

АТМОСФЕРНАЯ РАДИАЦИЯ, ОПТИЧЕСКАЯ ПОГОДА И КЛИМАТ

УДК 551.513.22

Долговременные сезонные изменения атмосферной циркуляции над Сибирью в конце XX – начале XXI в.

Н.В. Поднебесных*

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

Поступила в редакцию 18.12.2020 г.

Исследуется изменение характеристик циклонов и антициклонов (число, давление в центре (гПа), продолжительность (сутки)) и траектории их движения на территории Сибири (50–70° с.ш. и 60–110° в.д.) для климатически значимого временного интервала 1976–2018 гг. в разные сезоны года по данным приземных синоптических карт.

Ключевые слова: сезоны года, Сибирь, циклоны, антициклоны, число, давление в центре, продолжительность барических образований; season, Siberia, cyclones, anticyclones, number, average pressure at the center, duration of baric formations.

Введение

Будучи подвижными атмосферными вихрями, циклоны и антициклоны заметно влияют на погоду и климат внетропических широт [1]. С распространением циклонов связаны локальные вариации температуры, осадков, облачности и ветра. Подвижные антициклоны приносят в регионы длительные периоды малооблачной и сухой погоды [2], а малоподвижные (блокирующие) антициклоны могут вызывать длительную жару или холод [3]. В разные сезоны года наблюдаются существенные различия характеристик барических образований, поэтому изучение их сезонного хода на продолжительных временных интервалах представляет теоретический и практический интерес.

Вопросам долговременной сезонной изменчивости циркуляции посвящен ряд работ. Например, авторами [4] были обнаружены вековые и декадные изменения в частоте циклонов, их интенсивности, времени жизни и скорости углубления в зимний период, а в [5] было отмечено увеличение интенсивных циклонов зимой. В [6] была изучена климатология зимних антициклонов в Северном полушарии, а в [7] – особенности зимней циркуляции в районе Азиатского антициклона. Авторами [7] было показано влияние арктических вторжений и процессов, развивающихся в субтропических и тропических широтах, на Центральную Азию. Также можно отметить публикацию [8], в которой проанализирована деятельность циклонов и антициклонов зимой и их взаимодействие с региональной структурой циркуляции атмосферы, характеризующейся стационар-

ным Сибирским максимумом. В работе [8] было показано постоянное ослабление циклонов и антициклонов с 1990 по 2000-х гг. и ярко выраженное усиление антициклонической активности впоследствии.

Из всего вышесказанного становится понятно, что летней и сезонной циркуляции посвящено не так много работ, в связи с этим представляет интерес анализ многолетней динамики изменения ряда характеристик циклонов и антициклонов во все сезоны, что и было сделано в настоящей работе.

Исходные данные и методика исследования

В настоящей работе исследуется изменение характеристик циклонов и антициклонов на территории Сибири (50–70° с.ш. и 60–110° в.д.) для климатически значимого временного интервала 1976–2018 гг. в разные сезоны года. В качестве исходной базы использованы срочные синоптические карты АТ₁₀₀₀ (00, 06, 12, 18 ч СГВ) с последующей ручной обработкой (мануальным трекингом). Были рассмотрены следующие характеристики циклонов и антициклонов: число (количество), давление в центре (гПа), продолжительность (сутки) и траектория движения.

Методика мануального трекинга заключалась в последовательном анализе оператором получаемых каждые шесть часов приземных синоптических карт АТ₁₀₀₀. Положение циклона или антициклона на карте определялось визуально по конфигурации первой замкнутой изобары. Циклон или антициклон принимался в обработку, если его центр находился в пределах выделенной для исследования территории либо располагался за ее пределами, но его хорошо развитая периферия занимала не менее 25% площади региона. Также в работе учитывались

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

направления, с которых каждый циклон или антициклон входил на исследуемую территорию.

Как и при любом методе анализа, при применении мануального трекинга возникает вопрос о достоверности получаемых результатов. Оценкам погрешностей определения циклонов методами автоматического трекинга посвящена работа [9]. В ней показано, 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 немного более точными оценками для глубоких циклонов.

Характеристики барических образований, анализируемые в настоящей работе, были получены одним оператором. Допускаемая при этом индивидуальная ошибка оценивалась по методике, описанной в [10]. Классификация циклонов и антициклонов по траекториям их вхождения на исследуемую территорию приведена в [11].

Долговременные сезонные изменения характеристик циклонов и антициклонов

В течение 1976–2018 гг. на территории Сибири отмечено 2315 циклонов и 1827 антициклонов; среднегодовое число циклонов составляет 55, антициклонов – 45 (табл. 1). В [12], несмотря на меньший период наблюдений (1963–1967 гг.), отмечалось большее число циклонов и антициклонов над территорией Западной Сибири; так, среднегодовое число циклонов составляло 129, а антициклонов – 66. По данным [4], в Северном полушарии с 1958 по 1999 г. среднегодовое число циклонов зимой составляло 234.

Таблица 1

Суммарное число (n), среднее давление в центрах (P_n) и средняя продолжительность (t) циклонов (Z_n) и антициклонов (AZ_n) в разные сезоны года над Сибирью за 1976–2018 гг.

Сезон	n		P_n		t	
	Z_n	AZ_n	Z_n	AZ_n	Z_n	AZ_n
Зима	559	397	1002,2	1043,7	6,5	11,3
Весна	653*	530	1000,3	1031,9	5,3	8,1
Лето	521	444	999,0	1019,2	5,9	8,3
Осень	582	456	1000,6	1032,0	7,0	9,2
Среднее	55	45	1000,1	1031,3	6,0	8,8

* Максимальные и минимальные величины в разные сезоны.

В сезонном распределении барических образований наибольшее число циклонов и антициклонов отмечается весной (табл. 1). Так, с 1976 по 2018 г. над Сибирью было отмечено 653 циклона и 530 антициклонов с максимумом циклонов в мае, а антициклонов – в апреле. Наименьшее число циклонов (521) наблюдается летом с минимумом в июле, а антициклонов (397) – зимой с минимумом в январе.

Изучение многолетней динамики числа барических образований показало, что максимальное число циклонов приходит на изучаемую территорию по северо-западным траекториям (563 циклона/42 года, при среднем годовом значении 13,4 циклона) (табл. 2), а минимальное – по южным (245 циклона/42 года, при среднем годовом значении 5,8 циклонов); максимальное число антициклонов приходит по западным траекториям (450 циклона/42 года, при среднем годовом значении 10,7 антициклона), а минимальное – по северо-западным (211 циклона/42 года, при среднем годовом значении 5,0 антициклона) (табл. 2).

Обработка данных показала увеличение числа циклонов и антициклонов за последние годы (рис. 1). Анализ выявил, что в 2012–2018 гг. основной вклад в увеличение их числа вносят барические образования, смещающиеся по северным и южным траекториям. Это указывает на усиление меридионального и ослабление зонального переносов над Сибирью в этот период.

По данным приземных синоптических карт, для многолетнего числа циклонов (рис. 1) отмечается положительный значимый тренд с доверительной вероятностью $< 0,05$ (0,84 циклона/год), наибольший вклад в который вносят северо-западные циклоны, а для многолетнего числа антициклонов наблюдается положительный значимый тренд (0,40 антициклона/год), с максимальным вкладом западных антициклонов.

Анализ многолетних изменений давления в центрах барических образований (рис. 2, а) показал, что в 1976–2018 гг. давление в центрах циклонов изменялось в пределах 989,6–1006,0 гПа и среднее многолетнее давление в центрах циклонов составляет 1000,1 гПа; давление в центрах антициклонов изменялось от 1026,3 до 1040,5 гПа, среднее многолетнее значение – 1031,3 гПа (табл. 1).

Рассмотрение многолетней динамики внутригодового хода давления в центрах барических образований (рис. 2) показало, что наиболее глубокими являются циклоны в летний период с давлением в центрах 999,0 гПа (табл. 1) с минимумом в июле, а наименее глубокими – зимой (1002,2 гПа)

Таблица 2

Характеристики циклонов и антициклонов, пришедших на территорию Сибири по различным траекториям движения в 1976–2018 гг.

Характеристики	Циклоны						Антициклоны				
	С	СЗ	З	ЮЗ	Ю	Местные	С	СЗ	З	ЮЗ	ЮВ
n	343	563	512	281	245	371	396	211	450	346	424
P_n	995,6	993,3	998,3	1000,1	1002,3	1011,1	1029,5	1031,5	1028,9	1030,1	1036,3
t	6,0	8,1	6,4	5,1	4,5	2,7	8,4	9,1	9,6	7,7	8,7

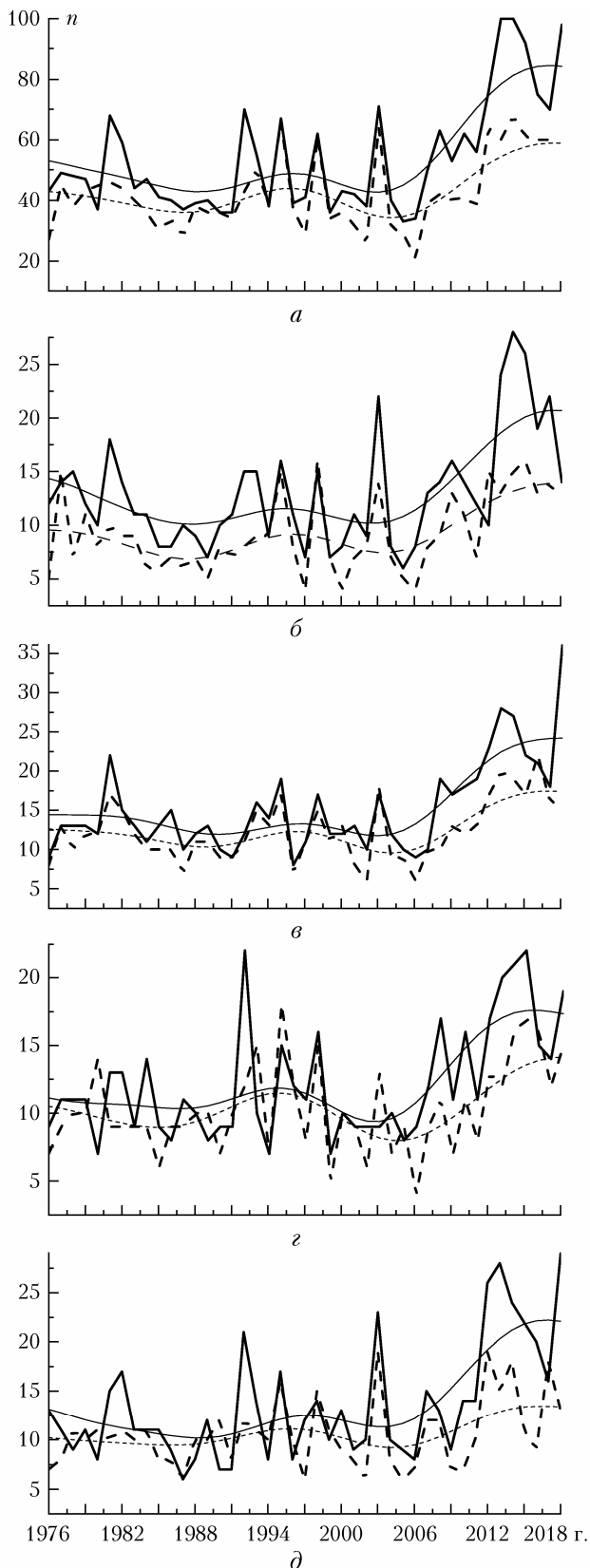


Рис. 1. Число циклонов (сплошная ломаная) и антициклонов (прерывистая ломаная) над Сибирью в 1976–2018 гг.: *a* – среднегодовое, *б* – среднее зимнее, *в* – весеннее, *г* – летнее, *д* – осеннее; плавные кривые – сглаженные 10-летним окном значения

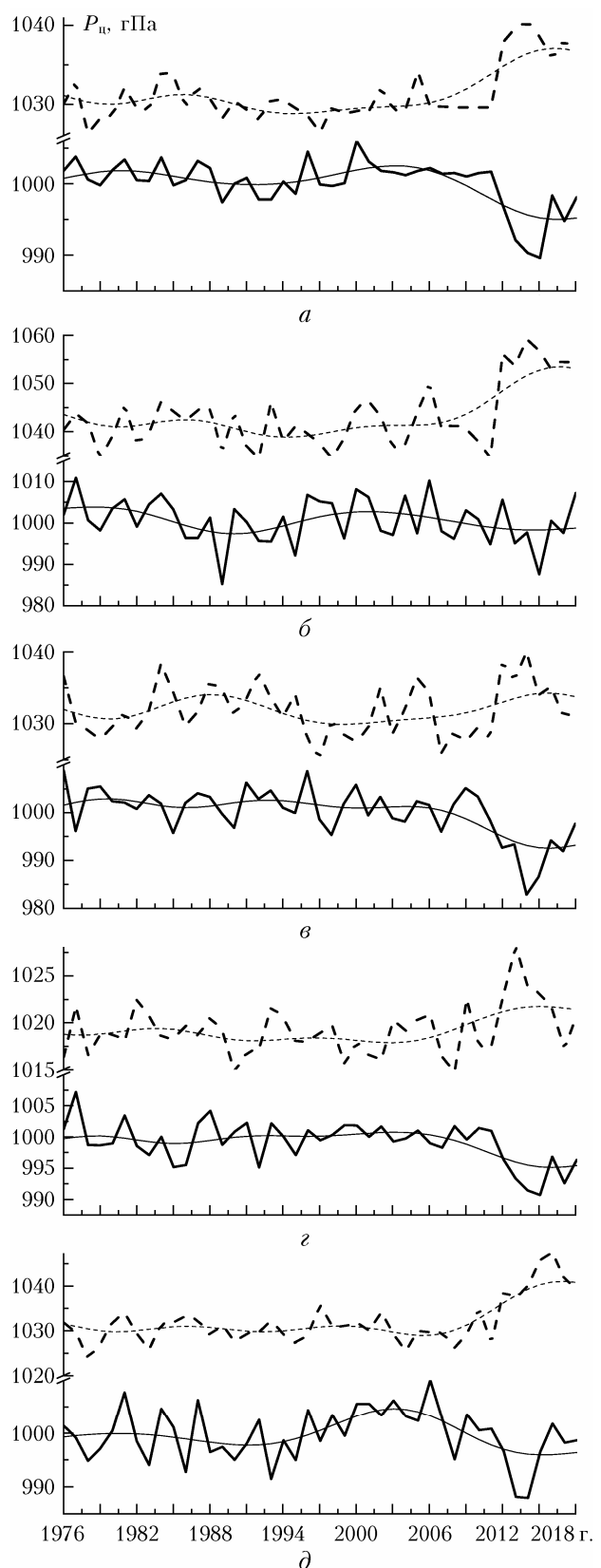


Рис. 2. Давление в центрах циклонов (сплошная ломаная) и антициклонов (прерывистая ломаная) над Сибирью за 1976–2018 гг.: *a* – среднегодовое, *б* – среднее зимнее, *в* – весеннее, *г* – летнее, *д* – осеннее; плавные кривые – сглаженные 10-летним окном значения

с максимумом в феврале. Антициклоны наиболее интенсивны зимой с давлением в центрах 1043,7 гПа с максимумом в феврале, а наименее интенсивны — летом (1019,2 гПа) с минимумом в июне.

Также анализ среднесуточных значений давления за 1976–2018 гг. 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 неглубокие местные циклоны образуются над изучаемой территорией и существуют недолго. Наиболее высокими являются антициклоны с юго-восточными траекториями движения (со средним многолетним значением 1036,3 гПа), а наименее высокими — западные антициклоны (со средним многолетним значением 1028,9 гПа) (см. табл. 2).

На рис. 2 видно уменьшение давления в центрах циклонов и увеличение в центрах антициклонов в последние годы. Принимая в расчет тот факт, что число барических образований в рассматриваемый период увеличилось (см. рис. 1), а продолжительность уменьшилась (рис. 3), можно сказать, что эти факторы иллюстрируют неустойчивость атмосферной циркуляции и, как следствие, нестабильность погоды в Сибирском регионе в последние годы. Анализ данных показал, что в 2012–2018 гг. основной вклад в углубление циклонов вносили северо-западные вихри, а в интенсификацию антициклонов — юго-восточные.

По данным приземных синоптических карт, тренд среднего многолетнего давления (см. рис. 2) в центрах циклонов отрицательный значимый с доверительной вероятностью $< 0,05$ ($-0,12$ гПа/год), наибольший вклад в него вносят северо-западные циклоны. Средний многолетний тренд давления в центрах антициклонов положительный значимый ($0,14$ гПа/год), наибольший вклад в него вносят юго-восточные антициклоны.

Рассматривая многолетний ход давления в центрах барических образований, можно выделить тот факт, что в первой половине анализируемого периода давление в центрах циклонов выше, чем во второй, а давление в центрах антициклонов — наоборот (рис. 2, а). Это говорит о том, что во второй половине исследуемого периода циклоны стали более глубокими, а антициклоны — более интенсивными.

Проведенный анализ данных продолжительности воздействия барических образований на территорию Сибири показал, что средняя многолетняя продолжительность циклонов составляет 6 сут, а антициклонов — 9 сут (см. табл. 1). Сезонное распределение этой характеристики барических образований свидетельствует, что наиболее продолжительны циклоны осенью (7 сут) с максимумом в октябре, а наименее продолжительны весной (5 сут) с минимумом в мае. Продолжительность антициклонов наибольшая зимой (11 сут) с максимумом в январе, а наименьшая весной (8 сут) с минимумом в мае.

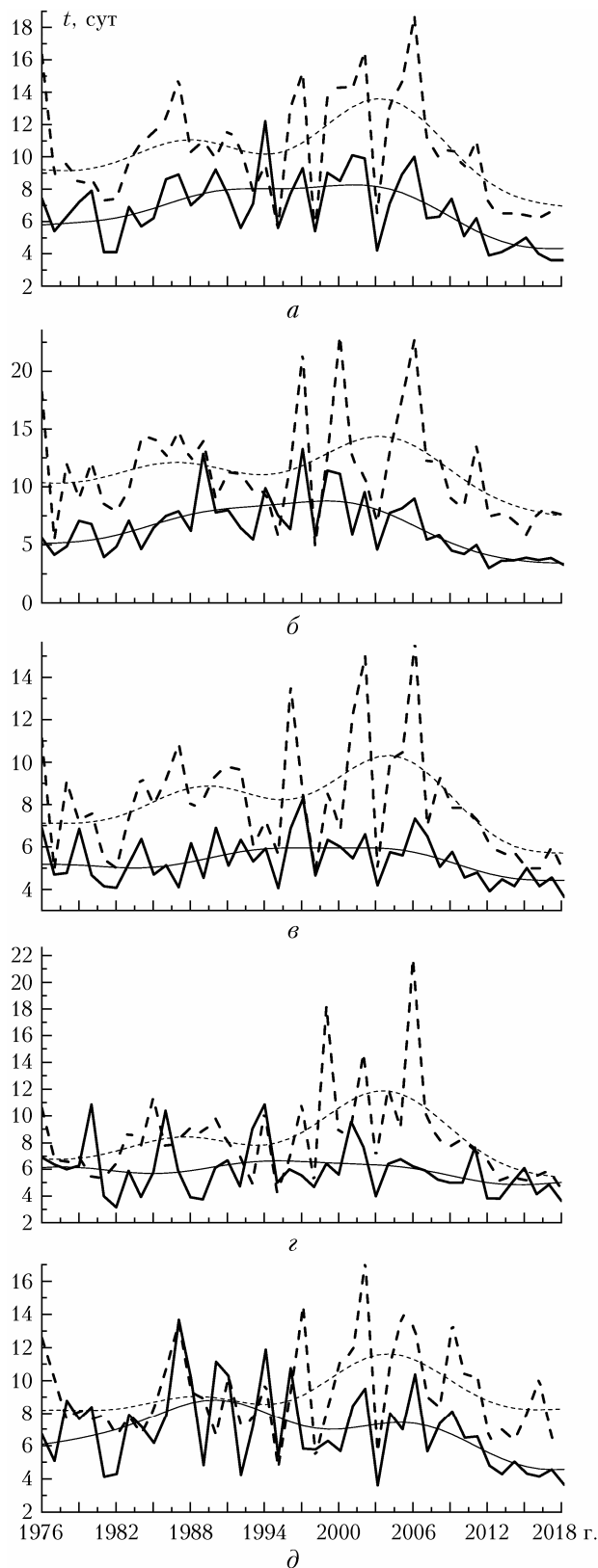


Рис. 3. Продолжительность воздействия циклонов (сплошная ломаная) и антициклонов (прерывистая ломаная) на территорию Сибири в 1976–2018 гг.: а — средняя многолетняя, б — средняя зимняя, в — весенняя, г — летняя, д — осенняя; плавные кривые — сглаженные 10-летним окном значения

Анализ средних многолетних значений продолжительности воздействия барических образований показал, что наиболее продолжительны циклоны, двигающиеся по северо-западным траекториям (8 сут), наименее продолжительны местные циклоны (3 сут); наиболее продолжительны западные антициклоны (10 сут), а наименее продолжительны юго-западные (8 сут) (см. табл. 2).

Из вышесказанного следует, 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.

По данным приземных синоптических карт, тренд средней многолетней продолжительности циклонов (см. рис. 3) отрицательный незначимый ($-0,04$ сут/год), наибольший вклад в него вносят местные циклоны. Тренд средней многолетней продолжительности антициклонов отрицательный незначимый ($-0,02$ сут/год), наибольший вклад в него вносят юго-западные антициклоны.

Заключение

В результате исследований многолетней изменчивости характеристик циклонов и антициклонов на территории Сибири в 1976–2018 гг. было получено, что к концу исследуемого периода число барических образований увеличилось, давление в центрах циклонов уменьшилось, т.е. циклоны стали более глубокими, давление в центрах антициклонов выросло, т.е. они стали более высокими, а их продолжительность незначительно уменьшилась. Те же тенденции наблюдаются и в сезонном масштабе, исключение составила увеличившаяся продолжительность антициклонов осенью.

Исследование было выполнено в рамках госзадания.

1. *McDonald R.E.* Understanding the impact of climate change on Northern Hemisphere extra-tropical cyclones // *Clim. Dyn.* 2011. V. 37(7–8). P. 1399–1425.

2. *Хромов С.П., Петросяниц М.А.* Метеорология и климатология. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2006. 582 с.
3. *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.
4. *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.
5. *Paciorec C.J., Risber J.S., Ventura V., Rosen R.D.* Multiple indices of Northern Hemisphere cyclone activity, winters 1949–99 // *J. Clim.* 2002. V. 15. P. 1573–1590.
6. *Ioannidou L., Yau M.K.* A climatology of the Northern Hemisphere winter anticyclones // *J. Geophys. Res.* 2008. V. 113, N D08119. DOI: 10.1029/2007JD008409.
7. *Иванова А.С., Латышева И.В., Мордвинов В.И.* Особенности зимней циркуляции в районе Азиатского антициклона // *Оптика атмосф. и океана.* 2004. Т. 17, № 5–6. С. 448–452.
8. *Zhang X., Lu C., Guan Z.* Weakened cyclones, intensified anticyclones and recent extreme cold winter weather events in Eurasia // *Environ. Res. Lett.* 2012. N 7. P. 1–7.
9. *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.
10. *Чемекова Е.Т., Болтовская М.А., Логинов С.В., Пахместерова 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.* 2013. С. 157.
11. *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.
12. *Бордовская Л.И., Цибульский А.Е.* Повторяемость и скорость движения циклонов и антициклонов над Западной Сибирью // *Вопросы географии Сибири.* 1976. Вып. 9. С. 22–29.

N.V. Podnebesnykh. Long-term seasonal changes in atmospheric circulation over Siberia in the late XX – early XXI centuries.

The variability of the characteristics of cyclones and anticyclones (number, pressure at the center (hPa), and duration (days)) and their trajectories is studied for Siberia (50–70 N, 60–110 E) in different seasons throughout the climatically significant time interval 1976–2018 on the basis of surface synoptic maps. It is found that the number of baric formations has increased, the pressure at the centers of cyclones has decreased and at the centers of anticyclones increased, and the duration of cyclones and anticyclones has decreased during the period under study. These trends in the behavior of the characteristics of cyclones and anticyclones are especially pronounced at the end of the period. During the year, the anticyclonic weather was observed more often than cyclonic in Siberia.