

УДК 551.513.22

Долговременные изменения атмосферной циркуляции над Сибирью

Н.В. Поднебесных*

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

Поступила в редакцию 14.10.2019 г.

Для региона Сибири (50–70° с.ш.; 60–110° в.д.) по данным приземных синоптических карт изучена многолетняя (1976–2018 гг.) изменчивость таких характеристик циклонов и антициклонов, как число, среднее многолетнее давление в центрах барических образований, средняя многолетняя продолжительность и траектории их движения. Установлено, что во второй половине исследуемого периода увеличивается число циклонов и антициклонов, наблюдается падение давления в центрах циклонов и его рост в центрах антициклонов. Можно сделать вывод, что в это время циклоны становятся более глубокими, а антициклоны – более интенсивными, в то время как их продолжительность уменьшается; в течение года антициклональная погода наблюдалась над территорией Сибири чаще, чем циклоническая.

Ключевые слова: территория Сибири, приземные синоптические карты, циклоны, антициклоны, характеристики барических образований; Siberia, surface synoptic maps, cyclones, anticyclones, characteristics of baric formations.

Введение

Циклоны и антициклоны, являющиеся подвижными атмосферными вихрями, оказывают воздействие на погоду и климат внетропических широт [1]. С распространением циклонов связаны локальные вариации температуры, осадков и ветра. В последние два десятилетия интерес к циклонам возрос, потому что отдельные стадии их развития вызывают экстремальные осадки и разрушительный ветер у поверхности [2]. Подвижные антициклоны приносят в регионы ясную погоду, малоподвижные (блокирующие) антициклоны могут вызывать длительные жару или холод. Циклоны и антициклоны влияют на климат, осуществляя межширотный обмен теплом, влагой и импульсом. В связи с этим изменчивость характеристик циклонов и антициклонов при изменении климата представляется актуальной задачей.

Исходные данные и методика исследования

В настоящей работе исследуется изменение характеристик барических образований (циклонов и антициклонов) на территории Сибири (50–70° с.ш.; 60–110° в.д.) для климатически значимого временного интервала 1976–2018 гг. В качестве исходной базы использованы срочные синоптические карты АТ₁₀₀₀ (в 00, 06, 12, 18 часов СГВ) с последующей

ручной обработкой (мануальным трекингом). При изучении циклонов и антициклонов были рассмотрены такие их характеристики, как число (n), давление в центре (P_c , гПа), продолжительность (t , сут) и траектория движения.

Методика мануального трекинга описана в работе [3] и заключалась в последовательном анализе оператором 6-часовых приземных синоптических карт АТ₁₀₀₀. Положение циклона или антициклона определялось визуально по конфигурации первой замкнутой изобары. Циклон или антициклон принимался в обработку, если его центр находился в пределах рассматриваемой территории либо располагался вне ее пределов, но его хорошо развитая периферия покрывала не менее 25% площади региона. Траектории движения центров барических образований внутри рассматриваемой территории не определялись, однако проводился учет направлений, с которых каждый циклон или антициклон входил в исследуемый регион.

Стоит заметить, что при использовании мануального трекинга возникает вопрос о достоверности получаемых результатов, как и для любого метода анализа. Например, оценкам погрешностей в детектировании циклонов методами автоматического трекинга посвящена статья [4]. В ней указано, что применение 15 различных методик 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.

Значимость трендов оценивалась с помощью двустороннего t -теста нулевой гипотезы по уровню значимости $\alpha = 0,05$. В анализе использовались выборки с разным количеством элементов и разной ве-

* Наталья Владимировна Поднебесных
(podnebesnykhnv@inbox.ru).

личной дисперсии, что оказывало влияние на оценку погрешности трендов, поэтому одно и то же значение тренда могло быть, при других равных условиях, в одном случае значимым, а в другом незначимым.

Характеристики циклонов и антициклонов, анализируемых в настоящей работе, были получены одним оператором. Для определения допускаемой при этом индивидуальной ошибки была реализована методика, приведенная в [5].

Так как одной из задач исследования было выявление значимых тенденций временных изменений характеристик барических образований на территории Сибири, 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 [6].

Долговременные изменения характеристик циклонов и антициклонов

За изученный период с 1976 по 2018 г. над территорией Сибири отмечено 2315 циклонов и в 1,3 раза меньше антициклонов – 1827 (таблица). В последние годы (2013–2017 гг.) уменьшилась разница между повторяемостью циклонов и антициклонов, что согласуется с выводами работы [7] для района г. Томска. Среднегодовое число циклонов для территории Сибири составляет 55,1, антициклонов – 44,5 (рис. 1). В работе Л.И. Бордовской [8] отмечалось гораздо большее число циклонов и антициклонов над Западной Сибирью (среднее число циклонов в год – 129, а антициклонов – 66), в то время как, по данным С. Гулева [9], для всего Северного полушария среднее число циклонов в год составляет 234.

Многолетние значения числа, среднего давления в центре и средней продолжительности циклонов и антициклонов, приходящих на исследуемую территорию Сибири по различным траекториям в 1976–2018 гг.

Траектория	Параметр	n	$P_{\text{ц}}$	t
<i>Циклоны</i>				
С		343	995,6	5,8
СЗ		563	993,3	7,4
З		512	998,3	5,8
ЮЗ		281	1000,1	5,2
Ю		245	1002,3	4,2
Местные		371	1011,1	3,1
<i>Антициклоны</i>				
С		396	1029,5	8,1
СЗ		211	1031,5	8,4
З		450	1028,9	9,2
ЮЗ		346	1030,1	7,1
ЮВ		424	1036,3	7,5

Изучение динамики числа барических образований показало, что максимальное число циклонов приходит на изучаемую территорию с северо-запада (563 циклона/42 года, при среднем годовом значении 13,4 циклона), а минимальное – с юга (245 циклона/42 года, при среднем годовом значении 5,8 циклона). Что касается антициклонов, их максимальное число приходит на изучаемую территорию с запада (450 циклона/42 года, при среднем годовом значении 10,7 антициклона), а минимальное – с северо-запада (211 циклона/42 года, при среднем годовом значении 5,0 антициклона).

На рис. 1 видно увеличение числа циклонов и антициклонов за последние годы. Обработка и анализ данных показали, что в 2012–2018 гг. основной вклад в этот процесс внесли барические образования, смещающиеся по северным и южным траекториям. Этот факт указывает на усиление меридионального и ослабление зонального переносов над территорией Сибири в последние годы.

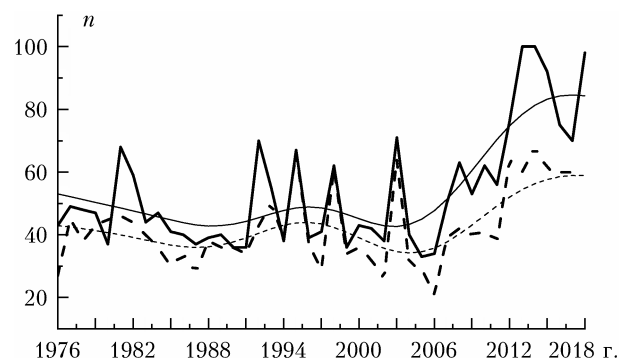


Рис. 1. Среднегодовое число циклонов (сплошная кривая) и антициклонов (пунктирная кривая) над Сибирью за 1976–2018 гг.; плавные кривые – сглаженные 10-летним окном значения

По данным приземных синоптических карт, для многолетнего числа циклонов отмечается положительный значимый тренд (уровень значимости $\alpha < 0,05$) 0,83 циклона/год, наибольший вклад в который вносят северо-западные циклоны. Для многолетнего количества антициклонов наблюдается положительный значимый тренд 0,40 антициклона/год, с наибольшим вкладом западных антициклонов.

Во внутригодовом ходе повторяемости циклонов и антициклонов над территорией Сибири максимум для циклонов наблюдается в мае, для антициклонов – в апреле; минимум для циклонов наблюдается в июле, а для антициклонов – в январе. Причиной максимума повторяемости циклонов и антициклонов в весенний период может быть относительное усиление вихревой деятельности в весенне-летний сезон, обусловленное большими контрастами температур над Сибирью в области рек Оби и Енисея и, как следствие, увеличением повторяемости барических образований, что согласуется с выводами работы [10]. Июльский минимум повторяемости циклонов может объясняться частым повторением в этом месяце синоптических ситуаций,

определяемых малоградиентным полем. Также в июле, по данным Л.И. Бордовской и А.Е. Цибульско-го [8], отмечается минимум скорости перемещения циклонов. Январский минимум повторяемости антициклонов связан с активной деятельностью Азиатского антициклона, препятствующего вторжению барических образований на территорию Сибири.

Изучение многолетней динамики атмосферного давления в центрах барических образований (рис. 2) показало, что среднее многолетнее значение давления в центрах циклонов в 1976–2018 гг. составляет 1000,1 гПа (изменяясь от 989,6 до 1006,0 гПа), а средняя многолетняя величина давления в центрах антициклонов – 1031,3 гПа (изменяясь от 1026,3 до 1040,5 гПа) (см. таблицу).

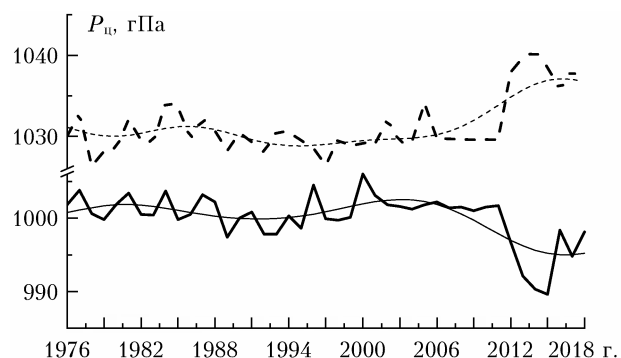


Рис. 2. Среднее многолетнее давление в центрах циклонов (сплошная кривая) и антициклонов (пунктирная кривая) над Сибирью за 1976–2018 гг.; плавные кривые — сглаженные 10-летним окном значения

Также анализ средних многолетних значений давления в центрах барических образований выявил, что наиболее глубокими за весь период исследования являются циклоны,двигающиеся по северо-западным траекториям (со средним многолетним значением 993,3 гПа), а наименее глубокими — местные циклоны (со средним многолетним значением 1011,1 гПа), что неудивительно, поскольку эти циклоны являются неглубокими барическими образованиями с небольшой продолжительностью жизни. Наиболее интенсивные антициклоны с юго-восточными траекториями движения (со средним многолетним значением 1036,3 гПа), а наименее высокие — с западными (со средним многолетним значением 1028,9 гПа).

На рис. 2 видно падение давления в центрах циклонов и его рост в центрах антициклонов за последние годы. А если учесть тот факт, что число барических образований в эти годы увеличилось, а продолжительность уменьшилась, то можно сказать что все эти факторы иллюстрируют неустойчивость атмосферной циркуляции и, как следствие, нестабильность погоды в последние годы.

Обработка и анализ данных показали, что в 2012–2018 гг. основной вклад в углубление циклонов вносят северо-западные вихри, а в интенсификацию антициклонов — юго-восточные.

По данным приземных синоптических карт, тренд среднего многолетнего давления в центрах ци-

клонов — отрицательный значимый (уровень значимости $\alpha < 0,05$), $-0,12$ гПа/год, наибольший вклад в него вносят северо-западные циклоны. Средний многолетний тренд давления в центрах антициклонов — положительный значимый, $0,14$ гПа/год, с наибольшим вкладом юго-восточных антициклонов.

Анализ внутригодового хода давления в центрах барических образований показал наиболее глубокие циклоны в летний период, а наименее — в весенне-осенний. Что касается антициклонов, они наиболее интенсивны в зимний период, а наименее — в летний. Относительное усиление антициклонов в зимний сезон обусловлено господством зимнего Азиатского антициклона над изучаемой территорией [8]. Относительное усиление циклонов в переходные сезоны года может быть обусловлено интенсивным циклогенезом в эти периоды, а относительное ослабление антициклонов в летний сезон — уменьшением температурных контрастов [10].

При рассмотрении многолетнего хода давления в центрах барических образований можно выделить тот факт, что в первой половине рассматриваемого периода давление в центрах циклонов выше, чем во второй. А в центрах антициклонов давление в первой половине периода ниже, чем во второй (см. рис. 2). Это значит, что во второй половине исследуемого периода циклоны стали более глубокими, а антициклоны — более интенсивными.

Анализ данных продолжительности воздействия барических образований на исследуемую территорию показал, что средняя многолетняя продолжительность циклонов составила 7 сут, а антициклонов — 10 сут (рис. 3). Исходя из этого, можно сказать, что среднегодовая продолжительность общего воздействия циклонов на исследуемую территорию меньше, чем антициклонов, т.е. в течение года антициклональная погода наблюдалась над территорией Сибири чаще, чем циклоническая (см. таблицу).

Анализ средних многолетних значений продолжительности воздействия барических образований на исследуемую территорию показал, что наиболее продолжительные за весь период исследования — циклоны,двигающиеся по северо-западным траекториям (7,4 сут), наименее продолжительны местные

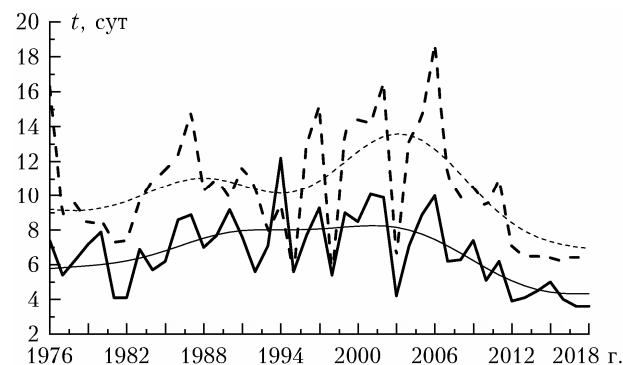


Рис. 3. Продолжительность воздействия циклонов (сплошная кривая) и антициклонов (пунктирная кривая) на территорию Сибири за 1976–2018 гг.; плавные кривые — сглаженные 10-летним окном значения

циклоны (3,1 сут). Что касается антициклонов, наиболее продолжительными являются западные (9,2 сут), а наименее – юго-западные (7,1 сут).

По данным приземных синоптических карт, тренд средней многолетней продолжительности циклонов – отрицательный незначимый (–0,04 сут/год), наибольший вклад в него вносят местные циклоны. Тренд средней многолетней продолжительности антициклонов – отрицательный незначимый (–0,05 сут/год), с наибольшим вкладом юго-западных антициклонов.

Изучение сезонного распределения продолжительности барических образований показало, что наименее продолжительны циклоны весной (4,8 сут), а наиболее – летом (5,7 сут). Что касается антициклонов, они наименее продолжительны летом (7,2 сут) а наиболее – зимой (9,4 сут). Весенний минимум продолжительности циклонов можно объяснить неустойчивостью атмосферной циркуляции в переходный сезон года и быстрой сменой одного барического образования другим. Летний максимум продолжительности циклонов и минимум продолжительности антициклонов может быть обусловлен контрастом температур на изучаемой территории и, как следствие, усилением циклонов и ослаблением антициклонов в этот период года. Зимний максимум продолжительности антициклонов обусловлен преобладанием над изучаемой территорией мощного стационарного образования – Сибирского антициклона.

Заключение

В результате анализа многолетней изменчивости характеристик циклонов и антициклонов на территории Сибири в 1976–2018 гг. было получено, что в холодный период года характеристики барических образований связаны с активной деятельностью Азиатского антициклона и частым проявлением приземного антициклогенеза, а также с большими контрастами температур и усилением зональной западной циркуляции. В теплый период года на характеристики барических образований влияют такие факторы, как уменьшение контраста температур, нарушение (ослабление) зональной западной циркуляции, усиление фронтогенетического механизма образования циклонов и антициклонов, обеспечивающего подвижный цикло- и антициклогенез, а также термический механизм образования циклонов и антициклонов, обуславливающий возникновение местных барических образований и действующий за счет преимущественного влияния подстилающей поверхности.

В работе показано, что в конце исследуемого периода (2012–2018 гг.) циклоны стали более глубо-

кими, а антициклоны – более интенсивными, и если учесть, что число барических образований в это время увеличилось, а продолжительность уменьшилась, то можно сказать что все эти факторы свидетельствуют о неустойчивости атмосферной циркуляции и изменений погоды в последние годы на территории Сибири.

Исследование было выполнено в рамках государственной темы № АААА-А17-117013050031-8.

1. McDonald R.E. Understanding the impact of climate change on Northern Hemisphere extra-tropical cyclones // *Clim. Dyn.* 2011. V. 37, N 7–8. P. 1399–1425.
2. Browning K.A. The sting at the end of the tail: Damaging winds associated with extratropical cyclones // *Q. J. R. Meteorol. Soc.* 2004. V. 130. P. 375–399.
3. Поднеbesных Н.В., Инполитов И.И. Связь климатических характеристик с антициклонической активностью в зимний период над Сибирью в 1976–2011 гг. // *Оптика атмосф. и океана.* 2019. Т. 32, № 12. С. 965–970.
4. Neu U., Akperov M.G., Bellenbaum N., Benestad R., Blender R., Caballero R., Cocozza 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. Am. Meteorol. Soc.* 2013. V. 94. P. 529–547.
5. Чемекова Е.Т., Болтовская М.А., Логинов С.В., Пахмостерова М.В., Терскова Н.С. Изменчивость вихревой активности на азиатской территории России в конце 20 и начале 21 веков // X Сибирское совещание по климато-экологическому мониторингу: тез. / под ред. М.В. Кабанова. Томск: Аграф-Пресс, 2013. С. 157.
6. Горбатенко В.П., Инполитов И.И., Поднеbesных Н.В. Циркуляция атмосферы над Западной Сибирью в 1976–2004 гг. // *Метеорол. и гидрол.* 2007. № 5. С. 28–36.
7. Складнева Т.К., Белан Б.Д., Рассказчикова Т.М., Аршинова В.Г. Изменение синоптического режима Томска в конце XX – начале XXI в. // *Оптика атмосф. и океана.* 2018. Т. 31, № 11. С. 895–901; Sklyadneva T.K., Belan B.D., Rasskazchikova T.M., Arshinova V.G. Change in the synoptic regime of Tomsk in the late 20th – early 21st centuries // *Atmos. Ocean. Opt.* 2019. V. 32, N 2. P. 171–176.
8. Бордовская Л.И., Цибульский А.Е. Повторяемость и скорость движения циклонов и антициклонов над Западной Сибирью // *Вопросы географии Сибири.* Томск: Том. гос. ун-т, 1976. Вып. 9. С. 22–29.
9. Gulev S., Zolina O., Grigoriev S. Extratropical cyclone variability in the Northern Hemisphere winter from the NCEP/NCAR reanalysis data // *Clim. Dyn.* 2001. V. 17. P. 795–809.
10. Погосян Х.П. Общая циркуляция атмосферы. Л.: Гидрометеоиздат, 1972. 396 с.

N. V. Podnebesnykh. Long-term changes in atmospheric circulation over Siberia.

The long-term (1976–2018) variability of such characteristics of cyclones and anticyclones as the number, average long-term pressure at the centers of baric formations (hPa), and average long-term duration (day) is studied in Siberian (50–70°N; 60–110°E) based on surface synoptic maps. An increase in the number of cyclones and anticyclones, a decrease in the pressure at the centers of cyclones and its increase at the centers of anticyclones in the second half of the period under study have been ascertained, that is, cyclones became deeper and anticyclones more intense. At the same time, duration of cyclone and anticyclone decreased, and the anticyclonic weather occurred more often than the cyclonic weather during the year over the territory of Siberia.