

АТМОСФЕРНАЯ РАДИАЦИЯ, ОПТИЧЕСКАЯ ПОГОДА И КЛИМАТ

УДК 551.515(571.1)

## Связь климатических характеристик с циклонической активностью в зимний период над Сибирью в 1976–2011 гг.

Н.В. Поднебесных, И.И. Ипполитов, М.В. Кабанов\*

*Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН  
634055, г. Томск, пр. Академический, 10/3*

Поступила в редакцию 3.06.2016 г.

Для региона Сибири (50–70° с.ш., 60–110° в.д.) по данным 163 метеорологических станций определены временные ряды усредненных по территории температуры, приземного давления и облачности в зимний период (декабрь–февраль) за 1976–2011 гг. Для этого же временного промежутка по данным приземных синоптических карт сформированы ряды характеристик зимних циклонов: общего числа и давления в центрах. Установлено, что изменчивость климатических характеристик и характеристик циклонической активности различается в двух временных интервалах: 1976–1990 и 1991–2011 гг. В первом из них температура и облачность возрастают, а приземное давление падает. При этом уменьшается число циклонов и происходит их интенсификация, т.е. углубление. Во втором временном интервале происходят изменения противоположного знака. Анализ корреляций между характеристиками климата и циклонической активности позволил непротиворечиво объяснить влияние циклонов на приземное давление и облачность.

*Ключевые слова:* приземная температура воздуха, приземное давление, облачность, циклоническая активность, территория Сибири; surface temperature, surface pressure, cloudiness, cyclonic activity, the territory of Siberia.

### Введение

Циклоны оказывают существенное влияние на погоду и климат, поскольку с их прохождением связаны значительные вариации облачности и осадков, температуры и ветра. Изменения в облачности приводят к изменениям радиационного баланса на подстилающей поверхности, а связанные с интенсивными циклонами экстремальные значения осадков и ветра негативно влияют на хозяйственную деятельность регионов. Из этого следует, что связь изменения климата с изменениями характеристик циклонов на продолжительных временных интервалах представляет теоретический и практический интерес.

Во многих работах выполнялось прогнозное моделирование характеристик циклонов для антропогенно обусловленных сценариев глобального потепления XXI в. [1–4]. Наиболее общие выводы для этих и других работ состоят в следующем: наблюдается сдвиг по направлению к полюсам шторм-треков (географических районов с наибольшей частотой детектируемых циклонов); отмечаются уменьшение общего числа циклонов, особенно выраженное в зимний период, и увеличение числа интенсивных циклонов. Что касается последнего вывода, то согласно [5] для Северного полушария он справедлив лишь для отдельных регионов (северо-восток

Атлантики, северная часть Тихого океана) и при условии, что интенсивность циклона определяется через его давление в центре, а не через его лапласиан давления или завихренность.

Исследования циклонической активности, выполненные с использованием процедур автоматического трекинга на доступных базах данных реанализа [6–8], в целом согласуются с этими выводами. Так, в [6] исследована зимняя климатология циклонов Северного полушария за 1958–1999 гг. и получен значимый отрицательный тренд общего числа циклонов, за исключением Арктики, где тренд статистически незначим, однако для этого региона обнаружен значимый положительный тренд числа интенсивных циклонов.

Сравнение климатических характеристик циклонов является затруднительным, так как выходные данные могут отличаться при применении различных моделей [9, 10] и баз данных реанализов [11] или при использовании разных методов идентификации и трекинга циклонов [12].

В рассмотренный в настоящей статье временной интервал 1976–2011 гг. изменился как глобальный, так и региональный климат. Глобальная температура после ускоренного роста в 1976–2000 гг. перешла в стадию сильно замедленного роста с 2000 г. по настоящее время, т.е. возникла пауза в современном глобальном потеплении [13, 14]. Выполненные в связи с возникновением паузы региональные исследования показали, что с начала 1990-х гг. в средних широтах Северного полушария начали формироваться отрицательные

\* Наталья Владимировна Поднебесных (podnebesnykh@inbox.ru); Иван Иванович Ипполитов (ceo@imces.ru); Михаил Всеволодович Кабанов (kabanov@imces.ru).

тренды зимних температур [15–17], повлиявшие на замедление глобального потепления.

Вместе с тем в работе [18] показано, что амплитуда межсезонных колебаний приземной температуры в средних широтах Сибири однозначно связана со средней температурой за зимний период на протяжении всего XX в. Учитывая, что зимой в этих широтах сохраняется отрицательный радиационный баланс, режим циклонической циркуляции может определять температурный режим в этот период.

В ряде работ [6, 19] климатология циклонов рассматривается в связи с изменением глобальных индексов атмосферной циркуляции, а в [20] указывается на существование периодичностей в характеристиках арктических циклонов.

Целью настоящей статьи является изучение связи между изменением климатических характеристик и циклонической активностью в зимний период над территорией Сибири (50–70° с.ш., 60–110° в.д.) в 1976–2011 гг.

## Исходные данные и методика исследования

Для расчета временных рядов усредненных по территории значений приземной температуры, приземного давления и облачности для зимнего периода (декабрь–февраль) использовались ежесуточные данные наблюдений на 163 метеорологических станциях в исследуемом регионе (Центр распределения данных NOAA, <ftp://ftp.cdc.noaa.gov>) за 1976–2011 гг. По суточным значениям рассчитывались среднемесячные значения климатических характеристик по методике, описанной в [21], а по среднемесячным значениям – значения за зимний сезон.

Для устранения влияния пространственной неоднородности расположения метеорологических станций проводилась пространственная интерполяция рассчитанных для каждой станции сезонных значений климатических характеристик на сетку 1°×1° по алгоритму обыкновенного крайинга. Вычисления площадных оценок, связанных с пространственным распределением какой-либо величины, проводились в равноплощадной проекции. По рассчитанным величинам в узлах сетки выполнялся расчет выборочной плотности  $P_x(x)$  с последующим расчетом выборочной функции распределения  $F_x(x)$ , по которым определялись средние по рассматриваемой территории величины.

В качестве исходной базы для исследования характеристик циклонов использовались приземные синоптические карты (00, 06, 12, 18 ч среднего времени по Гринвичу) с последующей ручной обработкой (мануальный трекинг).

Методика мануального трекинга заключалась в последовательном анализе оператором 6-часовых приземных синоптических карт АТ<sub>1000</sub>. Положение циклона определялось визуально по конфигурации первой замкнутой изобары. Циклон принимался в обработку, если его центр находился в пределах

рассматриваемой территории либо вне ее пределов, но его хорошо развитая периферия покрывала не менее 25% площади региона.

Траектории движения центров циклонов внутри рассматриваемой территории не определялись, однако проводился учет направлений, по которым каждый циклон входил в исследуемый регион. В анализе рассматривались такие характеристики, как число циклонов и величина давления в их центрах в зимний период.

Как и для каждого метода анализа, при применении мануального трекинга возникает вопрос о достоверности получаемых результатов. Оценкам погрешностей в детектировании циклонов методами автоматического трекинга посвящена статья [12]. В ней указано, что применение 15 различных методов трекинга зимних циклонов Северного полушария за 1989–2009 гг. на одной и той же базе данных ERA-Interim приводит к существенным различиям в числе циклонов, с лучшими оценками для глубоких циклонов.

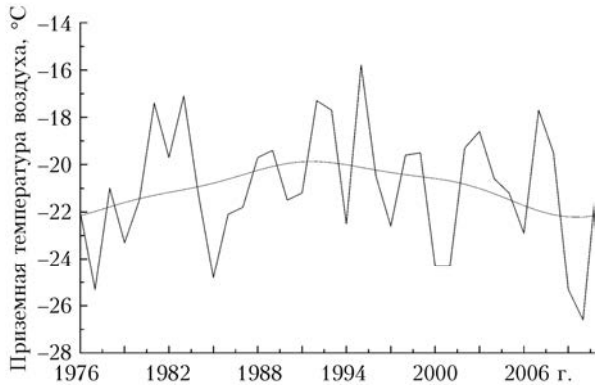
Большая часть характеристик циклонов, анализируемых в настоящей статье, была получена одним оператором. Для определения допускаемой при этом индивидуальной ошибки была реализована следующая методика [22]. Для территории 45–80° с.ш. и 60–180° в.д. генерировались карты высоты геопотенциала 1000 гПа для февраля во временном промежутке 1979–2011 гг. По этим картам четыре оператора проводили мануальный трекинг числа циклонов и величины давления в их центрах. Общее число всех циклонов, выявленное разными операторами, хорошо согласуется между собой (среднеквадратическое отклонение (СКО) составляет 1,2) за исключением двух лет на начальном этапе обработки, когда значение одного оператора заметно отличается от трех других. Для числа интенсивных циклонов (< 980 гПа) СКО = 0,8.

Так как одной из задач исследования являлось выявление значимых тенденций временных изменений характеристик циклонической активности на рассматриваемой территории, то для уменьшения высокочастотных колебаний (двухлетних и пятилетних) к исходным данным применялся низкочастотный фильтр с частотой обрезания, соответствующей периоду 10 лет.

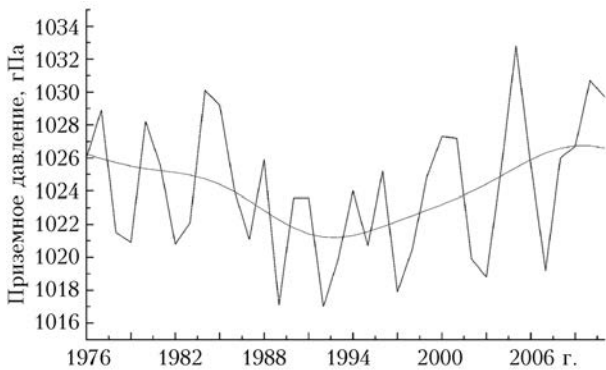
Классификация барических образований по траекториям их вхождения на исследуемую территорию приведена в [23]. В настоящей статье циклоны объединены в три группы: западные, северные и южные. В западную группу вошли циклоны, смещающиеся с западной составляющей вдоль 60–65° с.ш., и циклоны, образующиеся на волне полярного фронта в районе Екатеринбурга, Омска, Самары. В северную группу вошли циклоны, смещающиеся из Арктики и из районов Кольского полуострова. В южную группу 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.

## Изменчивость климатических характеристик

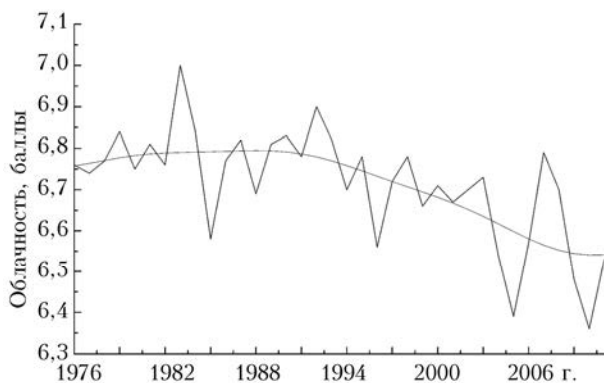
Межгодовая изменчивость усредненной по рассматриваемой территории температуры для зимнего периода (декабрь–февраль) показана на рис. 1, *а*. Поведение сглаженной кривой на этом рисунке позволяет разделить весь временной интервал 1976–2011 гг. на два отрезка: 1976–1990 гг. – в этот период температура росла, и 1991–2011 гг. – в этот период температура понижалась.



*а*



*б*



*в*

Рис. 1. Усредненные по территории и по трем зимним месяцам (декабрь–февраль) временные ряды температуры (*а*), приземного давления (*б*) и облачности (*в*) за 1976–2011 гг. Здесь и на рис. 2, 3: плавная сплошная линия – 10-летнее скользящее сглаживание

Рост температуры в 1976–1990 гг. отражает глобальное потепление, связанное с увеличением концентрации антропогенных газов. Похолодание в 1991–2011 гг. наиболее часто связывают с таянием арктических льдов. Ускорение роста приземной температуры воздуха над Баренцевым и Карским морями, связанное с ускоряющимся таянием льда, ослабляет меридиональный градиент температуры между низкими и высокими широтами и вызывает уменьшение западного переноса, переносящего тепло и влагу из Атлантики на Евразийский континент. Этот эффект особенно проявляется в зимний период, когда сохранившиеся от летнего таяния участки открытой воды обеспечивают эффективную передачу тепла и влаги от теплого океана в холодную тропосферу. Ослабление западного переноса способствует также образованию блокирующих антициклонов на севере Европы, связанное с таянием льдов [24–26].

Среднегодовая температура зимнего периода за 1976–2011 гг. составила  $-20,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ , тренд потепления в 1976–1990 гг. равен  $0,16\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{год}$ , тренд похолодания в 1991–2011 гг. –  $-0,13\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{год}$ .

Усредненное по территории приземное давление (рис. 1, *б*) показывает противофазное изменение с температурой. Такое поведение зимнего давления в средних широтах Азиатского материка связано с поведением зимнего Сибирского антициклона.

В [27] приведены временные ряды зимних температур и давления приземного воздуха в регионе с координатами  $40\text{--}60^{\circ}$  с.ш. и  $80\text{--}120^{\circ}$  в.д. за 1948–2003 гг., при этом выявлены противоположно направленные тренды роста температуры и понижения давления и указана связь этих трендов с ослаблением зимнего Сибирского антициклона. Ослабление интенсивности Сибирского антициклона в области  $40\text{--}60^{\circ}$  с.ш. и  $70\text{--}120^{\circ}$  в.д. с середины 70-х гг. до 1995 г. также показано в [28]. Однако в более поздней работе [29] приведены данные изменения интенсивности Сибирского антициклона в период 1949–2010 гг., из которых следует, что с середины 90-х гг. он усиливался. Это усиление показано также в работе [30].

Изменчивость усредненного по территории балла общей облачности, рассчитанного для зимнего сезона по данным наблюдений на метеорологических станциях, показана на рис. 1, *в*.

Авторами [31] выполнены модельные расчеты изменения характеристик циклонической активности и облачности внетропических широт Северного полушария в XIX в. для сценария А2 изменения парниковых газов. Они выявили для этого сценария снижение для периода 1860–2100 гг. как общего количества облаков, так и плотности упаковки циклонов.

Рис. 1, *в* подтверждает этот вывод для общей облачности в исследуемый период времени. Для всего временного промежутка 1976–2011 гг. тренд понижения составил  $-0,008$  балла/год, причем в 1976–1990 гг. имеет место слабый положительный тренд ( $0,002$  балла/год), а в 1991–2011 гг. более интенсивный отрицательный тренд ( $-0,014$  балла/год).

Эти оценки согласуются с оценками изменчивости общей облачности для Азиатской территории России, полученными в работе [32]. По этим оценкам в период 1961–1990 гг. общая облачность увеличивалась с несколько большей скоростью 0,002 балла/год, а в период 1971–2000 гг. уменьшалась со скоростью 0,001 балла/год.

Несколько отличающиеся оценки изменчивости общей облачности от сделанных в настоящей работе приведены в [33]. В ней для зимы в климатологически однородных районах 08 и 09, занимающих большую часть исследуемой нами территории, получены положительные тренды общей облачности для интервала 1976–2005 гг. и отрицательные – для интервала 2006–2013 гг.

### Изменчивость характеристик циклонов

На рис. 2, *а* показан временной ход общего числа зимних циклонов над рассматриваемой территорией, а на рис. 2, *б*, *в*, *г* – временной ход числа циклонов, смещающихся по северным, западным и южным траекториям соответственно.

Общее число зимних циклонов на исследуемой территории составило 416 со среднегодовым числом 12. Из 416 зимних циклонов 219 смещались по северным траекториям, 81 по западным и 116 по южным траекториям со среднегодовыми значениями 6, 2 и 3 соответственно.

Общее число зимних циклонов по всему временному промежутку 1976–2011 гг. статистически незначимо снижается ( $-0,02$  циклона/год). В 1976–1990 гг., когда рост температуры был существенным, снижение числа циклонов было значимым ( $-0,33$  циклона/год). Наконец, в 1991–2011 гг., когда тренд потепления сменился трендом похолодания, число циклонов немного, но значимо увеличилось ( $0,08$  циклона/год). Эти соотношения отражают ранее выявленную динамику зимних циклонов Северного полушария, а именно снижение их числа в конце XX в. [6] и увеличение в начале XXI в. [12].

В снижение числа циклонов по всему временному промежутку дают вклад западные и южные циклоны (по  $-0,02$  циклона/год), тогда как северные циклоны показывают значимый положительный тренд ( $0,03$  циклона/год). В 1976–1990 гг. значимый отрицательный тренд ( $\approx -0,1$  циклона/год) показывают циклоны всех направлений. В 1991–2011 гг. значимо увеличивается число северных и южных циклонов ( $0,07$  и  $0,05$  циклона/год), тогда как число западных циклонов значимо снижается ( $-0,02$  циклона/год).

На рис. 3 показаны временные ряды давления в центрах зимних циклонов. Оно определялось для стадии максимального развития, даже если при этом центр циклона находился вне пределов рассматриваемой территории. Во многих работах, например в [6], давление в центре циклона рассматривается как мера его интенсивности, что и принимается в настоящей статье.

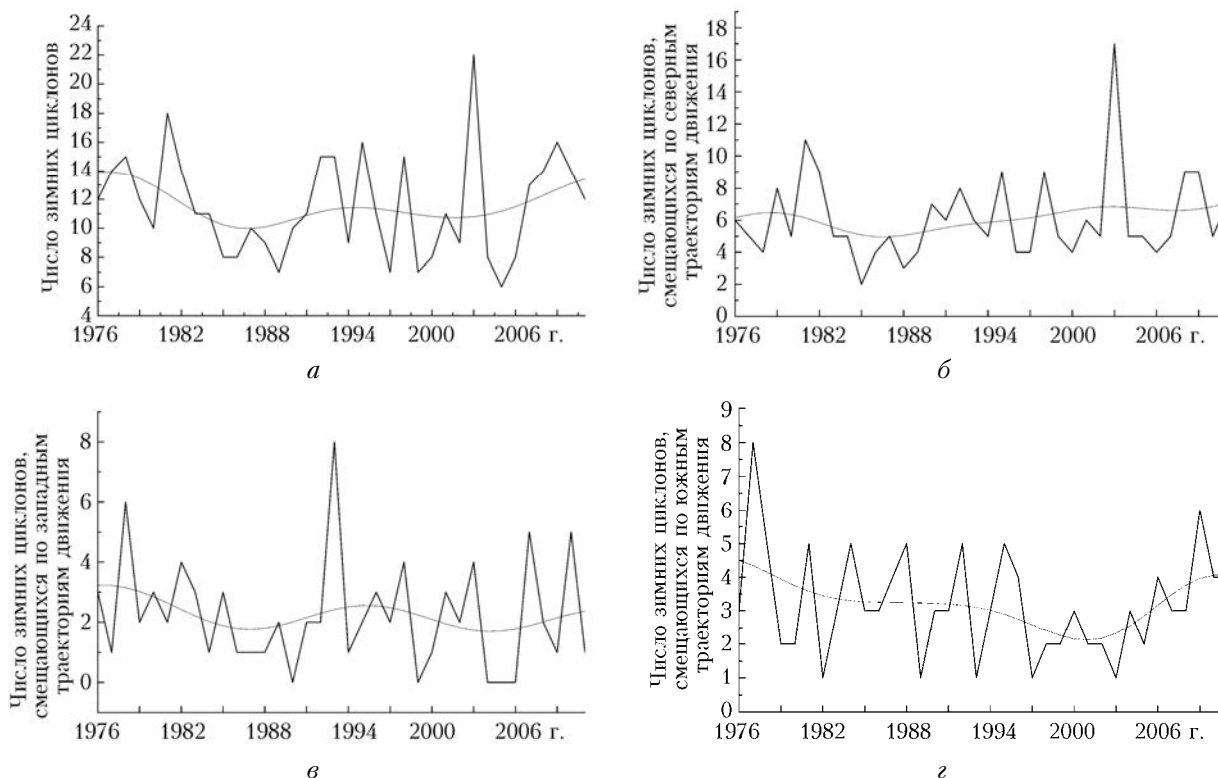


Рис. 2. Временная динамика числа зимних циклонов: *а* – все циклоны; *б* – циклоны, смещающиеся по северным траекториям; *в* – циклоны, смещающиеся по западным траекториям; *г* – циклоны, смещающиеся по южным траекториям

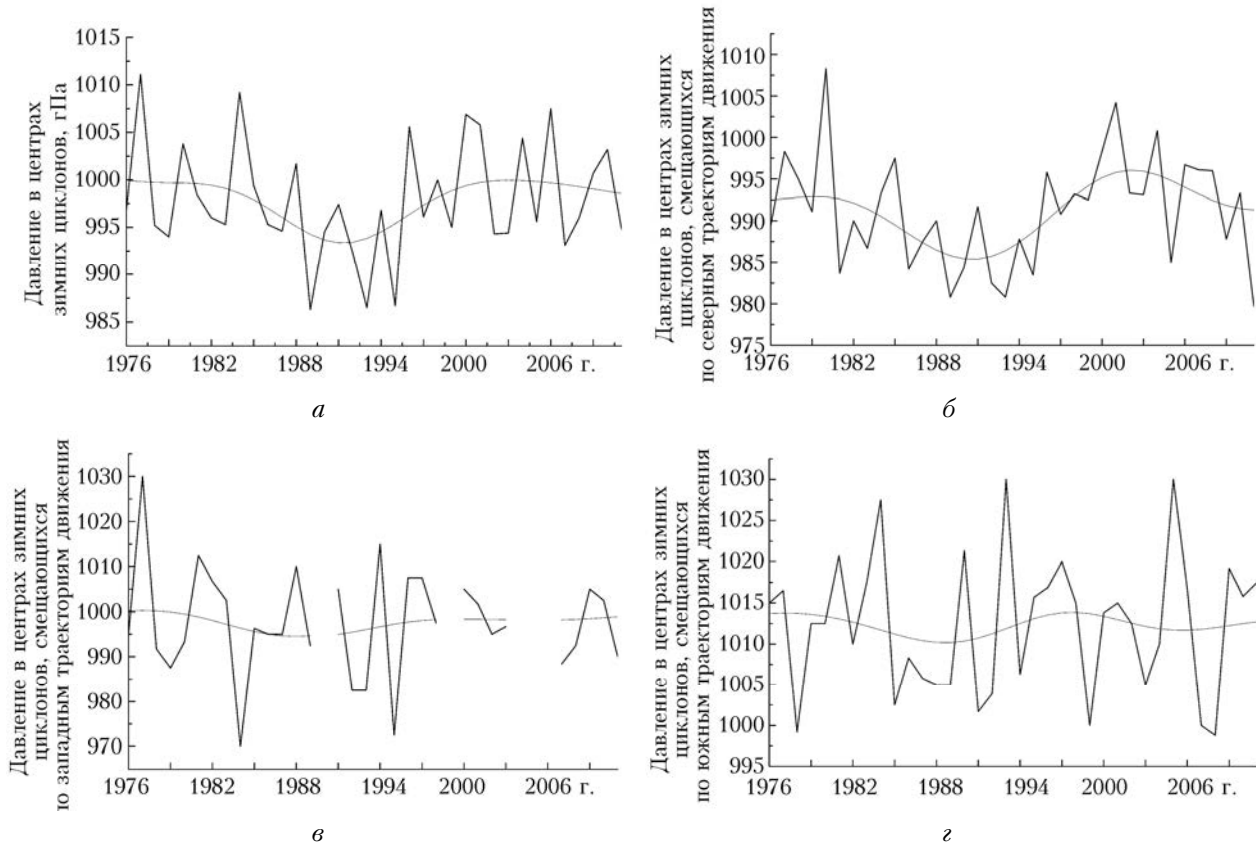


Рис. 3. Временная динамика давления в центрах зимних циклонов: *а* – все циклоны; *б* – циклоны, смещающиеся по северным траекториям; *в* – циклоны, смещающиеся по западным траекториям; *з* – циклоны, смещающиеся по южным траекториям

Для всех циклонов (рис. 3, *а*) и по всему временному промежутку тренд давления положительный и незначимый (0,02 гПа/год). В период потепления значимый отрицательный тренд давления (–0,46 гПа/год) свидетельствует об интенсификации, т.е. углублении циклонов, причем интенсификация затрагивает циклоны всех направлений: северного (–0,59 гПа/год), западного (–0,54 гПа/год) и южного (–0,32 гПа/год). В период похолодания 1991–2011 гг. ослабевают северные (0,34 гПа/год) и западные (0,20 гПа/год) циклоны, тогда как южные практически не меняют своей интенсивности (–0,01 гПа/год).

Как следует из рис. 3, наиболее интенсивными являются северные циклоны, наименее интенсивными – южные, западные циклоны занимают по интенсивности промежуточное положение. Если принять для определения «интенсивных» циклонов обычно применяемый порог < 980 гПа [6], то таких циклонов было зарегистрировано два из числа западных: в 1984 г. и 1995 г. (рис. 3, *в*) и один из числа северных в 2011 г. (рис. 3, *б*).

Представленный на рис. 3, *а* временной ход давления качественно согласуется с графиком интенсивности зимних циклонов, вычисленным авторами [34] для временного интервала 1978–2012 гг. и территории 40–75° с.ш., 0–110° в.д.

### Корреляционные связи между климатическими характеристиками и циклонической активностью

В табл. 1 представлены коэффициенты корреляции общего числа циклонов с температурой, приземным давлением и облачностью в зимний период для исследуемой территории, вычисленные из сглаженных рядов этих характеристик. Статистически значимые на уровне 95% величины выделены шрифтом. Корреляции, вычисленные из несглаженных рядов, варьируют по величине в пределах 0,07–0,37 и статистически незначимы.

Таблица 1

Коэффициенты корреляции общего числа зимних циклонов с температурой, приземным давлением и облачностью для территории Сибири за период 1976–2011 гг., вычисленные по сглаженным рядам этих характеристик

Временной интервал, годы	Приземная температура, °С	Приземное давление, гПа	Общая облачность, баллы
1976–2011	<b>–0,74</b>	<b>0,62</b>	–0,24
1976–1990	<b>–0,92</b>	<b>0,80</b>	–0,91
1991–2011	<b>–0,71</b>	<b>0,63</b>	–0,64

Связь числа циклонов с климатическими характеристиками наиболее тесная для периода потепления 1976–1990 гг. и ослабевает в период похолодания в 1991–2011 гг. Отрицательная корреляция числа циклонов и температуры для всех трех временных промежутков соответствует модельным расчетам для антропогенно обусловленного потепления в зимнем полушарии, согласно которым при повышении температуры число циклонов снижается, и наоборот.

Положительная корреляция числа циклонов с приземным давлением для всех трех временных интервалов не допускает простой трактовки. Так, уменьшение числа циклонов в период потепления 1976–1990 гг. не должно приводить к снижению приземного давления, как это следует из рис. 1, б. То же самое относится и к периоду похолодания 1991–2011 гг., когда приземное давление растет одновременно с увеличением числа циклонов. Объяснение этого несоответствия между изменениями числа циклонов и приземного давления может заключаться в зависимости приземного давления на рассматриваемой территории в зимний период от интенсивности зимнего Сибирского антициклона.

Так, согласно [29] интенсивность зимнего Сибирского антициклона, вычисленная в базах данных NCEP/NCAR и HadSLP2g для района 40–65° с.ш., 80–120° в.д. и зимнего сезона (декабрь–февраль) снижается в 1977–1993 гг. и растет в 1993–2007 гг., что подтверждается также в [35]. Из этого можно допустить, что основным фактором, формирующим изменчивость зимнего поля давления на рассматриваемой территории, является интенсивность Сибирского антициклона.

С прохождением циклона над территорией связано формирование полей облачности и осадков, обусловленное восходящими движениями теплого и влажного воздуха в системе циркуляции циклона [36]. Отсюда можно ожидать положительной корреляции между числом циклонов и общей облачностью. Однако, как видно из табл. 1, связь между числом циклонов и облачностью характеризуется значимыми отрицательными корреляциями для интервалов времени 1976–1990 и 1991–2011 гг., в которых число циклонов и облачность изменяются в противофазе. Здесь снова можно сослаться на роль зимнего Сибирского антициклона, интенсификация которого подавляет развитие облачности. Этот вопрос был исследован в работе [30], в которой была получена статистически значимая отрицательная корреляция между общей облачностью и интенсивностью зимнего Сибирского антициклона.

В табл. 2 представлены коэффициенты корреляции между сглаженными и несглаженными рядами давления в центрах циклонов и климатических характеристик. Хотя знаки корреляций в табл. 2 подобны таковым в табл. 1, смысл этих корреляций меняется. Так, интенсификация циклонов в период 1976–1990 гг. (рис. 3, а), наряду с уменьшением числа циклонов (рис. 2, а), отвечает указанным во вводной части статьи закономерностям изменения характеристик зимних циклонов Северного полу-

шария при изменении климата. Обратный процесс происходит в период 1991–2011 гг.

Таблица 2

**Коэффициенты корреляции между сглаженными и несглаженными рядами давления в центрах циклонов и климатических характеристик для территории Сибири за период 1976–2011 гг.**

Временной интервал, годы	Приземная температура, °С	Приземное давление, гПа	Общая облачность, баллы
1976–2011	<b>-0,78 (-0,61)</b>	<b>0,81 (0,64)</b>	<b>-0,46 (-0,35)</b>
1976–1990	<b>-0,93 (-0,37)</b>	<b>0,98 (0,88)</b>	<b>-0,64 (-0,26)</b>
1991–2011	<b>-0,71 (-0,75)</b>	<b>0,76 (0,50)</b>	<b>-0,79 (-0,49)</b>

Углубление циклонов в период 1976–1990 гг. действует в одном направлении со снижением интенсивности зимнего Сибирского антициклона, что приводит к понижению приземного давления и росту облачности. В 1991–2011 гг. наблюдается обратный процесс, приводящий к росту приземного давления и снижению облачности.

### Заключение

Исследование зимнего климата на территории Сибири в 1976–2011 гг. позволило разделить этот временной промежуток на два интервала: 1976–1990 и 1991–2011 гг. В первом из них возрастает температура и общая облачность и падает приземное давление. Во втором интервале имеют место изменения противоположного знака. Одновременно в первом интервале снижается общее число циклонов и происходит их интенсификация, а во втором отмечается слабый положительный тренд числа циклонов и ослабление их интенсивности на фоне отрицательного тренда температуры. Наибольшее число зимних циклонов отмечается для смещающихся по северным траекториям движения, эти же циклоны являются наиболее интенсивными. Поведение характеристик циклонов при изменении температуры согласуется с закономерностями, выявленными для зимних циклонов Северного полушария при антропогенно обусловленном потеплении климата: снижение общего числа циклонов и их интенсификация.

Выводы, которые можно сделать из рассчитанных корреляций характеристик циклонов и климатических характеристик, не являются однозначными. Корреляции, определенные по сглаженным данным, обуславливают, скорее, связи тенденций, а не процессов и не всегда могут быть правдоподобно истолкованы. Например, высокие корреляции общего числа циклонов с приземным давлением и облачностью не могут быть объяснены без учета той роли, которую играет в этих корреляциях зимний Сибирский антициклон. Если учесть и отсутствие значимых корреляций между несглаженными рядами общего числа циклонов и климатических характеристик, то можно предположить, что общее число циклонов слабо связано с изменениями климата на рассматриваемой территории в зимний период.

Напротив, связь интенсивности циклонов, определяемой по минимальному давлению в их центрах, с климатическими характеристиками является значимой. Это касается прежде всего связи интенсивности циклонов с приземным давлением и облачностью. Механизм, лежащий в основе этой связи, может заключаться в том, что рост или ослабление интенсивности циклонов является регулирующим фактором интенсивности зимнего Сибирского антициклона.

Что касается связи характеристик циклонов с температурой, то отсутствие статистически значимых корреляций между несглаженными рядами температуры и характеристиками циклонов в период потепления 1976–1990 гг. не позволяет сделать однозначных выводов о механизмах, осуществляющих связь характеристик циклонов с температурой. Помимо того, что эта связь может быть косвенной, например через изменения в облачности, необходимо рассматривать также изменения в тепловом балансе атмосферы, связанные с прохождением циклонов, что выходит за рамки настоящей работы.

Авторы благодарят Е.В. Харюткину за помощь в проведении расчетов и С.В. Логинова за полезные обсуждения.

1. Yin J.H. A consistent poleward shift of the storm tracks in simulations of 21<sup>st</sup> century climate // *Geophys. Res. Lett.* 2005. V. 32. L18701. DOI: 10.1029/2005GL023684.
2. Lambert S.J., Fyfe J.C. Changes in winter cyclone frequencies and strengths simulated in enhanced greenhouse warming experiments: Results for the models participating in the IPCC diagnostic exercise // *Clim. Dynam.* 2006. V. 26. P. 713–728. DOI: 10.1007/s00382-006-0110-3.
3. Chang E.K.M., Guo Y, Xio X. CMIP5 multimodel ensemble projection of storm track change under global warming // *J. Geophys. Res.* 2012. V. 117. D23118. DOI: 10.1029/2012JD18578.
4. Harvey B.J., Shaffrey L.C., Woollings T.J. Equator-to-pole temperature differences and the extra-tropical storm track responses of the CMIP5 climate models // *Clim. Dyn.* 2014. V. 43. P. 1171–1182. DOI: 10.1007/s00382-013-1883-9.
5. Ulbrich U., Leckebusch G.C., Pinto J.G. Extra-tropical cyclones in the present and future climate: A review // *Theor. Appl. Climatol.* 2009. V. 96, N 1–2. P. 117–131.
6. Gulev S.K., Zolina O., Grigoriev S. Extratropical cyclone variability in the Northern Hemisphere winter from NCEP/NCAR reanalysis data // *Clim. Dyn.* 2001. V. 17, N 10. P. 795–809.
7. Wang X., Swail V., Zwiers F. Climatology and changes of extratropical cyclone activity: Comparison of ERA40 with NCEP/NCAR reanalysis for 1958–2001 // *J. Climate.* 2006. V. 19, N 13. P. 3145–3166.
8. Feser F., Barcikowska M., Krueger O., Schenk F., Weisse R., Xia L. Storminess over the North Atlantic and Northwestern Europe – a review // *Q.J.R. Meteorol. Soc.* 2015. V. 141, N 687. P. 350–382. DOI: 10.1002/qj.2364.
9. Harvey B.J., Shaffrey L.C., Woollings T.J., Zappa G., Hodges K.I. How large are projected 21<sup>st</sup> century storm track changes? // *Geophys. Res. Lett.* 2012. V. 39. L18707. DOI: 10.1029/2012GL052873.
10. Zappa G., Shaffrey L.C., Hodges K.I., Sansom P.G., Stephenson D.B. A Multimodel Assessment of Future Projections of North Atlantic and European Extratropical Cyclones in the CMIP5 Climate Models // *J. Climate.* 2013. V. 26, N 16. P. 5846–5862.
11. Hodges K.I., Lee R.W., Bengtsson L. A Comparison of Extratropical Cyclones on Recent Reanalysis ERA-Interim, NASA MERRA, NCEP CFSR and JRA-25 // *J. Climate.* 2011. V. 24, N 18. P. 4888–4906.
12. Neu U., Akperov M.G., Bellenbaum N., Benestad R., Blender R., Caballero R., Coccozza A., Dacre H.F., Feng Y., Fraedrich K., Grieger J., Gulev S., Hanley J., Hewson T., Inatsu M., Keay K., Kew S.F., Kindem I., Leckebusch G.S., Liberato M.L.R., Lionello P., Mokhov I.I., Pinto J.G., Raible C.C., Reale M., Rudeva I., Schuster M., Simmonds I., Sinclair M., Sprenger M., Tilinina N.D., Trigo I.F., Ulbrich S., Ulbrich U., Wang X.L., Wernli H. IMILAST: A Community Efforts to Intercompare Extratropical Cyclone Detection and Tracking Algorithms // *Bull. Amer. Meteorol. Soc.* 2013. V. 94. P. 529–547.
13. Meehl G.A., Ablaster J.M., Fasullo J.T., Hu A., Trenberth K.E. Model-based evidence of deep-ocean heat uptake during surface-temperature hiatus periods // *Nat. Clim. Change.* 2011. V. 1. P. 360–364.
14. Kosaka Y., Xie S.P. Recent global-warming hiatus tied to equatorial Pacific surface cooling // *Nature.* 2003. V. 501 (7467). P. 403–407.
15. Li C., Stevens B., Marotzke J. Eurasian winter cooling in the warming hiatus of 1998–2012 // *Geophys. Res. Lett.* 2015. V. 42. P. 8131–8139. DOI: 10.1002/2015GL065327.
16. John J.L., Furtado J.C., Barlow M., Alexeev V.A., Cherry J.E. Asymmetric seasonal temperature trends // *Geophys. Res. Lett.* 2012. V. 39. L04705. DOI: 10.1029/2011GL050582.
17. Outten S., Davy R., Esau I. Eurasian Winter Cooling: Intercomparison of Reanalysis and CMIP5 Data Sets // *Atmos. Oceanic Sci. Lett.* 2013. V. 6, N 5. P. 324–331.
18. Кабанов М.В. Региональные климаторегулирующие факторы в Западной Сибири // *Геогр. и природ. ресурсы.* 2015. № 3. С. 107–113.
19. Mailier P.J., Stephenson D.B., Ferro C.A.T., Hodges K.I. Serial Clustering of Extratropical Cyclones // *Mon. Weather. Rev.* 2006. V. 134, N 8. P. 2224–2240.
20. Zhang X., Walsh J.E., Zhang J., Bhatt U.S., Ikeda M. Climatology and Interannual Variability of Arctic Cyclone Activity: 1948–2002 // *J. Climate.* 2004. V. 17, N 12. P. 2300–2317.
21. 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. Сибирского федерального университета, Биология,* 2008. Т. 1, № 4. С. 323–344.
22. Чемякова Е.Т., Болтовская М.А., Логинов С.В., Пахмистерова М.В., Терскова Н.С. Изменчивость вихревой активности на азиатской территории России в конце 20 и начале 21 веков // Десятое сибирское совещание по климато-экологическому мониторингу: тез. Рос. конф. / под ред. М.В. Кабанова. Томск: изд-во Аграф-Пресс, 2013. С. 157.
23. 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.
24. Outten S.D., Esau I. A link between Arctic sea ice and recent cooling trends over Eurasia // *Clim. Change.* 2012. V. 110. P. 1069–1075.

25. *Overland J.E., Wang M.* Large-scale atmospheric circulation changes are associated with the recent loss of Arctic sea ice // *Tellus. A.* 2010. V. 62, N 1. P. 1–9.
26. *Petoukhov V., Semenov V.A.* A link between reduced Barents-Kara sea ice and cold winter extremes over northern continents // *J. Geophys. Res.* 2010. V. 115, D21111. DOI: 10.1029/2009JD013568.
27. *Kim D.W., Byun H.R., Lee Y.I.* The Long-term Changes of Siberian High and Winter Climate over the Northern Hemisphere // *J. Korean. Meteorol. Soc.* 2005. V. 41, N 2–1. P. 275–283.
28. *Gong D.Y., Ho C.H.* The Siberian High and climate change over middle to high latitude Asia // *Theor. Appl. Climatol.* 2002. V. 72, N 1–2. P. 1–9.
29. *Hasanean H.M., Almazroui M., Jones P.D., Alemou-di A.A.* Siberian high variability and its teleconnections with tropical circulation and surface air temperature over Saudi Arabia // *Clim. Dyn.* 2013. V. 41, N 7–8. P. 2003–2018. DOI:10.1007/s00382-012-1657-9.
30. *Chernokulsky A., Mokhov I.I., Nikitina N.* Winter cloudiness variability over Northern Eurasia related to the Siberian High during 1966–2010 // *Environ. Res. Lett.* 2013. V. 8. DOI: 045012.
31. *Мохов И.И., Чернокульский А.В., Акперов М.Г., Дюфрен ИС.-Л., Ле Трен Э.* Изменения характеристик циклонической активности и облачности в атмосфере внетропических широт северного полушария по модельным расчетам в сопоставлении с данными реанализа и спутниковыми данными // *Докл. АН.* 2009. Т. 424, № 3. С. 393–397.
32. *Хлебникова Е.И., Сааль И.А.* Особенности климатических изменений облачного покрова над территорией России // *Метеорол. и гидрол.* 2009. № 7. С. 5–13.
33. *Комаров В.С., Матвиенко Г.Г., Ильин С.Н., Ломкина Н.Я.* Оценка локальных особенностей долговременного изменения облачного покрова над территорией Сибири с использованием результатов ее климатического районирования по режиму общей и нижней облачности // *Оптика атмосф. и океана.* 2015. Т. 28, № 1. С. 59–65; *Komarov V.S., Matvienko G.G., Il'in S.N., Lomakina N.Ya.* Estimate of local features of long-term variations in cloud cover over the territory of Siberia using results of its climatic zoning according to total and low-level cloud regimes // *Atmos. Ocean. Opt.* 2015. V. 28, N 3. P. 265–272.
34. *Zhang X., Lu C., Guan Z.* Weakened cyclones, intensified anticyclones and recent extreme cold winter weather events in Eurasia // *Environ. Res. Lett.* 2012. V. 7. DOI: 044044.
35. *Jeong J.-H., Ou T., Linderholm H.W., Kim B.-M., Kug J.-S., Chen D.* Recent recovery of the Siberian High intensity // *J. Geophys. Res.* 2011. V. 116, D23102. DOI: 10.1029/2011JD015904.
36. *Шакина Н.П.* Динамика атмосферных фронтов и циклонов. Л.: Гидрометеоиздат, 1985. 263 с.

*N.V. Podnebesnykh, I.I. Ippolitov, M.V. Kabanov.* **Relation of climatic characteristics with cyclonic activity in winter over Siberia in 1976–2011.**

According to data from 163 meteorological stations over Siberia (50–70° N; 60–110° E) the temperature, surface pressure, and cloud cover estimates for the winter period (December–February) were calculated over 1976–2011. Also, using surface synoptic maps, time series of winter cyclone characteristics, such as the total number and pressure centers, were derived. Two time intervals found in variations of climatic characteristics and cyclone activity characteristics: 1976–1990 and 1991–2011. Over the first period, the temperature and cloud cover increase and surface pressure falls, which reduces the number of cyclones and their intensification, i.e., deepening. Over the second period, there is a tendency with an opposite sign. The correlation analysis between the climate variables and cyclonic activity characteristics allowed us to consistently describe the impact of cyclones on the surface pressure and cloudiness.