

УДК @@@

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ПРОЦЕССОВ ПЛАНЕТАРНОГО МАСШТАБА С АНАЛИЗОМ ФАЗОВЫХ ТРАЕКТОРИЙ И ЭНСТРОФИИ НА РАСПАД БЛОКИНГОВ

© 2007 г. Э. Р. Лупо*, И. И. Мохов**, С. Достоглоу*, А. Р. Кунц*, Дж. П. Буркхардт

*Университет Миссури

Колумбия, США

**Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН

119017 Москва, Пыжевский пер., 3

E-mail: mokhov@ifaran.ru

Поступила в редакцию 13.01.2006 г., после доработки 31.05.2006 г.

Показано, что резкие изменения крупномасштабной структуры атмосферных течений могут приводить к быстрому распаду блокинга. Анализ фазовых траекторий позволил идентифицировать, когда происходят резкие изменения в общей динамике системы. Оценена связь с ними распада блокингов на примере трех блокирующих ситуаций в Южном полушарии. Наряду с анализом фазовых портретов для диагностики блокирующих режимов анализировать также энстрофия. Согласно результатам проведенного анализа можно выделить четыре различных сценария распада блокингов: при недостатке синоптической подпитки, при активной роли синоптических процессов и каждый из отмеченных режимов во взаимодействии с резким изменением характера течения планетарного масштаба.

ВВЕДЕНИЕ

Атмосферные блокирующие режимы (блокинги) широко исследовались в последние десятилетия с точки зрения понимания динамических процессов, которые влияют на их существование, интенсивность и длительность [1–7]. Начиная с ранних работ в целом считается [11–13], что блокинги являются результатом взаимодействия между усиливающимися волнами синоптического масштаба и квазистационарной волны планетарного масштаба. Блокирующие режимы поддерживаются притоком антициклонической завихренности в область блокирования усиливающимися волнами синоптического масштаба [1–7]. В этих исследованиях для выяснения факторов, влияющих на рост, поддержание или распад блокингов, применяются различные диагностические методы.

В последние годы в целом ряде исследований блокингов в Северном и Южном полушариях используется разделение атмосферных режимов на компоненты планетарного и синоптического масштаба с целью анализа или относительной роли каждого масштаба и их взаимодействия, или природы такого взаимодействия как в Северном, так и в Южном полушариях [1–9]. Также при анализе изменчивости атмосферной циркуляции процессы можно разделить на высокочастотные, с временными масштабами 2–6 сут, и низкочастотные – продолжительнее 10 сут [10]. При этом, как отмечено в [10], максимумы низкочастотной изменчивости, ко-

торая вносит существенный вклад в общую изменчивость атмосферной циркуляции, расположены в областях с максимальной повторяемостью блокирующих ситуаций.

На основе отмеченных и более ранних исследований [11–15] выявляется, что синоптический масштаб играет важную роль в жизненном цикле атмосферных блокингов. Согласно многим исследованиям влияние синоптического масштаба (синоптический форсинг) велико по сравнению с влиянием (форсингом) планетарного масштаба. В то же время в ряде работ сделан вывод о том, что влияние планетарного масштаба очень существенно для жизненного цикла блокингов [16, 17]. Хотя в отмеченных выше публикациях и не уменьшается роль компонентов планетарного масштаба, они сфокусированы больше на роли вкладов синоптических масштабов.

В модельном исследовании [16] предполагается, что блокирующие режимы будут разрушаться, когда есть существенное изменение в режиме течений планетарного масштаба. В [17] акцент сделан на роли деформации течений планетарного масштаба как обеспечивающей условия для формирования блокингов (Colucci, 2003, частное сообщение). Эти исследования поддерживают точку зрения, что хотя процессы планетарного масштаба сами по себе могут и не приводить к формированию блокингов и их поддержанию, они могут создавать режим, благоприятный для взаимодействия с процессами синоптического масштаба. В

Характеристики анализируемых блокингов

	Период существования	Длительность, сут	Интенсивность блокингов (определяется согласно [43])
1	23 июля–2 августа 1986 г.	10.5	3.64
2	3–16 августа 1986 г.	13.5	4.06
3	13–24 июля 2001 г.	11.0	3.33

случае существенного изменения режима крупномасштабного течения блокинги без необходимой поддержки должны достаточно быстро разрушаться.

Цель данной работы – анализ влияния изменений крупномасштабной структуры атмосферных течений на режим блокингов на примере конкретных блокирующих ситуаций в Южном полушарии [7–9].

ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ДАННЫЕ И МЕТОДЫ АНАЛИЗА

При анализе использовались данные NCEP/NCAR реанализа [18] для шестичасовых интервалов при широтно-долготном разрешении $2.5^\circ \times 2.5^\circ$ на 17 стандартных уровнях от 1000 до 10 гПа. Эти данные включают данные для стандартных атмосферных переменных – геопотенциальных высот, температуры, относительной влажности, вертикальной и горизонтальных компонент скорости ветра и данных для поверхности. Данные на стандартных уровнях интерполировались (квадратично по $\ln p$, где p – давление) на уровни с дискретностью в 50 гПа [19].

Для определения времени образования и разрушения блокингов использовался критерий согласно [20] (см. также ссылки во введении). Этот критерий является модификацией индекса блокирования [45]. В таблице представлены характеристики выбранных для анализа блокингов в Южном полушарии над Тихим океаном. Климатологическое, синоптическое и динамическое описание трех блокирующих ситуаций, отмеченных в таблице, для июля–августа 1986 г. и июля 2001 г. с использованием диагностики потенциальной завихренности дано в [7, 8]. Используемый в этих работах метод диагностики описан в [19]. Потенциальная завихренность рассчитывалась на поверхностях 300 гПа, поскольку эти поля потенциальной завихренности подобны рассчитанным на изэнтропической поверхности [19].

Акцент в данной работе сделан на анализе фазовых портретов, в частности для демонстрации того, что изменения режимов течений планетарного масштаба могут быть коррелированы с образованием и распадом блокингов. Для выделе-

ния атмосферной изменчивости планетарного масштаба использовались, с модификациями, методы, предложенные в [21, 22] (см. также [23–25]) или в [26] для выделения межгодовых вариаций из временных рядов. Подобный анализ проводился в [27] с целью понять поведение течения планетарного масштаба, связанное с блокингом. Упомянутые методы основаны на классических методах анализа динамических систем.

При анализе использовались временные ряды для высоты 500 гПа в июле и августе 1986 г. и июле 2001 г. В частности, поля геопотенциала планетарного масштаба осреднялись для региона в 40° по широте и 60° по долготе в области блокирования. При этом режим характеризуется одним числом в каждый момент времени. Используемая процедура аналогична предложенной в [28] при определении индекса амплитуды волны, за исключением того, что в данной работе сначала используется фильтрация полей, а затем осреднение по региону. В [28] проводилось осреднение геопотенциальной высоты в поясе средних широт с последующей фильтрацией для получения одного числа для временного периода.

Для отделения длин волн планетарного масштаба от длин волн синоптического масштаба использовался двумерный фильтр второго порядка [29]. В результате применения этого фильтра остается соответственно 2%, 44% и 80% исходного вклада длин волн 3000, 4500 и 6000 км на широте 45°N (или 45°S). Детальное описание особенностей применения подобной процедуры фильтрации дано в [3].

В атмосферных потоках планетарного масштаба в средних широтах проявляются циклические режимы [28, 30–32], связанные, в частности, с распространением в атмосфере волн Россби [33, 34]. В то же время возможны два и более относительно устойчивых состояния атмосферных течений планетарного масштаба [31, 35–37]. В частности, в Северном полушарии осенью наряду с режимами устойчивого западного переноса в тропосфере средних широт проявляются квазирегулярные “аномалии” – блокинговые режимы типа “бабье лето”, которые в [33, 38] связаны со стационарным волн Россби. В данной работе особое внимание уделялось диагностике изменений в режиме атмосферных течений в связи с формированием и распадом блокингов на примере конкретных блокирующих режимов.

Для выявления особенностей динамики формирования и эволюции блокирующих режимов анализировались траектории на фазовой плоскости с абсциссой X и ординатой dX/dt на основе временных рядов для переменной (характеристики блокинга) $X(t)$ аналогично [21–25]. При режимах с доминирующим циклом процесс можно приближенно описать гармоническим осциллятором.

Для гармонического осциллятора траектории на фазовой плоскости круговые. Для устойчивых режимов траектории приближаются к аттрактору, в частности к предельному циклу. При этом режим аттрактора, вообще говоря, может изменяться. Следует отметить, что, вообще говоря, круговые траектории не обязательно соответствуют аттрактору. (Траектория может находиться вблизи цикла достаточно долго и в случае, когда цикл слабо неустойчив).

Для диагностики особенностей режимов, связанных с блокингами, их динамики и устойчивости можно использовать также показатели Ляпунова [10], достаточно широко применяемые при исследовании устойчивости динамических систем. Применительно к рассматриваемым задачам можно анализировать, например, локальные показатели Ляпунова для баротропного уравнения завихренности с форсингом [39] (см. также [9]). Численная реализация этого в [39] с использованием данных для трехлетнего периода после применения 15-суточного фильтра (планетарный масштаб) для областей над Северной Атлантикой и Западной Европой выявила сильную корреляцию суммы положительных показателей Ляпунова, собственных значений линеаризованного баротропного уравнения завихренности и интегральной по анализируемой области энтропии.

Следует отметить, что строгая трактовка атмосферных течений как реализации траекторий для бесконечномерной системы требует соответствующего развития теории для получения показателей Ляпунова [40–42].

Применительно к атмосферным блокингам стоит упомянуть, что до блокинга всегда существует выше по потоку гребень, сопровождаемый усиливающейся короткой волной в пределах половины длины волны, связанной с гребнем [20]. Считая, что гребень и короткая волна связаны с увеличивающимися градиентами, это можно интерпретировать как формирование режима, достаточно неустойчивого, чтобы инициировать переход от зонального потока к блокинговому режиму. Более того, данные наблюдений [20, 43] свидетельствуют о сильной корреляции между интенсивностью блокингов и средней антициклонической завихренностью в окрестности блокинга.

РЕЗУЛЬТАТЫ АНАЛИЗА

Блокирующая ситуация в юго-восточной части Тихого океана в июле 2001 г.

Для анализа была выбрана блокирующая ситуация в юго-восточной части Тихого океана в июле 2001 г. На рис. 1а представлено изменение средней высоты 500 гПа для анализируемого региона в июле 2001 г. с 12-часовым шагом по времени. В июле средняя высота в области блокиро-

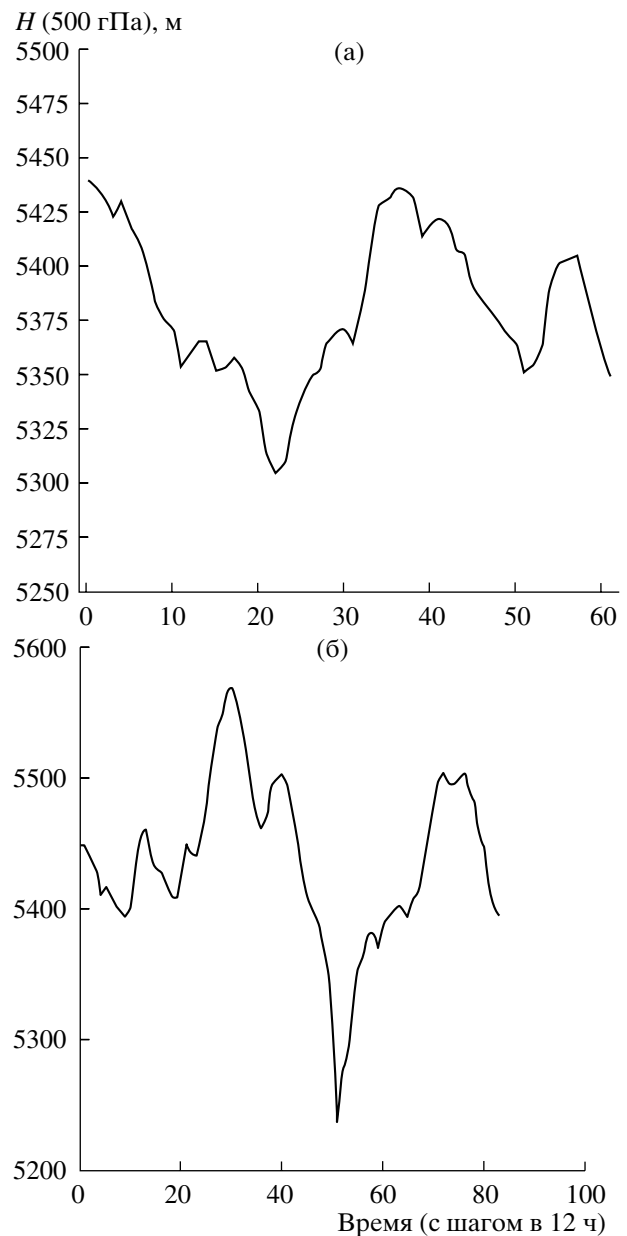


Рис. 1. Изменение средней высоты 500 гПа (с 12-часовым шагом по времени) для регионов с блокированием в юго-восточной части Тихого океана: а – в 2001 г. (в июле), б – в 1986 г. (20 июля–31 августа).

вания уменьшалась вплоть до момента формирования блокинга (при 25 полусуточных шагах от начала). Геопотенциальная высота растет, пока блокинг не достигнет максимального развития, а затем падает. Анализируемый режим предполагает изменения крупномасштабного течения.

На рис. 2 представлен пример фазового портрета (траектории), характеризующего динамику средней высоты 500 гПа в июле 2001 г. Поведение крупномасштабного течения при этом сложное, с

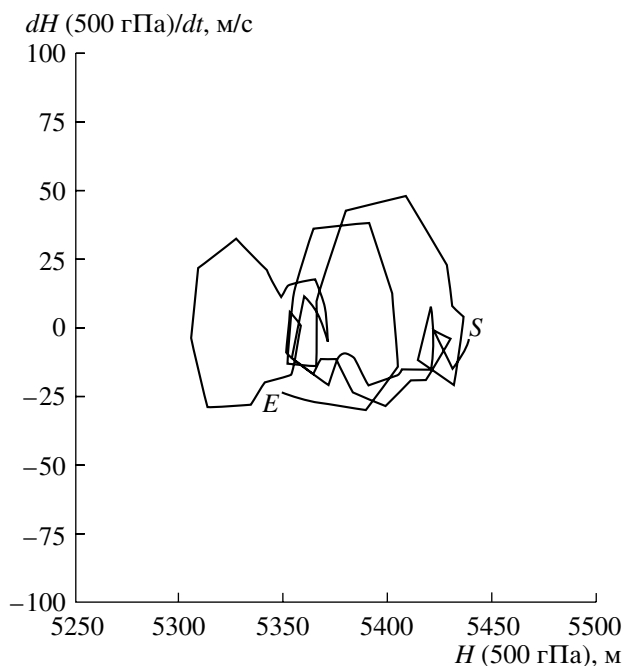


Рис. 2. Фазовый портрет, характеризующий динамику средней высоты 500 гПа (м) для региона (130–170°W, 30–60° S) в среднеширотном потоке Южного полушария в июле 2001 г. (*S* – начало фазовой траектории, *E* – ее окончание).

периодами, когда течение относительно более стабильное или менее стабильное.

Более ясное представление о различных режимах можно получить, если разбить общую траекторию на разные периоды в течение июля 2001 г. На рис. 3а за месяц разбит на равные 10-дневные периоды и внутри каждого периода можно выделить разные типы поведения. Так, для первой части месяца (сплошная кривая) характерна стабильная эволюция, тогда как для второй части выявляются два последовательных 10-дневных периода (пунктирная и штриховая кривые) с менее стабильным поведением. При ином разбиении месяца, например, когда сплошная траектория характеризует динамику вплоть до момента формирования блокинга (рис. 3б), видно, что поток становится менее стабильным до появления блокинга и в фазе его развития. Этот тип поведения для течения в области формирования блокингов не удивителен и отмечался ранее многократно [12].

Жизненный цикл блокинга характеризуется фазовой траекторией, близкой к круговой, которая затем становится “неустойчивой”, после чего начинается новый цикл с почти круговой траекторией. После диссипации блокинга проявляется спиральный тип траектории. На фазовой диаграмме отмечается циклическое поведение со смещением, что может предполагать другой, не-

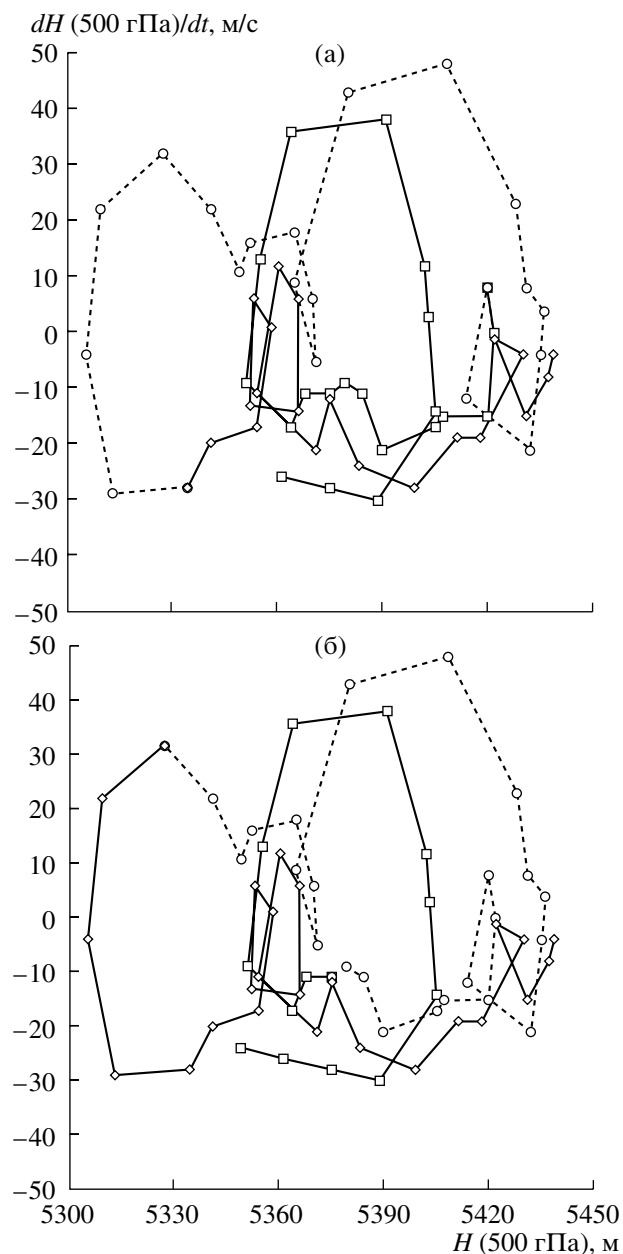


Рис. 3. Фазовая траектория для высоты 500 гПа в центре области блокирования в июле 2001 г. с выделением разных 10-дневных интервалов (а) и с выделением интервалов до образования, существования и после распада блокинга (б).

устойчивый, режим потока планетарного масштаба.

Блокирующие ситуации в юго-восточной части Тихого океана в июле–августе 1986 г.

Рис. 1б, аналогично рис. 1а, иллюстрирует изменение средней высоты 500 гПа в области блокирования в юго-восточной части Тихого океана во второй половине июля и в августе 1986 г. Зна-

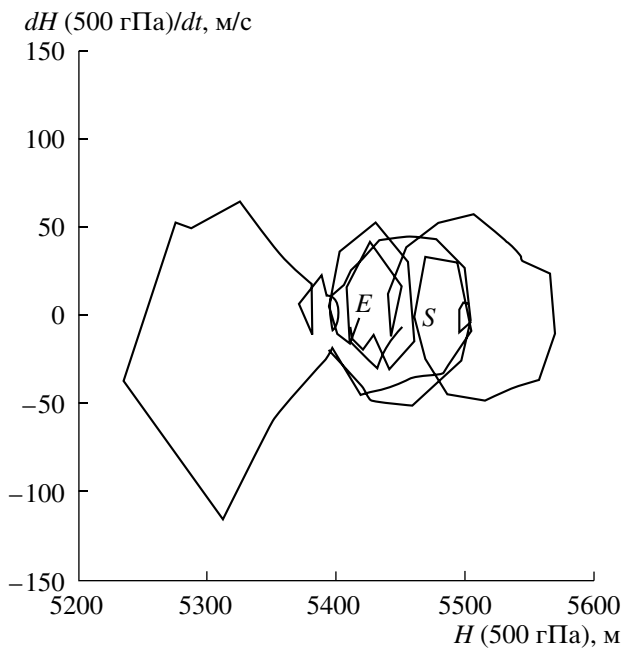


Рис. 4. Как и на рис. 2, но для июля–августа 1986 г.

чения высоты остаются сначала устойчивыми до конца июля, а затем быстро растут в начале августа (временной интервал примерно 25 сут), как только появляется второй блокинг. В [7] показано, что значения высоты в области блокирования выше для второго блокинга. Это соответствует более сильному второму событию (таблица). Затем значения высоты стремительно падают и блокирующий режим (два одновременных блокинга) резко разрушается около 18 августа 1986 г.

Фазовые траектории могут быть также использованы для диагностики разных режимов блокирования в июле–августе 1986 г. (рис. 4), когда три блокинга проявились между 20 июля и 18 августа в бассейне Тихого океана. Два соседних блокинга сформировались в юго-восточной части Тихого океана [7], а третий – в его юго-западной части в середине августа. На рис. 5 первая часть траектории (сплошная кривая), от момента установления блокинга и в течение его существования предполагает относительно стабильный режим. Затем отмечается смещение к другому состоянию, когда устанавливается второй блокинг и в течение его жизни траектория свидетельствует об относительно устойчивом режиме (пунктир). В конце существования блокинга и после его исчезновения (отмечено штрихом) режим становится менее стабильным снова, и два события, которые происходили одновременно в юго-западной и юго-восточной частях Тихого океана, завершаются резким исчезновением в течение суток.

Расчеты энтропии и аналогично [39] для июля 2001 г. (рис. 6а) соответствуют с рис. 1а. В частно-

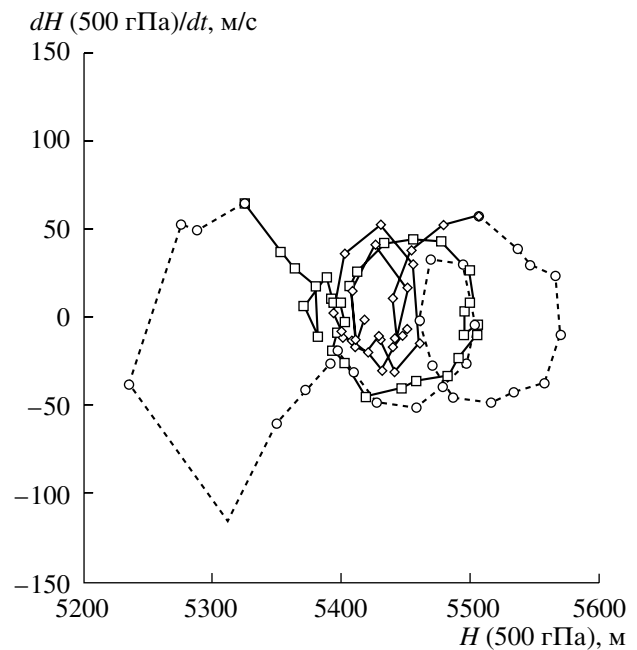


Рис. 5. Как и на рис. 3б, но для июля–августа 1986 г. с выделением интервала до образования первого блокинга, интервалов существования первого и второго блокингов, а также после их распада.

сти, особенности изменений на рис. 6а и рис. 1а (а также на рис. 3а) хорошо синхронизованы. Согласно рис. 6а осредненная по области энтрофия достигает минимума вскоре после установления блокинга и держится на уровне относительного минимума в течение существования этого блокинга. Энтрофия рассчитывалась с использованием тех же данных, что и при получении рис. 1. Это также согласуется с тем, что в квазибаротропном потоке (течение планетарного масштаба должно быть сильно баротропным) режим с блокированием представляет состояние с минимальной энтрофией (и энтропией – см., напр., [44]). При этом положительные показатели Ляпунова относительно малы в режиме блокирования. Это предполагает, что при установлении блокинга для крупномасштабного течения повышается предсказуемость.

Аналогично рис. 6а на рис. 6б отмечены соответствующие изменения для потока планетарного масштаба с формированием блокирующего режима в июле–августе 1986 г.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Для выделенных случаев блокингов было получено, что анализ траекторий на фазовых портретах полезен для выяснения природы режима течения планетарного масштаба во время развития блокирующих ситуаций. В июле 2001 г. режим течения сдвигался к другой, относительно менее устойчивой траектории во время и после разру-

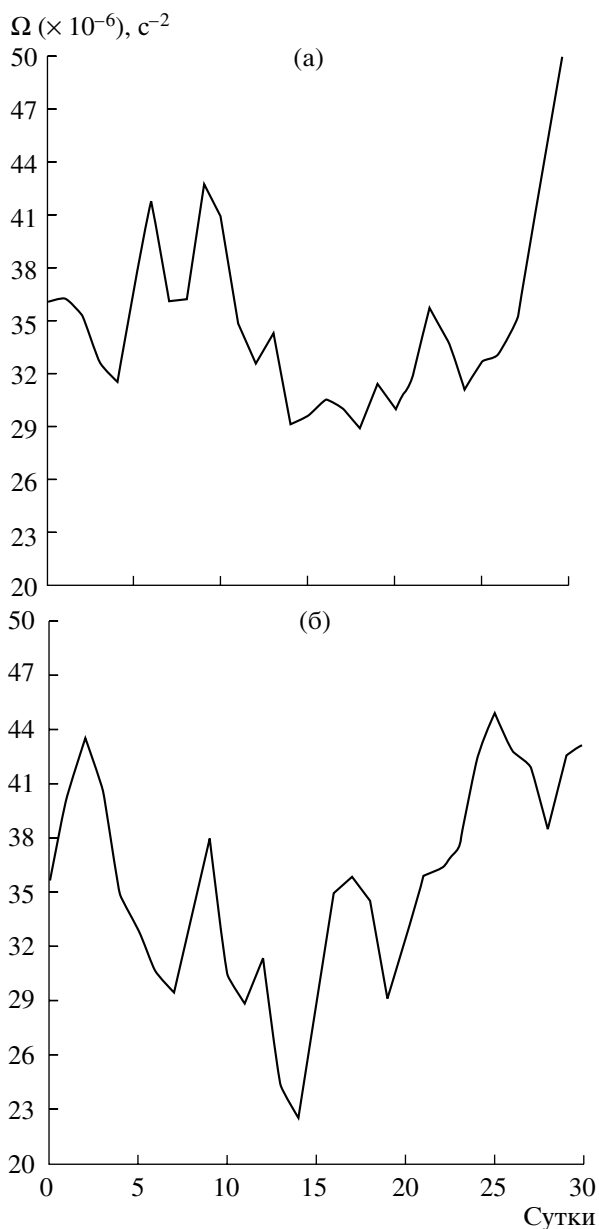


Рис. 6. Изменения осредненной по площади энтропии Ω для разных эпизодов блокирования: а – в 2001 г. (1–31 июля), б – в 1986 г. (20 июля–20 августа).

шения блокинга. Во время эпизодов в июле и августе 1986 г. проявились два квази-устойчивых состояния, характеризующих последовательные блокинги, описанные в таблице. Затем два одновременных блокинга резко прекратили свое существование в течение менее стабильного периода с середины до конца августа. Согласно полученным результатам распад блокинга может быть коррелирован с изменениями в структуре течения планетарного масштаба [1, 16, 17]. Это свидетельствует о том, что процессы планетарного масштаба имеют существенное значение для жизненных циклов блокингов, обеспечивая благоприятный

режим для проявления блокирования, несмотря на большие вклады синоптических процессов и взаимодействие компонент форсинга.

Дополнительный анализ роли изменений режимов потоков планетарного масштаба в жизненном цикле блокингов был проведен с использованием расчетов показателей Ляпунова как характеристики устойчивости потока [39].

Значения проинтегрированной по площади энтропии (рис. 5) [39], как и следовало ожидать, уменьшаются в области блокирования до минимума за время существования блокинга. Проведенный анализ свидетельствует, что поток планетарного масштаба становится менее стабильным вблизи времени установления и времени распада блокинга в июле 2001 г. Возможно, что поток планетарного масштаба в эти промежутки времени эволюционирует (геострофически) от одного квазистабильного состояния к другому. Выявленные на рис. 1–3 особенности поддерживают эту интерпретацию. В целом можно отметить, что относительно простые методы обеспечивают полезную диагностику сложных нелинейных атмосферных явлений. Это может быть также полезно для анализа предсказуемости атмосферных процессов – необходимы более детальные исследования.

Быстрый распад блокирующего режима в 1986 г. демонстрирует влияние, которое оказывают процессы планетарного масштаба на этот процесс. Одновременное проявление блокингов в 1986 г. – удачный случай. Полученные результаты не обязательно противоречат выводам о важной роли синоптических процессов в жизненных циклах блокингов. Так, в [4] показано, что образование и интенсификация двух одновременно существующих блокингов управлялось локальными процессами синоптического масштаба. Ранее в [45] аналогичный вывод был сделан на основе статистического анализа блокингов. Однако распад может произойти, когда больше нет активной синоптической подпитки блокирующей структуры, когда процессы синоптического масштаба негативно сказываются на блокингах или когда изменяется режим потока планетарного масштаба. Предполагается также, что каждый из первых двух сценариев может проявиться во взаимодействии с третьим сценарием.

ВЫВОДЫ

Проведен анализ трех блокирующих событий в Южном полушарии над Тихим океаном в холодные сезоны на основе данных реанализа с использованием потенциальной завихренности в качестве диагностического средства. Для выявления связи распада этих блокингов с изменениями течений планетарного масштаба использовались фазовые диаграммы. Кроме того, получены оценки

устойчивости различных режимов с использованием показателей Ляпунова для диагностики процессов, связанных с блокингами.

Полученные результаты свидетельствуют о полезности использования фазовых портретов для анализа блокирующих режимов. Судя по динамике блокингов Южного полушария, периоды распада блокирующих режимов совпадают с изменениями режимов течения планетарного масштаба. В согласии с [1, 16, 17] можно сделать вывод о том, что крупномасштабное течение обеспечивает благоприятный режим для продолжительного существования блокингов.

В результате проведенного анализа можно выделить четыре различных сценария распада блокингов, в том числе: при недостатке синоптической подпитки [3, 4, 8, 9], при активной роли синоптических процессов [7, 9, 19] или каждый из отмеченных режимов во взаимодействии с резким изменением характера течения планетарного масштаба (см., напр., [7, 9]).

Авторы выражают благодарность В.П. Дымникову за полезные советы и замечания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Tsou C.H., Smith P.J.* The role of synoptic / planetary-scale interactions during the development of a blocking anticyclone // *Tellus*. 1990. V. 42A. P. 174–193.
2. *Tracton M.S.* Predictability and its relationship to scale interaction processes in blocking. *Mon. Wea. Rev.* 1990. V. 118. P. 1666–1695.
3. *Lupo A.R., Smith P.J.* Planetary and synoptic-scale interactions during the life cycle of a mid-latitude blocking anticyclone over the North Atlantic // *Tellus*. 1995. V. 47A. P. 575–596.
4. *Lupo A.R.* A diagnosis of two blocking events that occurred simultaneously over the mid-latitude Northern Hemisphere // *Mon. Wea. Rev.* 1997. V. 125. P. 1801–1823.
5. *Marques R.F.C., Rao V.B.* A diagnosis of a long-lasting blocking event over the Southeast Pacific Ocean // *Mon. Wea. Rev.* 1999. V. 127. P. 1761–1776.
6. *Colucci S.J.* Planetary-scale preconditioning for the onset of blocking // *J. Atmos. Sci.* 2001. V. 58, P. 933–942.
7. *Burkhardt J.P., Lupo A.R.* The planetary and synoptic-scale interactions in a Southeast Pacific blocking episode using PV diagnostics // *J. Atmos. Sci.* 2005. V. 62. P. 1901–1916.
8. *Lupo A.R., Kunz A.R., Burkhardt J.P.* Planetary and synoptic scale interactions in southeast Pacific blocking using Potential Vorticity diagnostics: More evidence for the paucity of wave-wave interactions in Southern Hemisphere blocking // *Proc. of the 21st Conf. on Weather Analysis and Forecasting/17th Conf. on Numerical Weather Prediction*, 1–4 August, 2005, Washington, DC.
9. *Lupo A.R., Mokhov I.I., Dostoglou S. et al.* The impact of the planetary scale on the decay of blocking and the use of phase diagrams and Lyapunov exponents as a diagnostic // *Proc. of the 21st Conf. on Weather Analysis and Forecasting / 17th Conf. on Numerical Weather Prediction*, 1–4 August, 2005, Washington, DC.
10. *Дымников В.П., Филаатов А.Н.* Устойчивость крупномасштабных атмосферных процессов. Л.: Гидрометеиздат, 1990. 236 с.
11. *Kalnay E., Merkine L.O.* A simple mechanism for blocking // *J. Atmos. Sci.* 1981. V. 38. P. 2077–2091.
12. *Frederiksen J.S.* A unified three-dimensional instability theory of the onset of blocking and cyclogenesis // *J. Atmos. Sci.* 1982. V. 39. P. 969–982.
13. *Shutts G.J.* The propagation of eddies in diffluent jet streams: Eddy vorticity forcing of blocking flow fields // *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, 1983. V. 109. P. 737–761.
14. *Mullen S.L.* The local balances of vorticity and heat for blocking anticyclones in a spectral general circulation model // *J. Atmos. Sci.* 1986. V. 43. P. 1406–1441.
15. *Mullen S.L.* Transient eddy forcing and blocking flows // *J. Atmos. Sci.* 1987. V. 44. P. 3–22.
16. *Haines K., Holland A.J.* Vacillation cycles and blocking in a channel // *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.* 1998. V. 124. P. 873–897.
17. *Colucci S.J., Baumhefner D.P.* Numerical prediction of the onset of blocking: A case study with forecast ensembles // *Mon. Wea. Rev.* 1998. V. 126. P. 773–784.
18. *Kalnay E. et al.* The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project // *Bull. Amer. Meteor. Soc.* 1996. V. 77. P. 437–471.
19. *Lupo A.R., Bosart L.F.* An analysis of a relatively rare case of continental blocking // *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.* 1999. V. 125. P. 107–138.
20. *Lupo A.R., Smith P.J.* Climatological features of blocking anticyclones in the Northern Hemisphere // *Tellus*. 1995. V. 47A. P. 439–456.
21. *Mokhov I.I.* Climate changes: Analysis of global cycles // *Ann. Geophys.* 1993. V. 11 (Suppl. II). P. C334.
22. *Мохов И.И.* Диагностика структуры климатической системы и ее эволюции в годовом ходе и межгодовой изменчивости. Дисс. докт. физ.-мат. наук. М.: ИФА РАН, 1995. 64 с.
23. *Мохов И.И., Елисеев А.В.* Изменения характеристик квазидвухлетней цикличности зонального ветра и температуры приэкваториальной нижней стратосферы // *Изв. АН. Физика атмосферы и океана*. 1998. Т. 34. № 3. С. 327–336.
24. *Мохов И.И., Елисеев А.В., Хворостьянов Д.В.* Эволюция характеристик климатической изменчивости, связанной с явлениями Эль-Ниньо / Ла-Нинья // *Изв. АН. Физика атмосферы и океана*. 2000. Т. 36. № 6. С. 741–751.
25. *Mokhov I.I., Khvorostyanov D.V., Eliseev A.V.* Decadal and longer-term changes in ENSO characteristics // *Intern. J. Climatol.* 2004. V.24. P. 401–414.
26. *Federov A.V., Harper S.L., Philander S.G., Winter B. et al.* How Predictable is El Nino? // *Bull. Amer. Meteor. Soc.* 2003. V. 84. P. 911–920.
27. *Bengtsson L.* Numerical prediction of atmospheric blocking – A case study // *Tellus*. 1981. V. 33. P. 19–42.
28. *Hansen A.R.* Observational characteristics of atmospheric planetary waves with bimodal amplitude distributions // *Adv. Geophys.* 1986. V. 29. P. 101–134.

29. *Shapiro R.* Smoothing, filtering, and boundary effects // *Rev. Geophys.* 1970. V. 8. P. 737–761.
30. *Lorenz E.N.* Deterministic nonperiodic flow // *J. Atmos. Sci.* 1963. V. 20. P. 130–141.
31. *Nese J.M., Dutton J. A., Wells R.* Calculated attractor dimensions for low-order spectral models // *J. Atmos. Sci.* 1987. V. 44. P. 1950–1972.
32. *Hansen A.R., Sutera A.* Planetary wave amplitude bimodality in the Southern Hemisphere // *J. Atmos. Sci.* 1988. V. 45. P. 3771–3783.
33. *Мохов И.И.* Диагностика структуры климатической системы. СПб: Гидрометеиздат, 1993. 271 с.
34. *Lynch P.* Resonant Rossby wave triads and the swinging spring // *Bull. Amer. Meteor. Soc.* 2003. V. 84. P. 605–616.
35. *Charney J.G., DeVore J.G.* Multiple flow equilibria in the atmosphere and blocking // *J. Atmos. Sci.* 1979. V. 36. P. 1205–1216.
36. *Yoden S.* Bifurcation properties of quasi-geostrophic, barotropic, low-order model with topography // *J. Meteor. Soc. Japan.* 1985. V. 63. P. 535–546.
37. *Nitsche G., Kooperberg C., Wallace J.M.* Is there evidence of multiple equilibria in planetary-wave amplitude? // *J. Atmos. Sci.* 1994. V. 51. P. 314–322.
38. *Агаян Г.М., Мохов И.И.* Квазистационарные осенние режимы атмосферы Северного полушария в период ПГЭП // *Изв. АН СССР. Физика атмосферы и океана.* 1989. Т. 25. № 11. С. 1150–1156.
39. *Дымников В.П., Казанцев Е.В., Харин В.В.* Информационная энтропия и локальные показатели Ляпунова баротропной атмосферной циркуляции // *Изв. АН. Физика атмосферы и океана.* 1992. Т. 28. № 6. С. 425–432.
40. *Ruelle D.* Characteristic exponents and invariant manifolds in Hilbert space // *Ann. of Math.* 1982. V. 115. № 2. P. 243–290.
41. *Constantin P., Foias C., Temam R.* Attractors representing turbulent flows // *Mem. Amer. Math. Soc.* 1985. V. 53.
42. *Дымников В.П., Казанцев Е.В.* О структуре аттрактора, порождаемого системой уравнений баротропной атмосферы // *Изв. АН. Физика атмосферы и океана.* 1993. Т. 29. С. 581–595.
43. *Wiedemann J.M., Lupo A.R., Mokhov I.I., Tikhonova E.A.* The climatology of blocking anticyclones or the Northern and Southern Hemispheres: Block intensity as a diagnostic // *J. Climate.* 2002. V. 15ю P. 3459–3474.
44. *Дымников В.П., Филатов А.Н.* О некоторых задачах математической теории климата // *Изв. АН. Физика атмосферы и океана.* 1995. Т. 31. № 3. С. 293–303.
45. *Lejenas H., Okland H.* Characteristics of Northern Hemisphere blocking as determined from a long time series of observational data // *Tellus.* 1983. V. 35A. P. 350–362.

@@@@@