

Антициклогенез приземного барического поля в зимний сезон, блокирование и неустойчивость угловой скорости вращения Земли

Г. М. Виноградова*, Н. Н. Завалишин*

Проведен анализ аномалий среднемесячных значений приземного давления в зимний сезон на территории Евразии за 1901—2010 гг. Отмечено, что центры крупных месячных положительных аномалий давления (16—24 гПа), как правило, располагаются в полосе 60—70° с. ш. Сибирский антициклон при этом хорошо развит, но аномалии давления в его центре составляют всего 3—8 гПа. На изобарической поверхности 500 гПа в естественном синоптическом районе при крупных месячных аномалиях давления получает преимущественное развитие циркуляция формы Е (по Г. Я. Вангенгейму). Число дней с западной циркуляцией W крайне мало, а при аномалиях в центре очага более 20 гПа — практически отсутствует (блокирующий процесс). Временные периоды увеличения (уменьшения) годового числа дней с циркуляцией W хорошо согласуются с периодами ускорения (замедления) вращения Земли. Положительные аномалии давления встречались в четыре-пять раз чаще в периоды уменьшения угловой скорости вращения Земли: в 1933—1972 гг. и после 2004 г.

Введение

В последнее время в погодно-климатических обзорах Гидрометцентра России особенностей атмосферной циркуляции в Северном полушарии в холодный период года (<http://meteoinfo.ru/climate>) все чаще отмечается, что основной причиной изменчивости атмосферных процессов в Восточном полушарии является сибирский антициклон. От интенсивности его развития и занимаемой площади зависят аномалии температуры зимних месяцев во многих районах Северного полушария.

В классическом представлении [10] сибирский (зимний, азиатский) антициклон — один из сезонных центров действия атмосферы (область высокого давления над Азией на многолетних средних картах зимних месяцев с центром над территорией Монголии). Среднее давление в его центре превышает 1030 гПа. Сибирский антициклон в общепринятом понимании является статистическим результатом частого формирования, усиления и стабилизации антициклонов над охлажденным континентом [9]. На начальной стадии этому способствует расположение местности под входом планетарной высотной фронтальной зоны континент Азия — Тихий океан, а затем процесс усиливается зимним выхолаживанием приземного слоя

* Сибирский научно-исследовательский гидрометеорологический институт; e-mail: znm@sibnigmi.ru.

воздуха над континентом. При этом имеет значение орография местности. Но в аномально холодные зимы процесс антициклогенеза внутри континента Евразия выходит из рамок классического представления. Мощные гребни из огромной области высокого давления, сформированной над Восточной и Западной Сибирью, распространяются на Урал, Восточную и Северную Европу, нередко до Северного полюса, а оттуда “стекают” к югу в Северную Америку, являясь причиной резкого и порой длительного похолодания в перечисленных регионах. В Западной и Восточной Сибири морозы, как правило, тоже достигают экстремальных значений.

Изучением процессов, приводящих к значительным и длительным похолоданиям на территории Евразии, занимались такие известные ученые, как Б. П. Мультановский, Г. Я. Вангенгейм, Х. П. Погосян, Х. Х. Рафаилова, А. А. Гирс. Можно отметить также цикл работ сибирских метеорологов И. Г. Храмцовой, Р. А. Ягудина, опубликованный в сборниках трудов ЗапСибНИГМИ в 1972—1986 гг. Из большого количества зарубежных статей необходимо указать работы [11, 12], наиболее близкие к направлению данных исследований.

Потепление климата последних десятилетий уменьшило интерес к проблеме отрицательных аномалий температуры, но холодные зимы последних лет (2005/06 г., 2007/08 г., 2009/10 г.) снова заставляют вспомнить о существовании сибирского антициклона и его влиянии на температурный режим континента Евразия зимой.

Настоящая работа посвящена анализу динамики барического поля на континенте Евразия в зимний сезон (декабрь, январь, февраль) за период 1901—2010 гг. Особенностью подхода является то, что анализируются не сами значения приземного атмосферного давления, а их месячные аномалии, занимаемая ими площадь, повторяемость крупных положительных аномалий на разных участках временного ряда.

При анализе циркуляции на изобарической поверхности 500 гПа используется классификация Г. Я. Вангенгейма [1—3] — число дней с циркуляцией W , E , C в I естественном синоптическом районе (I е. с. р.). При совместном анализе циркуляции и угловой скорости вращения Земли в отличие от работ [4, 6—8] авторы не объединяют в единый тип циркуляции W и E , а рассматривают их как самостоятельные типы: W — западный перенос, E — меридиональный перенос (гребень над европейской территорией России, а ложбина — над Западной Сибирью). Это важно, так как существует разделение на годы с западным переносом и годы с блокирующими процессами.

Второе отличие от работы [8] состоит в том, что ряды с годовым числом дней с циркуляцией W аппроксимируются не линейным трендом по всему ряду, а полиномом шестой степени, что позволяет проследить временной ход годового числа дней с западным переносом на отдельных участках временного ряда.

Исходные данные

В работе использовались следующие данные.

1. Карты аномалий среднемесячных значений приземного атмосферного давления за период 1901—2010 гг., применяемые специалистами Рос-

гидромета в оперативной практике долгосрочного прогноза при подборе годов-аналогов. На картах проведены изолинии через 4 гПа по территории Евразии (35—90° с. ш., 20—180° в. д.). При построении карт аномалий используются нормы, рассчитанные за период 1930—1960 гг.

2. Ежемесячные данные о числе дней с типами циркуляции *W*, *E*, *C* (по Г. Я. Вангенгейму) в I е. с. р. от 45° з. д. до 95° в. д. за период 1901—2010 гг. (до 1968 г. — [2], с 1969 г. — данные ААНИИ).

3. Данные об угловой скорости вращения Земли и отклонении продолжительности суток от стандартной (86 400 с) за период 1900—2008 гг. Данные наблюдений взяты с сайта Международной службы вращения Земли (<http://hpirs.obspm.fr/eor-pc/earthor/utllod/lod-1623.htm>).

Результаты и обсуждение

Был проведен совместный анализ изменчивости в зимний сезон приземного барического поля и типов атмосферной циркуляции на изобарической поверхности 500 гПа за период 1901—2010 гг. Для исследования изменчивости приземного барического поля, как отмечалось выше, использовались карты фактических значений месячных аномалий приземного давления. На первом этапе из всего временного ряда были отобраны годы, когда положительная аномалия приземного давления величиной более 6 гПа занимала большую часть территории Западной и Восточной Сибири. Выборка делалась отдельно для декабря, января и февраля. Для каждого отобранного года определялись значение месячной аномалии приземного давления в центре положительного очага и его местоположение, число дней с циркуляцией *W*, *E*, *C* (по Г. Я. Вангенгейму) в I е. с. р., среднемесячное значение давления в центре сибирского антициклона и его аномалия.

Анализ показал, что в случаях, когда положительные месячные аномалии приземного давления более 6 гПа занимают большую часть территории Западной и Восточной Сибири, западный перенос ослаблен, преимущественное развитие в I е. с. р. получает циркуляция формы *E*, а очаг с максимальной месячной аномалией давления находится не в центре сибирского антициклона, а отнесен далеко на север примерно к 60—70° с. ш.

На следующем этапе требования к отбору лет были ужесточены: отбирались годы с аномалиями давления в центре очага не менее 16 гПа (табл. 1). Данные таблицы свидетельствуют, что при крупных месячных аномалиях приземного давления величиной 16—26 гПа западный перенос более чем в половине случаев вообще отсутствует, а число дней с циркуляцией *E* составляет 20—31 сут, т. е. отмечается процесс блокирования. Центры очагов положительных аномалий находятся, за редким исключением, далеко в северных широтах.

Далее была проанализирована взаимосвязь годового числа дней с западной циркуляцией и годовых аномалий угловой скорости вращения Земли. За основу анализа взято годовое число дней с циркуляцией *W* по классификации Г. Я. Вангенгейма в I е. с. р. за период 1931—2009 гг., потому что циркуляция *W* — западный перенос, который четко виден на изобарической поверхности 500 гПа. Ошибки в числе дней с этой формой циркуляции практически исключены, чего нельзя сказать о числе дней с типом циркуляции *E* или *C*. Местоположение высотного гребня и высотной лож-

Таблица 1
Годы с месячной аномалией приземного давления
не менее 16 гПа

Год	Максимальная аномалия		W	E	C	Центр сибирского антициклона		
	значение, гПа	станция				число дней	давление	аномалия
							гПа	
Декабрь								
1944	16	Казань	8	23	0	1040	3	
1954	16	Подкаменная Тунгуска	11	20	0	1044	7	
1966	25	Салехард	0	31	0	1045	8	
1984	18	Свердловск	3	26	2	1044	7	
2005	20	Диксон	10	11	10	1043	6	
Всего			32	111	12			
Январь								
1929	16	Шпицберг	0	16	15	1035	-2	
1933	20	Салехард	5	26	0	1040	3	
1940	20	Салехард	4	23	4	1040	3	
1947	17	Мурманск	0	21	10	1036	-1	
1969	24	Самара	3	28	0	1046	9	
1977	24	м. Челюскин	0	31	0	1040	3	
2006	18	Диксон	7	22	2	1038	1	
Всего			19	167	31			
Февраль								
1929	16	Таллин	0	22	6	1035	-2	
1931	20	Тобольск	0	25	3	1045	8	
1933	18	Диксон	7	14	7	1040	3	
1947	26	Арктика	4	21	3	1040	3	
1952	18	Салехард	0	23	6	1041	4	
1955	16	м. Челюскин	0	23	5	1027	-10	
1956	24	Салехард	0	23	6	1039	2	
1957	20	Диксон	13	15	0	1040	3	
1964	18	Ханты-Мансийск	1	19	9	1040	3	
1969	20	Архангельск	5	23	0	1040	3	
1971	22	Ханты-Мансийск	0	18	10	1044	7	
1974	16	Игарка	8	20	0	1038	1	
1984	24	Киров	0	29	0	1045	8	
1985	19	Новая Земля	2	23	3	1041	4	
2010	22	м. Челюскин	8	14	6	1035	-2	
Всего			48	312	64			
Декабрь —								
февраль								
сут			99	590	107			
%			13	74	13			

бины в I е. с. р. не всегда четко определено, с уверенностью можно говорить только о том, что процесс меридиональный.

За основу был взят период начиная с 1931 г., потому что карты барической топографии, по которым осуществляется типизация Г. Я. Вангенгейма, внедрены в практику службы прогнозов только после 1930 г.

На рис. 1 представлен временной ход годового числа дней с циркуляцией W и годовых аномалий угловой скорости вращения Земли за период 1931—2008 гг. По оси ординат на этом рисунке (и далее на рис. 3) приведе-

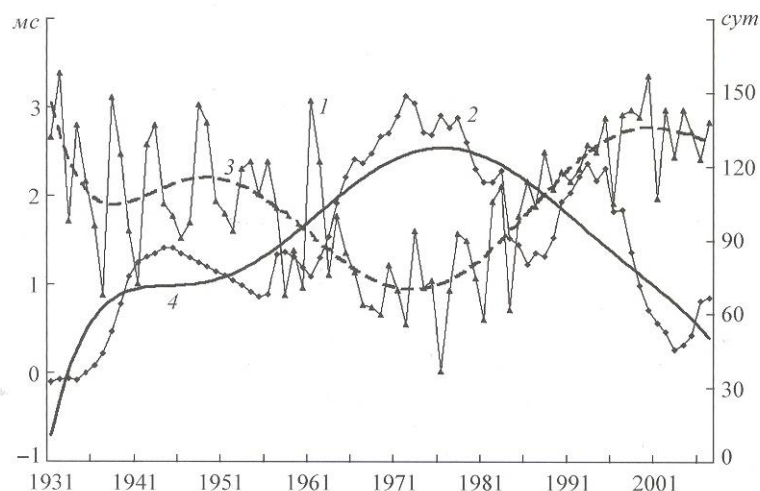


Рис. 1. Временной ход годового числа дней с циркуляцией W (1; шкала справа) и годовых аномалий угловой скорости вращения Земли (2; шкала слева) и их тренды (соответственно 3, 4) за 1931—2008 гг.

Тренды — полиномы шестой степени.

но отклонение продолжительности суток от стандартного (среднее за год и отнесенное к середине года), а также годовое число дней с циркуляцией W . Показан фактический ход аномалий угловой скорости вращения Земли и числа дней с циркуляцией W с их аппроксимацией полиномами шестой степени. Видно, что в период 1933—1972 гг. Земля замедляла скорость своего вращения (продолжительность суток увеличивалась), а число дней с циркуляцией W уменьшалось. В период 1973—2003 гг. Земля увеличивала скорость своего вращения (продолжительность суток уменьшалась), и число дней с циркуляцией W увеличивалось. После 2004 г. Земля вновь стала замедлять свое вращение, число дней с западным переносом стало уменьшаться.

Связь годового числа дней с циркуляцией W и аномалий угловой скорости вращения Земли представлена на рис. 2. Видно, что при увеличении продолжительности суток (замедлении вращения Земли) годовое число дней с циркуляцией W уменьшается. Коэффициент корреляции равен $-0,55$ (на 5%-ном уровне он статистически значим).

Изменение угловой скорости вращения Земли год от года происходит неравномерно, а порой даже скачкообразно. Это видно на рис. 3, где представлены ход аномалий угловой скорости вращения Земли и первая производная этих аномалий, т. е. ускорение угловой скорости вращения Земли. Наибольшее торможение было в 1956 и 1957 г., а наибольшее увеличение скорости — в 1983 и 1984 г. В эти годы при скачкообразном изменении угловой скорости вращения Земли аномалии приземного давления максимальны (24—25 гПа), т. е. барическое поле реагирует на скачки угловой скорости крупными положительными аномалиями приземного давления. Но вывод сделан на ограниченном числе случаев, чтобы он был достоверен, нужно рассматривать реакцию приземных барических полей во все месяцы года и за более длительный период.

Частота появления экстремальных месячных положительных аномалий приземного давления величиной 16—24 гПа в периоды уменьшения угловой скорости вращения Земли, в 1933—1972 гг. и после 2004 г. и в периоды увеличения угловой скорости вращения Земли, в 1901—1932 гг. и 1973—2003 гг. представлена в табл. 2. Видно, что в периоды уменьшения угловой скорости вращения Земли крупные положительные аномалии приземного давления встречались в четыре-пять раз чаще, чем в периоды ее увеличения. Частота случаев аномального развития сибирского антициклона (среднее за месяц давление в центре более 1040 гПа) также подчиняется этой закономерности (табл. 3).

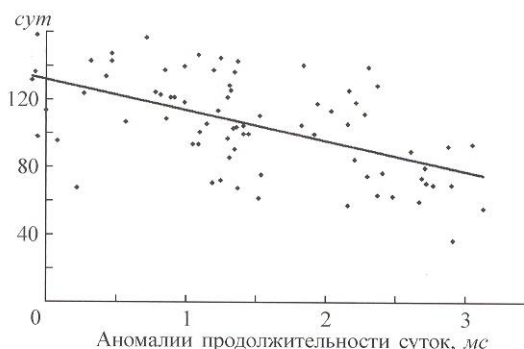


Рис. 2. Линейная регрессия годового числа дней с циркуляцией W и годовых аномалий угловой скорости вращения Земли за период 1931—2008 гг.

$$y = -18,10x + 132,08; R^2 = 0,30.$$

Выводы

Очаги крупных месячных аномалий приземного давления (не менее 16 гПа) располагаются, как правило, на севере Евразии (60—70° с. ш.), при этом сибирский антициклон тоже хорошо развит, но месячные аномалии давления в его центре составляют всего от 3 до 8 гПа.

Анализ циркуляции на изобарической поверхности 500 гПа при крупных месячных аномалиях приземного давления (более 16 гПа) свидетельствуют о резком уменьшении числа дней с западным переносом (индекс W по Г. Я. Вангенгейму). При аномалиях более 20 гПа западный перенос практически отсутствует: число дней в месяце с циркуляцией E составляет 20—30 сут, т. е. отмечается процесс блокирования.

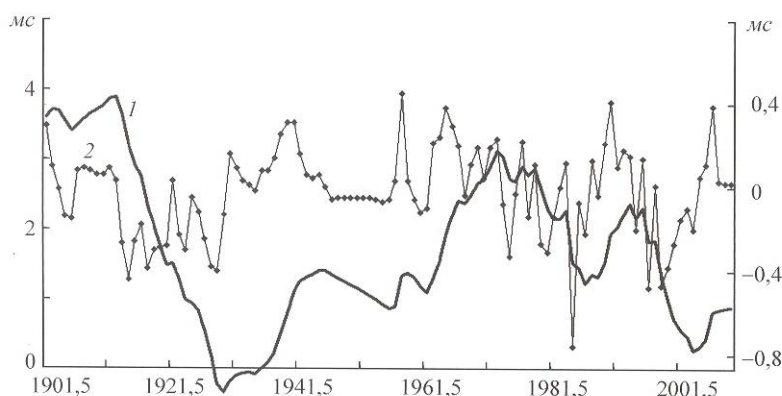


Рис. 3. Временной ход аномалий угловой скорости вращения Земли (1; шкала слева) и их первой производной (2; шкала справа).

Таблица 2

Распределение случаев развития сибирского антициклона с аномалиями давления в центре очага не менее 16 гПа

Период, годы	Знак изменения	Декабрь	Январь	Февраль	Итого	В среднем за 10 лет
1901—1932	$\Delta\omega$	0	1	2	3	0,9
1933—1972	$-\Delta\omega$	3	4	9	16	4,0
1973—2003	$\Delta\omega$	1	1	3	5	1,6
2004—2009	$-\Delta\omega$	1	1	1	3	5,0

Графики совместного годового хода числа дней с циркуляцией W и годовых аномалий угловой скорости вращения Земли свидетельствуют об их взаимосвязи. При увеличении продолжительности суток (замедлении вращения Земли) годовое число дней с циркуляцией W уменьшается.

В периоды уменьшения угловой скорости вращения Земли (1933—1972 гг. и после 2004 г.) крупные положительные месячные аномалии приземного давления (величиной 16—24 гПа) встречались в четыре-пять раз чаще, чем в периоды увеличения угловой скорости вращения Земли (1901—1932 и 1973—2003 гг.). Частота случаев аномального развития сибирского антициклона (среднее за месяц давление в центре более 1040 гПа) также подчиняется этой закономерности.

Идея о том, что многолетние флуктуации скорости вращения Земли тесно связаны с эпохами атмосферной циркуляции, не нова. Она всесторонне рассмотрена в работах Н. С. Сидоренкова [6—8]. Но в данной работе вместе с угловой скоростью вращения Земли анализируются приземные барические поля за большой промежуток времени и доказывается, что они различны на ветвях уменьшения и увеличения угловой скорости вращения Земли.

В качестве возможного механизма формирования динамического отклика климатической системы на неравномерность угловой скорости вращения Земли в работе [4] указан обмен моментами импульса между атмосферой и Землей вследствие силы трения. Не исключено существование и другого механизма: воздействие на геосферы внешних, космических факторов, в частности Луны [5]. При этом неравномерность вращения в 2—

Таблица 3

Частота случаев аномального развития сибирского антициклона (давление в центре не менее 1040 гПа) по периодам изменений угловой скорости вращения Земли

Период, годы	Изменение угловой скорости вращения Земли	Число случаев	В среднем за 10 лет
1901—1932	Увеличение	5	1,6
1933—1972	Уменьшение	31	10,0
1973—2003	Увеличение	8	2,6
2004—2009	Уменьшение	6	10,0

3 мс, которая улавливается с помощью атомных часов, всего лишь “лаковая бумажка” этого воздействия. В том и другом случае проблема очень важна для прогноза барических полей и требует дальнейшего изучения.

Литература

1. Вангенгейм Г. Я. Опыт применения синоптических методов к изучению и характеристике климата. — М., Изд-во ЦУГМС, 1935, 112 с.
2. Гирс А. А. Многолетние колебания атмосферной циркуляции и долгосрочные гидрометеорологические прогнозы. — Л., Гидрометеиздат, 1971, 280 с.
3. Гирс А. А., Кондратович К. В. Методы долгосрочных прогнозов погоды. — Л., Гидрометеиздат, 1978, 343 с.
4. Дзюба А. В., Панин Г. П. Механизм формирования многолетних направленных изменений климата в прошедшем и текущем столетиях. — Метеорология и гидрология, 2007, № 5, с. 5—27.
5. Сатов Н. К. Об одном виде уравнений движения для атмосферы Земли с учетом гравитационных сил Луны и планет. — Труды КазНИГМИ, 1980, вып. 67, с. 73—82.
6. Сидоренков Н. С. Атмосферные процессы и вращение Земли. — СПб, Гидрометеиздат, 2002, 366 с.
7. Сидоренков Н. С. Нестабильность вращения Земли. — Вестник РАН, 2004, № 8, с. 701—708.
8. Сидоренков Н. С., Орлов И. А. Атмосферные циркуляционные эпохи и изменения климата. — Метеорология и гидрология, 2008, № 9, с. 22—29.
9. Хромов С. П., Мамонтова Л. И. Метеорологический словарь. — Л., Гидрометеиздат, 1974, 568 с.
10. Хромов С. П., Петросяни М. А. Метеорология и климатология. — М., Изд-во МГУ, 2001, 528 с.
11. D'Arrigo R., Jacoby G., Wilson R., and Panagiotopoulos F. A reconstructed Siberian High index since A.D. 1599 from Eurasian and North American tree rings. — Geophys. Res. Lett., 2005, vol. 32, L05705, doi: 10.1029/2004GL022271.
12. Korsun A. and Kurbasovo G. Variations of the intensity of Siberian anticyclone and Earth rotation. /In: Journees 2002 — Systemes de Reference Spatio-temporels. Astrometry from Ground and from Space, Bucharest, 25—28 September 2002, Paris, pp. 154—156.

Поступила
22 III 2011