ИЗВЕСТИЯ РАН. СЕРИЯ ГЕОГРАФИЧЕСКАЯ, 2015, № 3, с. 94–99

ПРИРОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ И ДИНАМИКА ГЕОСИСТЕМ

УДК 551

КРУПНОМАСШТАБНАЯ АТМОСФЕРНАЯ ЦИРКУЛЯЦИЯ НАД СИБИРЬЮ ПО ДАННЫМ ПРИЗЕМНЫХ СИНОПТИЧЕСКИХ КАРТ И РЕАНАЛИЗА

© 2015 г. Н.В. Поднебесных

Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН; Томск, Россия; podnebesnykhnv@inbox.ru

Поступила в редакцию 14.11.2014 г.

В работе представлены результаты сравнительного анализа характеристик барических образований, определявших погоду на территории Сибири за период 1976–2011 гг. по данным приземных синоптических карт и карт, построенных с помощью NCEP/DOE AMIP II реанализа. Область исследования была ограничена 50–70° с.ш., 60–110° в.д. Были рассмотрены такие характеристики циклонов и антициклонов как число, давление в центрах, градиент давления, продолжительность. Было получено, что реанализ достаточно хорошо отражает качественную картину временной изменчивости числа барических образований. Во второй половине исследуемого периода циклоны стали менее глубокими, а антициклоны менее интенсивными, как по данным приземных синоптических карт, так и по данным реанализа. Средняя величина градиента давления барических образований по данным приземных синоптических карт в два–три раза меньше, чем по данным реанализа. Средняя многолетняя продолжительность влияния на территорию барических образований по данным приземных синоптических карт и по данным реанализа практически одинакова. Над территорией Сибири в период 1976–2011 гг. по данным приземных синоптических карт отмечается увеличение продолжительности антициклональной погоды, а по данным реанализа увеличение продолжительности циклонической погоды.

Изменчивость погоды и климата региона обусловливается, главным образом, повторяемостью крупномасштабных атмосферных вихрей: циклонов, несущих осадки, и антициклонов, обеспечивающих длительные периоды устойчивой погоды. Изменение крупномасштабной атмосферной циркуляции считается одной из причин потепления климата, происходящего в последние десятилетия в Северном полушарии. Однако, как показывают расчеты [2, 3], темпы потепления неодинаковы в разных районах, поэтому изучение особенностей региональной циркуляции имеет существенное значение.

Исследованию влияния атмосферной циркуляции на климат посвящено большое количество работ. Наиболее часто рассматриваются связи между климатическими параметрами и телеконнекционными индексами, описывающими скорее глобальную циркуляцию (NAO, SOI, SCAND и др.). В ряде работ для описания циркуляции используются типизации, описывающие чередование определенных форм макропроцессов (индексы Дзердзеевского, Виттельса, Каца и др.). В появившихся в последние годы работах [10, 12] рассматриваются закономерности изменения вихревой активности как для полушария в целом, так и для отдельных регионов, полученные на основе баз данных реанализа. Такие работы представляют большой интерес, однако, во-первых, их результаты должны быть протестированы с помощью аналогичных данных, получаемых с использованием синоптических карт и, во-вторых, эти работы не связывают изменения в циркуляции с изменениями климата.

Целью настоящей статьи является сравнительный анализ характеристик барических образований (циклонов и антициклонов), определявших погоду на территории Сибири за 1976–2011 гг., по данным приземных синоптических карт и карт, построенных с помощью NCEP/DOE AMIP II реанализа.

Для анализа крупномасштабной атмосферной циркуляции над Сибирью за рассматриваемый период были использованы приземные и высотные синоптические карты за основные метеорологические сроки (00, 06, 12 и 18 ч СГВ). В вы-

бранном для исследования районе (50–70° с. ш., 60–110° в. д.) прослеживались траектории перемещения центров барических образований (повторяемость) и оценивались давление в центре этих образований, градиент давления и продолжительность их влияния на исследуемую территорию. В качестве циклона (антициклона) рассматривалась область пониженного (повышенного) давления при наличии хотя бы одной замкнутой изобары с характерной циркуляцией и структурой метеорологических полей. Результаты анализа приземных синоптических карт сравнивались с результатами реанализа NCEP/DOE AMIP II (NCEP_Reanalysis 2 data provided by the NOAA/OAR/ESRL PSD, Boulder, Colorado, USA) [11].

Отличия схем реанализа от действующих оперативных прогностических схем заключаются, во-первых, в неизменности схемы четырехмерного усвоения данных (по широте, долготе, высоте и времени) для всего периода обрабатываемых наблюдений, во-вторых, в отсутствии так называемого срока отсечения поступающих данных наблюдений, который неизбежно используется в оперативной практике. В результате этого становится возможным включение в реанализ максимально полного комплекта данных наблюдений, в том числе поступающих со значительной задержкой (экспедиционные наблюдения, режимные данные, данные, переносимые на машинные носители и т.д.) [7]. Параметры данных NCAR/NCEP реанализа подробно описываются в [4, 5, 8, 9].

Однако, не умаляя важности результатов проектов реанализа для различных исследований в области взаимодействия компонентов климатической системы и изменений климата, следует подчеркнуть необходимость тщательного сопоставления полей реанализов со значениями наблюдавшихся метеорологических величин. Это важно для получения объективной оценки возможности использования результатов реанализа для определенного класса задач и, прежде всего, для выявления ограничений их использования.

При проведении расчетов использовались данные реанализа NCEP/DOE AMIP II, относящиеся к пространственным полям метеовеличин. Они имеют пространственное покрытие 90° с. ш. – 90° ю. ш., 0° в. д. – 357.5° в. д. и определены для координатной сетки в 2.5° по широте и долготе. Временной интервал охватывает период с 1979 г. по настоящее время и содержит “срочные” данные, получаемые через каждые 6 часов в основные метеорологические сроки (00, 06, 12 и 18 ч СГВ).

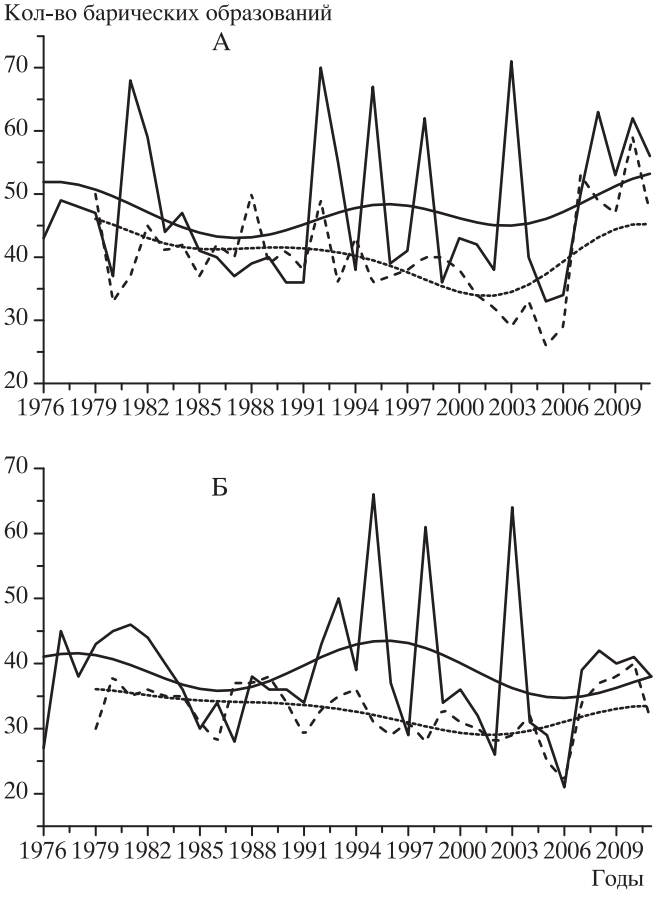

Рис. 1. Число барических образований (циклонов (А), антициклонов (Б)) по данным приземных синоптических карт (сплошная линия) и данным, полученным с помощью NCEP/DOE AMIP II реанализа (прерывистая линия) над Сибирью за период 1976–2011 гг.

Результаты анализа траекторий движения центров барических образований, проведенных по данным приземных синоптических карт [1] и по данным реанализа, представлены на рис. 1. Из рисунка видно, что число как циклонов, так и антициклонов по данным приземных синоптических карт превышает число барических образований по данным реанализа в 1.3 раза. Среднегодовое число циклонов в 1976–2011 гг. по данным приземных синоптических карт равно 47 (σ = 11.3; σ – стандартное отклонение), по данным реанализа 40 (σ = 7.4); а для антициклонов 39 (σ = 9.9) и 33 (σ = 4.1) соответственно. Это может быть связано с тем, что в целом реанализ NCEP/DOE AMIP II, как и другие виды реанализов, лучше воспроизводит более крупные барические образования, чем мелкие, что согласуется с результатами других авторов [6, 13]. При наличии несовпадений числа циклонов и антициклонов, полученных в результате двух видов анализа, их изменчивость на всем интервале имеет одинаковые тенденции.

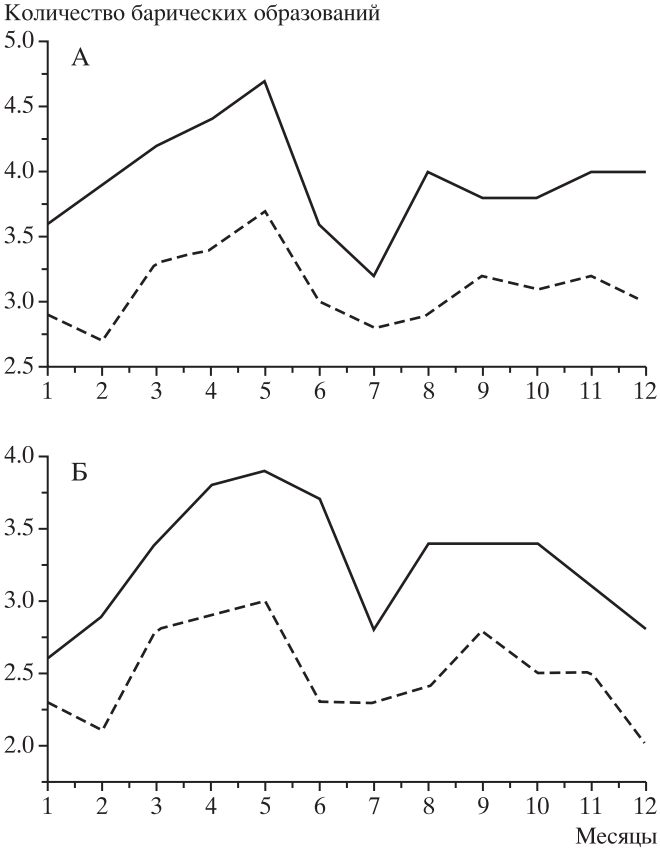

Рис. 2. Внутригодовое число барических образований (циклонов (А), антициклонов (Б)) по данным приземных синоптических карт (сплошная линия) и данным, полученным с помощью NCEP/DOE AMIP II реанализа (прерывистая линия) над Сибирью за период 1976–2011 гг.

Также из рис. 1 видно, что до начала 1990-х гг. количество барических образований (как циклонов, так и антициклонов) было несколько меньше, чем после указанного периода. Это можно связать с тем, что с начала 1990-х гг. резко уменьшилось число метеорологических, актинометрических и аэрологических станций и постов в России и сопредельных государствах, а также с наличием некоторой периодичности (например, полувековой или 30-летней) в рядах повторяемости барических образований.

В сложном внутригодовом ходе количества барических образований максимум наблюдается в холодный период года, а минимум – в теплый. Так, для циклонов, по данным приземных синоптических карт, максимум среднего количества отмечается в январе (15 циклонов), а минимум – в июле и августе (6 циклонов); по данным реанализа максимум числа циклонов наблюдается в январе (15 циклонов), а минимум – в сентябре (5 циклонов). Для антициклонов максимум числа отмечается в декабре (14 антициклонов) – по данным приземных синоптических карт и в январе – по данным реанализа, а минимум – в сентябре (5 антициклонов) и августе (4 антициклона) соответственно (рис. 2).

Изучена динамика величины атмосферного давления в центрах барических образований (рис. 3). Значения давления в центрах циклонов, по данным приземных синоптических карт, изменяются от 997.4 гПа до 1006.0 гПа (среднее 1001.2 гПа), а по данным реанализа они изменяются от 992.9 гПа до 1000.7 гПа (среднее 996.9 гПа). Величина давления в центрах антициклонов, по данным приземных синоптических карт, меняется от 1026.3 гПа до 1034.2 гПа (среднее 1029.9 гПа), а по данным реанализа – от 1022.9 гПа до 1028.1 гПа (среднее 1026.0 гПа). В ходе анализа данных установлено, что минимальное давление в центрах отмечалось для северо-западных циклонов, смещающихся из районов Кольского п-ова, как по данным, полученным при помощи приземных синоптических карт – 994.2 гПа, так и по данным, полученным с помощью реанализа – 989.1 гПа; максимальное

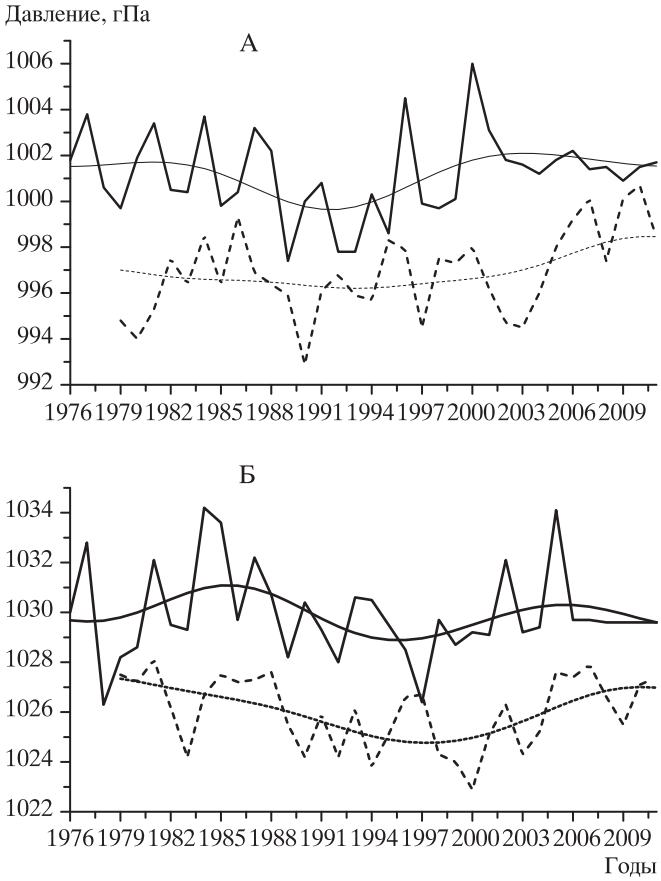

Рис. 3. Давление в центрах (гПа) барических образований (циклонов (А), антициклонов (Б)) по данным приземных синоптических карт (сплошная линия) и данным, полученным с помощью NCEP/DOE AMIP II реанализа (прерывистая линия) над Сибирью за период 1976–2011 гг.

давление отмечалось в центрах местных циклонов – 1012.3 гПа и 1009.2 гПа соответственно. По данным приземных синоптических карт, в межгодовом распределении к концу исследуемого периода наблюдается рост давления в центрах практически всех типов циклонов, за исключением южных и местных, в то время как по данным реанализа наблюдается рост давления, в большей или меньшей степени, в центрах всех типов циклонов.

Анализ давления в центрах антициклонов показал, что минимальное давление отмечалось для северных антициклонов и его величина составляет – 1027.4 гПа для приземных синоптических карт и 1024.8 гПа для реанализа, а максимальное – для юго-восточных антициклонов, как по данным приземных синоптических карт (1035.3 гПа), так и по данным реанализа (1028.0 гПа). В межгодовом распределении величины давления в центрах антициклонов, полученным по данным приземных синоптических карт, наблюдается слабый рост давления для юго-восточных и юго-западных антициклонов, давление в центрах северных, северо-западных и западных антициклонов падает. В центрах антициклонов, по данным реанализа, наблюдается рост давления для северных и юго-восточных антициклонов, для северо-западных, западных и юго-западных антициклонов наблюдается падение давления.

В межгодовом ходе давления в центрах барических образований можно выделить тот факт, что во второй половине рассматриваемого периода величина давления в центрах циклонов, как по данным приземных синоптических карт, так и по данным реанализа, несколько выше, а величина давления в центрах антициклонов несколько ниже, чем в первой половине (рис. 3), т.е. циклоны стали менее глубокими, а антициклоны менее интенсивными.

Средняя величина градиента давления циклонов по данным приземных синоптических карт равна 6.5 гПа (σ = 1.3), антициклонов – 4.0 гПа (σ = 1.0); по данным реанализа эта величина равна 11.9 гПа (σ = 1.1) для циклонов и 11.8 гПа (σ = 1.0) для антициклонов (рис. 4). Данный факт еще раз подтверждает вывод о том, что в реанализе лучше воспроизводятся более крупные и более интенсивные барические образования. Местные барические образования, как правило, имеют меньшую интенсивность и геометрические размеры, поэтому не учитываются реанализом.

Проведены сравнения продолжительности воздействия барических образований на исследуемую территорию. Получено, что средняя многолетняя продолжительность циклона составляет 7 суток как по данным приземных синоптических карт, так и по данным реанализа (σ = 1.9 и 2.2 соответственно) (рис. 5). Для антициклона продолжительность составляет 11 суток (σ = 3.2) по данным приземных синоптических карт и 10 суток (σ = 1.4) по данным реанализа. Средняя годовая продолжительность общего воздействия на исследуемую территорию циклонов меньше, чем антициклонов, т.е. в течение года антициклональная погода наблюдается над территорией Сибири чаще, чем циклоническая. Тренд на увеличение продолжительности циклонов был обнаружен по данным реанализа, а на увеличение продолжительности антициклонов – по данным приземных синоптических карт региона.

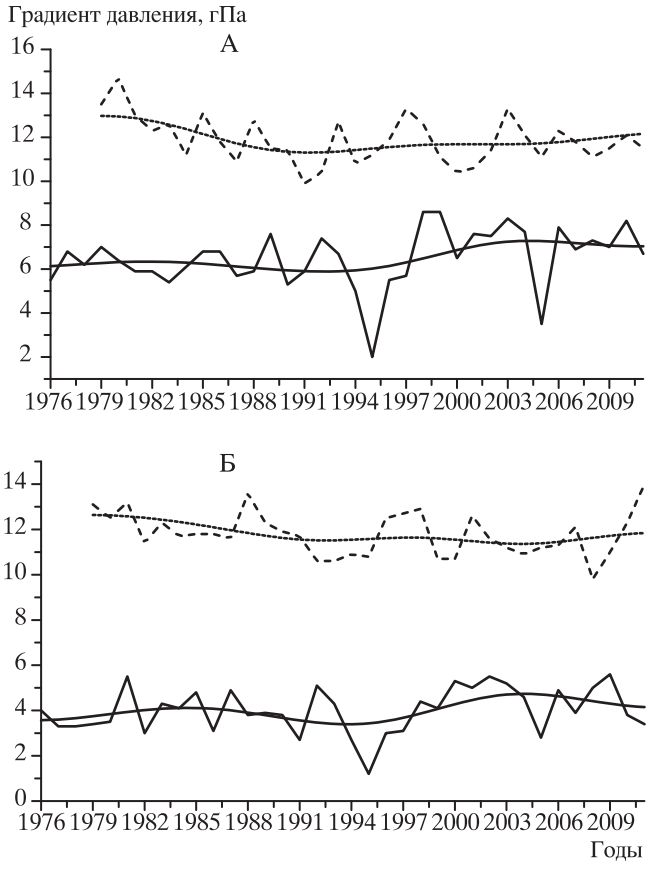

Рис. 4. Градиент давления (гПа) в центрах барических образований (циклонов (А), антициклонов (Б)) по данным приземных синоптических карт (сплошная линия) и данным, полученным с помощью NCEP/DOE AMIP II реанализа (прерывистая линия) над Сибирью за период 1976–2011 гг.

Таким образом, в результате исследования было обнаружено:

1. Реанализ достаточно хорошо отражает качественную картину временной изменчивости барических образований.

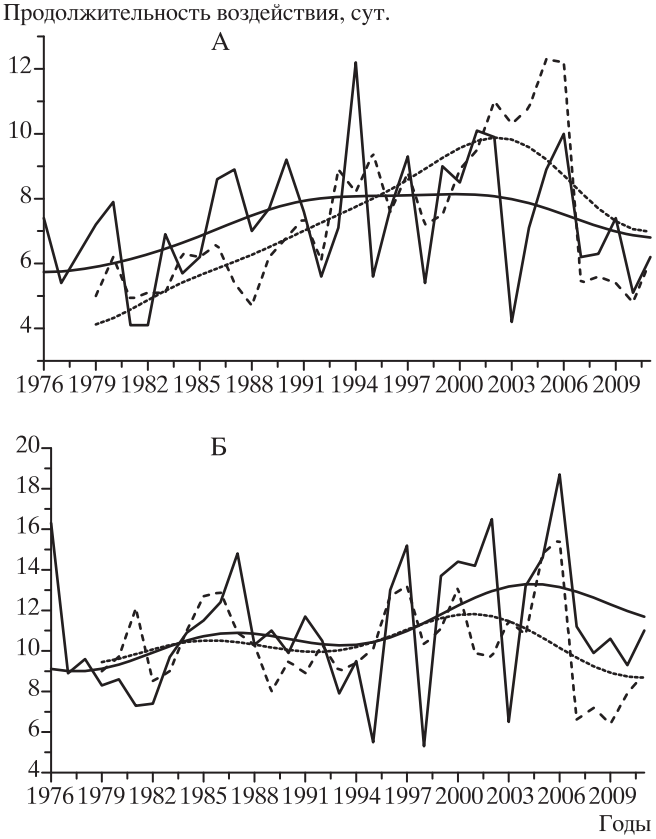

Рис. 5. Продолжительность (сутки) воздействия барических образований (циклонов (А), антициклонов (Б)) по данным приземных синоптических карт (сплошная линия) и данным, полученным с помощью NCEP/DOE AMIP II реанализа (прерывистая линия) над Сибирью за период 1976–2011 гг.

2. Число циклонов и антициклонов, полученное при анализе приземных синоптических карт, превышает их количество по данным реанализа в 1.3 раза. Данное различие, по-видимому, объясняется тем, что реанализ NCEP/DOE AMIP II, как и другие виды реанализов, лучше воспроизводит более крупные барические образования, чем мелкие.

3. Во второй половине исследуемого периода циклоны стали менее глубокими, а антициклоны менее интенсивными.

4. Средняя величина градиента давления барических образований по данным приземных синоптических карт в два–три раза меньше, чем по данным реанализа.

5. Средняя многолетняя продолжительность влияния на территорию барических образований и по данным приземных синоптических карт, и по данным реанализа практически одинакова. Для циклонов, как по данным приземных синоптических карт, так и по данным реанализа средняя многолетняя продолжительность равна 7 суток, а для антициклонов – 11 и 10 суток соответственно.

6. Над территорией Сибири в 1976–2011 гг. по данным приземных синоптических карт отмечается увеличение продолжительности антициклональной погоды, а по данным реанализа – увеличение продолжительности циклонической погоды.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Горбатенко В.П., Ипполитов И.И., Поднебесных Н.В.* Циркуляция атмосферы над Западной Сибирью в 1976–2004 гг. // Метеорология и гидрология. 2007. № 5. С. 28–36.
2. *Груза Г. В., Ранькова Э.Я.* Обнаружение изменений климата: состояние, изменчивость и экстремальность климата // Метеорология и гидрология. 2004. № 4. С. 50–67.
3. *Ипполитов И.И., Кабанов М.В., Комаров А.И., Кусков А.И.* Современные природно-климатические изменения в Сибири: ход среднегодовых приземных температур и давления // География и природные ресурсы. 2004. № 3. С. 90–96.
4. *Рубинштейн К.Г., Игнатов Р.Ю., Егорова Е.Н.* О связи температуры поверхности океана и характеристик азиатского муссона // Метеорология и гидрология. 2001. № 8. С. 18–27.
5. *Рубинштейн К.Г., Егорова Е.Н.* Влияние межгодовой аномалии температуры поверхности океана на изменчивость циркуляции атмосферы (Результаты численных экспериментов с моделью Общей Циркуляции Атмосферы Гидрометцентра России) // Метеорология и гидрология. 2002. № 2. С. 5–15.
6. *Рубинштейн К.Г., Стерин А.М.* Сравнение результатов реанализа с аэрологическими данными // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. 2002. Т. 38. № 3. С. 301–315.
7. *Хан В.М., Стерин А.М., Рубинштейн К.Г.* Оценка трендов температуры в свободной атмосфере по данным реанализа и радиозондовым наблюдениям // Метеорология и гидрология. 2003. № 12. С. 5–18.
8. *Burlutskiy R.F.* Diagnosis of the energy cyclo of the northern hemisphere from the analysis of Hydrometcenter of Russia and the ECMWF reanalysis // Proc. the second WCRP international conference on reanalyses (Wokefield Park, nr. Reading, UK, 23–27 August 1999). January 2000. WCRP–109, WMO/TD–NO. 985. P. 390–393.
9. *Gulev S., Jung T., Ruprecht E.* Initercomparison of the climate variability in the ocean – atmosphere flux fixed field derived from the NCEP/NCAR reanalysis and COADS // Proc. the second WCRP international conference on reanalyses (Wokefield Park, nr. Reading, UK, 23–27 August 1999). January 2000. WCRP-109, WMO/TD-NO. 985. P. 119–122.

10. *Gulev S., Zolina O., Grigoriev S.* Extratropical cyclone variability in the Northern Hemisphere winter from the NCEP/NCAR reanalysis data // Climate Dynamics. 2001. V. 17. P. 795–809.

11. http://www.cdc.noaa.gov/PublicData/ (дата обращения: 22/07/2008)

12. *Ioannidou L., Yau M.K.* A climatology of the Northern Hemisphere winter anticyclones // Journ. Geophys. Res. 2008. V. 113. P. D0811119/1 – D081119/17.

13. *Manning D.M., Hart R.E.* Evolution of North Atlantic ERA40 tropical cyclone representation // Geophys. Res. Lett. 2007. V. 34. № 5. L05705, doi: 10.1029/206GL028266.

REFERENCES

1. Gorbatenko V.P., Ippolitov I.I., and Podnebesnykh N.V. Atmospheric circulation over Western Siberia in 1976–2004. *Russ. Meteorol. Hydrol*., 2007, vol. 32, no. 5, pp. 301–306.

2. Gruza G.V. and Rankova E.Y. Detection of changes in climate state, climate variability, and climate extremity. *Russ. Meteorol. Hydrol*., 2004, no. 4, pp. 31–43.

3. Ippolitov I.I., Kabanov M.V., Komarov A.I., and Kuskov A.I. Modern natural climatic changes in Siberia: dynamics of average annual surface temperatures and pressure. *Geogr. Prirod. Resur*., 2004, no. 3, pp. 90–96. (In Russ.).

4. Rubinshtein K.G., Ignatov R.Yu., and Egorova E.N. Relation between sea surface temperature and Asian monsoom characteristics. *Russ. Meteorol. Hydrol*., 2001, no. 8, pp. 18–27.

5. Rubinshtein K.G. and Egorova E.N. Influence of interannual anomalies of sea surface temperature on variability of atmospheric circulation. Results of numerical experiments. *Russ. Meteorol. Hydrol*., 2002, no. 2, pp. 1–8.

6. Rubinstein K.G. and Sterin A.M. Comparison of reanalysis products and aerological data. *Izv., Atmos. Ocean. Phys*., 2002, vol. 38, no. 3, pp. 264–276.

7. Khan V.M., Rubinshtein K.G., and Sterin A.M. Estimates of temperature trends in the free atmosphere from reanalysis data and radiosonde observations, *Russ. Meteorol. Hydrol*., 2003, no. 12, pp. 1–10.

8. Burlutskiy R.F. Diagnosis of the energy cycle of the northern hemisphere from the analysis of Hydrometcenter of Russia and the ECMWF reanalysis, in *Proc. the Second WCRP Int. Conf. on Reanalyses, Wokefield Park, UK, August* 23–27*, 1999, WCRP*-109*, WMO/TD No. 985,* 2000, pp. 390–393.

9. Gulev S., Jung T., and Ruprecht E. Initercomparison of the climate variability in the ocean – atmosphere flux fixed field derived from the NCEP/NCAR reanalysis and COADS, in *Proc. the Second WCRP Int. Conf. on Reanalyses, Wokefield Park, UK, August 23–27, 1999, WCRP-109, WMO/TD No. 985,* 2000, pp. 119–122.

10. Gulev S., Zolina O., and Grigoriev S. Extratropical cyclone variability in the Northern Hemisphere winter from the NCEP/NCAR reanalysis data. *Clim. Dyn*., 2001, vol. 17, pp. 795–809.

11. NOAA Earth System Research Laboratory. http://www.cdc.noaa.gov/PublicData/

12. Ioannidou L. and Yau M.K. A climatology of the Northern Hemisphere winter anticyclones. *J. Geophys. Res*., 2008, vol. 113, pp. D0811119/1–D081119/17.

13. Manning D.M. and Hart R.E. Evolution of North Atlantic ERA40 tropical cyclone representation. *Geophys. Res. Lett*., 2007, vol. 34, no. 5, p. L05705, doi: 10.1029/206GL028266

Large-Scale Atmospheric Circulation over Siberia by Data from Surface Synoptic Maps and Reanalysis

N.V. Podnebesnykh

Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, Tomsk, Russia; podnebesnykhnv@inbox.ru

The results of the comparative analysis of the characteristics of pressure centers which influenced the weather in Siberia in 1976–2011 according to the surface synoptic maps and maps constructed using NCEP/DOE AMIP II reanalysis are presented. The area of study was limited by 50–70°N, 60–110°E. Such characteristics as number of cyclones and anticyclones, pressure in their centers, pressure gradient, duration of live are investigated. It is found that reanalysis data represent the qualitative picture of the temporal variability of pressure centers quite correctly. In the second half of the studied period cyclones have become less deep and anticyclones have become less intensive. The average value of the pressure gradient of pressure centers obtained using surface synoptic maps is less than that obtained using reanalysis data by factor of two or three. Average long-term duration of the impact on the territory of the pressure centers using the surface synoptic maps and reanalysis data is almost the same. In general, for Siberia over the period of 1976–2011, according to surface synoptic maps data, duration of anticyclonic weather had increased, but according to reanalysis data, duration of cyclonic weather had increased.