

АНОМАЛЬНОЕ ЛЕТО 2010 ГОДА В КОНТЕКСТЕ ОБЩИХ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА И ЕГО АНОМАЛИЙ

И.И. Мохов

Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН

Обсуждаются особенности аномальных погодных условий лета 2010 г. в Европейской России (экстремальная жара, засуха и пожары в условиях необычайно долго сохранявшегося, интенсивного блокирующего антициклона) в контексте наблюдающихся общих тенденций глобальных и региональных изменений климата и их колебаний с периодами от нескольких лет до квазидвухлетнего цикла. Детально рассмотрены изменения характеристик блокингов (длительность, интенсивность, повторяемость) в зависимости от фазы Эль-Ниньо – Южного колебания. Дан обзор полученных в различных предположениях оценок ожидаемых изменений активности блокингов в XXI столетии.

В обзоре Всемирной метеорологической организации (ВМО: <http://www.wmo.int/>) основных событий 2010 г. особо выделена экстремальная летняя жара в европейской части России. Этот аномальный режим был связан с очень длительным – около двух месяцев – блокированием западного переноса в тропосфере средних широт Северного полушария. С явлениями блокирования (блокингами) связано формирование продолжительных, более двух недель, аномалий циркуляционного, термического и гидрологического режимов – засух с пожарами летом, сильных морозов зимой (см. напр. [1, 5, 6, 17, 18, 22–24, 29, 32–34, 43, 48]).

По своей продолжительности установившийся летом 2010 г. над европейской территорией России блокирующий антициклонический режим был экстремальным. Согласно [48], длительность летних блокирующих антициклонов в течение последних четырех десятилетий в Северном и Южном полушариях не превышала трех недель, а самые продолжительные зимние периоды антициклонической погоды длились не больше месяца. Следует отметить, что максимальная частота блокирования летом в Европе в среднем находится около 30° в.д. [5, 31] (см. также [34]), а зимой западнее – около Гринвичского меридиана.

Лето 2010 г. на европейской территории России было рекордным не только по погодно-климатическим характеристикам, но и по последствиям. Согласно [27], экстремальные погодные условия лета 2010 г. на европейской территории России привели к огромным человеческим и экономическим потерям. Дополнительная смертность населения России в июле–августе этого года оценивается в 58 тысяч человек (<http://ifaran.ru/science/seminars/Summer2010.html>). Наиболее сильное воздействие на людей оказали продолжительные высокие температуры и резкое ухудшение качества воздушной среды. Значительное превышение предельно допустимых концентраций токсичных химических соединений в атмосферном воздухе было вызвано неблагоприятными метеорологическими условиями, которые способствовали накоплению

загрязнений в приземном слое атмосферы, и поступлением в атмосферу продуктов горения лесов и торфяников. Наряду с очевидным экстремальным количеством аэрозолей в приземном воздухе не менее негативное воздействие на здоровье людей и экологический режим оказывало невидимое существенное изменение газового состава атмосферы (см. [8]).

Аномально высокая температура летом 2010 г. в сочетании с низкой влажностью в условиях блокирующего режима в атмосфере привела к формированию обширной засухи и как следствие – к пожарам, вызвавшим сильнейшее загрязнение атмосферы. Засухи – сложные комплексные явления с сильнейшими региональными аномалиями температуры и влажности (осадков, влагосодержания почвы) [4] (см. также [13]). Они формируются летом, а также весной и осенью, в безоблачных условиях при антициклоническом атмосферном режиме. Атмосферное блокирование с образованием блокирующих антициклонов в тропосфере является необходимым (но не достаточным – например, при повышенных осадках в предшествующие сезоны) условием засухи в средних широтах [22]. Антициклонические условия с достаточно большой инсоляцией летом в средних широтах приводят к аномально теплым и сухим режимам, тогда как циклонические условия соответствуют дождливым и более холодным режимам. В качестве примеров длительных антициклонических (блокирующих) режимов в атмосфере можно привести также блокинги 1972 и 2002 гг., приведшие к засухам и пожарам в европейской части России.

Последние годы выявили тенденцию общего увеличения числа и интенсивности региональных гидрометеорологических аномалий на фоне глобальных климатических изменений. Это характерно, в частности, для российских регионов. Согласно данным Росгидромета (<http://www.meteorf.ru>), среднее число опасных гидрометеорологических явлений с существенным экономическим и социальным ущербом в последние 5 лет (2006–2010 гг.) и в предыдущие 5 лет (2001–2005 гг.) было соответственно в 2,3 и 1,6 раза

больше в России, чем для более раннего 5-летнего периода 1996–2000 гг. Наибольшее число таких явлений было в 2010 г. При этом следует отметить, что хотя последний год глобально был в числе трех самых теплых лет, в России он был только на двадцать втором месте среди теплых лет. (Последнее не случайно и связано, в частности, с блокинговой активностью в атмосфере. Так, летом 2010 г. в связи с блокинговым режимом с жарой в европейской части России сформировался циклонический режим с аномально холодной погодой в Западной Сибири. Кроме того, зима в России в этот год была холодной, что тоже связано с блокинговой активностью.) При этом в 2010 г. отмечены сильнейшие аномалии для отдельных сезонов в России в целом и в разных регионах. Наряду с рекордным летом в России в последний год были отмечены аномально холодная зима и аномально теплая осень. Локальные среднемесячные аномалии приземной температуры достигали $8\text{ }^{\circ}\text{C}$ летом и $-11\text{ }^{\circ}\text{C}$ зимой.

Еще в начале 1970-х годов делались выводы, что в конце XX в. антропогенное потепление приведет к общему уменьшению количества весенне-летних осадков и увеличению частоты засух в зонах неустойчивого увлажнения, в частности в степной и лесостепной зонах, что имеет большое значение для сельского хозяйства. Согласно [28], более 60% посевных площадей в России, дающих до 2/3 валового сбора зерна в стране, находятся в зонах недостаточного и неустойчивого увлажнения, и в годы сильных засух снижение урожайности в этих регионах достигает 60% и более по сравнению с годами благоприятного увлажнения. В целом по России в последние два десятилетия XX в. сборы зерна уменьшались в годы сильных и обширных засух почти наполовину.

В [2] на основе анализа характеристик засушливости в вегетационный период (май–июль) для различных российских регионов был сделан вывод, что наибольшее значение, в частности для сельского хозяйства, имеет не столько повышение приземной температуры, сколько связанное с потеплением изменение режима увлажнения, в том числе увеличение частоты засух в областях недостаточного увлажнения. Оценки изменений характеристик засух в российских регионах сделаны, например, в [13, 16, 25, 26, 35, 37, 41]. В [13] отмечены особенности аномальной засухи 2010 г. в российских регионах. Согласно [13], подобной интенсивной засухи в Приволжском и Центральном округах не отмечалось за весь период анализированных данных с конца XIX в.

Необходимо отметить, что для российских сельскохозяйственных регионов, в частности в европейской части, в вегетационный период (с мая по июль) характерна отрицательная корреляция осадков с приповерхностной температурой (см. напр. [13, 16, 36, 38]). При потеплении это способствует формированию более засушливых режимов. Подобная общая тенденция связана с изменением циркуляции атмосферы и эффективности влагопереноса с Атлантики во внутриматериковые регионы (в том числе в рос-

сийские регионы с неустойчивым влагообеспечением) при климатических изменениях.

На фоне общих долгопериодных тенденций выделяются резкие погодно-климатические аномалии типа летних засух и экстремальных зимних морозов, в частности летней засухи и зимних морозов 2010 г., связанных с образованием атмосферных блокингов. Адекватное понимание генезиса засух невозможно без понимания условий формирования и эволюции атмосферных блокингов. По результатам анализа характеристик тропосферных блокингов в Северном полушарии для последних десятилетий [36, 45, 46] по данным ВНИИГМИ-МЦД [11, 14] и данным реанализа NCEP/NCAR при общем потеплении Северного полушария отмечено проявление общего увеличения времени жизни летних блокингов, их количества и общей длительности. Общая тенденция увеличения характерного времени формирования (диссипации) и времени жизни блокингов Северного полушария при общем потеплении отмечена, например, в [18] по эмпирическим данным для последних десятилетий XX в.

Наряду с общими тенденциями изменений режимов температуры и осадков в XX в. отмечены внутри- и междесятилетние региональные вариации, в том числе в Северной Евразии, в частности в российских регионах. Так, например, при спектральном и вейвлетном анализе выявлены различные моды изменений индексов засушливости – от циклов с периодом несколько десятков лет до квазидвухлетней цикличности. При этом отмечены существенные различия между европейскими и азиатскими регионами России [42].

Значительные внутри- и междесятилетние региональные вариации климата связаны, в частности, с квазидвухлетней цикличностью, явлениями Эль-Ниньо/Ла-Нинья, Северо-Атлантическим и Арктическим колебаниями [7, 30, 36, 43]. Сильнейшие региональные изменения отмечены в этот период в бассейне Каспийского моря ростом осадков, стока Волги и уровня Каспия. При этом выявлена статистически значимая связь этих изменений с явлениями Эль-Ниньо, характеризуемыми положительными аномалиями в восточной и центральной частях Тихого океана в экваториальных широтах [3, 30, 43]. В [9, 10] сделаны оценки связи сезонной предсказуемости характеристик климата в разных регионах с явлениями Эль-Ниньо. Отмечено, в частности, что летом в связи с уменьшением внутренней неустойчивости атмосферных процессов влияние граничных условий, определяющих эффект, более значимо.

С явлениями Эль-Ниньо/Южное колебание связана доминирующая мода межгодовой изменчивости глобальных и полушарных осадков над сушей. Около 38% межгодовой дисперсии глобальных осадков над континентами объясняется их влиянием [44]. В связи с этими явлениями изменяется зональный перенос с соответствующим изменением влагопереноса с Атлантики вглубь Евразии и осадков, в частности в европейской части России. При этом выявлены не-

линейные эффекты влияния событий Эль-Ниньо и Ла-Нинья.

По данным реанализа NCEP/NCAR [45] (см. также [15]) оценено, что в годы Эль-Ниньо, определяемые периодом с октября по сентябрь (то есть после летнего сезона в период формирования Эль-Ниньо), число блокингов, их общая длительность (но не длительность отдельного блокинга) и интенсивность блокингов в Северном полушарии в целом меньше, чем в годы Ла-Нинья и обычные годы. При этом в Атлантико-Европейском секторе проявляется увеличение общей длительности блокингов (блоко-дней) и в годы Эль-Ниньо, и в годы Ла-Нинья относительно обычных лет. Особенно заметное увеличение общей длительности блокингов отмечено в годы Эль-Ниньо, в которые повышена и средняя продолжительность отдельных блокингов.

В соответствии с результатами [45] (см. также [15]) можно было еще в период формирования последнего Эль-Ниньо летом–осенью 2009 г. ожидать увеличения риска блокинговой активности в Атлантико-Европейском секторе в целом с октября 2009 г. по сентябрь 2010 г. Экстремальные морозы зимы 2009–2010 гг. и экстремальная жара лета 2010 г. подтвердили отмеченные тенденции. Проявляется также положительная корреляция (хотя и статистически незначимая) аномалий приземной температуры Северного полушария (летней и среднегодовой) с вариациями индексов Эль-Ниньо, например для января или зимы в целом в начале соответствующего года. (В выступлении на заседании Президиума РАН 24 ноября 2009 г. (<http://www.ras.ru/>) автор данной работы отмечал соответствующие общие особенности лет Эль-Ниньо и ожидаемую климатическую аномалию предстоящего 2010 г.) При этом результаты кроссвейвлетного анализа сезонных (в частности, летних) вариаций температуры у поверхности в Северном полушарии с аномалиями индексов Эль-Ниньо (в частности, температуры поверхности океана в экваториальной области Ниньо 3,4 в Тихом океане) зимой в начале соответствующего года выявили квазидесятилетнюю перемежаемость периодов со значимой когерентностью и ее отсутствием.

Соответствующие результаты вейвлетного и кроссвейвлетного анализа многолетних вариаций характеристик блокинговой активности (общей продолжительности блокирования) в Атлантико-Европейском секторе Северного полушария и приповерхностной температуры, осадков и индексов засух для европейской части России весной и летом с индексами Эль-Ниньо для предшествующей зимы также выявляют перемежаемость периодов увеличенной взаимной когерентности с периодами практического отсутствия взаимосвязи [38, 42].

Полученные результаты свидетельствуют о важности учета эффектов, связанных с явлениями Эль-Ниньо/Ла-Нинья для климатических процессов в Северном полушарии, но при этом указывают и на необходимость дополнительного учета других процессов. В [30], например, выявлена значимая связь

вариаций стока Волги и уровня Каспийского моря в XX в. с явлениями Эль-Ниньо, но она могла объяснить только до четверти дисперсии стока и уровня. Важную роль, например, играют в Северном полушарии Северо-Атлантическое и Арктическое колебания с квазидесятилетней цикличностью. Различный вклад в разных регионах вносят другие характерные моды межгодовой и более долгопериодной изменчивости (см. напр. (<http://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/teledoc/>)). При этом между разными модами есть взаимодействие (зависящее от климатических изменений). Так, например, в [20, 44] отмечено значимое влияние Эль-Ниньо на Северо-Атлантическое колебание, играющее большую роль в погодно-климатических процессах Северного полушария.

В 2010 г. фаза Эль-Ниньо сменилась на противоположную фазу – Ла-Нинья. Согласно оценкам [48] (см. также [15]) в год Ла-Нинья можно ожидать в целом с октября 2010 г. по сентябрь 2011 г. увеличение общей длительности блокингов и их числа (при некотором уменьшении их средней продолжительности) в Северном полушарии в целом по сравнению с обычными (нейтральными) годами. При этом в Атлантико-Европейском секторе можно ожидать увеличение количества блокингов и их средней интенсивности, наряду с увеличением общего числа блоко-дней (немного меньшим, чем для лет Эль-Ниньо) и некоторым уменьшением средней продолжительности блокингов.

В [15] для оценки интегральных эффектов блокингов предложена специальная характеристика – действие, имеющее размерность [энергия]x[время]. При этом интегральный энергетический эффект блокингов в Атлантико-Европейском секторе Северного полушария в целом в годы Эль-Ниньо и Ла-Нинья получен большим, чем для нейтральных лет. Особенно большое увеличение (до 15–20%) действия блокингов в этом секторе получено для лет Ла-Нинья. В других секторах Северного полушария интегральный эффект блокингов в нейтральные годы получен большим, чем годы Эль-Ниньо и Ла-Нинья.

Анализ функций распределения индекса засух для европейской части России в зависимости от индекса Эль-Ниньо/Ла-Нинья выявил, в частности, существенное их различие в год формирования достаточно сильного Ла-Нинья (с максимальным индексом засушливости) и в последующий год после его максимального развития (с минимальным индексом засушливости). Согласно этим результатам риск формирования засух в мае–июле на европейской территории России в год формирования достаточно сильного Ла-Нинья (в частности в 2010 г.) значительно возрастает, а в последующем году (в частности в 2011 г.) существенно понижается. Следует отметить, что оценки зависят от последующей эволюции процесса с переходом или непереходом в нейтральную или противоположную фазу (обычно весной). Согласно полученным в феврале 2011 г. результатам ансамблевых прогнозов (<http://www.cpc.ncep.noaa.gov/>), большинство модельных расчетов указывает на переход к маю–

июлю к фазе нейтрального года. (При этом по отдельным расчетам можно ожидать и продолжение фазы Ла-Нинья, и переход к фазе Эль-Ниньо.) Ситуация обычно проясняется в апреле.

Следует отметить, что целесообразно дополнительно разделять смежные между собой годы (и соответствующие сезоны) Эль-Ниньо и Ла-Нинья и годы Эль-Ниньо и Ла-Нинья, смежные с обычными (нейтральными) годами. Например, весной 2010 г. произошел достаточно быстрый переход от фазы Эль-Ниньо к фазе Ла-Нинья.

Чувствительность размера блокингов L и их характерного времени t к изменению температуры T можно оценить согласно [18]

$$L^{-1}dL/dT \sim I^{-1}dI/dT - U^{-1}dU/dT.$$

$$\tau^{-1}d\tau/dT \sim L^{-1}dL/dT - U^{-1}dU/dT.$$

Здесь I – интенсивность блокинга, U – характерная зональная скорость в тропосфере. При простейшей оценке размера блокингов L масштабом Обухова для баротропной атмосферы $L_0 \sim T^{1/2}$ их протяженность должна расти с потеплением ($dL/dT = dL_0/dT > 0$). Согласно этим оценкам, в частности, блокинги формируются и живут дольше в более теплой тропосфере при более слабой (в целом) зональной циркуляции в тропосфере. При этом блокинги с уменьшающимися, неизменными или слабо увеличивающимися размерами при тропосферном потеплении должны становиться более слабыми, тогда как блокинги с достаточно сильно увеличивающимися при тропосферном потеплении размерами должны быть более интенсивными. Это в целом согласуется с результатами, полученными в [34] с помощью модели общей циркуляции при увеличении содержания CO_2 в атмосфере.

Следует отметить, что при общем потеплении зональная циркуляция в отдельных широтных зонах может усиливаться в тропосфере, что может быть связано с выхолаживанием страто- и мезосферы, усилением струйного течения и квазициклическими процессами типа Северо-Атлантического колебания и Эль-Ниньо. Это может способствовать проявлению тенденции уменьшения характерного времени τ и характерного размера L для блокингов или увеличению их интенсивности. В [12] показано, что резкие изменения крупномасштабной структуры атмосферных течений могут приводить к быстрому распаду блокинга. Анализ фазовых траекторий и показателей Ляпунова позволил идентифицировать, когда происходят резкие изменения в общей динамике системы. Согласно [12] можно выделить четыре различных сценария распада блокингов: при недостатке синоптической подпитки, при активной роли синоптических процессов или каждый из отмеченных режимов во взаимодействии с резким изменением характера течения планетарного масштаба.

В XXI в. ожидаются значительные изменения температурного, циркуляционного и гидрологического

режимов [33]. При этом пространственная структура изменений характеристик гидрологического цикла, в частности, осадков, существенно более пространственно неоднородна по сравнению с температурным режимом. Кроме того, при общем потеплении могут существенно измениться функции распределения осадков в зависимости от их интенсивности и длительности с увеличением вероятности достаточно продолжительных региональных режимов с чередующимися экстремально слабыми и сильными осадками. Такие изменения должны приводить, в частности, к засухам с пожарами и наводнениям (см. напр. [19, 21]).

В [15, 34] сделаны оценки изменений характеристик блокирующих антициклонов в Северном полушарии при глобальном потеплении, связанном с увеличением содержания CO_2 в атмосфере. В целом для полушария получено увеличение общей продолжительности блокирующих режимов в году и среднего времени жизни блокингов при уменьшении их средней интенсивности. Кроме того, отмечены относительно слабые изменения размеров (увеличение) и количества (уменьшение) блокингов. Существенные изменения отмечены в изменениях характеристик блокингов над континентами и для Атлантико-Европейского сектора. Согласно модельным оценкам, при глобальном потеплении следует ожидать увеличение в первую половину года над континентами количества блокингов, их общей продолжительности, среднего времени жизни и интенсивности. Подобные тенденции отмечены в Атлантико-Европейском секторе для количества блокингов и числа блоко-дней, а также увеличения средней продолжительности блокингов в январе–марте и ее уменьшения в апреле–июне.

Соответствующие модельные оценки интегрального эффекта (действия) блокингов Северного полушария при потеплении в связи с ростом содержания CO_2 в атмосфере выявили общий рост действия блокингов над континентами и для полушария в целом [15] в среднем за год и для первого полугодия. Для Атлантико-Европейского сектора отмечено увеличение действия блокингов во все сезоны, кроме июля–сентября.

Анализ возможных изменений циклонической и антициклонической активности в атмосфере Северного полушария в XXI в. по сравнению с XX в. на основе результатов численных расчетов климатической моделью общей циркуляции с учетом антропогенных воздействий (см. [37]) выявил сильную изменчивость блокинговой активности в атмосфере, в том числе в Атлантико-Европейском секторе от Атлантики до Урала. В частности, при антропогенном сценарии SRES-A2 в Атлантико-Европейском секторе Северного полушария максимальная длительность летнего блокирования около 60 дней получена для лета 2012 г. Продолжительность этого блокирования близка к отмеченной летом 2010 г. на европейской территории России. Кроме 2012 г. для XXI в. отмечено еще 5 лет с превышением общей длительности в 50 дней для летних блокирований в Атлантико-Европейском секторе (2018, 2022, 2037, 2043 и 2086 гг.).

При общем потеплении на основе расчетов с использованием модели общей циркуляции согласно [15] можно ожидать увеличения интегрального энергетического эффекта блокингов в Северном полушарии в целом, наиболее сильное в первую половину года – с января до июля. Наибольшее увеличение действия блокингов отмечено над континентами. В Атлантико-Европейском секторе уменьшение действия блокингов получено для сезона с июля по сентябрь, а наиболее сильное увеличение – с января по март. Это свидетельствует о том, что зимние морозы (2006 и 2010 гг. в частности), связанные с блокингами, не противоречат глобальному потеплению.

В [16, 39] получены оценки возможных изменений в XXI в. экстремальных климатических режимов, включая частоту и интенсивность засух, и биосферных эффектов в регионах Северной Евразии, в частности для российских регионов, по расчетам с глобальной климатической моделью с углеродным циклом при антропогенных воздействиях. При этом учитывалось не только влияние антропогенных воздействий на климатический режим, включая биосферу, но и влияние биосферных изменений на климатические характеристики. Акцент был сделан на анализе влияния засух на изменения биопродуктивности наземных экосистем в средних широтах. Согласно модельным расчетам, следует ожидать увеличения в XXI в. по сравнению с XX в. вероятности распространения весенне-летних засух в среднеширотных регионах Евразии, в том числе в европейской части России. При этом анализ связи характеристик углеродного обмена и биопродуктивности наземных экосистем с режимами засух выявил заметное уменьшение первичной биопродуктивности, в частности в европейской части России, с увеличением индекса засушливости в XX в., тогда как для XXI в. их значимой связи не отмечено.

Общий рост по расчетам для XXI в. значений биопродуктивности экосистем в анализировавшихся в [16, 39] регионах Северной Евразии связан с интенсификацией фотосинтеза при росте содержания CO_2 в атмосфере, даже несмотря на неблагоприятные изменения регионального климата, в частности увеличение вероятности засух. Отмечено усиление связи биологической продуктивности в климатической модели с влагосодержанием почвы, сопровождающееся ослаблением связи биопродуктивности с осадками. Это свидетельствует о том, что тип региональных засух при потеплении меняется. Почвенные засухи при этом больше сказываются на биопродуктивности наземных экосистем, чем атмосферные засухи.

Чрезвычайные события лета 2010 г. с особой остротой подняли вопросы климатических изменений и их последствий. Тем более что в целом для Земли 2010 г. отмечен ВМО в числе трех самых теплых лет, а последнее десятилетие было самым теплым десятилетием по данным инструментальных наблюдений с середины XIX в. (<http://www.wmo.int/>). В какой сте-

пени летний режим 2010 г. в России связан с общими тенденциями глобальных и региональных климатических изменений? Можно ли было ожидать подобные аномалии? Что можно ожидать в будущем?

Судя по модельным оценкам, подобные аномально продолжительные блокирующие режимы в Атлантико-Европейском секторе Северного полушария можно было ожидать. При этом точный долгосрочный прогноз таких событий и их последствий невозможен. С точки зрения краткосрочного и среднесрочного прогноза, есть перспектива более адекватного учета процессов, характеристики которых могут быть предикторами для формирования блокингов. Полезными индикаторами при сохранении суммарного углового момента системы Земля–атмосфера являются угловая скорость вращения Земли и суммарный момент импульса атмосферы. В частности, блокирование в тропосфере способствует компенсации по моменту импульса интенсификации струйного течения выше по потоку относительно области формирования блокинга.

Можно оценивать повышение уровня риска региональных циркуляционных, температурных и гидрологических аномалий в определенные годы и сезоны с учетом эффектов, связанных с ключевыми квазициклическими глобальными и региональными процессами и явлениями типа Эль-Ниньо/Ла-Нинья и Северо-Атлантического и Арктического колебаний, на фоне более долгопериодных тенденций. Для оценки этих эффектов также полезен анализ угловой скорости вращения Земли и суммарного момента импульса атмосферы. При этом неопределенность в оценках очень большая, что связано не только с проблемами данных и адекватного моделирования процессов в атмосфере и в климатической системе в целом, но и с принципиальными проблемами неустойчивости атмосферных течений. Тем не менее, адекватный учет основных квазициклических процессов на фоне общих тенденций в климатической системе с соответствующими вариациями температуры поверхности океана, снежно-ледовых условий, влагосодержания почвы и др., рассматриваемыми как граничные (и начальные) условия для атмосферы, должен способствовать увеличению предсказуемости характеристик погодно-климатических аномалий. Проблема оценки возможных последствий усугубляется неопределенностью в степени адекватности принимаемых мер, в случае лета 2010 г. это касается профилактики и борьбы с лесными и торфяными пожарами. Существенно также, что при общем потеплении в течение последних десятилетий возрастает изменчивость существенных погодно-климатических характеристик. При продолжении глобального потепления в XXI в. ожидается усиление этой тенденции, в частности, общее увеличение вероятности экстремальных осадков, сопровождающихся летом в ряде российских регионов уменьшением их вероятности. Последнее способствует формированию как засух, так и наводнений.

Литература

1. *Агаян Г.М., Мохов И.И.* Квазистационарные осенние режимы атмосферы северного полушария в ПГЭП // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. 1989. Т. 25. С. 1150–1156.
2. Антропогенные изменения климата. Л.: Гидрометеоздат. 1987. 406 с.
3. *Арпе К., Бенгтссон Л., Голицын Г.С., Мохов И.И., Семенов В.А., Спорышев П.В.* Анализ и моделирование изменений гидрологического режима в бассейне Каспийского моря // Доклады РАН. 1999. Т. 366. № 2. С. 248–252.
4. Гидрометеорологические опасности / Под ред. Г.С. Голицына и А.А. Васильева. М.: Изд. Фирма “КРУК”, 2001. 296 с.
5. *Груза Г.В., Коровкина Л.В.* Сезонные особенности пространственного распределения индексов блокирования в Северном полушарии // Метеорология и гидрология. 1991. № 3. С. 108–110.
6. *Груза Г.В., Коровкина Л.В.* Климатический мониторинг процессов блокирования западного переноса в Северном полушарии // Метеорология и гидрология. 1991. № 8. С. 11–18.
7. *Груза Г.В., Ранькова Э.Я., Клещенко Л.К., Аристова Л.Н.* О связи климатических аномалий на территории России с явлением Эль-Ниньо – Южное колебание // Метеорология и гидрология. 1999. № 5. С. 32–51.
8. *Еланский Н.Ф., Мохов И.И., Беликов И.Б., Березина Е.В., Елохов А.С., Иванов В.А., Панкратова Н.В., Постыляков О.В., Сафронов А.Н., Шумский Р.А.* Газовый состав приземной атмосферы в г. Москве в экстремальных условиях лета 2010 г. // Доклады РАН. 2011. Т. 437. № 1. С. 90–96.
9. *Казначеева В.Д., Тросников И.В.* Оценка зависимости сезонной предсказуемости метеорологических величин в разных регионах Северного полушария от явления Эль-Ниньо – Южное колебание // Метеорология и гидрология. 2008. № 2. С. 5–19.
10. *Казначеева В.Д., Тросников И.В.* Оценка зависимости качества и предсказуемости сезонных прогнозов от граничных условий модели // Метеорология и гидрология. 2009. № 10. С. 11–21.
11. Каталог параметров атмосферной циркуляции. Северное полушарие. Обнинск. ВНИИГМИ-МЦД, 1988. 452 с.
12. *Луто А.Р., Мохов И.И., Достоглоу С., Куниц А.Р., Буркхардт Дж.П.* Оценка влияния на распад блокингов процессов планетарного масштаба с анализом фазовых траекторий и энтропии // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. 2007. Т. 43. № 1. С. 3–17.
13. *Мещерская А.В., Голод М.П., Мирвис В.М.* Засуха 2010 г. на фоне многолетнего изменения засушливости в основных зернопроизводящих районах России // Метеорология и гидрология. 2011. (в печати)
14. Мониторинг общей циркуляции атмосферы. Северное полушарие. Бюллетень (1991–1995). Обнинск. ВНИИГМИ-МЦД, 1997. 134 с.
15. *Мохов И.И.* Действие как интегральная характеристика климатических структур: Оценки для атмосферных блокингов // Доклады РАН. 2006. Т. 409. № 3. С. 403–406.
16. *Мохов И.И., Дюфрен Ж.-Л., Ле Трет Э., Тихонов В.А., Чернокульский А.В.* Изменения режимов засух и биопродуктивности наземных экосистем в регионах Северной Евразии по расчетам с глобальной климатической моделью с углеродным циклом // Доклады РАН. 2005. Т. 405. № 6. С. 810–814.
17. *Мохов И.И., Петухов В.К.* Пространственно-временные климатические структуры. Ч. I, II. М.: ИФА АН СССР, 1989. 191 с.
18. *Мохов И.И., Петухов В.К.* Блокинг и их тенденции изменения // Доклады РАН. 1997. Т. 337. № 5. С. 687–689.
19. *Мохов И.И., Рекнер Э., Семенов В.А., Хон В.Ч.* Возможные региональные изменения режимов осадков в Северной Евразии в XXI веке // Водные ресурсы. 2006. Т. 33. № 6. С. 754–762.
20. *Мохов И.И., Смирнов Д.А.* Исследование взаимного влияния процессов Эль-Ниньо – Южное колебание и Северо-Атлантического и Арктического колебаний нелинейными методами // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. 2006. Т. 42. № 5. С. 650–667.
21. *Мохов И.И., Чернокульский А.В., Школьник И.М.* Региональные модельные оценки пожароопасности при глобальных изменениях климата // Доклады РАН. 2006. Т. 411. № 6. С. 808–811.
22. *Обухов А.М., Курганский М.В., Татарская М.С.* Динамические условия возникновения засух и других крупномасштабных погодных аномалий // Метеорология и гидрология. 1984. № 10. С. 5–13.
23. Оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Т. I. Изменения климата. М.: Росгидромет. 2008. 227 с.
24. Оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Т. II. Последствия изменений климата. М.: Росгидромет. 2008. 288 с.
25. Предстоящие изменения климата / Под ред. М.И. Будыко, Ю.А. Израэля, М.С. МакКракена, А.Д. Хехта. Л.: Гидрометеоздат. 1991. 272 с.
26. *Ранькова Э.Я., Груза Г.В.* Индикаторы изменения климата России // Метеорология и гидрология. 1998. № 1. С. 5–19
27. Состояние воздушного бассейна г. Москвы и европейской территории России в экстремальных погодных условиях лета 2010 г. // Тезисы Всеросс. совещания (г. Москва, 25 ноября 2010 г.). М.: ИФА РАН. 2010. 100 с. (<http://ifaran.ru/science/seminars/Summer2010.html>).
28. *Уланова Е.С., Страшная А.И.* Засухи в России и их влияние на урожайность зерновых культур // Тр. ВНИИСХМ. 2000. Вып. 33. С. 64–83.
29. *Шакина Н.П., Иванова А.Р.* Блокирующие антициклоны: современное состояние исследований и прогнозирования // Метеорология и гидрология. 2010. № 11. С. 5–18.
30. *Arpe K., Bengtsson L., Golitsyn G.S., Mokhov I.I., Semenov V.A., Sporyshev P.V.* Connection between Caspian Sea level variability and ENSO // Geophys. Res. Lett. 2000. V. 27. No. 17. P. 2693–2699.
31. *Barriopedro D., Garcia-Herrera R., Lupo A.R., Hernandez E.* A climatology of Northern Hemisphere blocking // J. Climate. 2006. V. 19. P. 1042–1063.
32. Climate Change 2001: The Scientific Basis. Intergovernmental Panel on Climate Change. J.T. Houghton et al. (Eds.). Cambridge. Cambridge Univ. Press. 2001. 881 p.

33. Climate Change 2007: The Scientific Basis. Intergovernmental Panel on Climate Change. S. Solomon et al. (Eds.). Cambridge. Cambridge Univ. Press. 2007. 996 p.
34. Lupo A.R., Oglesby R.J., Mokhov I.I. Climatological features of blocking anticyclones: A study of Northern Hemisphere CCM1 model blocking events in present-day and double CO₂ concentration atmospheres // *Clim. Dyn.* 1997. V. 13. P. 181–195.
35. Meshcherskaya A.V., Blazhevich V.G. The drought and excessive moisture indices in a historical perspective in the principal grain-producing regions of the Former Soviet Union // *J. Climate.* 1997. V. 10. P. 2670–2682.
36. Mokhov I.I. Blocking activity in Northern Hemisphere: Detection of change and attribution of causes / Proc. 4th Intern. Conf. on Modelling of Global Climate Change and Variability (13–17 September, 1999). MPI, Hamburg, 1999. P. 223.
37. Mokhov I.I. Spring-summer climate extremes in Eurasian midlatitudinal regions // *Research Activities in Atmospheric and Oceanic Modelling.* 2005. Rep. No. 35. WMO/TD–No. 1276. P. 07.29–07.30.
38. Mokhov I.I., Akperov M.G., Chernokulsky A.V., Dufresne J.L., Le Treut H. Comparison of cloudiness and cyclonic activity changes over extratropical latitudes in Northern Hemisphere from model simulations and from satellite and reanalysis data // *Research Activities in Atmospheric and Oceanic Modelling.* 2007. WMO/TD–No. 1397. P. 07.15–07.16.
39. Mokhov I.I., Chernokulsky A.V., Dufresne J.-L., Le Treut H. Terrestrial biosphere response to anthropogenic changes in growing season in European mid-latitudinal regions from model simulations // *Research Activities in Atmospheric and Oceanic Modelling.* WMO TD–No. 1276. 2005. S. 7. P. 19–20.
40. Mokhov I.I., Chernokulsky A.V., Shkolnik I.M., Tikhonov V.A. Extreme dry and fire conditions for mid-latitudinal regions of Northern Eurasia: Analysis of observations, reanalyses and model simulations // *The Intern. Symp. on Atmos. Physics and Chemistry.* Qufu, Shandong, China. 2007. P. 95–97.
41. Mokhov I.I., Dufresne J.-L., Khon V.Ch., Le Treut H., Tikhonov V.A. Regional regimes with drought and extreme wet conditions: Possible changes in XXI century from IPSL-CM2 simulations // *Research Activities in Atmospheric and Oceanic Modelling.* 2002. Rep. No. 32. WMO/TD–No. 1105. P. 07.31–07.32.
42. Mokhov I.I., Khvorosyanov D.V., Eliseev A.V. Decadal and longer term changes in El-Nino – Southern Oscillation characteristics // *Intern. J. Climatol.* 2004. V. 24. P. 401–414.
43. Mokhov I.I., Petukhov V.K., Senatorsky A.O. Sensitivity of storm track activity and blockings to global climatic changes: Diagnostics and modelling // *Publ. Acad. Finland. Painatuskaskus.* 1995. 6/95. P. 438–441.
44. Mokhov I.I., Smirnov D.A. El-Nino/Southern Oscillation drives North Atlantic Oscillation as revealed with nonlinear techniques from climatic indices // *Geophys. Res. Lett.* 2006. V. 33. P. L03708, doi:10.1029/2005GL024557.
45. Mokhov I.I., Tikhonova E.A. Atmospheric blocking characteristics in the Northern Hemisphere: Diagnostics of changes // *Research Activities in Atmospheric and Oceanic Modelling.* WMO/TD–No. 987. 2000. P. 2.20–2.21.
46. Mokhov I.I., Tikhonova E.A., Lupo A.R., Wiedenmann J.M. Atmospheric blocking characteristics in the Northern Hemisphere: Comparison of two climatologies // *Research Activities in Atmospheric and Oceanic Modelling.* WMO/TD–No. 1064. 2001. P. 2.20–2.21.
47. New M., Todd M., Hulme M., Jones P. Precipitation measurements and trends in the twentieth-century // *Intern. J. Climatol.* 2001. V. 21. P. 1899–1922.
48. Wiedenmann J.M., Lupo A.R., Mokhov I.I., Tikhonova E.A. The climatology of blocking anticyclones for the Northern and Southern Hemispheres: Block intensity as a diagnostic // *J. Climate.* 2002. V. 15. No. 23. P. 3459–3473.