

УДК 551.511

## БЛОКИНГИ В СЕВЕРНОМ ПОЛУШАРИИ И ЕВРО-АТЛАНТИЧЕСКОМ РЕГИОНЕ: ОЦЕНКИ ИЗМЕНЕНИЙ ПО ДАННЫМ РЕАНАЛИЗА И МОДЕЛЬНЫМ РАСЧЕТАМ

© 2013 г. Член-корреспондент РАН И. И. Мохов, М. Г. Акперов, М. А. Прокофьева, А.В. Тимажев, А.Р. Лупо, Э. Ле Трет

Поступило 02.11.2012 г.

DOI: 10.7868/S0869565213110224

Аномальная жара летом 2010 г. на европейской территории России была инициирована продолжительным (около двух месяцев) блокированием зональной циркуляции в тропосфере средних широт Северного полушария (СП) [1, 2]. Можно ли было ожидать столь продолжительное блокирование? Могут ли современные модели описывать соответствующие процессы? Каковы возможные тенденции проявления подобных событий в будущем? Для ответа на эти вопросы был проведен анализ характеристик блокинговой активности в атмосфере СП на основе данных реанализа и численных модельных расчетов для XX и XXI веков при разных сценариях антропогенного воздействия. Результаты свидетельствуют, что с использованием современных климатических моделей можно численно воспроизвести особенности региональных аномалий, связанных с атмосферными блокинками, наряду с тенденциями их изменений.

В [3] по данным наблюдений была отмечена тенденция увеличения характерного времени жизни блокингов в атмосфере внетропических широт СП при полушарном потеплении. Эта оценка получена при сравнении распределений количества блокингов в зависимости от их длительности для 10 самых теплых и 10 самых холодных лет в СП с 1950 по 1990 г. Согласно [3] отмеченные изменения режимов блокингов соответствуют увеличению характерного времени их формирования и диссипации на 13% при увеличении приповерхностной температуры СП на 1 К.

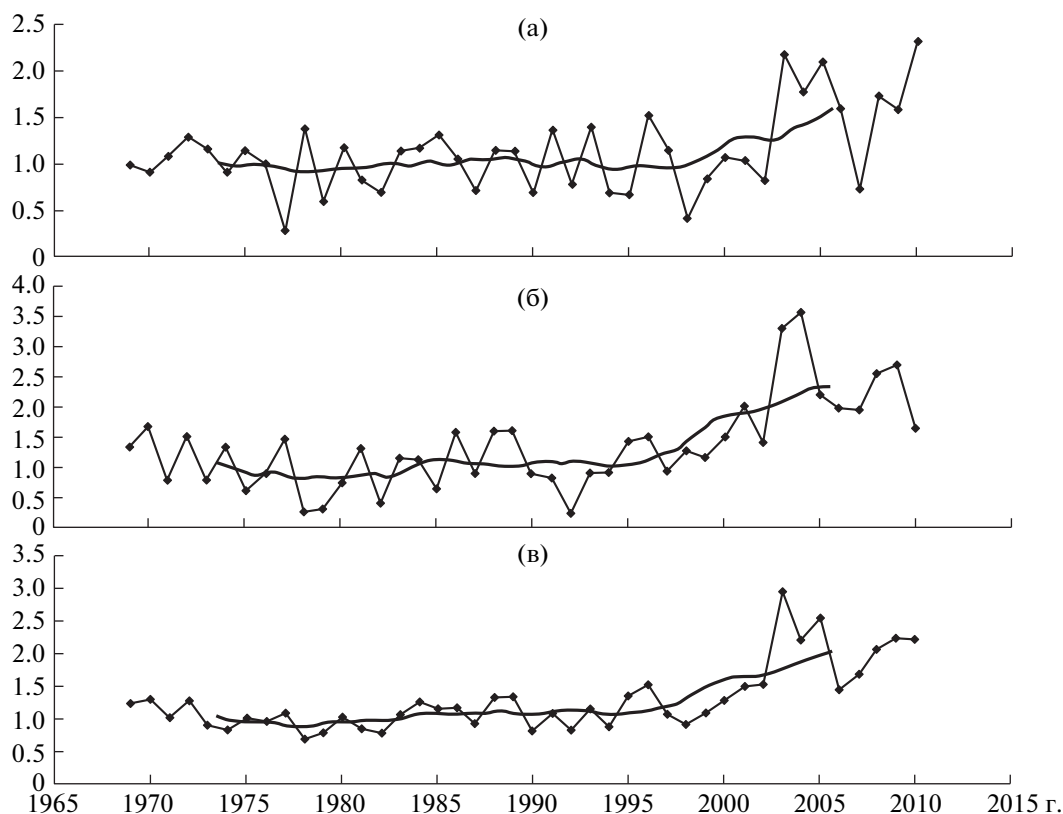
В данной работе приводятся оценки тенденций изменения характеристик блокингов в СП продолжительностью не менее 5 сут по данным (<http://solberg.snr.missouri.edu/gcc/>) для последних десятилетий (1969–2011 гг.) [4]. Также аналогично [5] анализировались возможные изменения активности атмосферных блокингов в XXI в. по модельным расчетам при разных антропогенных сценариях. В частности, использовались результаты численных расчетов в рамках международного проекта CMIP3 ([http://www-pcmdi.llnl.gov/ipcc/about\\_ipcc.php/](http://www-pcmdi.llnl.gov/ipcc/about_ipcc.php/)) для полей геопотенциала на уровне 500 гПа в средней тропосфере СП. Более детальный анализ проводился для летних блокингов в Евро-Атлантическом регионе с оценкой риска и потенциальной предсказуемости атмосферных блокингов экстремальной длительности. Следует отметить, что частота формирования атмосферных блокирующих антициклонов (блокингов) в Евро-Атлантическом регионе летом по многолетним данным имеет максимум над восточной Европой – около 30° в.д. [4].

На рис. 1 представлены межгодовые вариации общей длительности блокингов СП  $N\tau$ , нормированной на среднее значение  $\overline{N\tau}$  для базового периода 1971–1990 гг., по данным (<http://solberg.snr.missouri.edu/gcc/>). Приведены вариации среднегодовых значений  $\frac{N\tau}{\overline{N\tau}}$ , а также для зимы и лета и

соответствующие изменения при 10-летнем сглаживании. Согласно рис. 1 проявляется тенденция увеличения общей продолжительности блокингов СП как в среднем за год, так и для отдельных сезонов на фоне возрастающей в последние годы изменчивости. Экстремальные значения более чем вдвое превышают базовые для периода 1971–1990 гг. зимой при еще большем превышении летом и для среднегодового режима.

Сделаны также оценки температурной чувствительности характеристик блокинговой ак-

Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова  
Российской Академии наук, Москва  
Московский государственный университет  
им. М.В. Ломоносова  
University of Missouri, Columbia, USA  
Institut-Pierre-Simon-Laplace, Paris, France

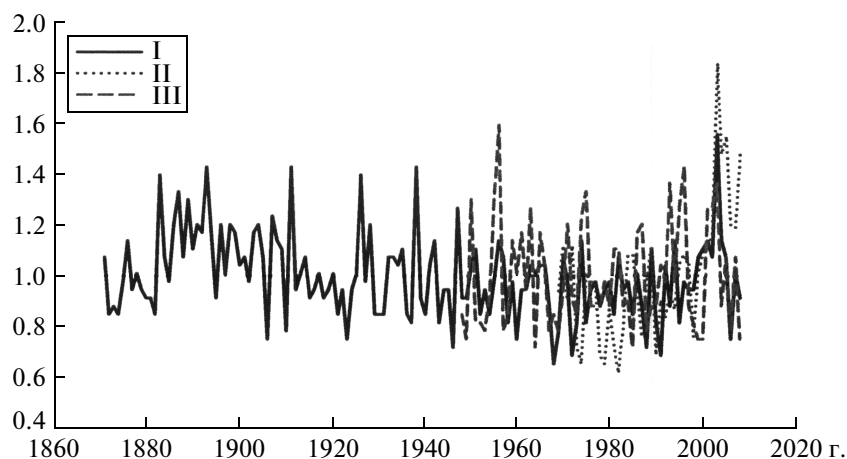


**Рис. 1.** Вариации общей длительности блокингов СП, нормированной на среднее значение для базового периода 1971–1990 гг. по данным (<http://solberg.snr.missouri.edu/gcc/>): а – зима, б – лето, в – год. Приведены также соответствующие изменения при 10-летнем сглаживании.

тивности в атмосфере СП по данным для последних десятилетий. В частности, аналогично [3], с использованием данных (<http://solberg.snr.missouri.edu/gcc/>) для атмосферных блокингов и данных (<http://www.cgu.uea.ac.uk/cgu/data/>) для приповерхностной температуры проведено сравнение характеристик блокингов для 10 самых теплых (1998, 2001–2007, 2009, 2010) и самых холодных (1969–1972, 1974–1976, 1978, 1984, 1985) лет в СП с 1969 по 201 г. Средняя приповерхностная температура СП для этих 10-летий существенно различалась – более чем на 0.7 К. Среднее за год количество блокингов  $N$  в СП для теплого 10-летия (32.4) превышало более, чем на треть (на 36%) их среднегодовое количество для холодного 10-летия (26.6). При этом их средняя продолжительность  $\tau$  (9.8 сут) и общая длительность  $N\tau$  (371.8 сут) в СП за год были для теплого 10-летия соответственно почти на четверть (на 23%) и более чем наполовину (на 57%) больше, чем для холодного 10-летия (7.8 и 206.8 сут). Полученные оценки изменений при потеплении СП на 1 К соответствуют (в линейном приближении) изменениям на 49% для количества блокингов, на 32% для их средней продолжительности и на 79% их общей длительности за год.

Был проведен также анализ изменений распределений количества блокингов СП от их характеристик. В частности, для распределения количества блокингов СП от их продолжительности экспоненциального типа отмечено увеличение более чем на треть (на 36%) характерного времени формирования (и диссипации) блокингов в теплое десятилетие (7.9 сут) относительно холодного 10-летия (5.5 сут). Это соответствует увеличению характерного времени на 50% при приповерхностном потеплении СП на 1 К. Полученная оценка почти в 4 раза превышает соответствующую оценку, полученную в [3].

Отмеченным тенденциям можно дать достаточно простое физическое объяснение. В [3] подобное объяснение дано с использованием концептуальной модели для атмосферных блокингов в земной климатической системе. В частности, в рамках самого общего модельного рассмотрения следует ожидать увеличения времени жизни атмосферных блокингов в более теплой тропосфере при более слабой (в целом) зональной циркуляции. В [6] была отмечена тенденция увеличения времени жизни блокингов и числа блокингов в году в СП по расчетам с моделью общей циркуляции при глобальном потеплении в связи с увели-



**Рис. 2.** Межгодовые вариации (нормированные) количества блокингов в Северном полушарии с использованием различных критериев при анализе разных данных.

чением содержания в атмосфере углекислого газа. При этом наиболее значимое увеличение общей продолжительности явлений блокирования при потеплении отмечено для весенне-летних и зимних месяцев, особенно над континентами, а также для Евро-Атлантического региона. Подобная тенденция для весенне-летних месяцев способствует формированию засух, а для зимних – формированию продолжительных морозов на фоне общего потепления. Выявлена также тенденция увеличения интегрального действия блокингов СП при общем потеплении [7]. Проявление климатических аномалий последних лет (в том числе летних и зимних экстремальных режимов для евроазиатских регионов в средних широтах) согласуется с отмеченными тенденциями блокинговой активности.

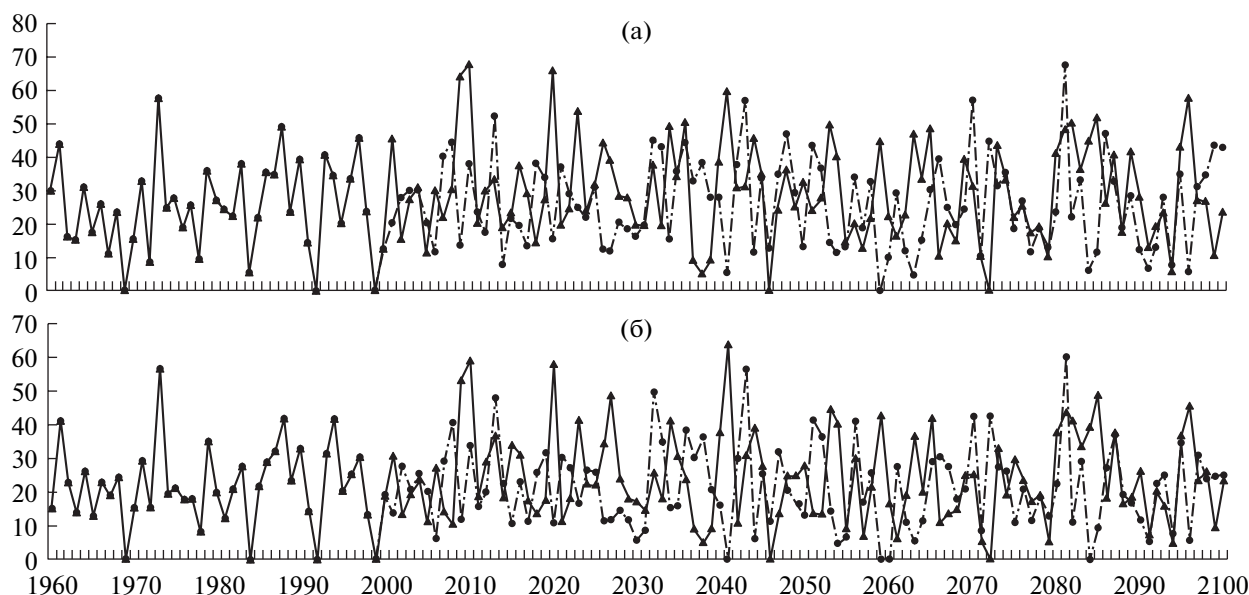
Анализ возможных изменений активности внетропических циклонов и антициклонов выявил большую изменчивость в XXI в. по разным модельным расчетам при различных антропогенных форсингах [5, 8]. Для блокирующих антициклонов также отмечена значительная межгодовая и более долгопериодная изменчивость. Рисунок 2 иллюстрирует насколько существенно могут различаться результаты при использовании разных данных и различных критериев для блокингов [1–7] (см., Например, <http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/>, <http://solberg.snr.missouri.edu/gcc/>, [https://ams.confex.com/ams/Annual2005/techprogram/paper\\_83154.htm](https://ams.confex.com/ams/Annual2005/techprogram/paper_83154.htm)).

Согласно полученным результатам анализа численных расчетов наиболее детальные глобальные климатические модели способны воспроизводить не только общие тенденции, но и конкретные экстремальные блокирующие ситуации в атмосфере, в том числе и блокирования типа отмеченного летом 2010 г. над европейской территорией России [2, 5]. При этом результаты чувствительны

к выбору критериев для блокингов, начальных условий и к сценариям возможного антропогенного воздействия.

На рис. 2 представлены примеры межгодовых вариаций общей длительности летнего блокирования в Евро-Атлантическом регионе ( $60^\circ$  з.д. –  $60^\circ$  в.д.) по расчетам с климатической моделью общей циркуляции (КМОЦ) IPSL-CM4 с разрешением  $\Delta\phi = 2.5^\circ$  по широте и  $\Delta\lambda = 3.75^\circ$  по долготе для периода 1960–2100 гг. при сценариях антропогенного воздействия SRES-A1B и SRES-A2 для XXI в. и при разных критериях для блокингов (см. также [8]). В частности, использовались модифицированные критерии Леженаса-Окленда аналогично [4] при более жестких (вариант I) и более слабых (вариант II) условиях для минимальной долготной протяженности блокингов  $L_\lambda$ :  $L_\lambda(I) = 6^\circ$  ( $>1600$  км на широте  $50^\circ$ ),  $L_\lambda(II) = 4^\circ$  (около 1100 км на широте  $50^\circ$ ).

Согласно рис. 2 можно ожидать общую длительность блокирования в Евро-Атлантическом регионе летом до двух месяцев и даже больше. В том числе по расчетам с КМОЦ IPSL-CM4 при сценарии умеренного антропогенного воздействия SRES-A1B при использовании более жесткого критерия для блокингов (I) для лета 2010 г. в Евро-Атлантическом регионе отмечено блокирование общей длительностью около 60 сут (рис. 2б). Полученная модельная оценка близка к реальной продолжительности блокирования над европейской территорией России летом 2010 г., послужившего причиной экстремальной засухи и пожаров. Стоит отметить, что экстремальная продолжительность блокирования в Евро-Атлантическом регионе до 2010 г. отмечена по модельным расчетам для лета 1973 г. (с несколько меньшей продолжительностью, чем летом 2010 г.), когда была аномально высокая температура, засуха и пожары в Западной Европе.



**Рис. 3.** Вариации общей продолжительности летних блокингов в Евро-Атлантическом регионе ( $60^\circ$  з.д.– $60^\circ$  в.д.) по модельным расчетам при антропогенных сценариях SRES-A1B (тонкая сплошная кривая) и SRES-A2 для XXI в. и разных критериях для блокингов: а – при менее жестком критерии (II), б – при более жестком критерии (I).

По модельным оценкам при анализированных антропогенных сценариях можно ожидать в XXI в. в Евро-Атлантическом регионе еще нескольких летних блокирований, сопоставимых по общей продолжительности с отмеченным летом 2010 г. В том числе аномально длительное (около 60 сут и более) блокирование по расчетам с КМОЦ IPSL-CM4 при более жестком критерии для блокингов (I) отмечено для двух летних сезонов (2020 и 2041 гг.) при сценарии SRES-A1B, а при сценарии SRES-A2 – для двух других летних сезонов (2043 и 2081 гг.) – см. рис. 26. При этом проявляется существенная зависимость результатов не только от сценариев антропогенных воздействий, но и от критериев блокирования. При менее жестком критерии для блокингов, в частности при более слабых условиях на долготную протяженность (II), их максимальная общая продолжительность увеличивается – в Евро-Атлантическом регионе летом 2010 г. до 10 недель (рис. 2а).

В изменениях режимов блокингов отмечаются существенные нелинейные эффекты. Так, согласно рис. 26, при умеренном антропогенном сценарии SRES-A1B следует ожидать в XXI в. блокирования с общей продолжительностью от месяца и более в Евро-Атлантическом регионе с частотой примерно раз в 3 года. При более агрессивном антропогенном сценарии SRES-A2 – раз в 4 года, как и во второй половине XX в. Наиболее значительные различия между XX и XXI веками отмечены для экстремально длительных блокирований. Частота блокирований с продолжительностью 50 дней и более в XXI в. при сценарии SRES-A2 (3 события за 100 лет) ближе к моделируемой для

второй половины XX в. (1 событие за 40 лет), чем при сценарии SRES-A1B (6 событий за 100 лет).

Чрезвычайные события лета 2010 г. с особой остротой подняли вопросы, связанные с климатическими изменениями и их последствиями. Согласно модельным оценкам, подобные аномально продолжительные блокирующие режимы можно было ожидать [2]. Но блокинги – это только часть, хотя и существенная, проблемы формирования погодно-климатических аномалий. Существенно, что при общем потеплении в течение последних десятилетий возрастает изменчивость значимых погодно-климатических характеристик. При продолжении глобального потепления в XXI в. ожидается усиление этой тенденции, в частности, увеличение вероятности экстремальных осадков, сопровождающихся летом для ряда евроазиатских регионов уменьшением вероятности осадков. Отмеченные тенденции способствуют формированию региональных экстремальных режимов – как засух, так и наводнений. Для более адекватной оценки уровня риска проявления региональных циркуляционных, температурных и гидрологических аномалий и их последствий в определенные сезоны, годы и периоды необходимо учитывать эффекты, связанные с ключевыми квазициклическими глобальными и региональными процессами, явлениями типа Эль-Ниньо/Ла-Нинья, Северо-Атлантического и Арктического колебаний, Атлантической долгопериодной осцилляции на фоне вековых тенденций [2, 8–15].

Данная работа выполнена при поддержке программ Российской Академии наук, Российского фонда фундаментальных исследований, Нацио-

нального центра научных исследований Франции (CNRS), Министерства образования и науки (г/к 11.519.11.5004), гранта Президента РФ НШ-5467.2012.5.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шакина Н.П., Иванова А.Р. // Метеорология и гидрология. 2010. № 11. С. 5–18.
2. Мохов И.И. // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. 2011. Т. 47. № 6. С. 709–716.
3. Мохов И.И., Петухов В.К. // РАН. 1997. Т. 357. № 5. С. 687–689.
4. Wiedemann J.M., Lupo A.R., Mokhov I.I., Tikhonova E.A. // J. Climate. 2002. V. 15. № 23. P. 3459–3473.
5. Mokhov I.I., Akperov M.G., Timazhev A.V. Research Activities in Atmospheric and Oceanic Modelling. Hamburg, 2012. Rept 42(7). P. 13–14.
6. Lupo A.R., Oglesby R.J., Mokhov I.I. // Climate Dyn. 1997. V. 13. P. 181–195.
7. Мохов И.И. // ДАН. 2006. Т. 409. № 3. С. 403–406.
8. Мохов И.И., Чернокульский А.В., Акперов М.Г. и др. // ДАН. 2009. Т. 424. № 3. С. 393–397.
9. Семенов В.А., Мохов И.И., Латиф М. // Изв. АН. Физика атмосферы и океана. 2012. Т. 48. № 4. С. 403–421.
10. Мохов И.И., Семенов В.А., Хон В.Ч. // Изв. АН. Физика атмосферы и океана. 2003. Т. 39. № 2. С. 150–165.
11. Мохов И.И., Дюфрен Ж.-Л., Ле Трет Э. и др. // ДАН. 2005. Т. 405. № 6. С. 810–814.
12. Khon V.C., Mokhov I.I., Roeckner E., Semenov V.A. // Glob. Planet. Change. 2007. V. 57. P. 118–123.
13. Арне К., Бенгтссон Л., Голицын Г.С. и др. // ДАН. 1999. Т. 366. № 2. С. 248–252.
14. Mokhov I.I., Khvorostyanov D.V., Eliseev A.V. // Intern. J. Climatol. 2004. V. 24. P. 401–414.
15. Мохов И.И., Семенов В.А., Хон В.Ч. и др. // ДАН. 2008. Т. 419. № 5. С. 687–690.