

Влияние атмосферной циркуляции на температурный режим Сибири

В.П. Горбатенко¹, И.И. Ипполитов², М.В. Кабанов²,
С.В. Логинов², Н.В. Поднебесных², Е.В. Харюткина^{2*}

¹НИИ ВН при ТПУ

634050, г. Томск, пр. Ленина, 2а

²Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН

634021, г. Томск, пр. Академический 10/3

Поступила в редакцию 4.10.2010 г.

Для территории Сибири, ограниченной 50–70° с.ш. и 60–110° в.д., за период современного глобального потепления 1976–2005 гг. исследованы изменчивости поля температуры, циклонической активности, а также влияние циркуляции на аномалии температуры. Показано, что тренд повышения среднегодовой температуры на территории за указанный период составил 0,36 °C/10 лет с более высокими значениями в отдельные календарные месяцы. Общее количество циклонов снижалось со скоростью 1,4 события/10 лет, причем это снижение обусловлено уменьшением количества западных и южных циклонов, тогда как число северных циклонов возрастало. Обсуждается механизм, объясняющий временную динамику циклонов различных направлений изменениями меридионального температурного градиента.

Ключевые слова: циклоническая активность, атмосферная циркуляция, телеконнекционные индексы, температура воздуха, территория Сибири; cyclonic activity, atmospheric circulation, teleconnection indices, air temperature, the territory of Siberia.

Введение

Изменчивость температурного поля Сибирского региона во второй половине XX в. рассматривалась в [1–4]. В этих работах показано, что в период 1975–2005 гг. тренд повышения средней годовой температуры на азиатской территории России составил 0,34 °C/10 лет, достигая в ее восточных частях значений 0,46 °C/10 лет. Еще большие значения трендов наблюдаются для средних месячных температур: так, для марта значение тренда составило 0,65 °C/10 лет [2].

Изменчивость температурного поля обусловлена многими факторами, среди которых важную роль играет атмосферная циркуляция. В исследованиях влияния атмосферной циркуляции на климат используются разные подходы к классификации макропроцессов, отвечающих различным по времени и пространству стадиям развития (формам) циркуляции [5–9]. Для количественной оценки интенсивности атмосферной циркуляции вводятся количественные индексы, при определенных значениях которых на больших пространствах наблюдаются определен-

ные типы макропроцессов. Временные ряды таких индексов служат основой для установления статистических связей между циркуляцией и различными метеорологическими величинами. Большая группа индексов, описывающих атмосферную циркуляцию, основана на разложении полей геопотенциала поверхности 700 гПа по естественным ортогональным функциям и выделении главных мод изменчивости. К числу таких индексов относятся индексы Северо-Атлантического колебания (NAO), Тихоокеанско-Северо-Американского колебания (PNA) и ряд других, рассмотренных в работе Barnston, Livezey [15].

Связь атмосферной циркуляции с температурными полями в приземном слое атмосферы для Северного полушария исследована рядом авторов. Так, используя индексы, определенные по классификации Дзердзеевского, Гройсман в работе [10] оценил связи повторяемости форм атмосферной циркуляции со средней по Северному полушарию приземной температурой воздуха. Оценки показали, что современные изменения глобального термического режима связаны с атмосферной циркуляцией.

Рубинштейн и Григорьева в работе [11], исследовав связь между температурой воздуха Северного полушария и повторяемостью типов атмосферной циркуляции в многолетнем разрезе, показали, что влияние циркуляции на температуру воздуха значительно, но она сильно сглаживается ролью других факторов локального характера (условиями рельефа, наличием или отсутствием снежного покрова и др.).

* Валентина Петровна Горбатенко (tsara@mail.tomsknet.ru); Иван Иванович Ипполитов (ceo@imces.ru); Михаил Всеволодович Кабанов (kabanov@imces.ru); Сергей Владимирович Логинов (ceo@imces.ru); Наталия Владимировна Поднебесных (podnebesnychnn@rambler.ru); Елена Валерьевна Харюткина (ceo@imces.ru).

Подобная работа была проведена Савиной и Хмелевской [12], которые пришли к выводу, что тенденция элементарных циркуляционных механизмов может служить хорошим индикатором и объективным показателем многолетних колебаний атмосферной циркуляции и климата. Бышев с соавт. [13, 14] с использованием классификации Дзердзеевского исследовали современные климатические изменения в системе «океан — атмосфера» и показали, что во второй половине XX в. в Северном полушарии начали активизироваться процессы меридиональной южной группы циркуляции при одновременном снижении меридиональных северных процессов. При этом положительные аномалии температуры приземного воздуха возникают в фазы развития меридиональных южных типов циркуляции, а отрицательные — при меридиональных северных процессах.

Попова и Шмакин [16, 17] проанализировали вариации средней температуры зимы на территории России за 1951–2004 гг. и многолетний ход индексов атмосферной циркуляции Северного полушария, полученных путем разложения поля геопотенциала 700 гПа по естественным ортогональным составляющим. Авторами показано, что в целом за исследуемый период наибольшая доля вариаций средней за зиму температуры объясняется механизмами блокирования зонального переноса, описываемого индексом SCAND [15], в то время как индекс NAO занимает второе место по вкладу в вариации температуры.

Важными структурами общей циркуляции атмосферы являются циклоны и антициклоны. Они способствуют обмену теплом, влагой, количеством движения в атмосфере, определяют условия погоды и, в конечном счете, способствуют формированию климата. Внимание к расчетам циклонической и антициклонической активности в различных районах земного шара существенно возросло с появлением глобальных баз данных реанализов, которые позволили создать различные версии автоматического трекинга циклонов и антициклонов, а также определять, помимо частотных характеристик, такие характеристики, как интенсивность вихрей и время их пребывания в выделенном пространственном районе. Исследование таким способом циклонической активности в Северном полушарии с использованием реанализа NCEP/NCAR выполнено Гулёвым с соавт. [18, 19]. Авторы этой работы выявили вековые и декадные изменения частоты циклонов, их интенсивности, времени жизни и скорости углубления и изменчивость этих характеристик в различных географических областях и, в частности, на западе Тихого океана и в Северной Атлантике. Ioannidou, Yau [20] на базе данных реанализа ERA-40 исследовали характеристики антициклонов в зимние месяцы в Северном полушарии и показали, что области образования зимних антициклонов во внетропических широтах связаны с континентами Северной Америки и Евразии. К сожалению, отметим, что авторы работ [18–20] ограничиваются изучением пространственно-временных характеристик внетропических вихрей без выявления связей изменчивости вихревых характеристик с изменчивостью температурных полей в тех

регионах, для которых проводятся соответствующие исследования.

В настоящей статье дан анализ изменчивости характеристик циклонов для региона, ограниченного координатами 50–70° с.ш., 60–110° в.д. и включающего Западную Сибирь и часть Восточной Сибири для интервала времени 1976–2006 гг., а также установлены статистические связи между температурным режимом и циклонической активностью.

Исходные данные и методика анализа

Для вычисления полей температуры и давления использовались ежесуточные данные наблюдений на 169 станциях, расположенных в выбранном районе (центр распределения данных NOAA, ftp://ftp.cdc.noaa) за 1976–2006 гг. Выбор этого временного интервала продиктован тем, что именно с середины 70-х гг. отмечен ускоренный рост глобальной температуры приземного воздуха, продолжающийся и по настоящее время.

По суточным значениям рассчитывались средние месячные значения климатических характеристик. Так как данные в силу различных причин содержат пропуски, то расчет средних месячных величин проводился для тех месяцев, для которых количество пропусков в данных (за 1 мес) не превышало 5 сут. Далее, для каждой станции по средним месячным температурам вычисляли их средние годовые значения и тренды. Тренды находили для рядов средних месячных величин с пропусками не более 2 лет на 31-летнем интервале.

Для устранения влияния пространственной неоднородности местоположения метеорологических станций проводилась пространственная интерполяция рассчитанных средних годовых значений величин и их трендов на сетку $1 \times 1^\circ$ по алгоритму Крайгинга. При построении оценок, характеризующих пространственное распределение какой-либо величины по территории, проводилась их коррекция на площадь, вызванная тем обстоятельством, что при движении к северу уменьшается площадь ячейки сетки. По скорректированным значениям рассчитанных величин проводились вычисления выборочной плотности вероятности $p_x(x)$ с последующим расчетом выборочной функции распределения $F_x(x)$. Объем выборки составлял 890 узлов. В качестве характеристики средней величины выборки использовалась оценка по медиане функции распределения $F_x(x)$. Временные ряды определенных таким образом средних значений использовались далее в оценке корреляционных связей с характеристиками циклонов и антициклонов и с некоторыми индексами, описывающими глобальную циркуляцию. Оценивание параметров линейной регрессии и их стандартных ошибок σ_{tr} по уровню 0,95 проводили по общепринятой методике [1].

В качестве индексов, описывающих циклоническую активность, использовались: n_z — число циклонов, проходящих над территорией, P_z — давление в центрах циклонов в стадии максимального развития. Кроме того, фиксировались направления,

с которых циклоны входили на рассматриваемую территорию. Эти характеристики были получены при последовательной обработке приземных синоптических карт в сроки 0, 6, 12, 24 ВСВ (Всемирное скоординированное время) за 1976–2006 гг.

Характеристики температурного режима территории

На рис. 1 представлены выборочные функции распределения F для средних годовых значений температуры и трендов средней годовой температуры.

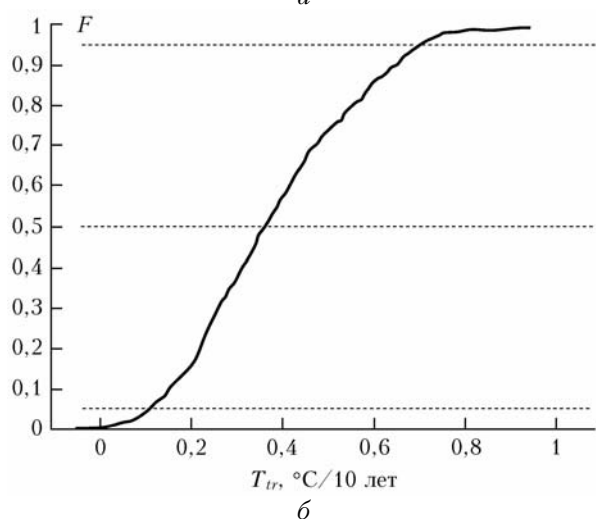
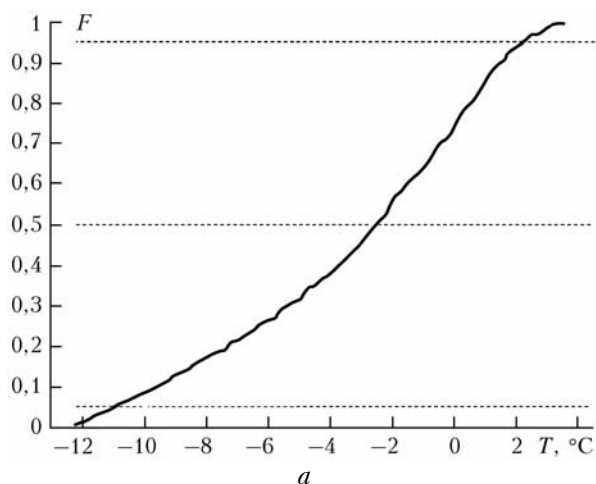


Рис. 1. Выборочные функции распределения F для средних годовых температур (а) и для трендов средних годовых температур (б)

Из рис. 1, а следует, что средние годовые температуры на рассматриваемой территории меняются от -12 до $+2$ °С, среднее по медиане значение температуры составляет $-2,7$ °С. Согласно рис. 1, б положительные тренды средней годовой температуры наблюдаются практически на всей рассматриваемой территории. Среднее по территории значение тренда средней годовой температуры составило $0,36$ °С/10 лет, следовательно, за 1976–2006 гг. температура приземного воздуха повысилась на $1,1$ °С.

Интерквартильный размах показывает, что на половине азиатской территории России (АТР) величина тренда средней годовой температуры находится в диапазоне $0,22$ – $0,50$ °С/10 лет.

Расчеты, подобные указанным выше, были проделаны для каждого календарного месяца года. Полученные результаты приведены в табл. 1.

Таблица 1

Годовой ход значений температур и их трендов

Месяц	\bar{T} , °С	$\sigma\bar{T}$, °С	\bar{T}_{tr} , °С/10 лет	$\sigma\bar{T}_{tr}$, °С/10 лет
Январь	–22,2	5,86	0,19	0,53
Февраль	–19,7	5,30	0,83	0,50
Март	–10,8	4,94	0,77	0,34
Апрель	1,8	5,28	0,01	0,41
Май	6,6	4,66	0,73	0,27
Июнь	14,2	3,13	0,30	0,25
Июль	17,5	1,99	0,29	0,30
Август	14,1	1,91	0,21	0,28
Сентябрь	6,9	2,17	0,01	0,16
Октябрь	–1,7	3,64	0,60	0,30
Ноябрь	–12,5	5,40	–0,26	0,51
Декабрь	–19,4	5,64	0,04	0,32
Год	–2,7	4,07	0,36	0,18

Примечание. \bar{T} °С, \bar{T}_{tr} °С/10 лет – усредненные по АТР значения средних месячных температур и их трендов; $\sigma\bar{T}$ °С, $\sigma\bar{T}_{tr}$ °С/10 лет – соответствующие среднеквадратические отклонения. Жирным шрифтом выделены величины трендов, значимые по уровню 0,05.

Из табл. 1 видно, что усредненные по территории средние месячные температуры изменяются от $-22,2$ (январь) до $17,5$ °С (июль). Усредненные значения трендов температуры положительны для всех месяцев, за исключением ноября. Значимые по уровню 0,05 величины трендов отмечаются в феврале ($0,83$ °С/10 лет), марте ($0,77$ °С/10 лет), мае ($0,73$ °С/10 лет), июне ($0,30$ °С/10 лет) и октябре ($0,60$ °С/10 лет).

Связь глобальной атмосферной циркуляции и температурного поля

При описании атмосферной циркуляции в настоящей статье использовались некоторые телеконнекционные индексы, характеризующие основные процессы циркуляции Северного полушария. Это индексы Северо-Атлантического (NAO) и Арктического (АО) колебаний, Скандинавский индекс (SCAND), Полярно-Евразийский индекс (POL), индекс Южного колебания (SOI). Средние месячные значения этих индексов привлекались из ресурсов [21, 22]. В качестве дополнительного индекса использовались ряды усредненного по территории давления воздуха (SLP), полученные по описанной выше методике с применением данных наблюдений за приземным давлением воздуха на станциях. Результаты корреляции между температурой и телеконнекционными индексами показаны в табл. 2.

Таблица 2

Корреляции между температурой и отдельными телеконнекционными индексами

Месяц	SCAND	NAO	AO	POL	SOI	SLP
Январь	-0,56	0,51	0,47	0,42	-0,37	-0,47
Февраль	-0,61	0,45	0,49	0,21	-0,07	-0,54
Март	-0,78	0,30	0,39	0,09	-0,14	-0,64
Апрель	-0,72	0,00	0,38	0,29	-0,06	-0,08
Май	-0,52	0,24	0,45	0,11	-0,13	-0,20
Июнь	-0,69	0,32	0,30	-0,39	-0,15	-0,22
Июль	-0,58	0,00	0,18	0,27	0,14	0,08
Август	-0,73	0,20	0,28	-0,31	0,22	0,23
Сентябрь	-0,55	0,28	0,37	0,41	-0,19	0,01
Октябрь	-0,51	-0,14	0,47	0,42	0,17	-0,15
Ноябрь	-0,54	0,16	0,41	0,34	-0,37	-0,56
Декабрь	-0,67	0,22	0,36	0,00	0,31	-0,45

Примечание. Корреляции, значимые по уровню 0,05, выделены жирным шрифтом.

Обращает на себя внимание высокий уровень отрицательных корреляций индекса SCAND с температурой во все месяцы года.

Индекс SCAND определяется в [15] как главная компонента разложения поля аномалий H_{700} , причем порядковый номер компоненты меняется в течение года: так, 2-я в ноябре, 6-я в январе, мае и октябре, главные компоненты — 7-я в марте, 8-я в декабре, 10-я в феврале, апреле и сентябре. В систему SCAND входит аномалия H_{700} над Скандинавией с границами 60–70° с.ш. и 25–50° в.д. Аномалия противоположного знака, расположенная на северо-западе Монголии (30–45° с.ш., 80–100° в.ш.), составляет второй район системы. Третий район захватывает части Испании, Средиземноморья и Атлантики, расположенные в границах 35–50° с.ш., 20° з.д. — 10° в.д. Положительные фазы этого индекса отвечают развитию блокирующих систем над Скандинавским полуостровом, препятствующих западному переносу и приводящих к понижению температуры на рассматриваемой территории. Отрицательные фазы индекса SCAND усиливают западный перенос и приводят к повышению температуры.

Индекс АО регулирует западный перенос в холодный период года. В этот же период индекс SLP фактически отражает влияние на температурный режим территории зимнего Сибирского антициклона [23]. Индексы NAO и SOI оказывают существенное воздействие на температурный режим рассматриваемой территории лишь в отдельные месяцы холодного периода года.

Характеристики циклонической активности на территории Сибири получены из данных работы [24], дополненных обработкой синоптических карт за 2006 г. Всего за период 1976–2006 гг. над территорией отмечено 1420 циклонов. Распределение этого числа по годам показано на рис. 2, а, а распределение давления в центрах циклонов на рис. 2, б. Анализ линий трендов показал, что общее число циклонов статистически значимо снижается со скоростью 1,4 циклона/10 лет, тогда как значимых изме-

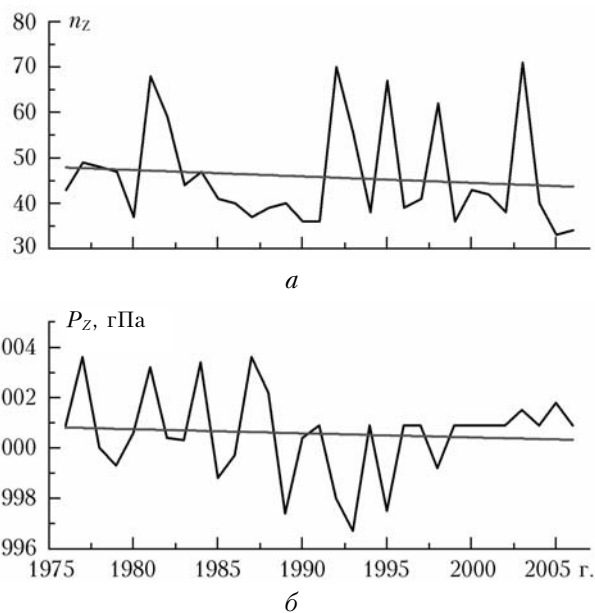


Рис. 2. Межгодовая изменчивость числа циклонов (а) и давления в их центрах (б)

нений давления не происходит. Тенденция к снижению циклонической активности в средних широтах во второй половине XX в. выявлена во многих работах, например в [18, 25]. В то же время в этих и других работах отмечается рост циклонической активности в Арктическом регионе.

Связь региональной атмосферной циркуляции и температурного поля

Для более детального анализа было проведено разделение всех циклонов на несколько групп: северные, западные и южные. В группу западных вошли циклоны, смещающиеся с западной составляющей вдоль 60–65-й параллели с.ш. и западные циклоны, образующиеся на волне полярного фронта в районе Екатеринбурга, Омска, Куйбышева (Новосибирской обл.).

В группу северных вошли циклоны, смещающиеся как из северных районов Сибири, так и из районов Кольского полуострова. В группу южных вошли юго-западные циклоны, продвигающиеся из районов Каспийского и Аральского морей, южные циклоны, образующиеся в районе оз. Балхаш, и местные циклоны, образующиеся в районе междуречья Обь — Иртыш или на юге Сибири.

Межгодовой ход числа циклонов с этих направлений показал (рис. 3), что число циклонов, приходящих с северных направлений, статистически значимо возрастает, причем эти циклоны являются самыми многочисленными: 618 из 1420 за 1976–2006 гг. Циклоны западного (304 из 1440) и южного (495 из 1440) направлений показывают статистически значимое снижение их числа.

Анализ временного хода давления в центрах циклонов выявил статистически незначимую тенденцию

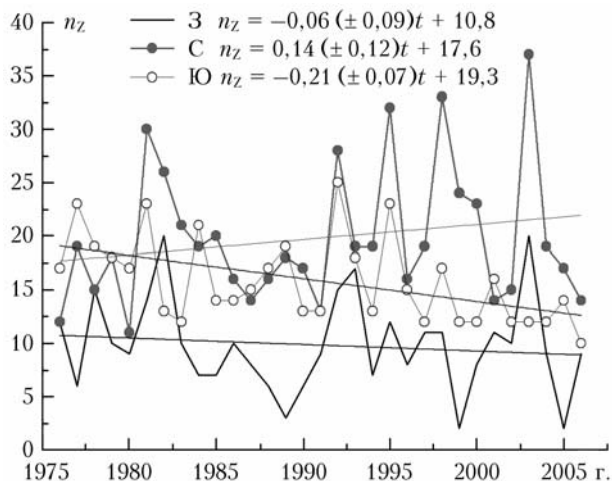


Рис. 3. Временной ход числа циклонов северного (кривая с черными кружочками), южного (кривая со светлыми кружочками) и западного направлений

к снижению давления (к уменьшению интенсивности циклонов) для южных циклонов и также статистически не значимые тенденции повышения давления для западных и северных циклонов. При этом северные циклоны оказались самыми интенсивными со средним многолетним давлением 995,1 гПа, менее интенсивными оказались западные циклоны — среднее давление 999,5 гПа, и наименее интенсивными — южные циклоны со средним давлением 1005,9 гПа.

В работе [26] отмечается, что влияние глобальных климатических изменений на вихревую активность атмосферы может проявляться через уменьшение меридионального градиента температуры (MTG) (снижение циклонической активности) и рост вертикального градиента температуры (возрастание циклонической активности). Снижение MTG, обусловленное ускоренным потеплением в средних широтах, может приводить к ослаблению интенсивности полярного фронта и связанного с ним циклогенеза. Расчеты трендов MTG между 30 и 50° с.ш. были выполнены в работах [27, 28]. Эти расчеты показали, что MTG, рассчитанное для температур, усредненных по кругам широты 30 и 50°, не показывают значимой тенденции к снижению во временном ходе, однако такая тенденция наблюдается в отдельных долготных секторах.

Нами с использованием реанализов JRA25 и 20th Century Reanalysis [29, 30] были выполнены расчеты меридиональных градиентов температуры ΔT_{1000} и ΔT_{300} , используемые для определения положения полярного и арктического фронтов на поверхностях 1000 и 300 гПа. Из ежемесячных пространственных распределений ΔT видно, что основными элементами арктического фронта в Атлантическом секторе являются юго-восточная и северная оконечности Гренландии, тогда как полярный фронт занимает обширные районы, расположенные, главным образом, в Северной Евразии. В целом широтные области местоположения этих фронтов заключались соответственно между 30–50 и 60–80° с.ш. Далее были

выполнены расчеты MTG между 30–50° с.ш. и 60–80° с.ш., как для полушария в целом, так и для отдельных секторов. На рис. 4 приведены сглаженные MTG на поверхности 1000 гПа для Атлантического сектора 0–60° з.д. в январе (а) и июле (б).

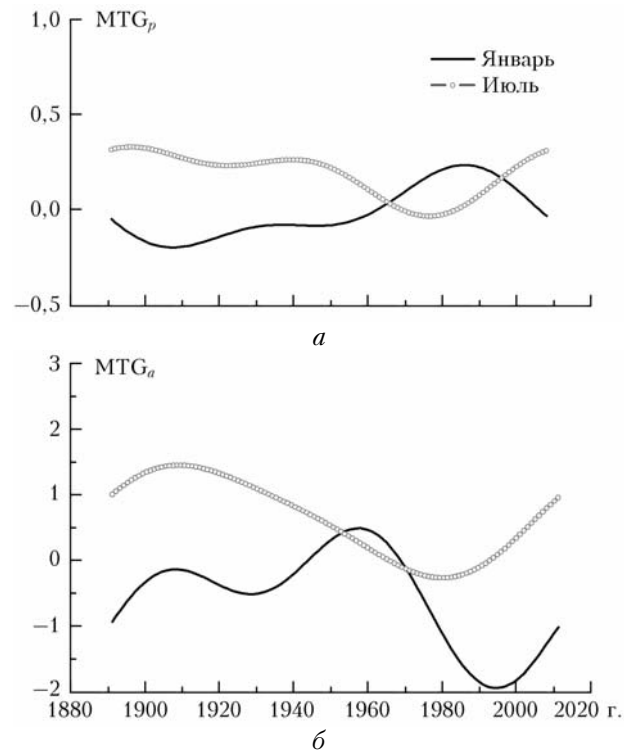


Рис. 4. Сглаженные меридиональные температурные градиенты на 1000 гПа между широтами 50–70° с.ш. (а) и 60–80° с.ш. (б) в Атлантическом секторе Северного полушария

Из рис. 4, а следует, что начиная с середины 80-х гг. XX в. полярный фронт в Атлантическом секторе начал ослабляться в январе и усиливаться в июле. Учитывая тот факт, что процессы циклогенеза в Атлантике в зимний период более интенсивны, чем в летний [18], можно сказать, что зимняя эволюция полярного фронта согласуется с уменьшением числа среднеширотных циклонов. Арктический фронт, согласно рис. 4, б, усиливается в январе и июле, причем в январе тенденция усиления проявляется с начала 90-х гг., в то время как в июле — с начала 80-х. Если учесть, что согласно [31, 32] Северная Атлантика является основным поставщиком арктических циклонов, то можно заключить, что эволюция MTG между 60–80° с.ш. в Атлантическом секторе в целом согласуется с положительной динамикой северных циклонов. Корреляционный анализ интенсивности циклогенеза, определяемый по MTG_{300} и ΔT_{300} , и частоты северных циклонов на территории Сибири показал наличие качественной связи (0,27) для зимнего периода и года в целом. По результатам анализа можно сделать вывод о преимущественном влиянии арктического фронта Атлантического сектора на циклоническую активность над северной частью Сибири.

Для установления корреляционных связей изменчивости температуры с изменчивостью вихревой активности были выбраны следующие характеристики циклонов и антициклонов: n_z , n_z^N , n_A — число циклонов всех направлений, число циклонов северных направлений и число антициклонов всех направлений; P_z , P_z^N , P_A^N — давление в центрах циклонов, северных циклонов и северных антициклонов. Коэффициенты корреляции между температурой и этими характеристиками приведены в табл. 3.

Таблица 3
Корреляции между температурой и отдельными характеристиками циклонической активности

Месяц	n_z	n_z^N	n_A	P_z	P_z^N	P_A^N
Январь	0,19	-0,16	-0,20	-0,54	-0,49	-0,50
Февраль	-0,15	0,25	0,09	-0,65	-0,45	-0,35
Март	-0,01	-0,13	0,05	-0,38	-0,42	-0,37
Апрель	0,12	0,22	0,10	-0,62	-0,64	-0,19
Май	-0,24	0,08	-0,09	-0,28	-0,01	-0,35
Июнь	-0,25	-0,53	0,04	0,14	0,10	-0,12
Июль	-0,09	-0,37	0,01	0,09	0,06	-0,08
Август	0,04	0,15	0,46	-0,02	0,06	0,14
Сентябрь	-0,34	-0,19	-0,39	-0,14	0,00	-0,41
Октябрь	-0,19	0,12	-0,08	-0,39	-0,31	-0,38
Ноябрь	-0,40	-0,31	-0,40	-0,51	-0,51	-0,63
Декабрь	0,38	0,47	0,23	-0,32	-0,19	0,02

Примечание. Коэффициенты, значимые по уровню 0,05, выделены жирным шрифтом.

Из табл. 3 следует, что температура более тесно связана с давлением в центрах циклонов и антициклонов, чем с их числом, и эта связь характерна в основном для холодного периода года.

Далее мы построили для каждого месяца линейные регрессионные модели температуры с использованием в качестве предикторов 12 характеристик атмосферной циркуляции, помещенных в табл. 2 и 3. Коэффициенты детерминации R^2 для этих моделей приведены в табл. 4.

Таблица 4
Коэффициенты детерминации линейных регрессионных моделей температуры

Месяц	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь
R^2	0,82	0,73	0,72	0,69	0,54	0,8	0,58	0,64	0,61	0,74	0,69	0,64

Из табл. 4 следует, что изменчивость атмосферной циркуляции, определяемая телеконнекционными индексами и индексами вихревой активности, может объяснять (для исследуемой территории) от 54 до 82% изменчивости температуры в различные месяцы года.

Заключение

В период современного потепления 1976–2006 гг. территория Сибири, заключенная между 50–70° с.ш.

и 60–110° в.д., характеризовалась ускоренными темпами роста температуры как по средним годовым (0,36 °C/10 лет), так и по средним месячным величинам (до 0,83 °C/10 лет). Положительная тенденция роста температуры проявляется во все месяцы, кроме ноября.

Общее число циклонов над исследуемой территорией выявило в период 1976–2006 гг. тенденцию к снижению со скоростью 1,4 циклона/10 лет. При разделении циклонов по траектории их вхождения на территорию получилось, что тенденция к снижению числа присуща циклонам западного и южного направлений, тогда как число северных циклонов увеличивается. Показано, что такая разнонаправленная динамика числа циклонов различных направлений может быть связана с процессами усиления и ослабления полярного и арктического фронтов в Атлантическом секторе Северного полушария.

Изменчивость температуры в рассматриваемом регионе сильно связана с изменчивостью индексов SCAND и АО и слабо с изменчивостью индексов NAO и SOI.

Из характеристик вихревой активности наибольшее влияние на температуру оказывает давление в центрах циклонов и антициклонов, а наименьшее — общее число циклонов.

Множественные регрессионные модели изменения температуры под влиянием циркуляции показывают, что в разные месяцы года от 54–82% изменчивости температуры может быть описано изменчивостью циркуляции.

Исследования выполнены при поддержке проектов ФЦП № 02.740.11.0738 и СО РАН VII.63.1.1.

1. Кабанов М.В. Некоторые закономерности климатических и экосистемных изменений в Сибири // Ж. Сиб. федерального университета. Биология. 2008. Т. 1, № 4. С. 312–322.
2. Ипполитов И.И., Кабанов М.В., Логинов С.В., Харюткина Е.В. Структура и динамика метеорологических полей на азиатской территории России в период интенсивного глобального потепления 1975–2005 гг. // Ж. Сиб. федерального университета. Биология. 2008. Т. 1, № 4. С. 323–344.
3. Дюкарев Е.А., Ипполитов И.И., Кабанов М.В., Логинов С.В. Изменение климата на азиатской территории России во второй половине XX столетия: сравнение данных наблюдений и реанализов // Оптика атмосф. и океана. 2006. Т. 19, № 11. С. 934–940.
4. Оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Т. I. Изменение климата. М.: Росгидромет, 2008. 277 с.
5. Дзердзеевский Б.Л. Циркуляционные механизмы в атмосфере Северного полушария в XX веке. М.: Изд-во Института географии АН СССР, 1970. 176 с.
6. Вангенгейм Г.Я. Основы макроциркуляционного метода долгосрочных метеорологических прогнозов для Арктики // Тр. ААНИИ. 1952. Т. 34. 314 с.
7. Гирс А.А. Многолетние колебания атмосферной циркуляции и долгосрочные метеорологические прогнозы. Л.: Гидрометеиздат, 1971. 280 с.
8. Вительс Л.А. Синоптическая метеорология и гелиофизика. Л.: Гидрометеиздат, 1977. 256 с.
9. Кац А.Л. Сезонные изменения общей циркуляции атмосферы и долгосрочные прогнозы погоды. Л.: Гидрометеиздат, 1960. 270 с.

10. Гройсман П.Я. Об изменении некоторых характеристик атмосферной циркуляции в процессах глобального потепления и похолодания // Метеорол. и гидрол. 1983. № 11. С. 26–29.
11. Рубинштейн Е.С., Григорьева А.А. О роли атмосферной циркуляции в колебаниях климата Северного полушария // Тр. ГГО. Л.: Гидрометеоиздат, 1975. Вып. 354. С. 49–69.
12. Савина С.С., Хмелевская Л.В. Циркуляционные и климатические различия экстремальных десятилетий XX столетия в Северном полушарии // Изв. АН СССР. Сер. геогр. 1981. № 4. С. 5–22.
13. Бышев В.И., Кононова Н.К., Нейман В.Г., Романов Ю.А. Особенности динамики климата Северного полушария в XX столетии // Докл. РАН. 2002. Т. 384, № 5. С. 674–681.
14. Бышев В.И., Кононова Н.К., Нейман В.Г., Романов Ю.А. Количественная оценка параметров климатической изменчивости системы «океан – атмосфера» // Океанология. 2004. Т. 44, № 3. С. 341–353.
15. Barnston A.G., Livezey R.E. Classification, Seasonality, and Persistence of Low-Frequency Atmospheric Circulation Patterns // Mon. Weather Rev. 1987. V. 115, N 6. P. 1083–1126.
16. Попова В.В., Шмакин А.Б. Циркуляционные механизмы крупномасштабных аномалий температуры воздуха зимой в Северной Евразии в конце XX столетия // Метеорол. и гидрол. 2006. № 12. С. 15–25.
17. Попова В.В., Шмакин А.Б. Влияние северо-атлантического колебания на многолетний гидротермический режим Северной Евразии. I. Статистический анализ данных наблюдений // Метеорол. и гидрол. 2003. № 5. С. 62–74.
18. Gulev S.K., Zolina O., Grigoriev S. Extratropical cyclone variability in the Northern Hemisphere winter from the NCEP/NCAR reanalysis data // Clim. Dyn. 2001. V. 17, N 10. P. 795–809.
19. Rudeva I., Gulev S. Climatology of Cyclone Size Characteristics and Their Changes during the Cyclone Life Cycle // Mon. Weather Rev. 2007. V. 135, N 7. P. 2568–2587.
20. Ioannidou L., Yau M.K. A climatology of the Northern Hemisphere winter anticyclones // J. Geophys. Res. D. 2008. V. 13, N 8. D0811119, doi: 10.1029/2007JD008409.
21. <http://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/teledoc/telecontents.shtml>
22. <http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis-monitoring/ensocycle/soi.shtml>
23. Gong D.-Y., Ho C.-H. The Siberian High and climate change over middle to high latitude Asia // Theor. and Appl. Climatol. 2002. V. 72, N 1. P. 1–9.
24. Горбатенко В.П., Ипполитов И.И., Поднебесных Н.В. Циркуляция атмосферы над Западной Сибирью в 1976–2004 гг. // Метеорол. и гидрол. 2007. № 5. С. 28–36.
25. Serreze M.C., Carse F., Barry R.S. Icelandic Low Cyclone Activity: Climatological Features, Linkages with NAO, and Relationship with Recent Changes in Northern Hemisphere Circulation // J. Clim. 1997. V. 10, N 3. P. 453–464.
26. Мохов И.И., Мохов О.И., Петухов В.К., Хайруллин Р.Р. Влияние глобальных климатических изменений на вихревую активность в атмосфере // Изв. РАН. Физ. атмосф. и океана. 1992. Т. 28, № 1. С. 11–26.
27. Gitelman A.I., Risbey J.S., Kass R.E., Rosen R.D. Trends in the surface meridional temperature gradient // Geophys. Res. Lett. 1997. V. 24, N 10. P. 1243–1246.
28. Paciorik C.J., Risbey J.S., Ventura V., Rosen R.D. Multiple Indices of Northern Hemisphere Cyclone Activity, Winters 1949–1999 // J. Clim. 2002. V. 15, N 13. P. 1573–1589.
29. http://jra.kishou.go.jp/JRA-25/index_en.html
30. <http://www.cdc.noaa.gov/data/gridded/data.ncep.reanalysis2.html>
31. Zhang X., Walsh J., Zhang J., Bhatt U.S., Ikeda M. Climatology and Interannual Variability of Arctic Cyclone Activity: 1948–2002 // J. Clim. 2004. V. 17, N 12. P. 2300–2317.
32. Sorterberg A., Walsh J. Seasonal cyclone variability at 70° N and its impact on moisture transport into the Arctic // Tellus. 2008. V. 61A, N 3. P. 570–586.

V.P. Gorbatenko, I.I. Ippolitov, M.V. Kabanov, S.V. Loginov, N.V. Podnebesnych, E.V. Kharyutkina.
Effect of atmospheric circulation on temperature variations in Siberia.

Over the territory of Siberia (50–70° N, 60–110° E) for the period of current global warming (1976–2006) the changes of temperature field, cyclonic activity, and the circulation influence on the temperature variability are investigated. It is shown that for this period the positive trend of annual averaged temperature is 0.36 °C/decade with higher values in some months. The total number of cyclones was decreased by 1.4 event/decade, and this tendency was caused by the decreasing of west and south number of cyclones, while the quantity of north cyclones was increased. The mechanism, which explains the temporal dynamics of cyclones of different directions by meridional temperature gradient, is discussed.