DOI: 10.21513/2410-8758-2017-3-28-56 УДК 551.583

КОЛЕБАНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА В ВЫСОКИХ ШИРОТАХ РОССИИ И ИХ СВЯЗЬ С ЦИРКУЛЯЦИЕЙ АТМОСФЕРЫ СЕВЕРНОГО ПОЛУШАРИЯ

Н.К. Кононова [1)], О. Ф. Самохина [2)*]*

[1)] Институт географии РАН,
Россия, 119017, Москва, Старомонетный пер., 29; **NinaKononova@yandex.ru*

[2)] Институт глобального климата и экологии Росгидромета и РАН,
Россия, 107258, Москва, ул. Глебовская, 20Б; **samoxinao@yandex.ru*

Резюме. В работе проанализированы колебания характеристик циркуляции атмосферы для тех секторов Северного полушария, в которых расположена Россия, с 1899 по 2014 г. Также по секторам рассмотрены колебания температуры воздуха в высоких широтах (севернее 64-й параллели) по данным 85 российских метеорологических станций за весь период их наблюдений. Проанализированы многолетние изменения средней годовой температуры воздуха и её составляющих за теплый и холодный периоды в среднем по регионам. Это дало возможность оценить вклад сезонных характеристик в среднюю годовую температуру в разные циркуляционные эпохи и периоды внутри современной эпохи, а также рассмотреть тенденции происходящих изменений в каждом секторе. Проанализирована также годовая амплитуда температуры воздуха (разность между средней температурой самого теплого и самого холодного месяца в каждом году) и рассмотрены её современные тенденции в каждом секторе. Проанализированы оценки трендов за циркуляционные эпохи: 1899-1915, 1916-1956 и 1957-2015, а также по периодам внутри современной эпохи: 1957-1969, 1970-1980, 1981-1997 и 1998-2015 гг. Установлено, что происходящие колебания температуры тесно связаны с колебаниями общей циркуляции атмосферы и изменением продолжительности тех процессов, с которыми связано повышение или понижение температуры воздуха в конкретном районе в определённом сезоне.

Ключевые слова. Температура воздуха, колебания, высокие широты, Россия, циркуляция атмосферы, Северное полушарие, сектор.

FLUCTUATIONS IN AIR TEMPERATURE IN RUSSIA'S HIGH LATITUDES AND THEIR RELATIONSHIP TO THE ATMOSPHERIC CIRCULATION IN THE NORTHERN HEMISPHERE

N.K. Kononova[1)], O.F. Samokhina [2)*]*

[1)] Institute of Geography RAS,
29, Staromonetnyi per., 119017, Moscow, Russia; *, *NinaKononova@yandex.ru*

[2)] Institute of Global Climate and Ecology,
20B, Glebovskaya str., 107258, Moscow, Russia; **samoxinao@yandex.ru*

Summary. This paper analyzes the characteristics of fluctuations of atmospheric circulation for the Northern Hemisphere and those of its sector, which

is Russia, from 1899 to present. Also on the sector considered fluctuations in air temperature at high latitudes (north of 64th parallel) from 85 Russian meteorological stations for the entire period of observation. Analyzed the long-term changes in mean annual air temperature and its components for the warm and cold periods of the regional average. This made it possible to estimate the contribution of seasonal characteristics in the average annual circulation at different times and periods in the modern era and to consider the trend of change in each sector. Also analyzed the amplitude of the annual air temperature as the difference between the average temperature of the warmest and the coldest month in each year and reviewed its current trends in each sector.

Keywords. Air temperature, fluctuation, high latitudes, Russia, atmospheric circulation, Northern Hemisphere, sector.

Введение

Из всех составляющих климатической системы циркуляция атмосферы является наиболее динамичной (Анисимов и др, 2012; Бышев и др, 2004, 2005; Дзердзеевский, 1956), поэтому анализ колебаний климата начат именно с неё. В работе поставлена задача показать связь изменений климата высоких широт Российской Федерации (севернее 64-й параллели) с колебаниями общей циркуляции атмосферы и выявить те циркуляционные процессы, которые вносят наибольший вклад в эти изменения. Важно также определить, процессы теплого или холодного полугодия оказываются решающими в формировании средних годовых отклонений от средней многолетней величины в тот или иной отрезок времени.

Методы и материалы

Для анализа циркуляционных условий использована типизация элементарных циркуляционных механизмов (сокращенно ЭЦМ) Северного полушария, разработанная Б.Л. Дзердзеевским с учениками (Дзердзеевский, Курганская, Витвицкая, 1946). Эта типизация отражает изменения характера циркуляции со временем за длительный срок (с 1899 г.), но работ с её применением пока ещё немного, особенно в зарубежных изданиях.

В типизации выделяется 41 ЭЦМ, которые различаются между собой направлением и количеством одновременных арктических вторжений (блокирующих процессов) и выходов южных циклонов на полушарии. По направлению перемещения барических образований на полушарии ЭЦМ объединены в 4 группы циркуляции: зональную (ЭЦМ 1а - 2в, без блокирующих процессов), нарушения зональности (ЭЦМ 3 - 7бл, один блокирующий процесс на полушарии), меридиональную северную (ЭЦМ 8а - 12г, 2-4 блокирующих процесса и столько же выходов южных циклонов) и меридиональную южную (ЭЦМ 13з и 13л, циклоническая циркуляция над Арктикой без блокирующих процессов, 2-4 выхода южных циклонов на полушарии). Каждый ЭЦМ длится несколько дней. Смена одного ЭЦМ другим с 1 января 1899 г. фиксируется в Календаре последовательной смены ЭЦМ.

Важной особенностью этой типизации является наличие динамических схем на каждый тип ЭЦМ, поэтому, характеризуя состояние циркуляции атмосферы над внетропическими широтами всего Северного полушария, она позволяет отслеживать перемещение барических образований в конкретном регионе. Именно поэтому она наиболее приемлема для решения поставленной задачи. Примеры динамических схем ЭЦМ, характеризующих состояние циркуляции атмосферы при различных группах циркуляции, приведены на рис. 1.

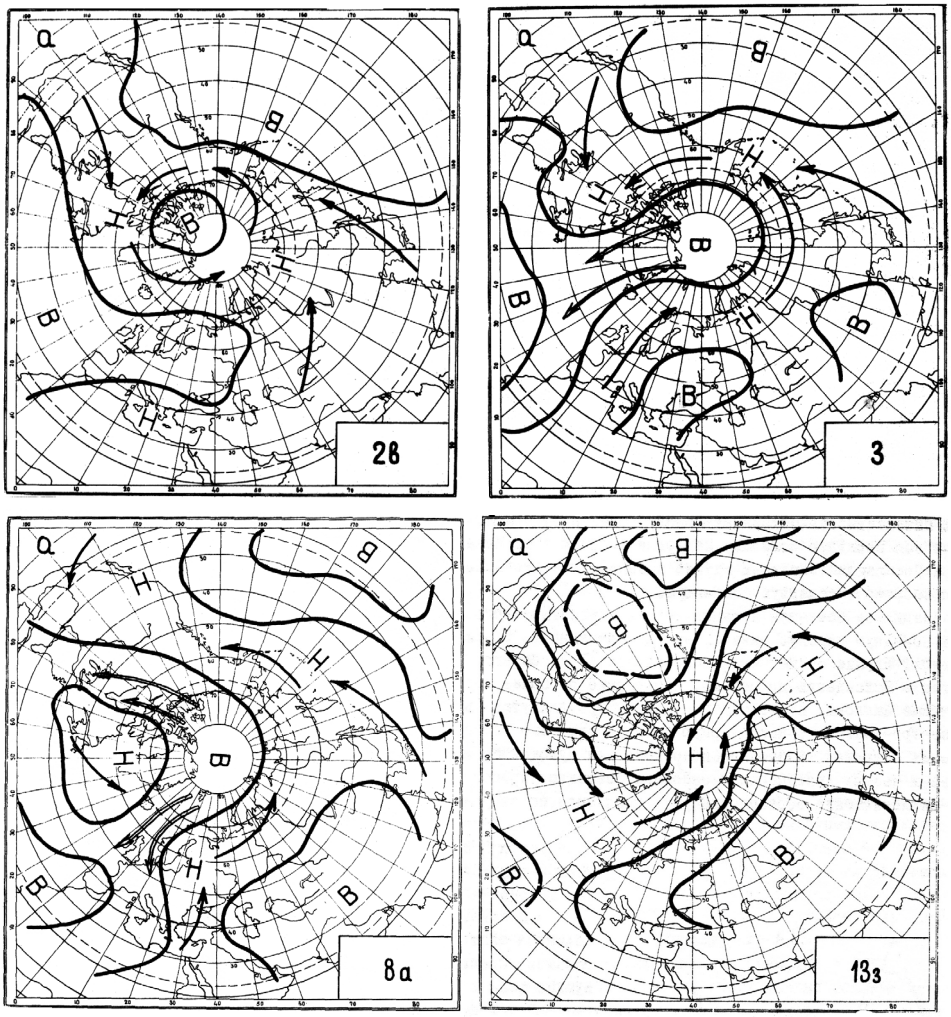

Рисунок 1. Примеры динамических схем ЭЦМ, относящихся к разным группам циркуляции: 2в - к зональной, 3 - к группе нарушения зональности, 8а - к меридиональной северной, 13з - к меридиональной южной

Буквами В и Н обозначены центры областей высокого и низкого давления; стрелки, направленные с запада на восток или с юга на север, показывают пути перемещения циклонов; стрелки, направленные с севера на юг - пути антициклонов (арктических вторжений)

Основные положения типизации и относящиеся к ней материалы размещены в открытом доступе на сайте www.atmospheric-circulation.ru.

Для анализа изменения температурного режима северных регионов России использована База климатических данных ИГКЭ (http://www.climatechange.su).

Проанализированы средние месячные температуры 85 метеорологических станций, расположенных севернее 64-й параллели, по которым рассчитаны средние годовые и средние сезонные температуры. Из этих станций 12 находятся на Европейском севере, 22 – в Западной Сибири, 12 – в Восточной Сибири, 31 - в северных районах Дальнего Востока, 8 – в Тихоокеанском секторе. Для каждого сектора за каждый год и сезоны рассчитаны средние годовые и средние сезонные температуры и отклонения от средней за 1961-1990 гг. Для пяти станций севера России (Архангельск, Хатанга, Верхоянск, Дудинка, Марково) рассчитаны годовые амплитуды температуры воздуха. Получены оценки трендов в различные циркуляционные эпохи (1899-1915 гг., 1916-1956 гг. и 1957-2015 гг., а также по периодам внутри третьей эпохи:1957-1969 гг., 1970-1980 гг., 1981-1997 и 1998-2015 гг.).

Полученные результаты

Показаны циркуляционные эпохи Северного полушария и проведен анализ многолетних колебаний суммарной годовой продолжительности групп циркуляции для секторов России.

Проанализированы колебания температуры воздуха в высоких широтах России.

Посчитаны и проанализированы колебания годовой амплитуды температуры воздуха на длиннорядных станциях секторов севера России.

Выявлены связи изменения температуры воздуха с преобладающими циркуляционными процессами в разные циркуляционные эпохи.

1. Флуктуации циркуляции атмосферы Северного полушария в XX – начале XXI века

Продолжительность групп циркуляции Северного полушария проанализирована в статье (Кононова, 2015) за 1899-2013 гг. Приводим аналогичные графики по 2014 год (рис. 2). Как видно, добавление 2014 года не меняет тенденции развития циркуляционных процессов Северного полушария.

Выделяют (рис.3 и 4): меридиональную северную циркуляционную эпоху (1899-1915 гг.), зональную циркуляционную эпоху (1916–1956 гг.) и меридиональную южную циркуляционную эпоху 1957-2015 гг.. Меридиональную южную циркуляционную эпоху (рис.3) можно разделить на периоды: 1957-1969 гг. (продолжительность меридиональной северной и меридиональной южной циркуляции почти одинаковы и близки к соответствующим нормам, а продолжительность обобщенной зональной на 20 дней ниже нормы); 1970-1980 гг. (продолжительность меридиональной северной, меридиональной южной и зональной циркуляции близки к многолетним нормам); 1981-1997 гг. (увеличивается продолжительность меридиональной южной циркуляции, продолжительность меридиональной северной и зональной циркуляции уменьшается); 1998-2015 гг. (увеличивается продолжительность меридиональной северной циркуляции, меридиональной южной – уменьшается, продолжительность зональной циркуляции приблизительно на 70 дней ниже многолетней нормы).

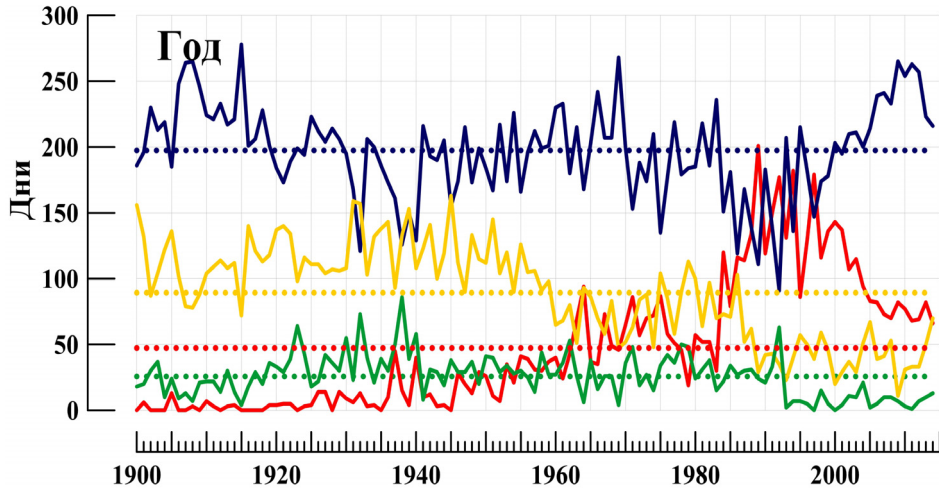

Рисунок 2. Многолетний ход суммарной годовой продолжительности групп циркуляции в 1899-2014 гг., пунктирными линиями показаны средние продолжительности

Условные обозначения:

- зональная
- нарушения зональности
- меридианальная северная
- меридианальная южная

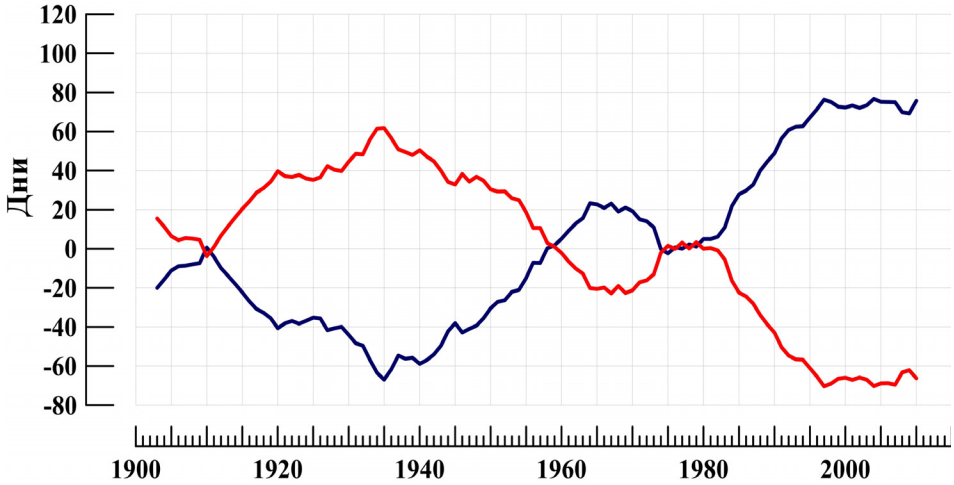

Рисунок 3. Отклонения суммарной годовой продолжительности групп циркуляции от их многолетних средних величин за 1899-2014 гг. (10-летние скользящие средние):

- обобщенная зональная (зональная + нарушения зональности)
- меридиональная (северная + южная)

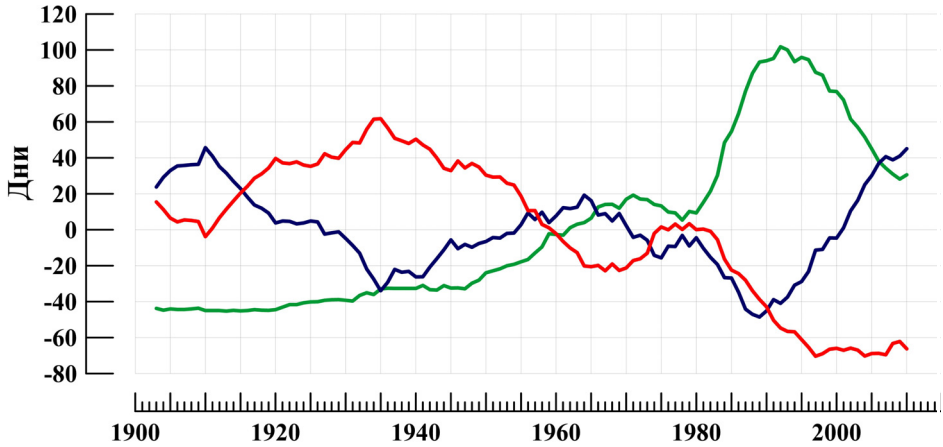

Рисунок 4. Отклонения суммарной годовой продолжительности групп циркуляции от их многолетних средних величин за 1899-2014 гг. (10-летние скользящие средние):
обобщенная зональная (зональная + нарушения зональности)
меридиональная северная
меридиональная южная

2. Колебания циркуляции атмосферы в Российских секторах Северного полушария

Характер колебаний циркуляции атмосферы в различных секторах Северного полушария не одинаков в силу того, что один и тот же макропроцесс в разных регионах проявляется по-разному.

Россия расположена в Европейском, Западносибирском, Восточносибирском, Дальневосточном и Тихоокеанском секторах (Рис. 5).

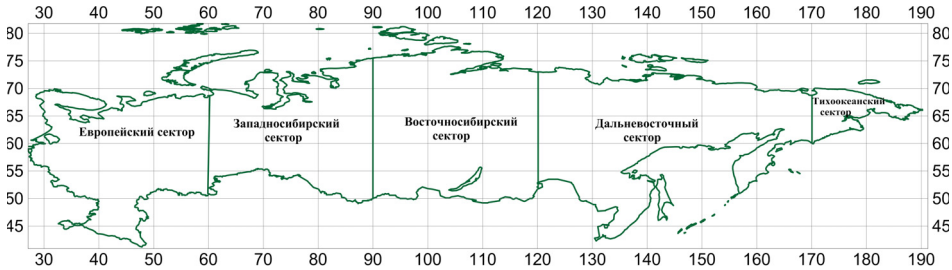

Рисунок 5. Секторы, в которых расположена Россия

В целом для России по аналогии с Северным полушарием можно выделить следующие группы циркуляции (табл. 1).

К широтной западной группе циркуляции относятся те ЭЦМ, при которых над территорией России не формируется блокирующих процессов, преобладает перемещение барических образований с запада на восток, отмечаются выходы южных циклонов, вливающихся в атлантические серии.

При долготной северной циркуляции над Россией может формироваться либо один, либо два блокирующих процесса, что и отражено в таблице 1. Под блокирующим процессом, как и для Северного полушария в целом, понимается полоса высокого давления, соединяющая арктический антициклон с кон-

тинентальным. В секторах, не затронутых блокирующими процессами, может отмечаться как широтная циркуляция, так и выходы южных циклонов Рис. 6 и 7).

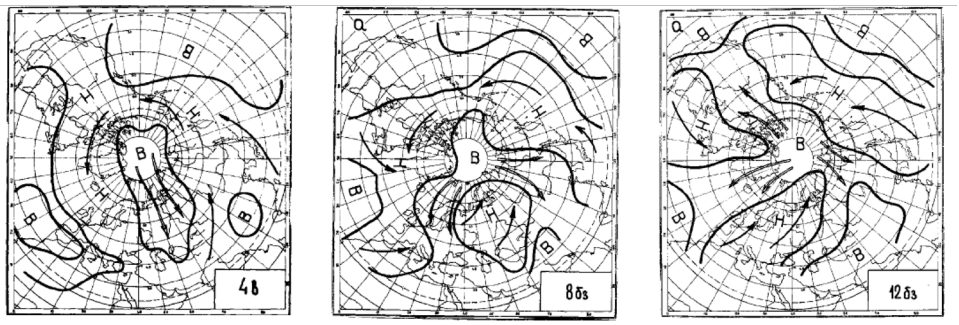

Рисунок 6. Примеры ЭЦМ с одним блокирующим процессом над Россией: ЭЦМ 4в, один блокирующий процесс над полушарием приходится на Россию; ЭЦМ 8бз, из двух блокирующих процессов на полушарии один приходится на Россию; ЭЦМ 12бз, из трёх блокирующих процессов на полушарии один приходится на Россию

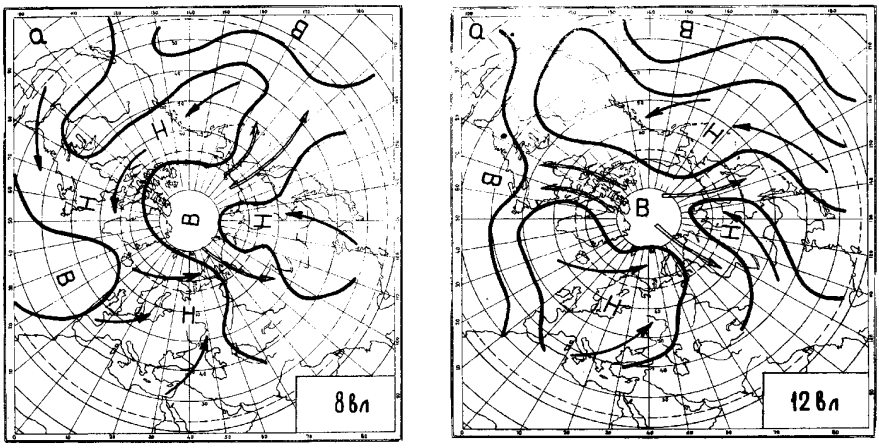

Рисунок 7. Примеры ЭЦМ с двумя блокирующими процессами над Россией: ЭЦМ 8вл, два блокирующих процесса на полушарии, оба приходятся на Россию; ЭЦМ 12вл, три блокирующих процесса на полушарии, два приходятся на Россию

Таблица 1. Распределение ЭЦМ по группам циркуляции для России

Группы циркуляции	ЭЦМ
Широтная западная	1а, 1б, 2а, 2б, 2в, 3,6, 7аз, 7ал, 7бз, 7бл, 8а, 9а, 9б,
Долготная северная с одним блокирующим процессом над Россией	4а, 4б, 4в, 5а, 5б, 5в, 5г, 8бз, 8бл, 8гз, 8гл, 10а, 10б, 11а, 11б, 11в, 11г, 12бз, 12бл, 12вз
Долготная северная с двумя блокирующими процессами над Россией	8вз, 8вл, 12а, 12вл, 12г
Долготная южная	13з, 13л

Примечание. Для территорий, представляющих собой часть полушария, вместо терминов «зональная» и «меридиональная» применяется «широтная» и «долготная».

К долготной южной циркуляции отнесены те же ЭЦМ, что и для Северного полушария: с циклонической циркуляцией на полюсе, без блокирующих процессов, с прорывом средиземноморских и тихоокеанских циклонов в арктические широты.

Многолетний ход продолжительности групп циркуляции представлен на рис. 8 для России, а на рис. 9 – для секторов России, а на рис. 6 – для секторов России.

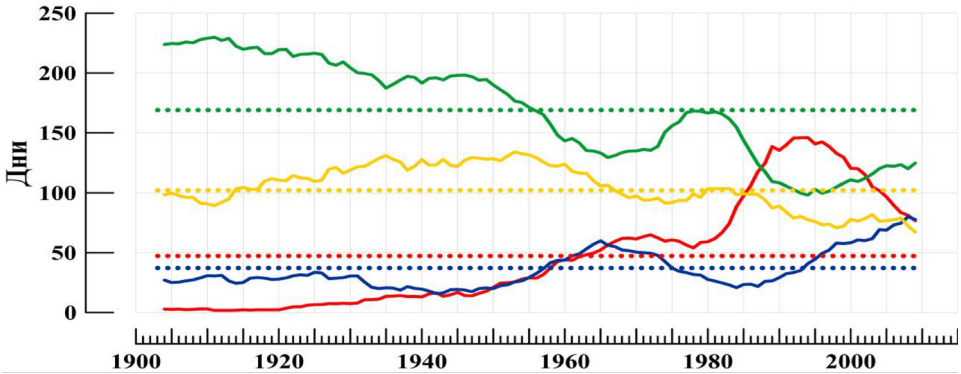

Рисунок 8. Суммарная годовая продолжительность групп типов в России (11-летние сглаженные) пунктирными линиями показаны средние

Условные обозначения:

- широтная западная циркуляция
- долготная северная циркуляция с одним блокирующим процессом
- долготная северная циркуляция с двумя блокирующими процессами
- долготная южная циркуляция

Анализ многолетних колебаний суммарной годовой продолжительности групп циркуляции для России (рис. 5) показал существенное преобладание, особенно в начале XX века (в среднем 230 дней в 1906-1915 гг.), ЭЦМ с одним блокирующим процессом на территории России. Только в конце XX – самом начале XXI века ведущими стали выходы южных циклонов (в 1989-1999 гг. в среднем 146 дней в году). Широтная западная циркуляция наиболее продолжительна в 1920-1960-е годы (в 1948-1958 гг. в среднем 134 дня в году). ЭЦМ с двумя блокирующими процессами на территории России были наиболее продолжительны в 1950 - 1970-е годы (в 1960-1970 гг. в среднем 60 дней в году).

Если рассматривать отклонения от средней продолжительности (рис. 8), то в начале XX века наибольшими положительными отклонениями отличались ЭЦМ с одним блокирующим процессом на территории России (в 1906-1915 гг. положительные отклонения составляли 60 дней в году). С этого времени отклонения уменьшались и с 1950-1960 гг. стали отрицательными, а в 1989-1999 гг. отрицательные отклонения стали максимальными (-71 день в среднем за год).

Наибольшими отрицательными отклонениями в начале XX века отличалась долготная южная циркуляция (-44 – -45 дней с 1899 по 1925 гг.). Затем отрицательные отклонения неуклонно уменьшались и с 1958-1968 гг. стали положительными. Максимальных значений (99 дней) они достигли в 1989-1999 гг.

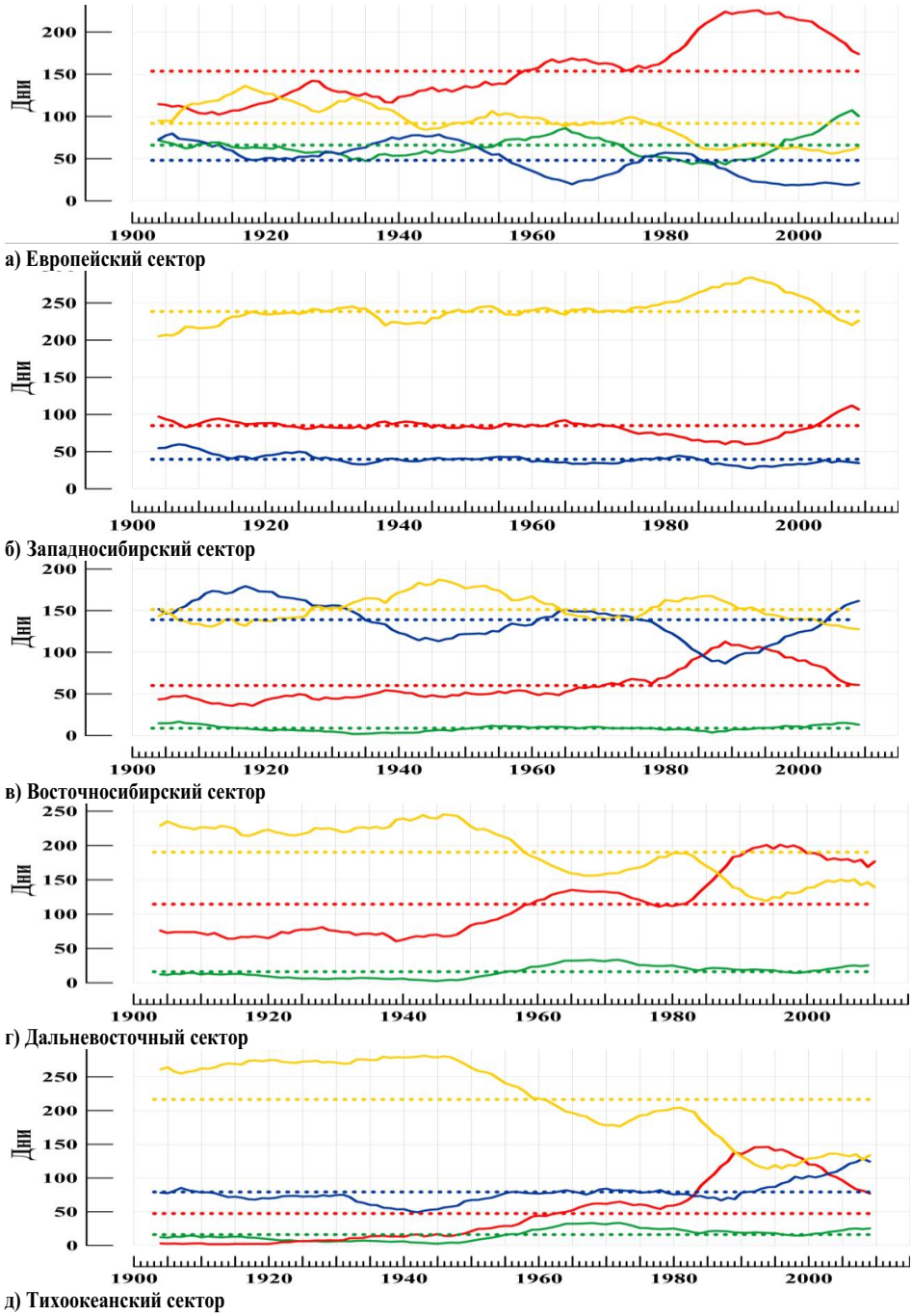

Рисунок 9. Суммарная годовая продолжительность групп типов в секторах России (11-летние сглаженные),

пунктирными линиями показаны средние

Условные обозначения:

- широтная западная циркуляция
- долготная северная циркуляция
- долготная южная циркуляция
- долготная северная в сочетании с долготной южной циркуляцией

Если сравнить величину отклонений групп циркуляции в России в начале XX и начале XXI века, то она противоположна. Если в начале XX века от наибольшего положительного к наибольшему отрицательному отклонения располагались следующим образом: ЭЦМ с одним блокирующим процессом, широтная циркуляция, ЭЦМ с двумя блокирующими процессами и долготная южная, то в начале XXI века – долготная южная, долготная северная с двумя блокирующими процессами, широтная циркуляция и долготная северная с одним блокирующим процессом. В различных секторах России эти различия проявились по-разному.

ЭЦМ Северного полушария следующим образом распределились по группам циркуляции для секторов России (табл. 2).

Таблица 2. Распределение ЭЦМ по группам циркуляции для секторов России

Группы циркуляции	**Сектора**				
	Европейский	**Западно-сибирский**	**Восточно-сибирский**	**Дальне-восточный**	**Тихо-океанский**
Широтная западная	2в, 5а, 5в, 6, 7ал, 7бл, 8вл, 11б, 11а, 11в, 11г, 12г	1а, 1б, 2а, 2б, 3, 4а, 5а, 5б, 5в, 6, 7аз, 7ал, 7бз, 7бл, 8вз, 8гз, 9а, 9б, 10а, 11а, 11б, 11в, 11г, 12г, 13з, 13л	1а, 1б, 2а, 2б, 3, 4а, 4б, 6, 7аз, 7ал, 7бз, 7бл, 8а, 9а, 9б, 10а, 13з	1б	1а, 1б, 2а, 2б, 2в, 3, 4а, 4б, 4в, 5а, 5б, 5в, 5г, 7аз, 7ал, 8а, 8бз, 8бл, 8гз, 8гл, 10а, 11а, 11б, 11в, 12бз, 12вз,, 12вл
Долготная северная	4а, 4б, 4в, 10а, 10б,	4в, 8вл, 8гл, 10б, 12бл, 12вл	5а, 5б, 5в, 5г, 8бз, 8бл, 8вз, 8гз, 11а, 11б, 11в, 11г, 12а, 12бз, 12вз, 12г,		6, 7бз, 7бл, 8вл, 9а, 10б, 11г, 12а, 12бл
Долготная южная	1а, 1б, 2а, 2б, 3, 5б, 5г, 7аз, 7бз, 8вл, 8гз, 8гл, 9а, 9б, 12бл, 12вл, 13з, 13л	2в, 4б, 5г, 8а, 8бз, 8бл, 12а, 12бз, 12вз	2в, 4в, 8вл, 8гл, 10б, 12вл, 13л	2а, 2в, 3, 4а, 4б, 4в, 5б, 6, 7аз, 7ал, 7бз, 7бл, 8а, 8вз, 8гз, 8гл, 9а, 9б, 10а, 10б, 11а, 13з	13з, 13л
Долготная северная + долготная южная	8а, 8бз, 8бл, 12а, 12бз, 12вз		12бл	5а, 5в, 5г, 8бз, 11б, 11в, 11г, 12вл, 12г	8вз, 9б, 12г

К широтной западной группе циркуляции отнесены те ЭЦМ, при которых в высоких широтах рассматриваемого сектора перемещаются атлантические циклоны. Южнее зимой преобладают устойчивые антициклоны, а летом области высокого и низкого давления сменяют друг друга.

К долготной северной группе циркуляции отнесены ЭЦМ, при которых над рассматриваемым сектором формируется блокирующий процесс.

К долготной южной группе отнесены ЭЦМ, при которых на рассматриваемый сектор выходят южные циклоны.

Отдельно выделена группа циркуляции «долготная северная + долготная

южная», при которой в одних долготах сектора происходит выход южных циклонов, а в других в их тылу формируется блокирующий процесс.

Проведен анализ многолетних изменений характера циркуляции атмосферы в каждом секторе.

В Европейском секторе в самом начале XX века (рис. 9а) преобладала долготная северная циркуляция (50-117 дней в году при средней 48,5), широтная западная и долготная северная+долготная южная были приблизительно в норме, а долготная южная составляла от 71 до 142 дней при средней 153,8. В зональную циркуляционную эпоху с 1916 по 1941 год господствовала широтная циркуляция (до 140 дней при средней 92.1), а с 1942 по 1957 – долготная северная. В меридиональной южной циркуляционной эпохе господствует долготная южная циркуляция (до 247 дней при средней 153.8). С 1998 г. увеличивается продолжительность группы циркуляции с формированием блокирующих процессов после прохождения южных циклонов (долготной северной + долготной южной, до 138 дней при средней 65.7). Если же рассматривать отклонения суммарной годовой продолжительности групп циркуляции от соответствующих средних, то в первой циркуляционной эпохе наибольшими (20-25 дней в году) были отклонения долготной северной группы циркуляции. Во второй эпохе широтная циркуляция превышала среднюю на 20-40 дней в году. В 1960-70-е годы наибольшими были аномалии долготной северной в сочетании с долготной южной и долготной южной групп циркуляции (до 20 дней в году). С 1981 г. до конца века наибольшими были отклонения долготной южной циркуляции (до 70 дней). С 1998 г. отмечаются положительные отклонения группы меридиональная северная + меридиональная южная (в последние годы до 70 дней).

В Западносибирском секторе на протяжении всего времени преобладала широтная западная циркуляция (больше 200 дней в году, рис. 9б). В 90-е годы она достигала 280 дней, в последние годы не превышает 250. Продолжительность долготной южной циркуляции большую часть времени колебалась около 90 дней в году. В 90-е годы она сократилась до 60 дней, в последние годы превышает 100 дней. Наименьшей оказывается продолжительность блокирующих процессов. Только в начале XX века она превышает 50 дней, в дальнейшем колеблется на уровне 30-40 дней в году. Что касается отклонений (рис. 6в), то наибольшие положительные отклонения суммарной годовой продолжительности долготной северной циркуляции от средней отмечались в начале XX века (10-20 дней в году), тогда же наибольшими были отрицательные отклонения широтной циркуляции (свыше 30 дней). Затем до середины 80-х годов продолжительность всех групп колебалась около средней, только в 40-х годах отрицательные отклонения широтной группы снова увеличились до 20 дней. С начала 80-х произошёл быстрый рост суммарной годовой продолжительности широтной западной циркуляции, к концу 90-х она оказалась на 45 дней продолжительнее средней. В последние годы на 20 с лишним дней превышает среднюю продолжительность южных циклонов.

В Восточносибирском секторе с начала XX века по 20-е годы преобладали блокирующие процессы (150-180 дней в году. рис. 8в), затем по 60-е годы

ведущими становятся широтные (более 160-190 дней в году). В 70-е – первую половину 80-х годов продолжительность широтных и блокирующих процессов одинаково уменьшается от 150 к 140 дням в году. Со второй половины 80-х до начала XXI века наиболее продолжительной оказывается широтная циркуляция (до 170 дней в году). Существенно увеличивается в это время (до 110 дней в году) продолжительность южных циклонов. В XXI веке снова преобладают блокирующие процессы (до 160 дней в году).

Наибольшими положительными отклонениями от средней в первое тридцатилетие XX века отличается суммарная годовая продолжительность блокирующих процессов (10-40 дней в году). В 30-60-е годы наибольшими были положительные отклонения продолжительности широтной циркуляции (до 35 дней). В 70-е годы увеличились (до 10 дней) положительные отклонения продолжительности блокирующих процессов, а в 80-90-е годы отклонения суммарной годовой продолжительности южных циклонов достигли 50 дней. В последние годы суммарная годовая продолжительность всех групп циркуляции, кроме широтной, превышает среднюю, наибольшими (до 20 дней) оказываются отклонения продолжительности блокирующих процессов.

В Дальневосточном секторе (рис. 9г) безраздельно господствуют южные циклоны более 200 дней в году, отклонения от среднего: 20-50 дней). С начала 1960-х годов продолжительность широтной циркуляции уменьшается до 150 дней в году. В 1950-1970-е годы продолжительнее средней оказываются блокирующие процессы и южные циклоны.В 1975-1985 гг. продолжительность всех групп циркуляции оказывается близка к средней, затем наибольшими (до 80 дней в году) становятся положительные отклонения долготной южной циркуляции.

В Тихоокеанском секторе (рис. 9д) в первой половине XX века продолжительность широтной циркуляции достигала 280 дней в году. С начала 50-х по конец 90-х её продолжительность снизилась до 120 дней. Со второй половины 90-х по 2004 г. преобладали южные циклоны (до 150 дней в году). В настоящее время продолжительность южных циклонов уменьшилась, и ведущими снова стали широтные процессы.

В первой половине XX века продолжительность широтной циркуляции была на 50 дней больше средней (рис 9д), затем она существенно уменьшилась и стала в 1970-е годы на 50 дней, а в 90-е на 100 дней ниже средней. Продолжительность остальных групп в 1970-е годы была близка к средней, затем продолжительность южных циклонов увеличилась и в конце 1980-х стала на 100 дней больше средней. В XXI веке продолжительность долготной северной и южной групп выше средней, отклонения составляют около 50 дней в году.

Изменения характера циркуляции атмосферы отразились на колебаниях температуры воздуха.

3. Колебания температуры воздуха в высоких широтах России

На рис. 10 показаны регионы, по которым производилось осреднение, а колебания температуры воздуха в высоких широтах для России в целом показаны на рис. 11.

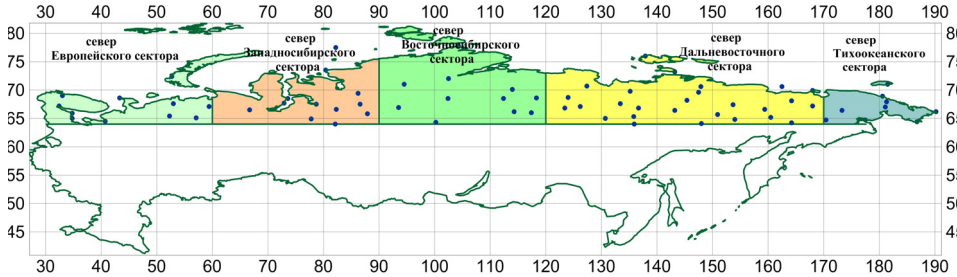

Рисунок 10. Регионы севера России
нанесены метеостанции, данные которых использованы в работе

Средняя многолетняя (1886-2015) среднегодовая температура воздуха в среднем по северу РФ составляет -9.3°С. В многолетних колебаниях температуры воздуха прослеживается повышение температуры воздуха в 1920-х - 1940-х гг., затем некоторое похолодание в 1950-х-1960-х гг., с начала 1970-х начинается современное потепление. Средняя многолетняя температура летнего сезона составляет 10.2°С, средняя многолетняя зимнего сезона: -27.7°С. В многолетних колебаниях зимнего сезона прослеживаются две волны потепления: 1920-х-1940-х, 1980-х-1990-х, с середины 2000-х наблюдается третья современная волна потепления.

Наиболее высокая средняя по сектору средняя многолетняя (1886-2015) среднегодовая температура воздуха отмечается на севере Европейского сектора (-1.3° С), что, скорее всего, обусловлено близостью к Атлантике. Затем следуют север Западносибирского сектора (-7.8°) и север Тихоокеанского (-8.8°) сектора, наиболее низкие средние многолетние среднегодовые температуры воздуха отмечаются на севере Восточносибирского сектора (-11.9) и севере Дальневосточного сектора (-12.8°)

В многолетних колебаниях среднегодовой температуры воздуха (рис. 8, 9) в разных секторах хорошо выделяются общие черты: она повышается в 1930-1940-е годы, понижается в 1960-е и вновь повышается с 1970-1980-х по настоящее время. Аналогичные результаты были получены в (Shilovtseva, Kononova and Romanenko, 2011) на основе анализа колебаний температуры 17 самых северных станций России.

Характер многолетних колебаний зимней температуры воздуха в разных секторах аналогичен колебаниям годовой температуры, при этом зимние температуры в разных секторах сильно различаются: зимние температуры севера Европейского сектора колеблются около -12°С, а зимние температуры севера Восточносибирского и севера Дальневосточного сектора колеблются около -34°С.

Характер многолетних колебаний летнего сезона отличается от зимы и года в целом. Амплитуда колебаний значительно меньше, повышение температуры прослеживается во всех секторах в 1910-ые годы, с 1935 по 1945 гг., с 1955 по 1960 гг. и с 1995 года наблюдается современное потепление. Колебания летних температур происходят около 10°С, за исключением севера Тихоокеанского сектора (колебания около 7.5°С).

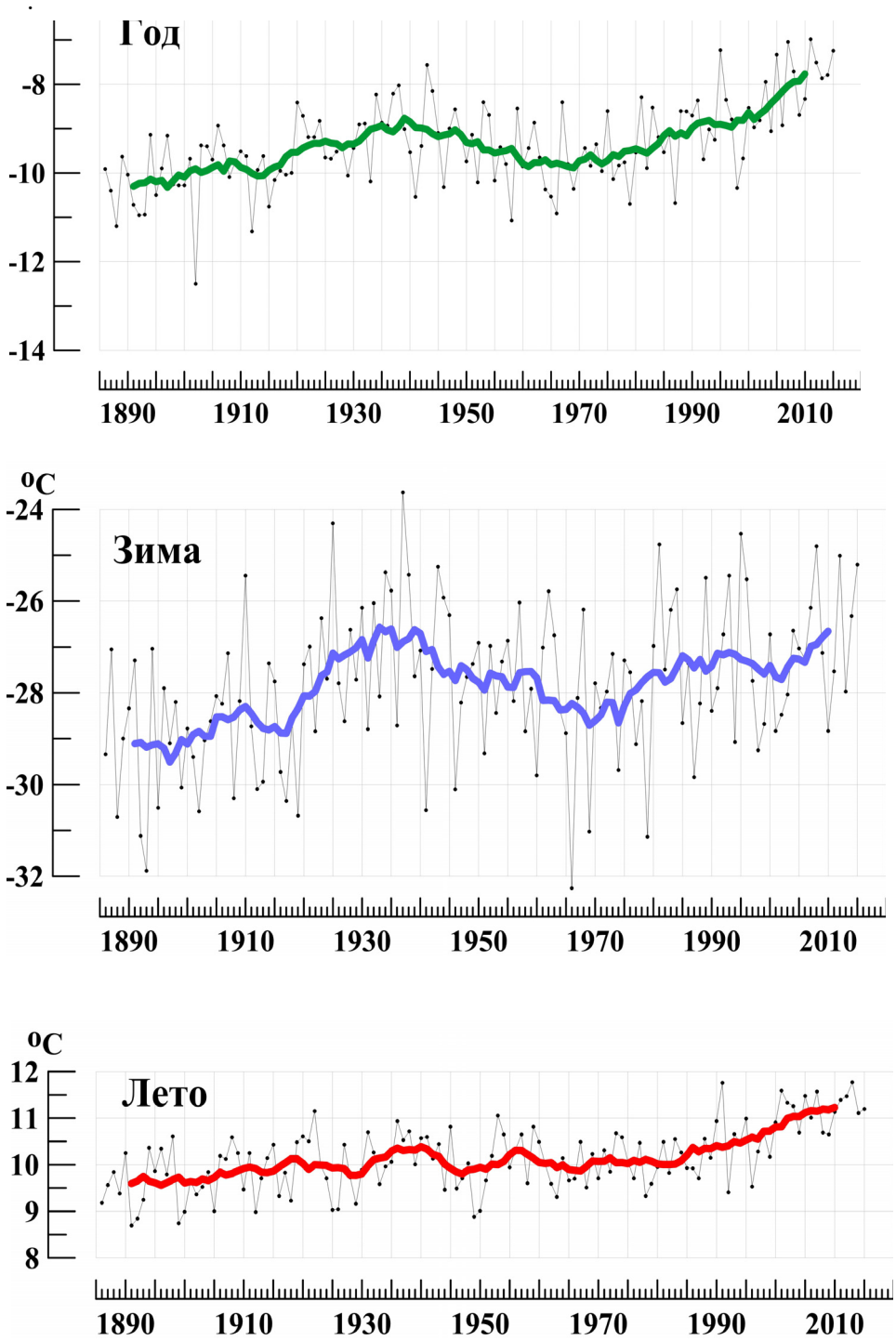

Рисунок 11. Колебания средней температуры воздуха на севере России
Цветными линиями показаны 11-летние скользящие средние

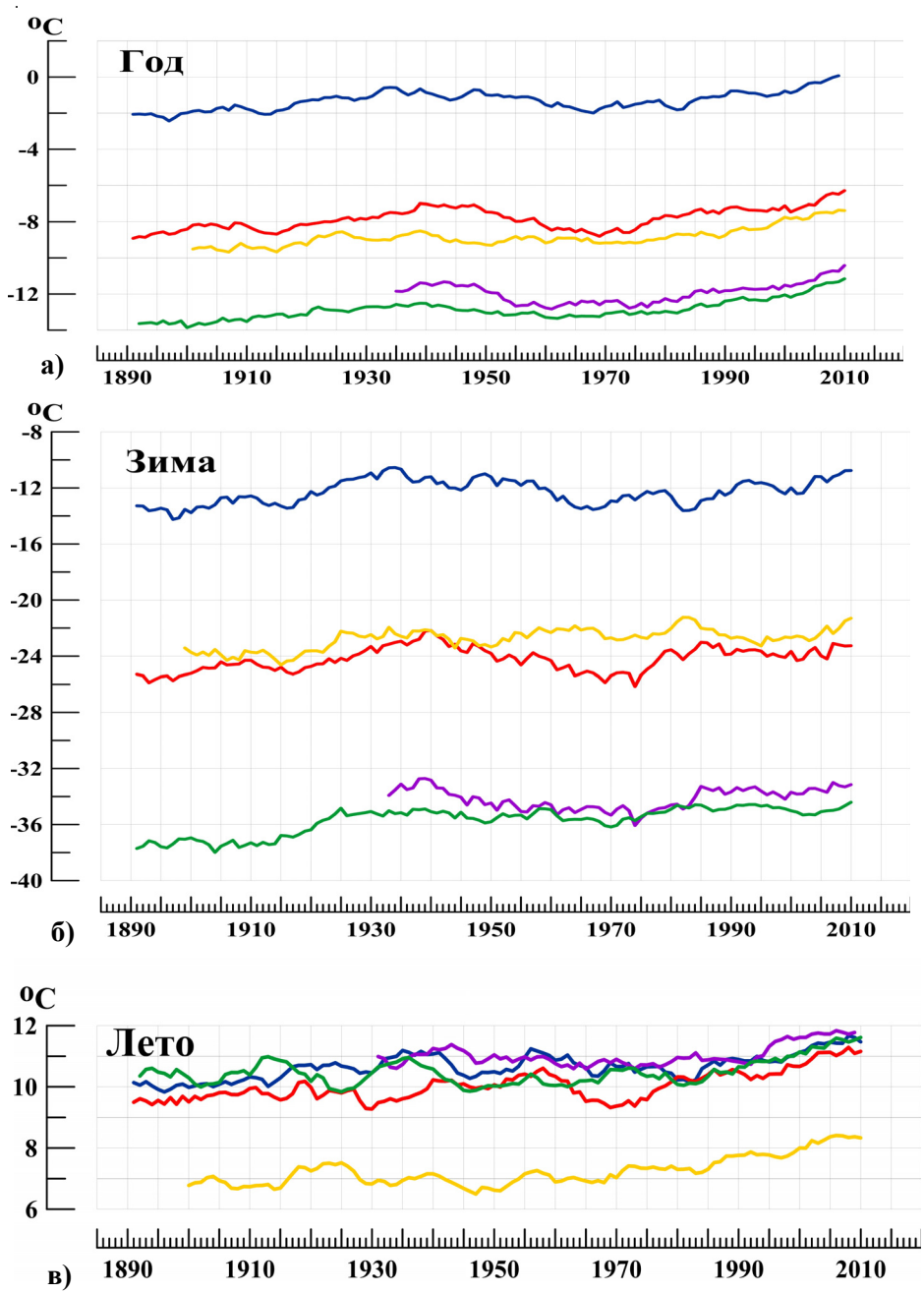

Рисунок 12. Колебания средней температуры воздуха в секторах севера России (11-летние скользящие средние), а) год в целом, б) зима, в) лето

Условные обозначения:

- север Европейской части России
- север Западной Сибири
- север Европейской части России
- север Западной Сибири
- север Европейской части России

В таблице 3 приведены коэффициенты корреляции среднегодовой температуры воздуха для севера России в целом с суммарной продолжительностью типов циркуляции. Цветом выделены корреляции, значимые на 5%-ом уровне значимости.

Таблица 3. Коэффициенты корреляции среднегодовой и сезонной (зима, лето) температуры севера России с суммарной продолжительностью групп циркуляции за период 1899-2014 гг.

	1899-2014	**1889-1915**	**1916-1956**	**1957-2014**	**1957-1969**	**1970-1980**	**1981-1997**	**1998-2014**
Север РФ, годовые								
шз	-0.1	-0.1	0.3	-0.5	0.2	-0.2	-0.4	-0.3
дс1	-0.3	-0.3	-0.1	-0.3	-0.2	-0.7	0.0	0.2
дс2	0.2	0.3	-0.1	0.2	-0.2	0.2	0.5	0.3
дю	0.3	0.2	0.0	0.2	0.2	0.8	-0.1	-0.7
Зима								
шз	0.3	0.7	0.4	0	0.2	-0.1	0	-0.1
дс1	-0.2	0	-0.4	-0.1	0.1	-0.2	-0.3	0.2
дс2	0	0.1	0	0	-0.2	0	-0.1	0.3
дю	0.2	-0.1	0.3	0.2	-0.2	0.5	0.3	-0.5
Лето								
шз	-0.2	0	0	-0.2	-0.2	-0.2	0.2	0.5
дс1	-0.3	-0.1	0	-0.1	0.3	-0.2	0	-0.1
дс2	0.2	0.3	0	0.1	0	0.1	-0.2	-0.2
дю	0.3	-0.3	0	0.1	0	0.2	-0.1	-0.2

Коэффициенты корреляции аномалий температуры воздуха с продолжительностью групп циркуляции в общем невелики, поскольку используемая типизация рассматривает только продолжительность процессов и не учитывает их интенсивности, хотя хорошо показывают согласованность долгопериодных тенденций. Кроме того, при анализе коэффициентов корреляции необходимо выбирать те, которые имеют физический смысл. Например, логично связывать повышение температуры в холодном сезоне с действием циклонической циркуляции, а в тёплом – антициклонической и не логично наоборот.

В целом по северу России за весь период с 1899 по 2015 гг. прослеживается связь увеличения положительных аномалий средней годовой температуры воздуха с ростом продолжительности долготной южной циркуляции (коэффициент корреляции 0.3), т. е. с выходом южных циклонов на территорию России и слиянием их с атлантическими циклонами на севере России. В зональную циркуляционную эпоху (1916-1956 гг.), включающую период потепления Арктики (1920-1940-годы), увеличение положительных аномалий температуры зимой связано с ростом продолжительности широтной циркуляции (коэффициент корреляции 0.4) и уменьшением продолжительности долготной северной (коэффициент корреляции -0.4). Коэффициенты значимы на 5%-ом уровне значимости.

Зимой в целом за 1899-2014 гг. повышение температуры связано с ростом продолжительности широтной циркуляции (коэффициент корреляции 0.3). В первой половине XX века коэффициенты корреляции значимы: в 1899-1915 гг − 0.7; в 1916-1956 − 0.4. С долготной северной группой циркуляции коэффициенты корреляции температуры воздуха отрицательны: в 1816-1956 -0.4 (коэффициент корреляции значим); в 1981-1997 гг. -0.3. С долготной южной циркуляцией повышение температуры связано в 1916-1956 гг. (коэффициент корреляции 0.3), в 1979-1980 гг. (коэффициент корреляции 0.5) и 1981-1997 гг. (коэффициент корреляции 0.3).

Летом коэффициенты корреляции малы. Только в 1998-2014 гг. значимый коэффициент корреляции повышения температуры с широтной западной циркуляцией составил 0.5.

Рассмотрим особенности многолетних колебаний температуры в каждом секторе севера России подробнее.

3.1. Колебания температуры воздуха в высоких широтах Европейского сектора

Для анализа изменения температуры воздуха в высоких широтах Европейской территории России были выбраны 12 длиннорядных репрезентативных станций расположенных севернее 64° с. ш. Станции начали работать в разные годы, поэтому освещенность данными в разные периоды разная, лишь с 50-х годов работают все станции.

Колебания средней по региону среднегодовой и средних сезонных аномалий температуры воздуха (рис. 13) вполне объясняются колебаниями циркуляции атмосферы. В начале 20-го века, как отмечалось выше, наибольшими положительными отклонениями от средней отличалась долготная северная циркуляция, что и отразилось на температуре воздуха. В этот период наблюдалось похолодание, которое хорошо просматривается за год в целом, зимой и летом (особенно). В 1920-е-1950-е годы наблюдалось потепление (хорошо просматривается зимой и за год в целом); летом заметного потепления не наблюдалось. В 1960-е-1980-е годы среднегодовые, зимние и летние температуры колебались около нормы.

Потепление, начавшееся в 1980-х годах и продолжающее по настоящее время (долготная южная циркуляция преобладает, средиземноморские циклоны при этой циркуляции выходят на Русскую равнину, доходят до северных широт и вливаются в серию атлантических циклонов) хорошо просматривается на всех графиках (особенно зимой и за год в целом).

3.2. Колебания температуры воздуха в высоких широтах Западной Сибири

Для анализа изменения температуры воздуха в высоких широтах Западной Сибири были выбраны 22 длиннорядные репрезентативные станции, расположенные севернее 64° с.ш. в секторе 60° - 90° в.д. К сожалению, некоторые из них прекратили наблюдения в конце 20-го или начале 21 вв.

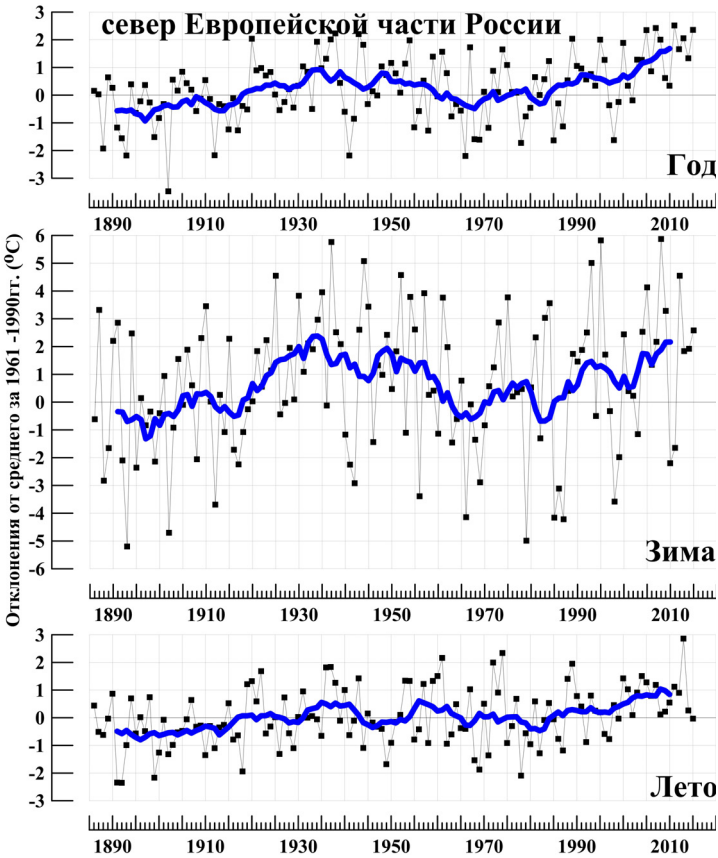

Рисунок 13. Колебания средней температуры воздуха по региону
север Европейской части России
Показаны отклонения от среднего за период 1961-1990 гг. и 11-летние скользящие средние (синие линии)

Размах колебаний среднегодовой и зимней температуры воздуха (рис. 14а) значительнее, чем на севере Европейской части России. Кроме похолодания 1886-1910 гг., наблюдалось похолодание в 1960-е-1980-е годы (просматривается как за год в целом, так зимой и летом). В летний сезон наблюдались две волны похолодания: в 20-30-е и 60-80 е годы. Первая волна связана с уменьшением в этот период продолжительности долготной северной циркуляции (рис. 4в и 5в), поскольку антициклоны летом способствуют повышению температуры. Вторая волна связана с уменьшением продолжительности долготной южной циркуляции. За год в целом и зимой наблюдается потепление в 1930-ых - 1940-ых гг. Потепление, начавшееся в 1980-ых годах, связано с ростом продолжительности широтной западной циркуляции, при которой происходит выход атлантических циклонов на север Западной Сибири. Оно по сегодняшний день остаётся самым значительным на этой территории. Многолетний ход годовой температуры воздуха в основном повторяет колебания температуры холодного периода, а начиная с 1960-ых -1970-ых годов заметно влияние тёплого полугодия.

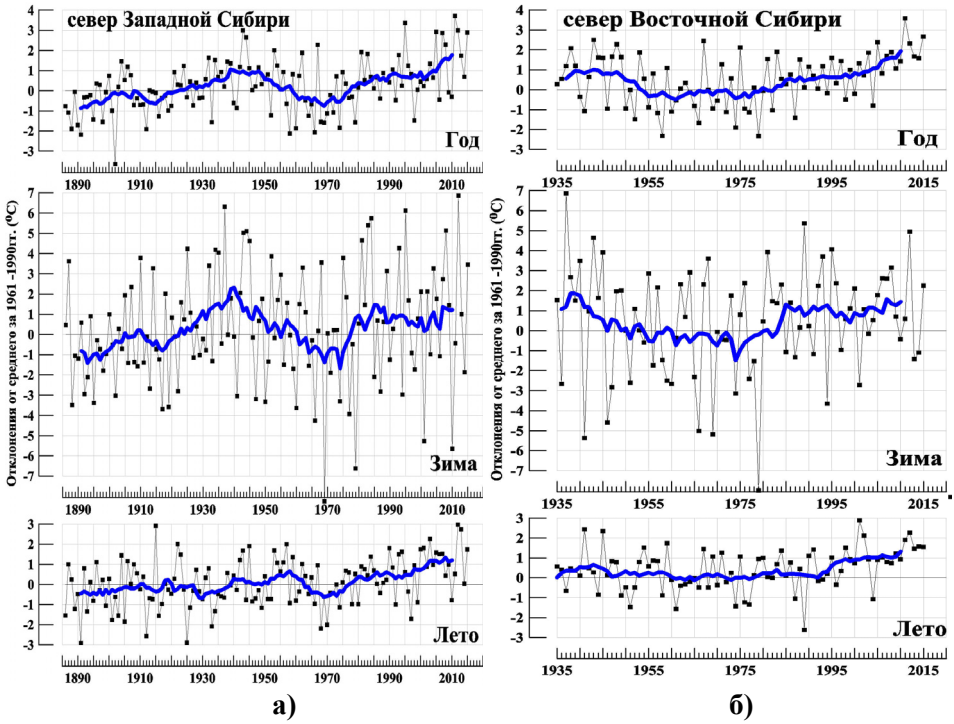

Рисунок 14. Тоже, что на рис.13, но по регионам: север Западной Сибири (а) и север Восточной Сибири (б)

3.3. Колебания температуры воздуха в высоких широтах Восточной Сибири

Для анализа изменения температуры воздуха в высоких широтах Восточной Сибири были выбраны 12 длиннорядных репрезентативных станций, расположенных севернее 64° с. ш. в секторе 90° - 120° в. д. В конце 20-го века прекратила наблюдения только одна станция (Ессей). Из-за более короткого ряда наблюдений нельзя судить о колебаниях температуры до 1934 г.

В 1930-1940-е годы (рис. 14б) средняя годовая, зимняя и летняя температуры воздуха превышают среднюю многолетнюю (при преобладающей широтной циркуляции). В 1950-1970-е средняя годовая температура колеблется в основном около средней многолетней (продолжительность широтных и долготной северной циркуляции в этом регионе около 140 дней в году). Летом заметно потепление в 1930-ые - 1940-ые годы; в 1950-ые-1980-ые годы колебания температуры были близки к норме; а с 1990-х – потепление (наиболее часто осуществляются долготная северная и широтная группы циркуляции).

3.4. Колебания температуры воздуха в высоких широтах Дальневосточного сектора

Для анализа изменения температуры воздуха в северных районах Дальнего Востока была выбрана 31 длиннорядная репрезентативная метеостанция, расположенная севернее 64° с. ш. в секторе 120° - 170° в. д.

В конце 19-го-начале 20-го века начались наблюдения на станциях: Кюсюр, Верхоянск, Среднеколымск, Якутск и Вилюйск. Остальные станции начали работу в конце 20-х – начале 40-х годов. В конце 20-го – начале 21-го вв. прекратили наблюдения 9 станций.

В начале наблюдений, в 1886-1920 гг. за год в целом (за счет зимы) наблюдалось похолодание (рис. 15а), потепление 1920-х - 1950-х годов за год в целом неярко выражено. Летом в 1910-ых и 1930-ых годах просматривается потепление. Современное потепление начинается в 1980-ых годах (при господстве и росте долготной южной циркуляции).

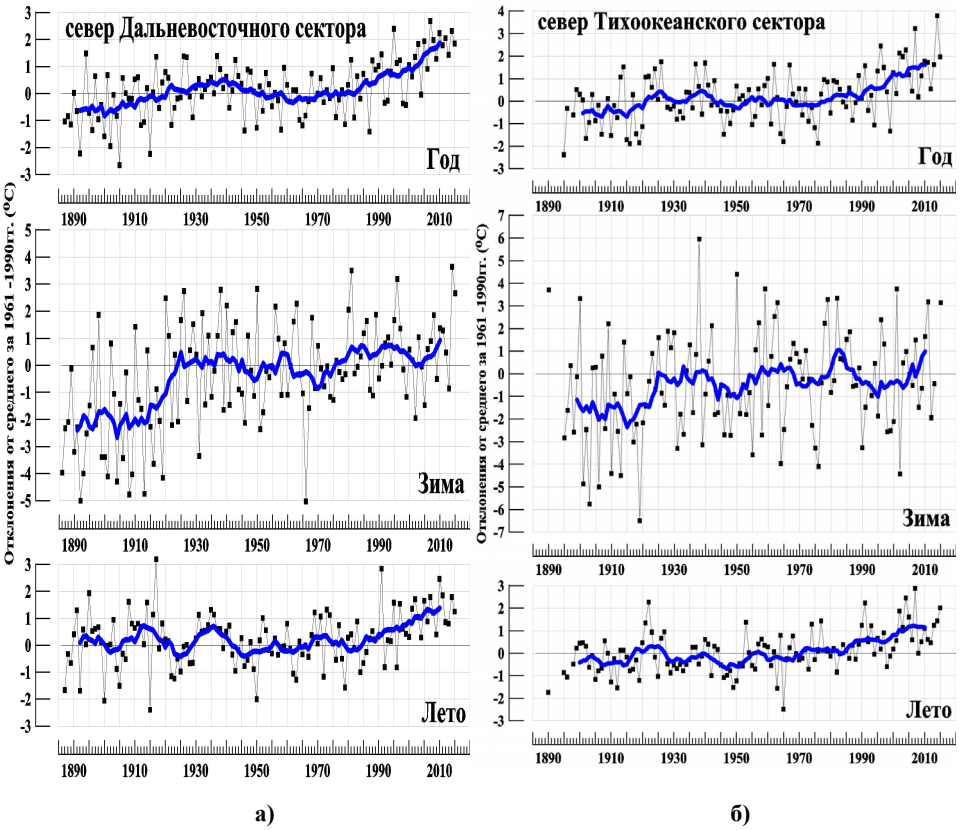

Рисунок 15. . Тоже, что на рис.13, но по регионам: север Дальнего Востока (а) и север Тихоокеанского сектора (б)

Многолетний ход годовой температуры воздуха до 1940-ых гг. во многом определяется холодным периодом, а начиная с 1980-ых очень заметно влияние тёплого полугодия.

Продолжительность долготной южной циркуляции в Дальневосточном секторе очень велика (в среднем 300 дней в году), и именно её колебания, скорее всего, определяют колебания температуры воздуха, коэффициент корреляции аномалии среднегодовой температуры воздуха с продолжительностью этой группы за период 1899-2014 гг. составляет 0.4.

3.5. Колебания температуры воздуха в высоких широтах Тихоокеанского сектора

Для анализа изменения температуры воздуха в северных районах Тихоокеанского сектора были выбраны 8 длиннорядных репрезентативных метеостанций, расположенных севернее 64° с. ш. и восточнее 170° в. д. В 1995 г. прекратили наблюдения станции Юлтин и Амгуэма.

Похолодание до 1920-х годов 20 века просматривается во все сезоны (особенно зимой). Просматривается также похолодание с 1940 по 1955 гг. (преобладающее влияние широтной циркуляции и некоторое увеличение продолжительности долготной северной циркуляции в этом секторе). Зимой также просматривается похолодание в 1970-ых годах и потепление в 1980-ых годах. С 1990-ых годов зимой наблюдается потепление. За год в целом и летом потепление начинается в 1970-ых гг. (при уменьшении широтной циркуляции и увеличении долготной северной циркуляции).

Многолетний ход годовой температуры воздуха во многом определяется теплым периодом, в 1930-ых-1970-ых гг. заметно влияние зимнего сезона.

В таблице 4 приведены коэффициенты корреляции среднегодовой температуры воздуха с продолжительностью групп циркуляции в каждом секторе по циркуляционным эпохам и периодам внутри последней эпохи. Цветом выделены корреляции, значимые на 5%-ом уровне значимости.

Европейский сектор

Выделяются отрицательные коэффициенты корреляции среднегодовой температуры воздуха с группой циркуляции долготная северная в сочетании с долготной южной, при которой в тылу южных циклонов происходит арктическое вторжение на тот же сектор и формируется блокирующий антициклон. В период 1899-1915 гг. коэффициент корреляции составил -0.3; в 1915-1956 гг. -0.6 (значим на 5% уровне); в 1957-1969 гг. -0.3. В период 1981-1997 гг. прослеживается отрицательная связь среднегодовой температуры воздуха с долготной северной циркуляцией (арктическими вторжениями), коэффициент корреляции -0.3, а в 1998-2014 гг. проявилась положительная связь с широтной западной циркуляцией, атлантическими циклонами: коэффициент корреляции 0.4.

Западносибирский сектор

На севере Западной Сибири отмечается положительная корреляция температуры с широтной западной циркуляцией (атлантическими циклонами) в 1899-1915 гг. 1970-1980 гг. Коэффициенты корреляции 0.5 и 0.7 соответственно и значимы на 5%-ом уровне значимости. В 1970-1980 гг. отмечается также положительная корреляция с долготной южной циркуляцией (коэффициент корреляции 0.5) и отрицательная с долготной северной (значимый коэффициент корреляции -0.9). В 1981-1997 и 1998-2014 гг. отмечается положительная связь среднегодовой температуры с меридиональной южной циркуляцией (Коэффициент корреляции в оба периода 0.3).

Восточносибирский сектор

Совместное влияние на повышение температуры на севере Восточной Сибири в 1970-1980 гг. оказали рост суммарной годовой продолжительности

широтной западной циркуляции (значимый на 5%-ом уровне коэффициент корреляции 0.8) и уменьшение суммарной годовой продолжительности долготной северной (значимый коэффициент корреляции -0.6).

Таблица 4. Корреляции среднегодовой температуры воздуха с продолжительностью групп циркуляции в секторах севера России

	1899-2014	**1989-1915**	**1916-1956**	**1957-2014**	**1957-1969**	**1970-1980**	**1981-1997**	**1998-2014**
Север Европейского сектора								
шз	0.0	0.1	0.2	-0.2	0.2	-0.2	0.2	0.4
дс	-0.1	0.3	0.2	-0.2	0.2	0.0	-0.3	0.0
дю	0.1	-0.1	0.0	0.1	0.0	-0.2	0.2	-0.5
дс+дю	-0.1	-0.3	-0.6	0.1	-0.3	0.3	0.0	0.2
Север Западной Сибири								
шз	0.2	0.5	0.1	0.1	0.2	0.7	-0.3	-0.2
дс	-0.1	-0.1	0.2	-0.1	-0.1	-0.9	0.4	-0.1
дю	-0.1	-0.3	-0.4	0.1	-0.3	0.5	0.3	0.3
Север Восточной Сибири								
шз	0.1	-	0.2	0.0	0.1	0.8	0.0	-0.2
дс	0.0	-	-0.2	0.0	-0.2	-0.6	0.3	0.6
дю	-0.1	-	-0.2	0.0	0.2	-0.4	-0.4	-0.6
дс+дю	0.0	-	0.0	0.1	-0.4	-0.3	0.4	0.2
Север Дальневосточного сектора								
шз	-0.3	0.2	0.0	-0.3	0.3	-0.3	-0.3	-0.1
дю	0.4	0.1	0.0	0.3	-0.2	0.4	0.2	-0.3
дс+дю	-0.2	-0.3	-0.1	-0.3	-0.1	-0.5	0.4	0.2
Север Тихоокеанского сектора								
шз	-0.3	0.2	0.1	-0.2	0.0	0.3	-0.2	0.5
дс	0.2	-0.4	-0.2	0.3	0.0	0.2	0.4	-0.2
дю	0.3	0.1	0.1	0.1	0.0	-0.6	-0.1	-0.4
дс+дю	0.1	0.3	-0.3	-0.1	0.0	-0.2	0.2	0.0

Дальневосточный сектор

Повышение температуры на севере Дальнего востока связано с увеличением продолжительности долготной южной циркуляции: коэффициент корреляции за весь период (1899-2014) составил 0.4, а за вторую половину периода (1957-2014) 0.3.

Тихоокеанский сектор

За период 1899-2014 гг. коэффициент корреляции аномалии среднегодовой температуры воздуха с суммарной годовой продолжительностью долготной южной циркуляцией над Тихоокеанским сектором составил 0.3. В периоды 1970-1980 и 1998-2014 гг. повышение температуры связано с увеличением продолжительности широтной западной циркуляции (коэффициенты корреляции 0.3 и 0.5 соответственно и за период 1998-2014 гг.).

3.6. Колебания годовой амплитуды температуры воздуха

Важным показателем колебаний климата служит годовая амплитуда температуры воздуха. В работе она рассчитана как разность между среднемесячной температурой самого тёплого и самого холодного месяца в году. В Верхоянске самым холодным месяцем в большинстве лет за весь период наблюдений является январь, в Хатанге, Архангельске и Дудинке – январь также самый холодный месяц больше, чем в половине лет всего периода наблюдений. В Дудинке больше чем в половине лет самым холодным месяцем является февраль, Выбраны по одной станции с наиболее длинным рядом наблюдений в каждом секторе: Архангельск – в Европейском, Дудинка – в Западносибирском, Хатанга – в Восточносибирском, Верхоянск – в Дальневосточном, Марково – в Тихоокеанском (рис. 16).

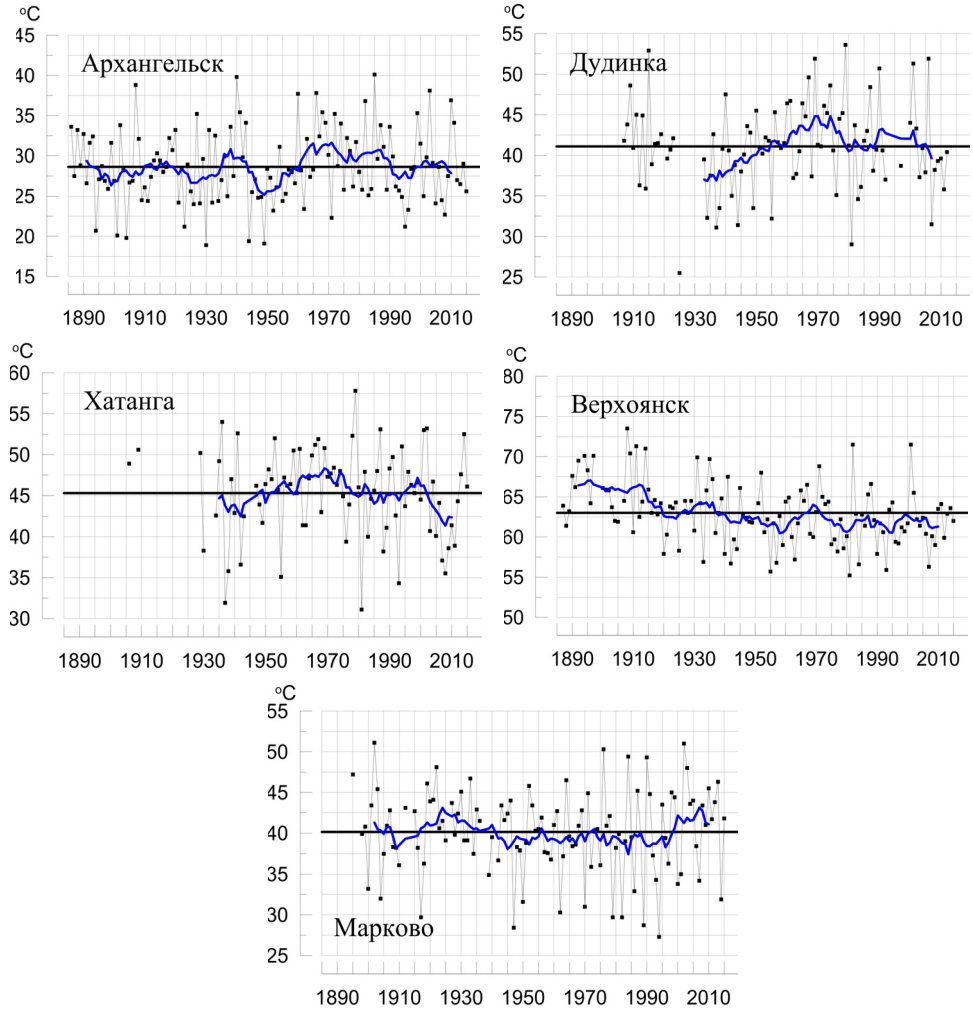

Рисунок 16. Годовая амплитуда температуры воздуха на станциях в разных секторах севера России

Показаны 11-летние средние (синие линии) и многолетние средние годовой амплитуды (жирные черные линии)

В периоды потепления, приходящиеся на рост продолжительности циклонической циркуляции, зима становится тёплой, а лето прохладным, годовая амплитуда температуры уменьшается. В периоды роста продолжительности антициклонической циркуляции, напротив, зима оказывается морозной, а лето жарким, годовая амплитуда увеличивается.

В Архангельске (Европейский сектор), средняя многолетняя амплитуда составляет 28.6^{o}C, период наибольшего увеличения годовой амплитуды температуры воздуха относится к 1960-ым-1980-ым годам прошлого века. В начале 21-го века наблюдается уменьшение годовой амплитуды температуры воздуха.

В Дудинке (Западносибирский сектор) средняя многолетняя амплитуда составляет 41.1^{o}C - антициклоническая циркуляция более развита, чем в Европейском секторе. Увеличение годовой амплитуды температуры воздуха также относится к 1970-ым годам прошлого века. В начале 21-го века наблюдается уменьшение годовой амплитуды температуры воздуха.

В Хатанге (Восточносибирский сектор) средняя многолетняя амплитуда составляет 45.3^{o}C. Увеличение годовой амплитуды температуры воздуха также относится к 1960-ым, и к 1990-ым годам. В начале 21-го века наблюдается значительное уменьшение годовой амплитуды температуры воздуха, в настоящее время наметилась тенденция к ее увеличению.

В Верхоянске (Дальневосточный сектор) средняя многолетняя амплитуда составляет 63.0^{o}C, антициклоническая циркуляция сильно развита. С 1930-ых годов наблюдается постепенное уменьшение годовой амплитуды температуры воздуха.

В Марково (Тихоокеанский сектор) средняя многолетняя амплитуда составляет 40.2^{o}C. Увеличение годовой амплитуды температуры воздуха происходит до 1920-х гг,, а также после 1990-ых годов.

Таким образом, в последние годы происходит увеличение годовой амплитуды в двух секторах: Восточносибирском и Тихоокеанском.

3.7. Оценки линейного тренда на территории России в различные циркуляционные эпохи

На рис.17 показано географическое распределение коэффициента линейного тренда в различные циркуляционные эпохи (1899-1915 гг., 1916-1956 гг., 1957-2015 гг.).

<u>Период оценки тренда: 1899-1915 гг. (рис. 17а)</u> Этот период соответствует меридиональной северной циркуляционной эпохе. В России в это время преобладала циркуляция с одним блокирующим процессом (рис. 6), температура воздуха зависела от того, на какой район и в какой сезон придётся блокирующий процесс.

В целом за год значительное понижение температуры наблюдалось в центральных районах Сибири, в центре и на востоке Дальневосточного ФО, наиболее значительное понижение температуры наблюдалось в горах Дальнего Востока и на Чукотке (до -1°C/10 лет). Рост температуры наблюдался в центральных и северных районах ЕЧР и в северных районах АЧР (западнее течения Лены).

.

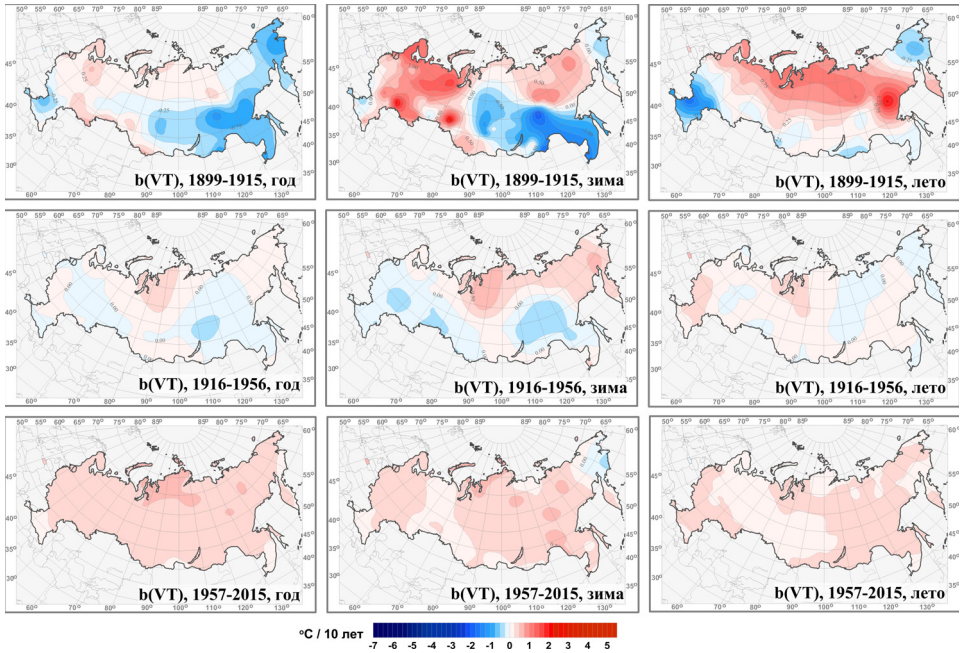

Рисунок 17. Средняя скорость изменения среднегодовой и средних сезонных температур (зима, лето) приземного воздуха на территории России по данным наблюдений (°C/10 лет) за периоды: 1899-1915 (а), 1916-1956 (б), 1957-2015 (в)

Зимой рост температуры наблюдался на большей части ЕЧР, в Западной Сибири (до 1.5°C/10 лет), в Якутии (до 1°C/10 лет). Зимой значительное понижение температуры (до -2°C/10 лет) наблюдалось в центре Сибири, в южных районах Дальневосточного ФО.

Летом на севере РФ (кроме Чукотки) наблюдался рост температуры (до 1°C/10 лет), а понижение температуры наблюдалось в южных районах страны (до -1.5°C/10 лет) и на Чукотке (до -0.5°C/10 лет).

Период оценки тренда: 1916-1956 гг. (рис. 17б) Этот период соответствует зональной циркуляционной эпохе, когда преобладала зональная (без блокирующих процессов) циркуляция или наблюдались нарушения зональности (один блокирующий процесс на полушарии). В России преобладала широтная циркуляция. Только в 50-60-е годы стала развиваться циркуляция с двумя блокирующими процессами над Россией.

В целом за год понижение температуры наблюдалось в центральных районах страны (не менее -0.25°C/10 лет), рост температуры (более 0.25°C/10 лет) наблюдался в районе Обской губы и на Таймыре.

Зимой на севере страны наблюдался рост температуры (до 0.5°C/10 лет на Таймыре), в южных районах понижение температуры (до -0.25°C/10 лет в центре ЕЧР и в верхнем течении Лены).

Летом на большей части страны изменения температур незначительные (-0.25°C/10 лет – 0.25°C/10 лет), лишь на юго-западе страны и в районе Обской губы температуры растут со скоростью до 0.4°C/10 лет.

Период оценки тренда: 1957-2015 гг. (рис. 17в) Этот период соответствует меридиональной южной циркуляционной эпохе на полушарии. В России также преобладают выходы южных циклонов.

В целом за год, в зимний и летний сезоны практически на всей территории страны наблюдался слабый рост температуры воздуха.

Эту циркуляционную эпоху можно разбить на следующие периоды: 1957-1969 гг. – велико влияние меридиональной северной циркуляции; 1970-1980 гг. – зональная, меридиональная северная и меридиональная южная циркуляции были практически равноправны; 1981-1997 – рост меридиональной южной циркуляции; С 1998 г. – убывание продолжительности меридиональной южной циркуляции и рост меридиональной северной циркуляции. В России в 1957-69 гг. преобладала циркуляция с одним и двумя блокирующими процессами, в 1970-80 гг с двумя блокирующими процессами и долготная южная, с 1981 г. растёт и господствует долготная южная, но с 1998 г. начался рост циркуляции с двумя блокирующими процессами над Россией. Для этих периодов также были посчитаны коэффициенты линейного тренда на станциях, полученные карты приведены на рис.18.

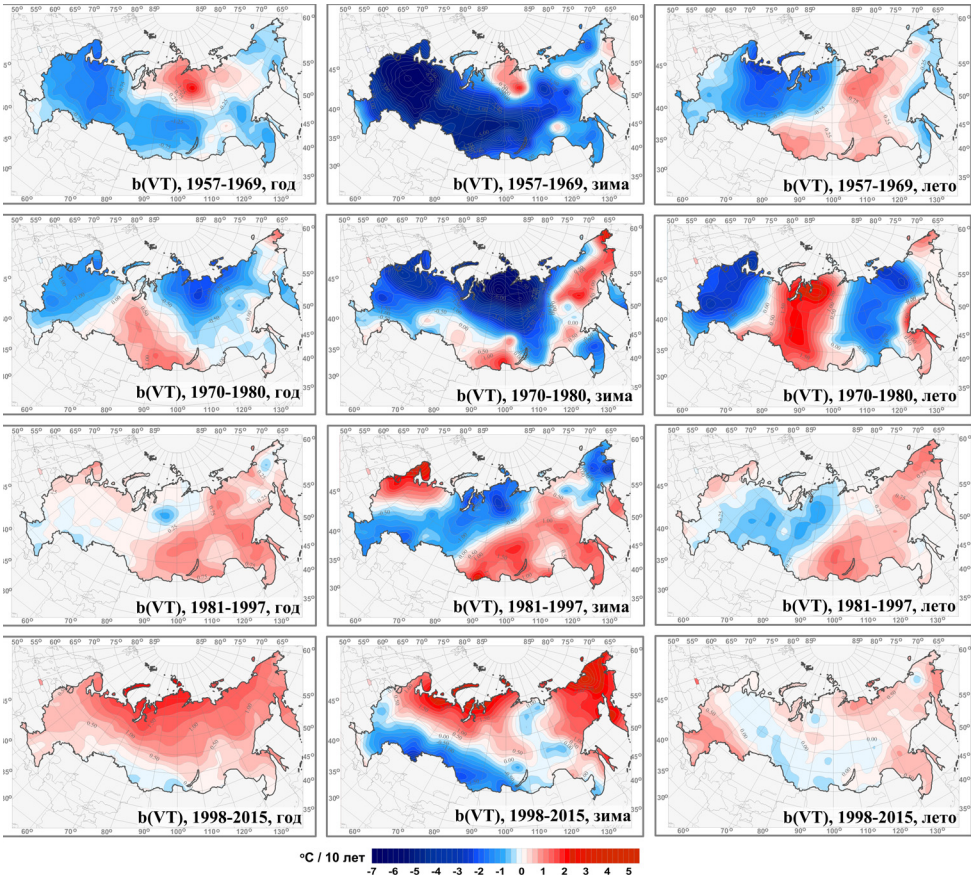

Рисунок 18. Средняя скорость изменения среднегодовой и средних сезонных температур (зима, лето) приземного воздуха на территории России по данным наблюдений за 1957-1969 (а), 1970-1980 (б), 1981-1997 (в), 1998-2015 (г) в °C/10 лет

Период оценки тренда: 1957-1969 гг. (рис. 18а). Наблюдалось значительное понижение температуры воздуха (зимой особенно, до -6°С/10 лет на ЕЧР). Летом выделяются области, где температуры понижаются (ЕЧР до -2.5°С/10 лет), Западная Сибирь, побережье морей Тихого океана); и области, где температуры растут (юг и восток АЧР до 1°С/10 лет).

Период оценки тренда: 1970-1980 гг. (рис. 18б). Большие области понижения температуры наблюдаются как зимой, так и летом. Летом наблюдается меридиональное разделение территории на области, где температуры растут (в междуречье Оби и Енисея до 3°С/10 лет) или понижаются (в ЕЧР; а также в Якутии и горах Забайкалья, до -2.5°С/10 лет).

Период оценки тренда: 1981-1997 гг. (рис. 18в). Зимой наблюдаются большие области, где температуры понижаются (юг ЕЧР, Западная Сибирь, Таймыр; а также Чукотка) со скоростью до -2.5°С/10 лет; и большие области, где температуры растут (северо-запад страны; а также район Байкала, Якутия, Приамурье и Приморье, Камчатка, до 3°С/10 лет). Летом также наблюдаются большие области, где температуры понижаются (большая часть ЕЧР, Западная и Средняя Сибирь – до -0.5°С/10 лет); и где растут (восточные районы страны, до 1°С/10 лет).

Период оценки тренда: 1998-2015 гг. (рис. 18г) Зимой наблюдается рост температуры на севере страны (до 4°С/10 лет), на юге происходит понижение температуры (до -3°С/10 лет). Летом температуры меняются не столь значительно: температуры возрастают на юге ЕЧР и в восточных районах страны (до 1.5°С/10 лет), понижаются – на севере ЕЧР и на юге Сибири (скорость понижения до -0.25°С/10 лет).

Выводы

1. Происходящие колебания температуры во многом связаны с колебаниями общей циркуляции атмосферы и изменением продолжительности тех процессов, с которыми связано повышение или понижение температуры воздуха в конкретном районе в определённом сезоне.

2. Современная тенденция температуры воздуха Северного полушария – продолжающееся повышение температуры после некоторой стабилизации 2000-ых годов Это, по-видимому, связано с совместным воздействием высокой повторяемости южных циклонов (выносят тёплый воздух низких широт в умеренные и высокие широты) и высокой повторяемостью меридиональной северной циркуляции, что летом приводит к повышению температуры за счет быстрого прогрева над континентом сухого воздуха в арктических антициклонах.

3. С 1998 г. на Северном полушарии уменьшение суммарной годовой продолжительности выходов южных циклонов сопровождается быстрым ростом (6.4 дня в год) продолжительности блокирующих процессов преимущественно на континентах зимой и летом.

4. На севере России колебания температуры воздуха согласуются с изменением продолжительности групп циркуляции в соответствующих секторах, что подтверждается наличием значимых коэффициентов корреляции.

5. В настоящее время потепление на севере России продолжается, но при этом разность между средней температурой самого тёплого и самого холодного месяца (на большинстве рассматриваемых станций это январь) в году (т. е. годовая амплитуда температуры) в Европейском, Западносибирском и Дальневосточном секторах севера России уменьшается, а в Восточносибирском и Тихоокеанском растёт.

6. В циркуляционную эпоху, когда преобладала меридиональная северная циркуляция, а продолжительность зональной циркуляции была близка к многолетней норме (1899-1915 гг.) понижение температуры зимой происходило в центре Сибири и на Чукотке, где в основном осуществлялись блокирующие процессы в этот период. С блокирующими процессами летом связан рост температуры в северных районах страны.

7. В эпоху, когда преобладала широтная (без блокирующих процессов) циркуляция (1916-1956 гг.) на севере страны, где проходили пути циклонов, наблюдался рост температуры (не более 0.5^{o}C/10 лет). Понижение температуры зимой происходило в Сибири, где формируется сибирский антициклон. Изменения температуры летом незначительны.

8. В эпоху, когда преобладает долготная южная циркуляция (1957-2015 гг.), рост температуры (не более 0.25^{o}C/10 лет) наблюдается во все сезоны, что связано с преобладающим выходом южных циклонов.

9. В современную циркуляционную эпоху, в периоды, когда продолжительность долготной северной циркуляции с одним и двумя блокирующими процессами над Россией была выше средней многолетней: (1957-1969 гг.) и когда она чередовалась с долготной южной (1970-1980 гг.), зимой на большой территории страны наблюдалось значительное понижение температуры (до -6°C/ 10 лет). Летом наблюдались большие области с понижением температуры и большие области с ростом температуры.

10. В период 1981-1997 (рост продолжительности долготной южной циркуляции) зимой (до 3°C/10 лет) и летом (до 1°C/10 лет) наблюдался рост температуры на юге Сибири, связанный с выходами южных циклонов.

11. В период 1998-2015 год (уменьшение продолжительности долготной южной циркуляции и увеличение продолжительности долготной северной циркуляции) за год в целом происходит рост температуры; при этом наблюдаются области, где температуры понижаются зимой (до -3°C/ 10 лет в южных районах) и летом (до -0.5^{o}C/ 10 лет) и где температуры растут. При этом понижение зимних и повышение летних температур связано с развитием антициклонической циркуляции, а повышение зимних и понижение летних – с циклонической.

12. Происходящие изменения требуют внимательного отношения к их возможным хозяйственным последствиям. Увеличение продолжительности антициклонической циркуляции летом чревато установлением жаркой сухой погоды, лесными и торфяными пожарами, увеличением глубины протаивания многолетнемёрзлых пород в летний период. Зимние морозы требуют достаточного запаса топлива. Увеличение годовой амплитуды температуры приводит к авариям на трубопроводах, особенно зимой, а также к повреждению

зданий и дорожного покрытия. Летняя жара и зимние морозы отрицательно сказываются на здоровье людей.

13. Рост интенсивности циклонической циркуляции в переходные сезоны увеличивает вероятность возникновения сильного ветра, ливней, гроз, паводков и наводнений, волнений на морях и крупных озёрах, а в предзимье и предвесенье – гололёдных явлений, что и отмечается в последние годы.

Список литературы

Анисимов М.В., Бышев В.И., Залесный В.Б., Мошонкин С.Н. 2012. Междекадная изменчивость термической структуры вод Северной Атлантики и её климатическая значимость. – Доклады Академии наук, т. 443, № 3, с. 1-5.

База климатических данных Ин-та глобального климата и экологии. Режим доступа: http://www.climatechange.su

Бышев В.И., Кононова Н.К., Нейман В.Г., Романов Ю.А. 2004. Количественная оценка параметров климатической изменчивости системы океан – атмосфера. – Океанология, т. 44, № 3, с. 341-353.

Бышев В.И., Нейман В.Г., Романов Ю.А. 2005. О разнонаправленности изменений глобального климата на материках и океанах. – Доклады Академии Наук, т. 400, № 1, с. 98-104.

Дзердзеевский Б.Л. 1956. Проблема колебаний общей циркуляции атмосферы и климата. – В кн.: А.И. Воейков и современные проблемы климатологии. – Л., Гидрометеоиздат, с. 109-122.

Дзердзеевский Б.Л., Курганская В.М., Витвицкая З.М. 1946. Типизация циркуляционных механизмов в северном полушарии и характеристика синоптических сезонов. – В сб.: Тр. н.-и. учреждений Гл. упр. гидрометеорол. службы при Совете Министров СССР. Сер. 2. Синоптическая метеорология; вып. 21. Центральный институт прогнозов. – М., Л., Гидрометиздат, 80 с.

Кононова Н.К. 2015. Колебания циркуляции атмосферы Северного полушария в XX – начале XXI века. Режим доступа: www.atmospheric-circulation.ru

Shilovtseva O.A., Kononova N.K. and Romanenko F.A.2011. Climate Change in the Arctic Regions of Russia. – In: Climate Change Adaptation: Ecology, Mitigation and Management ISBN 978-1-61122-764-2. Editor: Adam L. Jenkins. – Nova Science Publishers, Inc. pp. 30-58.

Статья поступила в редакцию 16.05.2017 г. После переработки: 30.06.2017 г.