (1880-2018 гг.).

На основе суточных данных климатических характеристик установлена структура зимнего сезона, как в среднем многолетнем плане, так и за каждый год исследуемого периода с использованием критериев, обоснованных для Томска в работах Н.В. Рутковской [16] и уточненных Т.В. Ромашовой [15]. Расчёт показателей термического режима производился в естественных границах зимних ритмов.

Закономерности временных изменений климатических характеристик изучались методами математической статистики: проводилась оценка нормы и изменчивости статистических рядов, применялись корреляционный метод и тренд-анализ. Линейные тренды характе-

ризуют тенденцию (среднюю скорость) изменений рассматриваемой величины за указанный период, рассчитываются методом наименьших квадратов и выражаются в градусах за десятилетие ($^{\circ}\text{C}/10$ лет). Значимость линейных трендов устанавливалась по величине коэффициента детерминации (R^2), показывающего вклад линейного тренда в общую изменчивость исследуемой переменной. Тенденция считалась значимой, если уровень достоверности был равен или превышал 95 % ($p \pm 0,95$). При объеме выборки 50 лет и более это отвечает значению $R^2 \pm 0,08$ [11].

Результаты и их обсуждение

Для выявления общих региональных особенностей изменения климата мы начали с расчёта и сравнительного анализа среднегодовых, среднемесячных температур приземного слоя воздуха в *календарных* границах за периоды, обозначенные выше.

1. Многолетняя динамика термического режима в календарных границах

1.1. Анализ временной динамики среднегодовой температуры воздуха

В ходе исследования было установлено, что за весь 80-летний отрезок времени наблюдается положительная тенденция в изменении многолетней годовой температуры воздуха с коэффициентом линейного тренда $+0,2^{\circ}\text{C}/10$ лет.

С 1936 г. по 2015 г. температура увеличилась на 2°C (с $-0,7^{\circ}\text{C}$ до $+1,3^{\circ}\text{C}$) при среднем уровне температуры данного продолжительного периода $+0,3^{\circ}\text{C}$. Положительный тренд хода температуры воздуха по метеостанции Томск зафиксирован и в более короткие временные периоды, рассматриваемые нами. В первом и втором временных периодах наблюдаются также положительные тенденции в изменении среднегодовой температуры приземного слоя воздуха, но скорость роста температур в первом была почти в 9 раз меньше, чем во втором ($+0,056^{\circ}\text{C}/10$ лет против $+0,49^{\circ}\text{C}/10$ лет соответственно), то есть она оказалась выше, чем по Западной Сибири за период с 1978 по 2006 гг. ($0,32^{\circ}\text{C}/10$ лет) и близка к значению по России в целом ($0,43^{\circ}\text{C}/10$ лет) [14]. В начале первого периода среднегодовая температура воздуха составляла $-0,3^{\circ}\text{C}$, к концу она повысилась незначительно – до $-0,2^{\circ}\text{C}$, во втором периоде эти показатели увеличились с $-0,2^{\circ}\text{C}$ в его начале до $+1,5^{\circ}\text{C}$ в конце. На фоне некоторого замедления глобального потепления с начала 2000-х годов тенденция среднегодовой температуры в Томске, как и в Алтайском крае [8], за период с 2001 по 2015 гг. поменяла знак на отрицательный, однако значение коэффициента линейного тренда оказалось несущественным ($-0,003^{\circ}\text{C}/10$ лет) и температуры в этот период практически колебались около достигнутого высокого уровня второго периода.

В границах трех периодов, выделенных внутри 80-летнего ряда для значений среднесуточных, среднегодовых минимальных и среднегодовых максимальных температур воздуха были рассчитаны основные статистические параметры, а именно: многолетние средние значения, определены их экстремальные показатели (максимальные и минимальные) с указанием года, когда они наблюдались (табл. 1).

В таблице 1 также видна положительная тенденция в изменении всех характеристик температуры воздуха. Так, рост параметров средней многолетней среднесуточной температуры от первого периода ко второму составил: $1,0^{\circ}\text{C}$ для средней суточной, $0,2^{\circ}\text{C}$ для минимального её значения, $0,9^{\circ}\text{C}$ для максимального значения; от первого к третьему показатели указанных характеристик изменялись, соответственно, на $1,5$; $0,8$; $1,2^{\circ}\text{C}$; от второго к третьему – $0,5$; $0,6$; $0,2^{\circ}\text{C}$. Таким образом, с 1936 до 2015 гг. наблюдается тенденция роста среднесуточных среднесуточных температур воздуха.

Нами также были рассмотрены изменения среднемноголетних значений среднесуточной температуры воздуха в Томске за более продолжительный временной ряд – с 1880 г. по 2019 г., т.е. практически за весь период непрерывных инструментальных наблюдений. Имеющиеся данные были сгруппированы в последовательные десятилетия, для которых рассчитывались средние многолетние значения среднегодовых среднесуточных температур приземного слоя воздуха. Из 14-ти десятилетий самым холодным оказалось первое (с 1881 по 1890 гг.), средняя величина среднегодовой температуры которого составила $-1,17\text{ }^{\circ}\text{C}$, самым теплым – последнее (с 2011 по 2019 гг.) со средней температурой $+1,51\text{ }^{\circ}\text{C}$. Размах колебания среднегодовой температуры за 140-летний период составил $2,68\text{ }^{\circ}\text{C}$. Следует отметить, что начиная с 1971 г., отмечается более быстрый рост средних за десятилетия температур, и с 1981 г. их значения становятся положительными.

Таблица 1. Основные параметры среднемноголетних значений среднесуточной, минимальной и максимальной температуры приземного слоя воздуха для г. Томска

Периоды, годы	T ср.	T min	T max
Среднесуточная температура, $^{\circ}\text{C}$			
1936-1970	-0,3	-2,1 (1969)	+1,7 (1962)
1971-2006	+0,7	-1,9 (1974)	+2,6 (1995)
2001-2015	+1,2	-1,3 (2014)	+2,9 (2015)
Минимальная температура, $^{\circ}\text{C}$			
1936-1970	-4,9	-6,9 (1936)	-2,2 (1947)
1971-2006	-3,7	-6,6 (1974)	-1,7 (1995)
2001-2015	-3,0	-5,6 (2010)	+0,5 (2015)
Максимальная температура, $^{\circ}\text{C}$			
1936-1970	+5,0	+7,2 (1962)	+3,0 (1937)
1971-2006	+6,1	+3,5 (1984)	+7,8 (1995)
2001-2015	+6,6	+4,3 (2009)	+8,1 (2014)

Условные обозначения: T ср – среднегодовые многолетние значения температуры,
T max – среднегодовые многолетние максимальные значения температуры,
T min – среднегодовые многолетние минимальные значения температуры.

Кроме этого, было проведено ранжирование по убыванию среднегодовых среднесуточных температур за период с 1875 по 2019 гг. В результате выяснилось, что в первую десятку с самыми высокими значениями среднегодовых температур вошли семь лет нынешнего столетия. Они заняли следующие места: I место – 2015 г. ($+2,86\text{ }^{\circ}\text{C}$) – самый тёплый, IV место – 2007 г. ($+2,21\text{ }^{\circ}\text{C}$), V место – 2008 г. ($+2,19\text{ }^{\circ}\text{C}$), VI место – 2017 г. ($2,19\text{ }^{\circ}\text{C}$), VII место – 2019 г. ($+1,3\text{ }^{\circ}\text{C}$), VIII место – 2013 г. ($+1,9\text{ }^{\circ}\text{C}$), X место – 2016 г. ($+1,71\text{ }^{\circ}\text{C}$). Всё сказанное, еще раз подчеркивает, что, несмотря на смену знака температурного тренда после 2000-го года на отрицательный, уровень значений температуры в последние десятилетия остается значительно выше всех предыдущих периодов.

Изменение среднегодовых значений температур приземного слоя воздуха даёт общее представление об их временной динамике, но не отражает особенности изменений внутри года [22, 24].

1.2. Анализ временной динамики среднемесячных температур

Для анализа внутригодовой динамики были рассчитаны средние многолетние значения температуры за каждый месяц по изучаемым нами периодам (табл. 2).

Анализ данных табл. 2. позволяет сделать вывод, что за все месяцы от первого периода к последующим наблюдается рост значений среднемноголетних среднемесячных температур воздуха. При этом повышение температур характерно в течение всего года, но наиболее значительный их рост наблюдается в зимние месяцы.

Таблица 2. Среднемноголетние среднемесячные температуры воздуха за периоды с 1936 по 2015 гг. и разница между ними для г. Томска

Периоды	Месяцы*											
	Октябрь	Ноябрь	Декабрь	Январь	Февраль	Март	апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь
Среднесуточные температуры воздуха, °С												
1936-1970 (первый)	1,1	-10,8	-17,8	-18,8	-16,7	-9,7	0,6	9,1	15,4	18,6	12,2	9,3
1971-2006 (второй)	1,3	-8,4	-14,8	-17,4	-15,3	-7,7	1,0	9,9	16,0	18,6	15,4	9,0
Разн. 1 и 2	+0,2	+2,4	+3,0	+1,4	+1,4	+2,0	+0,4	+0,8	+0,6	0	+3,2	-0,3
2001-2015 (третий)	1,8	-7,2	-14,9	-18,4	-16,0	-5,6	2,5	10,7	17,1	18,4	15,5	9,2
Разн. 1 и 3	+0,7	+3,6	+2,9	+0,4	+0,8	+4,1	+1,9	+1,6	+1,8	+0,2	+3,4	+0,1
Минимальные температуры воздуха, °С												
1936-1970 (первый)	-2,2	-15,0	-22,0	-23,0	-21,1	-14,9	-4,1	3,7	9,9	13,4	10,1	4,8
1971-2006 (второй)	-2,0	-12,1	-18,8	-21,3	-19,7	-12,4	-3,4	4,5	10,8	13,4	10,7	4,8
Разн. 1 и 2	+0,2	+2,9	+3,2	+1,7	+1,4	+2,5	+0,7	+0,8	+0,9	0	+0,6	0
2001-2015 (третий)	-1,0	-9,5	-19,2	-22,0	-19,1	-10,2	-2,4	5,1	11,8	13,5	11,1	5,4
Разн. 1 и 3	+1,2	+5,5	+2,8	+1,0	+2,0	+4,7	+1,7	+1,4	+1,9	+0,1	+1,0	+0,6
Максимальные температуры воздуха, °С												
1936-1970 (первый)	4,9	-7,1	-13,3	-14,5	-11,6	-3,8	6,2	15,7	21,8	24,3	20,6	14,9
1971-2006 (второй)	5,2	-5,0	-11,0	-13,2	-10,0	-1,7	7,0	17,1	22,7	24,6	21,3	14,4
Разн. 1 и 2	+0,3	+2,1	+2,3	+1,3	+1,6	+2,1	+0,8	+1,4	+0,9	+0,3	+0,7	-0,5
2001-2015 (третий)	6,5	-3,4	-11,2	-14,3	-10,3	0,1	8,8	17,8	23,5	24,5	21,8	15,4
Разн. 1 и 3	+1,6	+3,7	+2,1	+0,2	+1,3	+3,9	+2,4	+2,1	+1,7	+0,2	+1,2	+0,5
Амплитуда колебания температур, °С												
1936-1970 (первый)	7,1	7,9	8,7	8,5	9,5	11,1	10,3	12,0	11,9	10,9	10,5	10,1
1971-2006	7,2	7,1	7,8	8,1	9,7	10,7	10,4	12,6	11,9	11,2	10,6	9,6

(второй)												
Разн.1 и 2	0,3	-0,8	-0,9	-0,4	0,2	-0,4	0,1	0,6	0,1	0,3	0,1	-0,5
2001-2015 (третий)	7,5	6,1	8,0	7,7	8,8	10,3	11,2	12,7	11,7	11,0	10,7	10,0
Разн. 1 и 3	0,4	-1,8	-0,7	-0,8	-0,4	-0,8	0,9	0,7	-0,2	0,1	0,2	-0,1

Примечания: * – порядок расположения месяцев соответствует сезонному ходу температуры воздуха и начинается с холодно-снежной части годового цикла; - – понижение среднемесячной температуры воздуха по отношению к сравниваемому периоду; + – повышение среднемесячной температуры воздуха по отношению к сравниваемому периоду; Разн. 1 и 2 – разница между первым и вторым периодом; Разн. 1 и 3 – разница между первым и третьим периодом.

Так, средний прирост средней суточной температуры этого сезона (с ноября по март) от первого периода ко второму составил +2,1 °С (при максимуме в декабре – +3,0 °С), минимальной – +2,5 °С (при максимуме в декабре +3,2 °С), максимальных – +1,8 (при максимуме в декабре +2,3 °С). Разница между первым и третьим периодами у среднесуточных температур увеличилась, и в зимние месяцы повышение составило +2,4 °С (с максимумом в марте +4,1 °С), а в летние +1,4 °С (при максимуме в августе +3,4 °С).

Следует отметить, что за третий период по отношению к первому происходит рост максимальных и минимальных температур за все теплые месяцы (с апреля по октябрь). За третий период минимальные летние температуры повысились на +1,1 °С (максимум сдвинулся на июнь – +1,9 °С), так же в указанные месяцы этого периода отмечается рост максимальных температур до +1,5 °С (с максимумом в апреле – +2,4 °С).

Проведенный анализ как среднегодовых, так и среднемесячных значений рассматриваемых характеристик термического режима приземного слоя воздуха показал их значительный рост после 1970-х годов, при этом уровень роста у минимальных температур в зимние месяцы оказался выше роста максимальных температур, что согласуется исследованиями в других регионах Сибири [3; 4; 7; 10 и др.].

В целом, амплитуда колебания между экстремальными значениями температур в среднем за зимние месяцы уменьшилась на 0,9 °С (с 9,1 °С до 8,2 °С), что говорит о смягчении в той или иной степени климата в регионе в холодное время года. В теплое же время от первого периода к третьему во все месяцы, за исключением июня и сентября, наблюдается небольшое увеличение амплитуды колебания температуры (табл. 2), что объясняется более быстрым ростом значений максимальных температур по сравнению с минимальными температурами.

Из исследования межгодовой динамики показателей термического режима следует, что от первого периода (1936-1970 гг.) к третьему (2001-2015 гг.) отмечается рост их значений, причем повышение температур характерно в течение всего года, но оно наиболее заметно в зимние месяцы, что согласуется с исследованиями и по другим регионам России [17; 19; 21 и др.]. Отсюда важным является вопрос о проявлении выявленных температурных изменений в климатических режимах сезонов года, в данном случае зимнего.

2. Динамика естественных климатических сезонов года и их структурных единиц на примере зимы

2.1. Динамика временных характеристик

Особенности изменений временных характеристик зимнего сезона года и его структурных единиц рассматриваются нами путем сравнения их значений по указанным выше временным периодам.

Средняя многолетняя структура зимы в подтайге исследуемого региона трехфазная. Она включает в себя следующие структурные единицы: умеренно-морозную зиму, значительно-морозную зиму и предвесенье [16]. Для определения границ зимнего сезона за каждый год периода с 1936 по 2015 гг. принимаются даты образования устойчивого снежного покрова и начала устойчивых морозов в его начале и даты разрушения устойчивого снежного покрова и конца устойчивых морозов в конце. Центральная фаза зимы (значительно-морозная зима) с обеих сторон ограничивается устойчивым переходом средней суточной температуры воздуха через $-16\text{ }^{\circ}\text{C}$ [15]. С наступлением зимы вследствие изменения фазового состояния воды, осадки выпадают в твердом виде; формируется устойчивый снежный покров, который делает подстилающую поверхность однородной. Накопленный за 80 лет банк данных о сроках начала, конца и продолжительности ритмов зимнего сезона позволил провести исследование динамических изменений временных характеристик по рассматриваемым периодам, результаты которого представлены в таблице 3.

Таблица 3. Временные характеристики структурных единиц зимнего сезона года, г. Томск

Периоды (годы)	Структурные единицы зимнего сезона года (фазы)									Зима Δt в днях
	Умеренно-морозная			Значительно-морозная			Предвесенье			
	Дата начала	Дата конца	Δt в днях	Дата начала	Дата конца	Δt в днях	Дата начала	Дата конца	Δt в днях	
1936- 1970	1.11	15.12	45	16.12	19.02	66	20.02	24.03	33	144
	$\sigma \pm 8,4$			$\sigma \pm 25,7$	$\sigma \pm 16,3$			$\sigma \pm 10,0$		
1971- 2006	5.11	18.12	44	19.12	12.02	56	13.02	20.03	36	136
	$\sigma \pm 11,6$			$\sigma \pm 20,6$	$\sigma \pm 22,2$			$\sigma \pm 11,3$		
2001- 2015	7.11	16.12	40	17.12	12.02	58	13.02	16.03	26	130
	$\sigma \pm 10,9$			$\sigma \pm 23,1$	$\sigma \pm 23,5$			$\sigma \pm 11,0$		

Условные обозначения к табл. 2.3: Δt – продолжительность, σ – среднее квадратическое отклонение.

Из данных таблицы 3 следует, что продолжительность зимнего сезона с 1936 г. по 2015 г. заметно уменьшилась – со 144 дней в первый период до 130 дней в третий. Во втором периоде зима стала короче на 8 дней, в третьем – на 14 дней по сравнению с первым.

Существенно изменились временные границы центральной фазы зимы (значительно-морозной зимы). В первом периоде фаза значительно-морозная зима начиналась 16 декабря, во втором – 19 декабря, а заканчивалась, соответственно, 19 и 12 февраля. Таким образом, продолжительность холодного ядра сезона за период с 1971 по 2006 гг. сократилась на 10 дней или на 15% от продолжительности первого периода.

2.2. Изменение термических характеристик

Каждая из выделенных структурных единиц зимнего сезона отличается определенным уровнем колебания характеристик термического режима и скоростью их изменений. Исследование термических условий зимнего сезона проводилось на основе анализа таких показателей, как сумма температур и средняя среднесуточная температура воздуха за зиму и её структурные единицы (табл. 4).

Из таблицы 4 следует, что суммы накопленных отрицательных температур за три периода значительно отличаются между собой. Так, за первый период величина данного показателя составила $-2375,1\text{ }^{\circ}\text{C}$, во втором $-2009,9\text{ }^{\circ}\text{C}$, т.е. уменьшилась от первого периода ко второму на $366,2\text{ }^{\circ}\text{C}$, что связано с уменьшением продолжительности сезона. Значения средней

температуры за зимний сезон от первого периода ко второму изменяется с -16,5 °С до -14,7 °С. Средняя суточная температура за зимний сезон в 2001 –2015 гг. по сравнению со вторым периодом также повысилась на 1 °С при уменьшении суммы накопленных отрицательных температур приземного слоя воздуха на 223,6 °С.

Внутри зимнего сезона значительные изменения термических показателей происходят во вторую фазу – значительно-морозную зиму. Суммы температур холодного ядра за исследуемые периоды следующие: -1514,6 °С (первый период), -1136,8 °С (второй период), -1073,4 °С (третий период), при этом значительно повышается (на 4,5 °С) значение средней за фазу температуры приземного слоя воздуха от первого периода к третьему (от -22,9 °С до -18,5 °С). За весь исследуемый период в целом с 1936 по 2015 гг. эти показатели будут следующие: -2003,2 °С (сумма накопленных отрицательных температур за зиму) и -15,1°С (средняя суточная температура за зиму). Варьирование показателей термического режима, исходя из значений среднего квадратического отклонения, существенно. Эти значения, как видно, выше, чем в первом периоде, но ниже, чем во втором.

Таблица 4. Термические характеристики зимнего сезона и его структурных единиц, г. Томск

Периоды	Структурные единицы зимнего сезона (фазы)						Зима	
	умеренно-морозная		значительно-морозная		предвесенье		Σt ср, °С	t ср, °С
	Σt ср, °С	t ср, °С	Σt ср, °С	t ср, °С	Σt ср, °С	t ср, °С		
1936-1970	-464,6	-10,3	-1514,6	-22,9	-395,9	-11,9	-2375,1	-16,5
	$\sigma \pm 299,2$	$\sigma \pm 3,2$	$\sigma \pm 540,8$	$\sigma \pm 2,8$	$\sigma \pm 276,9$	$\sigma \pm 2,2$	$\sigma \pm 371,3$	$\sigma \pm 2,8$
1971-2006	-451,5	-10,3	-1136,8	-20,3	-422,9	-11,7	-2009,9	-14,7
	$\sigma \pm 312,6$	$\sigma \pm 2,6$	$\sigma \pm 511,1$	$\sigma \pm 2,6$	$\sigma \pm 250,9$	$\sigma \pm 1,8$	$\sigma \pm 361,7$	$\sigma \pm 2,3$
2001-2015	-361,7	-8,3	-1073,4	-18,5	-351,2	-10,9	-1786,3	-13,7
	$\sigma \pm 269,3$	$\sigma \pm 6,8$	$\sigma \pm 534,5$	$\sigma \pm 12,6$	$\sigma \pm 296,4$	$\sigma \pm 1,5$	$\sigma \pm 418,0$	$\sigma \pm 2,7$
1936-2015	-478,2	-10,0	-1218,3	-21,0	-370,2	-11,8	-2003,2	-15,1
	$\sigma \pm 303,0$	$\sigma \pm 3,8$	$\sigma \pm 573,6$	$\sigma \pm 5,8$	$\sigma \pm 255,2$	$\sigma \pm 1,9$	$\sigma \pm 414,0$	$\sigma \pm 2,6$

Условные обозначения к табл.: Σt – сумма температур, $t_{ср}$ – средняя суточная температура, σ – среднее квадратическое отклонение.

На рис. 1 видно, что в первом и втором периодах, как и за весь 80-летний период (рис. а, б, г) отмечается тенденция к уменьшению сумм отрицательных температур.

Наименьший коэффициент (7,3 °С /10 лет) – у первого периода с 1936 по 1970 гг. (рис. 1, а), во втором периоде темпы убыли выросли примерно в 14 раз (105 °С/10 лет) (рис. 1, б). В последние пятнадцать лет появилась тенденция к увеличению сумм отрицательных температур со скоростью около 10,1 °С /10 лет (рис. 1 в).

Из анализа графиков зимней средней среднесуточной температуры воздуха за четыре периода (рис. 2) следует, что за весь исследуемый период (с 1936 по 2015) наблюдается положительная тенденция изменения температуры воздуха с коэффициентом линейного тренда +0,1 °С /10 лет, которая сохраняется в период 1971 – 2006 гг. (+0,13°С /10 лет). В период с 2001 по 2015 гг. тенденция в ходе средней температуры поменяла свой знак на отрицательный с коэффициентом линейного тренда -0,38°С /10 лет, несколько уступая в этом отношении первому периоду (рис. 2, а, в).

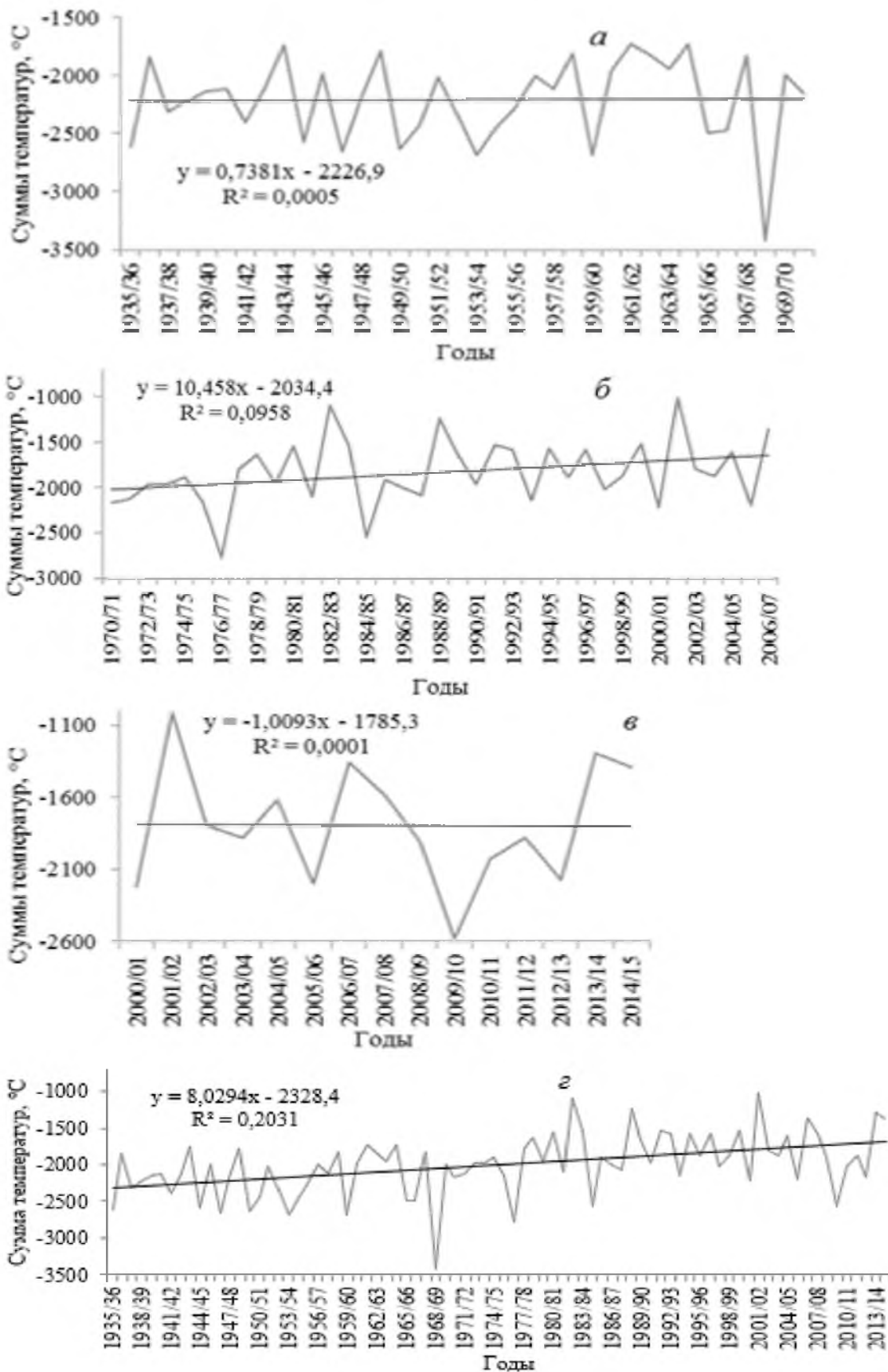


Рис. 1. Изменение сумм накопленных отрицательных среднесуточных температур за зимний сезон, Томск
Примечание: линейный тренд показан прямой линией. Обозначение периодов: а – с 1936 по 1970 гг.; б – с 1971 по 2006 гг.; в – с 2001 по 2015 гг., г – с 1936 по 2015 гг.

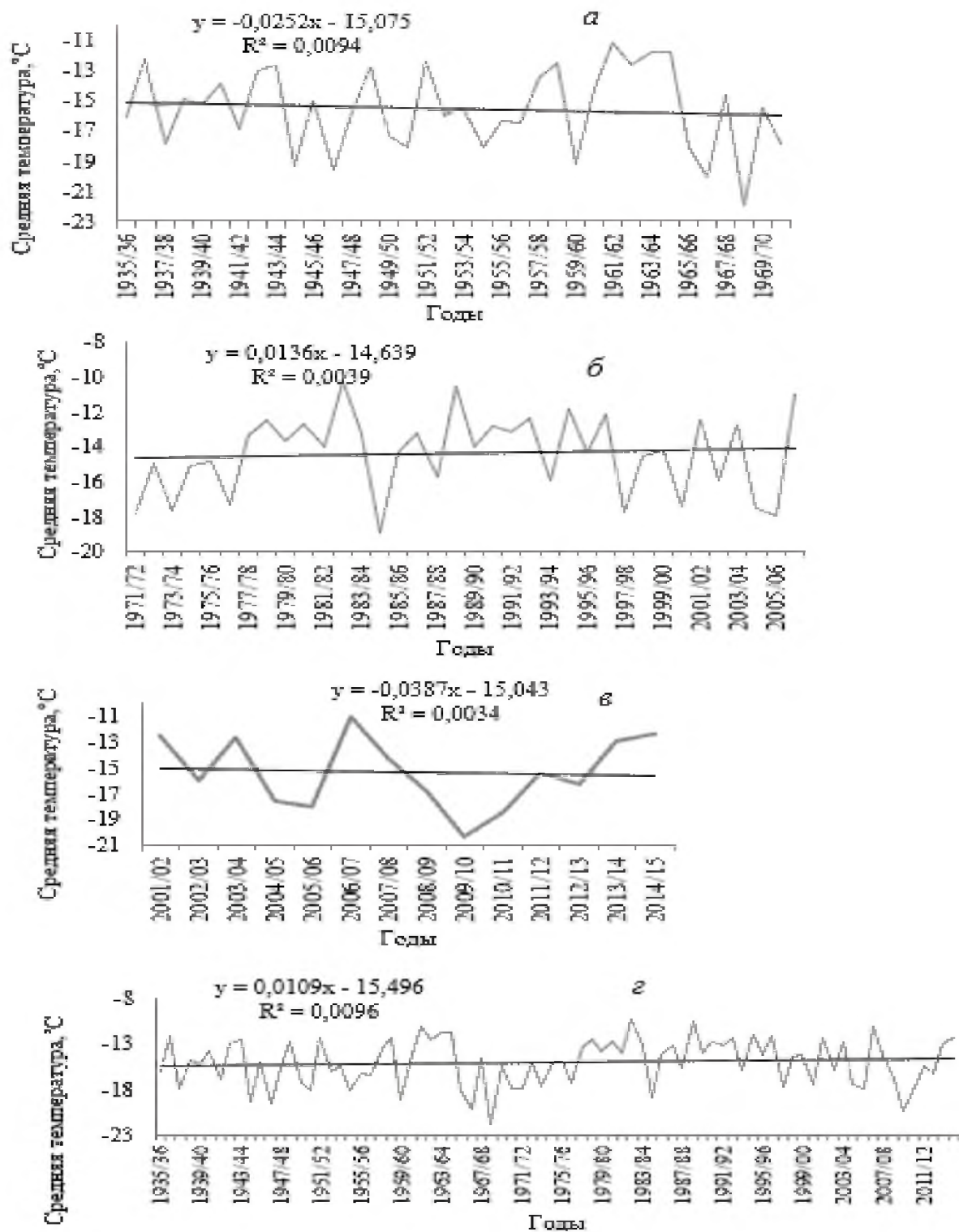


Рис. 2. Изменение средней суточной температуры приземного слоя воздуха за зимний сезон, Томск
 Примечание: линейный тренд показан прямой линией. Обозначение периодов: а – с 1936 по 1970 гг.; б – с 1971 по 2006 гг.; в – с 2001 по 2015 гг., г – с 1936 по 2015 гг.

Выводы

В процессе нашего исследования была изучена многолетняя динамика временных и термических характеристик зимнего сезона года и его структурных единиц, установлены тенденции их развития.

Сделать вывод об изменении климата в подтайге юго-восточной части ЗСР в сторону потепления в период после 1970 г. нам позволил уже сравнительный анализ среднегодовых, среднемесячных температур приземного слоя воздуха на ст. Томск, рассчитанных в границах трех периодов, выделенных внутри 80-летнего ряда (с 1936 по 2015 гг.). Он показал, что, хотя и с разной интенсивностью, но отмечается рост значений всех показателей термического режима (особенно во второй временной отрезок – с 1971 по 2006 гг.). Причем повышение температуры характерно в течение всего года, но наиболее значительным оно оказалось в ноябре, декабре, марте и августе месяцах. Следует отметить, что если во второй период в сравнении с первым, процесс потепления происходил в основном за счет холодного времени года, то в третий, в сравнении со вторым, стал увеличиваться вклад температур теплого периода на фоне глобальных перемен климата.

О происходящем потеплении климата в Томске говорят также и результаты сопоставления среднегодовых значений среднесуточных температур, рассчитанных за каждое десятилетие более длительного отрезка времени (с 1880 по 2019 г). Они показали, во-первых, что размах колебания полученных значений составил 2,68 °С (от -1,17 °С первого десятилетия до +1,51 °С последнего), во-вторых, с 1971 года отмечается более быстрый рост средних за десятилетия температур, в-третьих, с 1981 г. их значения становятся положительными.

При анализе многолетних изменений климатических характеристик зимнего сезона года по данным метеостанции Томск, рассчитанных за три периода (1936-1970 гг., 1971-2006 гг., 2001-2015 гг.) была выявлена их временная динамика и тенденции развития, из которых наиболее значимыми являются следующие:

- смещение дат начала зимы на более поздние сроки, а дат конца – на более ранние;
- тенденция смещения начала зимы (начала устойчивых морозов и устойчивого формирования снежного покрова) на более поздние происходит за счёт стабильного повышения температуры воздуха в ноябре месяца;
- сокращение (на 9,5%) продолжительности зимы и еще более (на 15%) её центральной фазы (холодного ядра) по сравнению с периодом 1936-1970 гг.;
- сохранение зимы как основного сезона годового цикла (при уменьшении её продолжительность за 80 лет со 144 до 130 дней);
- потепление зимнего сезона, что подтверждается уменьшением сумм накопленных отрицательных температур за зиму на 30-33 % и повышением средних суточных температур воздуха на 16,9% или на 2,8 °С (в значительной степени за счет центральной фазы зимы).

Заметное смягчение суровости зимнего сезона и его центральной фазы имеет положительное значение как для экономики региона (энергетики, сельского хозяйства, рекреации и т.д.), так и для более комфортного проживания населения. Он также показал, что сезонный подход к изучению данной проблемы – подход к изучению естественных сезонов года с помощью комплексно-генетического метода – углубляет знания об условиях функционирования урболандшафтов и дает возможность более объективно составить представление о важнейших тенденциях развития естественных процессов в г. Томске.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. 2019 год завершает десятилетие исключительной глобальной жары и погодных явлений со значительными воздействиями и последствиями // ВМО. URL: <https://public.wmo.int/ru/media/%D0%BF%D1%> (дата обращения 03.12.2019).
2. Анализ изменений температуры воздуха на территории России и эмпирический прогноз на первую четверть XXI века / О.А. Анисимова, В.А. Лобанов, С.А. Ренева // Метеорология и гидрология. – 2007. – № 10. – С. 20–29.
3. Бакшеева Е.Н. Вековая изменчивость климата Барабинского округа в пределах Новосибирской области // Теоретические и прикладные вопросы современной географии: Материалы Всероссийской молодежной школы-семинара 27-28 апреля 2005 г. – Томск: Дельта-план, 2005. – С. 112-114.
4. Густокашина Н.Н. Многолетние изменения основных элементов климата на территории Предбайкалья. – Иркутск: Издательство Института географии СО РАН, 2003. – 107 с.
5. Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2015 год. – М.: Росгидромет, 2016. – 68 с.
6. Изменение климата: обзор Пятого оценочного доклада МГЭИК, 2013 г. Физическая научная основа. – М.: Всемирный фонд дикой природы (WWF), 2014. – 80 с.
7. Изменение температурных экстремумов на территории Предбайкалья / Н.Н. Густокашина, Е.В. Максютлова // Вычислительные технологии. – 2006. – Т. 11 (спец. вып.). – С. 83-87.
8. Изучение климата: от А. Гумбольдта до современных прогнозов глобальных изменений / Н.Ф. Харламова, И.Н. Ротанова. 2014. URL: http://case.asu.ru/files/form_312-25675.pdf (дата обращения 15.06.2018).
9. Климат в России уже век теплеет почти вдвое быстрее, чем во всем мире // Информационное агентство РИА. URL: <https://ria.ru/20130315/927440869.html#13635823232314&message;=resize&relto;=login&action;=removeClass&value;=registration> (дата обращения 15.02.2014).
10. Кочугова Е.А. Изменчивость зимних минимальных температур воздуха в Предбайкалье // Известия Иркутского государственного университета. Серия «Науки о Земле». – 2014. – Т.13. – С. 98-110.
11. Новороцкий П.В. Изменение климата в бассейне Амура // Влияние изменения климата на экосистемы бассейна реки Амур. – М.: WWF России, 2006. – С. 22–42.
12. Окишева Л.Н., Филандышева Л.Б. Временная динамика и функционирование ландшафтов Западной Сибири. – Томск: Издательский дом ТГУ, 2015. – 328 с.
13. Оценки изменений климата XX–XXI веков с использованием версии климатической модели ИФА РАН, включающей модель общей циркуляции океана / А.В. Елисеев, И.И. Мохов, К.Е. Мурышев // Метеорология и гидрология. – 2011. – № 2. – С. 5–16.
14. Оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. – М.: Росгидромет, 2008. – Т.1. Изменения климата. – 226 с.
15. Ромашова Т.В. Сезонные ритмы климата и их влияние на развитие эрозии почв (на примере юга Томской области): дис... канд. геогр. наук. – Томск, 2004. – 239 с.
16. Рутковская Н.В. Климатическая характеристика сезонов года Томской области. – Томск: Изд-во Томского университета, 1979. – 116 с.
17. Современные глобальные и региональные изменения климата / Ю.П. Переведенцев, Э.П. Наумов, К.М. Шанталинский // Географический вестник. – 2006. – № 6. – С. 106–220.

18. Современные изменения климата на территории Иркутской области / И.В. Латышева, Е.П. Белоусова, С.В. Олемской, К.А. Лощенко // Известия Иркутского государственного университета Серия «Науки о Земле». – 2010. – Т. 3. – № 2. – С. 110-125.

19. Структура и динамика метеорологических полей на азиатской территории России в период интенсивного глобального потепления 1975–2005 гг. / Н.Н. Ипполитов, М.В. Кабанов, С.В. Логинов, Е.В. Харюткина // Журнал Сибирского федерального университета. Биология (спец. вып. «Изменение климата и экосистемы»). – 2008. – № 1 (4). – С. 323–344.

20. Филандышева Л.Б. Анализ динамических вариантов структуры зимнего сезона года и их климатических характеристик на юго-западе Западно-Сибирской равнины // Вестник Томского государственного университета. – 2012. – № 364. – С. 196–203.

21. Шестюков Б.Г. Пространственные и сезонные особенности изменений климата в период интенсивного глобального потепления: автореф. дис. ... докт. геогр. наук. – Обнинск, 2007. – 327 с.

22. Filandysheva L.B., Romashova T.V., Yurkova X.D., Sapian E.S. Analysis of the Dynamics of Time Characteristics of Seasons of the Year in the Subtaiga Subzone (Hemiboreal Forests) of the West Siberian Plain Over the Period From 1936 to 2015 // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2018. – V. 204. URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/204/1/012010/meta> (дата обращения 15.02.2019).

23. Uncertainty estimates in regional and global observed temperature changes: a new dataset from 1850 / Brohan P., Kennedy J.J., Harris I., Tett S.F.B., Jones P.D. // Journal Geophysical Research: Atmospheres. – 2006. – V. 111. – Release D12. – P. 1–35.

24. Zonal features of climate regime of the West Siberian Plain and its influence on geosystems / Filandysheva L.B., Evseeva N.S., Zhilina T.N. // Geography and Natural Resources. – 2015. – V. 36 – No 4. – P.341-349.

REFERENCES

1. 2019 god zavershaet desyatiletie isklyuchitel'noi global'noi zhary i pogodnykh yavlenii so znachitel'nymi vozdeistviyami i posledstviyami [2019 ends a decade of exceptional global heat and weather with significant impacts and impacts]. *WMO*. Available at: <https://public.wmo.int/ru/media/%D0%BF%D1%> (accessed 03 December 2019).

2. Anisimova O.A., Lobanov V.A., Reneva S.A. Analiz izmenenii temperatury vozdukha na territorii Rossii i empiricheskii prognoz na pervuyu chetvert' XXI veka [Analysis of changes in air temperature in Russia and an empirical forecast for the first quarter of the XXI century]. *Meteorologiya i gidrologiya*, 2007, no. 10, pp. 20–29. In Rus.

3. Baksheeva E.N. Vekovaya izmenchivost' klimata Barabinskogo okruga v predelakh Novosibirskoi oblasti [Secular climate variability of the Barabinsk district within the Novosibirsk region]. *Vserossiiskaya molodezhnaya shkola-seminar "Teoreticheskie i prikladnye voprosy sovremennoi geografii"* [All-Russian youth school-seminar "Theoretical and applied issues of modern geography"]. Tomsk, Del'taplan, 2005. pp. 112-114.

4. Gustokashina N.N. *Mnogoletnie izmeneniya osnovnykh elementov klimata na territorii Predbaikal'ya* [Long-term changes in the main elements of the climate on the territory of Cisbaikalia]. Irkutsk, Izdatel'stvo Instituta geografii SO RAN, 2003. 107 p.

5. *Doklad ob osobennostyakh klimata na territorii Rossiiskoi Federatsii za 2015 god*. [Report on the peculiarities of the climate in the territory of the Russian Federation for 2015]. Moscow, Rosgidromet Publ., 2016. 68 p.

6. *Izmenenie klimata: obzor Pyatogo otsenochnogo doklada MGEIK, 2013 g. Fizicheskaya nauchnaya osnova* [Climate Change: A Review of the Fifth Assessment Report of the IPCC 2013 Physical Science Basis]. Moscow, WWF, 2014. 80 p.
7. Gustokashina N.N., Maksyutova E.V. *Izmenenie temperaturnykh ekstremumov na territorii Predbaikal'ya* [Changes in temperature extremes on the territory of Cisbaikalia]. *Vychislitel'nye Tekhnologii*, 2006, vol. 11 (special issue), pp. 83–87. In Rus.
8. Kharlamova N.F., Rotanova I.N. *Izuchenie klimata: ot A. Gumbol'dta do sovremennykh prognozov global'nykh izmenenii* [Climate study: from A. Humboldt to modern forecasts of global changes]. 2014. Available at: http://case.asu.ru/files/form_312-25675.pdf (accessed 15 June 2018).
9. *Klimat v Rossii uzhe vek tepleet pochti vdvoe bystree, chem vo vsem mire* [For a century, the climate in Russia has been warming almost twice as fast as in the whole world]. Available at: <https://ria.ru/20130315/927440869.html#13635823232314&message;=resize&relto;=login&action;=removeClass&value;=registration> (accessed 15 February 2014).
10. Kochugova E.A. *Izmenchivost' zimnikh minimal'nykh temperatur vozdukh v Predbaikal'e*. [Variability of winter minimum air temperatures in Cisbaikalia]. *Izvestiya Irkutskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya «Nauki o Zemle»*, 2014, vol. 13, pp. 98–110. In Rus.
11. Novorotskii P.V. *Izmenenie klimata v basseine Amura* [Climate change in the Amur basin]. Moscow, WWF Rossii, 2006. pp. 22–42.
12. Okisheva L.N., Filandysheva L.B. *Vremennaya dinamika i funktsionirovanie landshaftov Zapadnoi Sibiri* [Temporal dynamics and functioning of the landscapes of Western Siberia]. Tomsk, Tomsk State University Publ., 2015. 328 p.
13. Eliseev A.V., Mokhov I.I., Muryshev K.E. *Otsenki izmenenii klimata XX–XXI vekov s ispol'zovaniem versii klimaticheskoi modeli IFA RAN, vklyuchayushchei model' obshchei tsirkulyatsii okeana* [Estimates of climate change in the XX–XXI centuries using the version of the IAP RAS climate model, including the ocean general circulation model]. *Meteorologiya i gidrologiya*, 2011, no. 2, pp. 5–16.
14. *Otsenochnyi doklad ob izmeneniyakh klimata i ikh posledstviyakh na territorii Rossiiskoi Federatsii* [Assessment report on climate changes and their consequences on the territory of the Russian Federation]. Moscow, Rosgidromet, 2008. Vol. 1. *Izmeneniya klimata*. 226 p.
15. Romashova T.V. *Sezonnye ritmy klimata i ikh vliyanie na razvitie erozii pochv (na primere yuga Tomskoi oblasti)*. Diss. kand. nauk [Seasonal rhythms of climate and their influence on the development of soil erosion (on the example of the south of the Tomsk region). Cand. Diss.]. Tomsk, 2004. 239 p.
16. Rutkovskaya N.V. *Klimaticheskaya kharakteristika sezonov goda Tomskoi oblasti*. [Climatic characteristics of the seasons of the Tomsk region]. Tomsk, Tomsk State University Publ., 1979. 116 p.
17. Perevedentsev Yu.P., Naumov E.P., Shantalinskii K.M. *Sovremennye global'nye i regional'nye izmeneniya klimata* [Modern global and regional climate changes]. *Geograficheskii vestnik*, 2006, no. 6, pp. 106–220. In Rus.
18. Latysheva I.V., Belousova E.P., Olemskoi S.V., Loshchenko K.A. *Sovremennye izmeneniya klimata na territorii Irkutskoi oblasti* [Modern climate changes in the Irkutsk region]. *Izvestiya Irkutskogo gosudarstvennogo universiteta Seriya «Nauki o Zemle»*, 2010, vol. 3, no. 2, pp. 110–125. In Rus.
19. Ippolitov N.N., Kabanov M.V., Loginov S.V., Kharyutkina E.V. *Struktura i dinamika meteorologicheskikh polei na aziatskoi territorii Rossii v period intensivnogo global'nogo potepleniya 1975–2005 gg.* [The structure and dynamics of meteorological fields in the Asian territory of Russia during the period of intense global warming 1975–2005]. *Journal of the Siberian Federal*

University. Biology (special issue "Climate change and ecosystems"), 2008, no. 1(4), pp. 323–344. In Rus.

20. Filandysheva L.B. Analiz dinamicheskikh variantov struktury zimnego sezona goda i ikh klimaticheskikh kharakteristik na yugo-zapade Zapadno-Sibirskoi ravniny [Analysis of the dynamic variants of the structure of the winter season and their climatic characteristics in the southwest of the West Siberian Plain]. *Tomsk State University Journal*, 2012, no. 364, pp. 196–203. In Rus.

21. Shestyukov B.G. *Prostranstvennye i sezonnye osobennosti izmenenii klimata v period intensivnogo global'nogo potepleniya*. Diss. dokt. nauk [Spatial and seasonal features of climate change during the period of intense global warming. Doct. Diss.]. Obninsk, 2007. 327 p.

22. Filandysheva L.B., Romashova T.V., Yurkova X.D., Sapien ES. Analysis of the Dynamics of Time Characteristics of Seasons of the Year in the Subtaiga Subzone (Hemiboreal Forests) of the West Siberian Plain Over the Period From 1936 to 2015. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, Published under licence by IOP Publishing Ltd, 2018, vol. 204. Available at: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/204/1/012010/meta> (accessed 13 December 2019).

23. Brohan P., Kennedy J.J., Harris I., Tett S.F.B., Jones P.D. Uncertainty estimates in regional and global observed temperature changes: a new dataset from 1850. *Journal Geophysical Research: Atmospheres*, 2006, vol. 111, release D12, pp.1–35.

24. Filandysheva L.B., Evseeva N.S., Zhilina T.N. Zonal features of climate regime of the West Siberian Plain and its influence on geosystems. *Geography and Natural Resources*, 2015, vol. 36, no. 4, pp. 341-349.

Информация об авторах:

Филандышева Лариса Борисовна, кандидат географических наук, доцент, зав. кафедрой краеведения и туризма, Национальный исследовательский Томский государственный университет, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 36. E-mail: filandysh@vtomske.ru

Larisa B. Filandysheva, Cand. Sci.(Geogr), Associate Professor, National Research Tomsk State University, 36, Lenin Avenue, Tomsk, 634050, Russia. E-mail: filandysh@vtomske.ru

Ромашова Татьяна Владимировна, кандидат географических наук, доцент кафедры географии, Национальный исследовательский Томский государственный университет, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 36. E-mail: romtvtom@rambler.ru

Tatiana V. Romashova, Cand. Sci.(Geogr), Associate Professor, National Research Tomsk State University, 36, Lenin Avenue, Tomsk, 634050, Russia. E-mail: romtvtom@rambler.ru