DOI: 10.21513/2410-8758-2017-2-130-143 УДК 551.577.38

ОПАСНАЯ АТМОСФЕРНАЯ ЗАСУХА НА ЕВРОПЕЙСКОЙ ЧАСТИ РОССИИ В УСЛОВИЯХ СОВРЕМЕННОГО ЛЕТНЕГО ПОТЕПЛЕНИЯ

Е.А. Черенкова

Институт географии РАН,
РФ, 119017, г. Москва, Старомонетный пер., д. 29;
lcherenkova@marketresearch.ru, cherenkova@igras.ru

Резюме. В статье исследованы тенденции экстремального агрометеорологического явления – опасной атмосферной засухи (ОАЗ) - и региональные особенности условий ее формирования на Европейской части России (ЕЧР) во второй половине XX – начале XXI века. В ЕЧР южнее 57 ° с.ш. за период более теплой Северной Атлантики (1995 - 2014 года) по сравнению с ее более холодным периодом (1963 - 1994 года) выявлено увеличение повторяемости периодов аномально высоких температур длительностью больше месяца. При этом в мае на большей части ЕЧР наблюдался рост (не более чем на 10 %) числа переходов от дней с эффективными осадками к дням с их отсутствием. В то же время летом на ЕЧР преобладало уменьшение количества переходов на 8 - 10 %. Выявленные изменения приводят при оценках к увеличении повторяемости ОАЗ в период 1995 - 2014 годов по сравнению с 1963 - 1994 годов, а также к сдвигу начала ОАЗ в среднем на одну-две недели в сторону более ранних дат на большей части территории наблюдения засухи. Наибольший рост частоты ОАЗ – на 30 - 40 засух в столетие – произошел на юго-востоке ЕЧР. Выдвинута гипотеза о том, что число смен дней с эффективными осадками днями с их отсутствием в мае уменьшится при переходе Северной Атлантики от современной теплой фазы к последующей более холодной. Наряду с этим при сохранении темпов современного потепления, рост частоты непрерывных периодов с аномально высокими температурами в мае в ряде регионов на ЕЧР приведет к увеличению риска ОАЗ уже в мае, что будет весьма неблагоприятно для сельскохозяйственной отрасли.

Ключевые слова. Опасная атмосферная засуха, аномалии температуры воздуха, атмосферные осадки, летнее потепление, температура поверхности океана, Северная Атлантика, Европейская часть России.

DANGEROUS ATMOSPHERIC DROUGHT IN EUROPEAN RUSSIA UNDER RECENT SUMMER WARMING

E.A. Cherenkova

Institute of Geography, Russian Academy of Sciences,
29, Staromonetnyi lane, 119017, Moscow, Russia;
lcherenkova@marketresearch.ru, cherenkova@igras.ru

Summary. The dynamics of dangerous atmospheric droughts, agrometeorological extreme event, and regional features of their formation in European Russia in the second half of the 20th century and the beginning of the 21st century are studied in the article. In European Russia, to the south of 57 °N, frequency of time spells with abnormally high temperatures lasting more than one month is found higher for the period of warm North Atlantic (1995 - 2014) than for its cooler period (1963 - 1994). An increase of less than by 10 % in the number of switches from a day with effective rainfall to the day with no precipitation is observed over the most part of European Russia in May. The number of switches in summer declines by 8 - 10 % on average over most of European Russia. The changes result in an increase in frequency of dangerous atmospheric droughts in 1995 - 2014 vs. 1963 - 1994, and they start one-two weeks earlier on average. The highest rate of increase in frequency of dangerous atmospheric droughts (30 - 40 drought/per century) is found in the south-east of European Russia. Authors hypothesize that number of switches in May from a day with effective rainfall to the day with no precipitation should decrease along with transition of the North Atlantic from the current warm phase to a cooler one. In addition, if the current trend in warming sustains, the rise in frequency of continuous periods of abnormally high temperatures in May in some regions of European Russia will result in an increase of the risk of dangerous atmospheric drought. This would be unfavorable for the agriculture.

Keywords. Dangerous atmospheric drought, air temperature anomaly, precipitation, summer warming, sea surface temperatures, North Atlantic, European Russia.

Введение

Засуха является природным явлением, способным наносить экосистемам непоправимый ущерб. Внимание исследователей к изучению засухи в меняющемся климате обусловлено, прежде всего, ее последствиями для природной среды и общества – снижением продуктивности растительных сообществ и агрофитоценозов, а также дефицитом водных ресурсов.

Во Втором оценочном докладе Росгидромета отмечается, что весной и летом в период 1979 - 2012 гг. на Европейской части России наблюдалось статистически значимое потепление. Скорость изменения температуры воздуха

весной на ЕЧР составила 0.41 °/10 лет, а летом – 0.59 °/10 лет. Как показано в работе (Попова и др., 2014), летнее потепление на Европейской части России в последние десятилетия XX-го – начале XXI-го века было связано с изменениями в режиме крупномасштабной атмосферной циркуляции.

Возникает вопрос о том, какую роль в формировании засух на фоне современного потепления может играть естественная изменчивость климата? Исследования процессов, инициирующих засуху, выявили ряд факторов, которые могут оказывать влияние на возникновение засухи: в их числе крупномасштабные атмосферные механизмы, ассоциирующиеся с режимами климатической изменчивости и аномалиями температуры поверхности океана (ТПО) (Schubert et al., 2004; Seager et al., 2005). Модельные оценки показали, что принятие в расчет Атлантического долгопериодного колебания (АДК) увеличивает в 1.5 - 2 раза (в зависимости от амплитуды воздействия) вероятность аномально жарких режимов в июле на юге ЕЧР (Семенов и др., 2014). В экспериментах по моделированию АДК с реалистичной амплитудой наиболее сильная связь доли подверженных засухам регионов с АДК на ЕЧР выявлена в мае (Семенов и др., 2016). Несмотря на значительность стохастической составляющей засух, предпринимаются попытки установить закономерности формирования засух. Например, были выявлены значимые различия частоты сильных засух и урожайности зерновых культур на юге ЕЧР в противоположные фазы квазидвухлетней цикличности ветра в экваториальной стратосфере, связанные с различиями в статистике синоптических циклонических и антициклонических вихрей над ЕЧР (Черенкова и др., 2015а). Отмечается, что риск формирования весенне-летних засух на ЕЧР в год наблюдения достаточно сильного Ла-Нинья значительно возрастает, а в последующем году существенно понижается (Mokhov, Smirnov, 2006).

Цель статьи состоит в исследовании динамики опасной атмосферной засухи на территории Европейской части России во второй половине XX-го – начале XXI-го века и в определении особенностей засухи и ее тенденций в условиях современного летнего потепления и в периоды устойчивых аномалий температуры поверхности Северной Атлантики.

Материалы и методы

Засуха является комплексным явлением, и ее формирование зависит от множества факторов. До сих пор не существует признанного количественного показателя засухи, поскольку каждый показатель оценивает ситуацию с засушливыми условиями с определенной точки зрения. В данном исследовании изучена динамика опасной атмосферной засухи на европейской территории России. Согласно критерию Росгидромета, засуха классифицируется как опасная атмосферная, если в течение не менее 30 дней подряд при аномально высоких температурах воздуха (максимальная суточная температура приземного воздуха превышает 25 °С, а в южных районах европейской части России – 30 °С) не наблюдается осадков больше 5 мм/сутки (РД 52.88.699-2008, 2008). При этом в отдельные дни (не более 25 % продолжительности периода)

возможно наблюдение максимальных температур ниже указанных пределов. Необходимо отметить, что критерий базируется на эмпирических оценках без учета климатической нормы и не позволяет сравнить интенсивность засухи в зависимости от географической широты ее наблюдения. Тем не менее, определение засухи согласно приведенному выше критерию чрезвычайно полезно, поскольку даты засухи являются «плавающими», что позволяет выполнить климатические оценки внутри сезонных изменений атмосферной засухи по данным суточного разрешения. Несмотря на то, что пороговое значение максимальной температуры воздуха в 25 °С не является экстремальным на ЕЧР, длительное непрерывное наблюдение температур, превышающих это пороговое значение, на фоне бездождного периода приводит к засухе в южной половине ЕЧР. Такая засуха относится к категории опасных агрометеорологических явлений, по интенсивности воздействия на природную среду и деятельность человека можно считать ОАЗ экстремальной. Ранее проведенный анализ обширных опасных атмосферных засух на юге Европейской части России в отдельные годы XX-го – начала XXI-го века выявил особенности метеорологических условий в предшествующий засухе зимне-весенний период и в период развития засухи (Черенкова, 2012; Черенкова, Кононова, 2012). Так, в частности, экстремальные засухи 1972 г. и 2010 г. на ЕЧР имеют сходство в их наблюдении в период повышенной суммарной годовой продолжительности меридиональной циркуляции в Северном полушарии. Рассмотрение циркуляционных условий формирования ОАЗ на Европейской части России позволило исследовать механизмы их формирования (Черенкова, Кононова, 2009; Черенкова и др., 2015b). Было установлено, что в зональную циркуляционную эпоху антициклонический режим, при котором формируются ОАЗ, поддерживается либо постоянными арктическими вторжениями на ЕЧР, либо распространением на эту территорию восточного отрога азорского антициклона. В меридиональную южную циркуляционную эпоху ОАЗ большую часть времени развивается в самостоятельном ядре повышенного давления.

Для расчета опасной атмосферной засухи на Европейской части России были использованы данные наблюдений за ежедневной максимальной температурой воздуха и суточными суммами осадков на 110-ти метеостанциях сети Росгидромета, находящихся в пределах территории исследования из климатического архива Мирового центра данных ВНИИГМИ-МЦД (данные доступны на интернет-сайте http://www.meteo.ru). В расчет принимались временные ряды, в которых пропуски составили не более 10 %. Средняя частота ОАЗ за рассмотренные периоды рассчитывалась для каждой метеостанции как отношение числа случаев с засухой к числу лет периода.

Помимо опасной атмосферной засухи были рассмотрены изменения ее составляющих. Мы исходили из того, что для формирования ОАЗ необходимо установление над исследуемым регионом устойчивого антициклонического режима аномально жаркой погоды. При этом неустойчивость антициклонического режима и выпадающие осадки ассоциируются, прежде всего, с прорывом средиземноморских циклонов, а также с прохождением атлантических

циклонов. Отметим, что переход засухи в категорию опасной атмосферной, согласно описанному критерию, достаточно формален и при прочих равных температурных условиях чувствителен к стохастичности и неоднородности осадков. Для выявления смещения границы территории, на которой теоретически может возникнуть опасная атмосферная засуха, в качестве порогового значения для определения аномально высоких температур было рассмотрено значение, равное 25 °С.

Сравнение повторяемости ОАЗ проведено для периодов устойчивых положительных и отрицательных значений Атлантической мультидекадной осцилляции (АМО), связанной с аномалиями температуры поверхности океана и переноса океанического тепла в Северной Атлантике. На основании оценки таких периодов можно условно отнести период 1963 - 1994 гг. к более холодной фазе Северной Атлантики, а к более теплой ее фазе – период с 1995 г. по настоящее время (Черенкова, 2017; Sutton et al., 2012). Периодичность АМО меняется в границах от 60-ти до 80-ти лет (Delworth et al., 2007; Schlesinger, Ramankutty, 1994). Ранее была установлена статистическая значимость различий в распределении сезонных осадков на территории Восточно-Европейской равнины между противоположными фазами Атлантической Мультидекадной Осцилляции (Черенкова, 2017). Так, весной фазы более теплой Северной Атлантики (периоды 1926 - 1962 гг. и 1995 - 2012 гг.) ассоциировались с бóльшим количеством осадков в целом на Восточно-Европейской равнине, чем в более холодную ее фазу (период 1963 - 1994 гг.). Вместе с тем, летом в аналогичные теплые фазы АМО на большей части Восточно-Европейской равнины наблюдались более засушливые условия. В той же работе было установлено, что выявленная согласованность пространственного распределения измене-ний сезонных осадков в теплые фазы Северной Атлантики является следствием сходства структуры полей давления на уровне моря в Атлантико-Европейском секторе в аналогичные периоды. В данном исследовании проанализирована изменчивость периодов с аномально высокой температурой воздуха, с отсутствием эффективных осадков, а также характеристик опасных атмосферных засух в периоды 1963 - 1994 гг. и 1995 - 2014 гг.

Как правило, обширные засухи связаны с формированием крупномасштабных стационарных антициклонов, блокирующих зональный поток - блокингов. Например, длительное атмосферное блокирование, наблюдавшееся летом 2010 г. над центром ЕЧР и Поволжьем в течение 55 дней, связывают с установлением рекордной за все время инструментальных наблюдений жары «как по наблюдавшимся температурам, так и по продолжительности периода с температурой 30°С и выше» (Анализ условий …, 2011; Мохов, 2011). Отмечается общая тенденция увеличения характерного времени формирования и длительности блокингов Северного полушария при общем приповерхностном потеплении, выявленная на основе данных наблюдений для последних десятилетий XX века (Мохов, Петухов, 1997). Межгодовые вариации числа блоко-дней весной и летом в Атлантико-Европейском секторе в период 1968-2016 гг. были изучены по данным характеристик блокирующих антициклонов продолжительностью не менее 5 суток по данным из архива Университета

Миссури (University of Missouri, http://solberg.snr.missouri.edu/gcc/). Подробное описание методики определения характеристик блокирующих событий представлено в работе (Wiedenmann et al., 2002).

Для метеостанций ЕЧР южнее 57 °с.ш. в периоды 1963 - 1994 гг. и в 1995 - 2014 гг. была построена общая функция распределения длительности периодов максимальной длины с температурой более 25 °С и отсутствием эффективных осадков в среднем для всех метеостанций. Для сопоставимости между метеостанциями, значения были нормализованы соответствующими средними значениями и среднеквадратическими отклонениями для каждой метеостанции.

Статистическая значимость результатов оценивалась с помощью критерия Стьюдента (t-test с уровнем значимости 0.95) для временных рядов разной длины.

Обсуждение результатов

Рассмотрим вначале изменения проявления экстремальности в температурном режиме на ЕЧР во второй половине XX-го века – в начале XXI-го века. Для этого проанализируем изменение характеристик непрерывных периодов аномально высоких суточных максимальных температур, длительностью превышающих 30 дней.

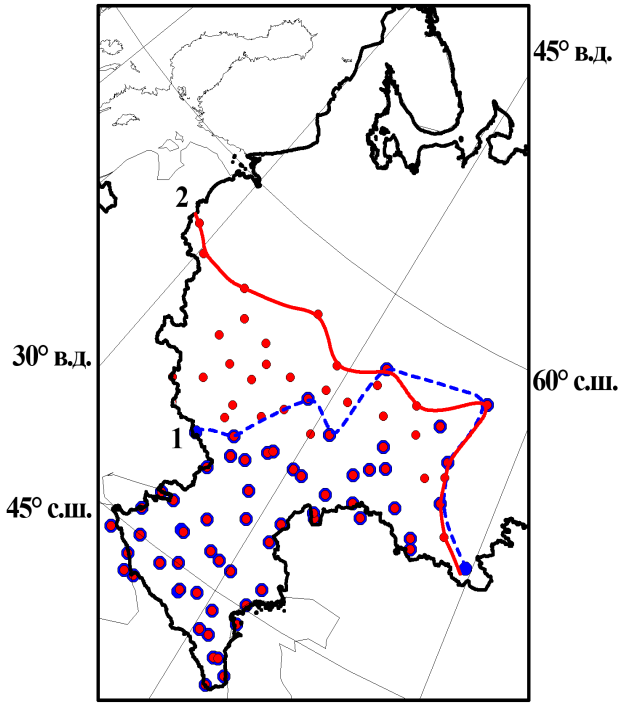


Рисунок 1. Пространственное распределение метеостанций, на которых в течение непрерывных 30 дней и более наблюдались максимальная суточная температура воздуха выше 25 ° С в периоды 1963 - 1994 гг. (метеостанции отмечены синими кружками) и 1995 - 2014 гг. (метеостанции отмечены красными кружками) с условной северной границей (1) и (2).

Как следует из рис. 1, северная граница области наблюдения длительных периодов аномально высоких температур в период 1995 - 2014 гг. по сравнению с 1963 - 1994 гг. существенно продвинулась к северу на территории европейской части России западнее 47 ° в.д. Таким образом, длительные периоды с жаркой погодой летом стали наблюдаться в широколиственно-лесной и подтаежной зоне ЕЧР. Отметим, что такое продвижение периодов длительного наблюдения жары в лесную ландшафтную зону, в частности, ассоциируется с увеличением риска возникновения верховых пожаров. Расширение границ обозначенной области очевидно связано с летним потеплением на ЕЧР, вследствие которого дни с максимальными температурами, превышающими 25 °С, получили возможность группироваться в непрерывные периоды длительностью более месяца в тех регионах, где до 1995 г. такие периоды не отмечались.

Как показано на рис. 2, изменение числа переходов от дней с эффективными осадками к дням с их отсутствием и в мае в период более теплой Северной Атлантики 1995 - 2014 гг. по сравнению с ее предыдущим более холодным периодом 1963 - 1994 гг. в целом на ЕЧР наблюдался рост числа таких смен, в среднем не превышающий 10 % (рис. 2а). При этом статистически значимое увеличение до 20% отмечалось на северо-западе и на юго-востоке территории. Напротив, летом в аналогичные периоды на Европейской части России к югу от 60 ° преобладало уменьшение количества переходов в среднем на 8 - 10%, а статистически значимое понижение произошло на юго-востоке территории (от 15 % до 30 %). Результаты согласуются с полученными ранее выводами, сделанными относительно сезонных осадков на территории Восточно-Европейской равнины (Черенкова, 2017).

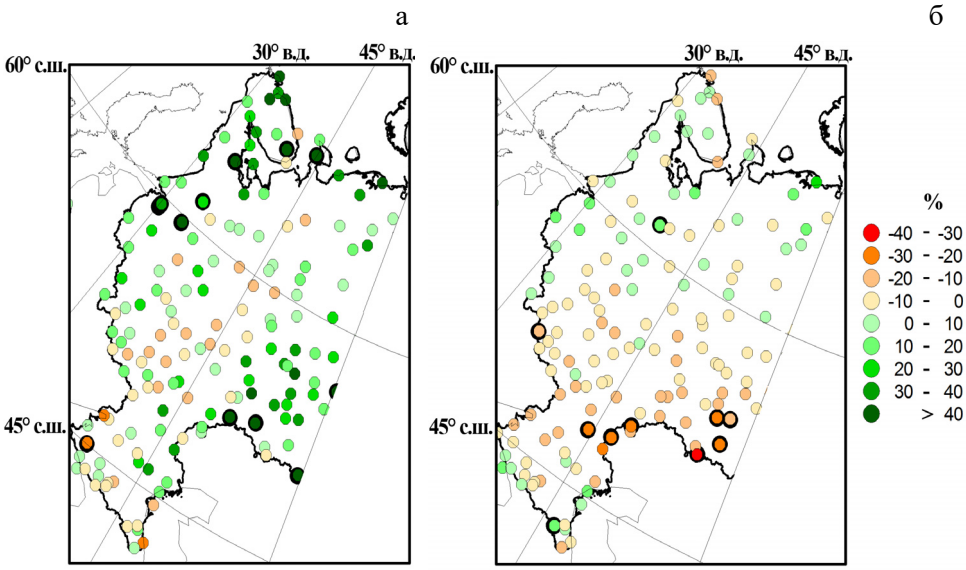


Рисунок 2. Изменение (в %) числа переходов от дней с эффективными осадками к дням с их отсутствием на метеостанциях ЕТР (показано кругами) в мае (а) и в среднем за лето (б) в период 1995 - 2014 гг. по сравнению с 1963 - 1994 гг.

Метеостанции со статистически значимыми изменениями показаны кругами, обведенными контуром черного цвета.

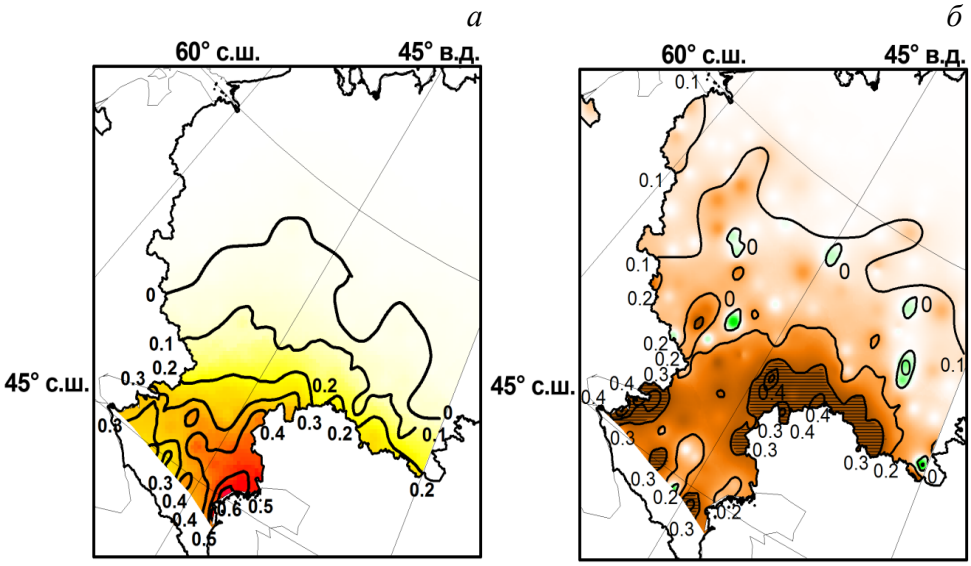


Рисунок 3. Частота (число случаев/10 лет) ОАЗ в период 1963-1994 гг. (а) и ее изменение на ЕЧР в период 1995-2014 гг. (б) по сравнению с 1963-1994 гг.
Области статистически значимых на уровне 0.95 изменений заштрихованы.

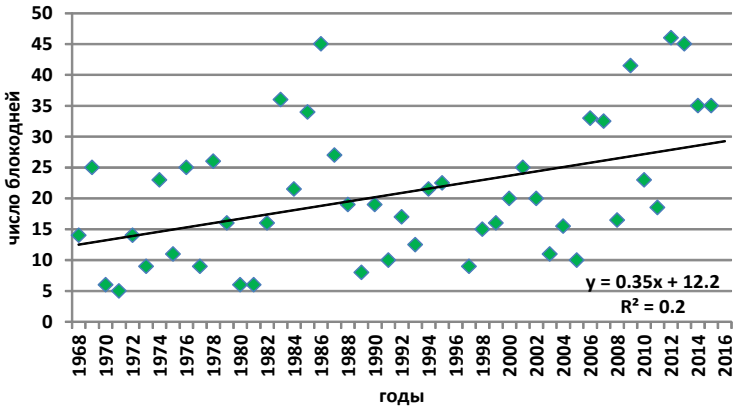
Опасная атмосферная засуха наблюдается на юге и юго-востоке ЕЧР (рис. 3а). Как правило, она начинается во второй половине июня – начале июля. Частота опасной атмосферной засухи в период 1963 - 1994 гг. изменялась от 3-х до 6-ти засух в 100 лет в широколиственно-лесной и лесостепной зоне, а в степной зоне ее повторяемость составила от 6-ти до 60-ти засух в 100 лет. Наибольшая частота ОАЗ – от 40-ка до 80-ти засух в столетие - отмечалась в полупустынной зоне на Прикаспийской низменности.

Очевидно, что рост числа смен дней с эффективными осадками к дням с их отсутствием указывает на меньшую вероятность непрерывных бездождных периодов, тогда как уменьшение числа смен приводит к большей их вероятности. На фоне увеличения повторяемости длительных периодов аномально высоких температур в среднем за период 1995 - 2014 гг. по сравнению с 1963 - 1994 гг. на территории ЕЧР южнее 57° с.ш. (рис. 1) рост повторяемости ОАЗ не был неожиданным. Так, повторяемость ОАЗ в период 1995 - 2014 гг. возросла на 10 засух/100 лет в широколиственно-лесной и лесостепной зоне, на 20 - 30 засух/100 лет в степной зоне (рис. 3б). Наибольший рост частоты ОАЗ на 30 - 40 засух в столетие в период 1995 - 2014 гг. произошел на обширной территории на юго-востоке ЕЧР. Такое увеличение обусловлено сочетанием двух факторов: летнего потепления на ЕЧР и статистически значимого уменьшения числа переходов от дней с эффективными осадками к дням с их отсутствием летом на юго-востоке ЕЧР (рис. 2б).

Как было показано, непрерывные периоды с аномально высокими температурами на ЕЧР стали более длительными и устойчивыми вследствие роста суммарной продолжительности их наблюдения, что не только стало приводить к более частым засухам, но и сказалось на изменении дат начала ОАЗ. Так, на большей части территории наблюдения ОАЗ в период 1995 - 2014 гг. засухи стали начинаться в среднем на одну-две недели раньше, чем в период 1963 - 1994 гг. Исключение составила территория Среднего Поволжья, где даты начала ОАЗ в период 1995 - 2014 гг. либо не изменились, либо засуха стала возникать позже на 1 - 2 недели.

Анализ характеристик блоко-дней показал, что весной и летом в период 1968 - 2016 гг. в Атлантико-Европейском регионе наблюдался рост интенсивности блокирующих антициклонов (рис. 4а и 4б). Эти результаты согласуются с выводом о росте частоты опасных атмосферных засух в южной половине ЕЧР в период 1995-2014 гг. по сравнению с 1963-1994 гг. Область максимальной повторяемости блокингов находится в районе 30° в.д., что подтверждается результатами других исследователей (Barriopedro et al., 2006; Lupo et al., 1997).

а



б

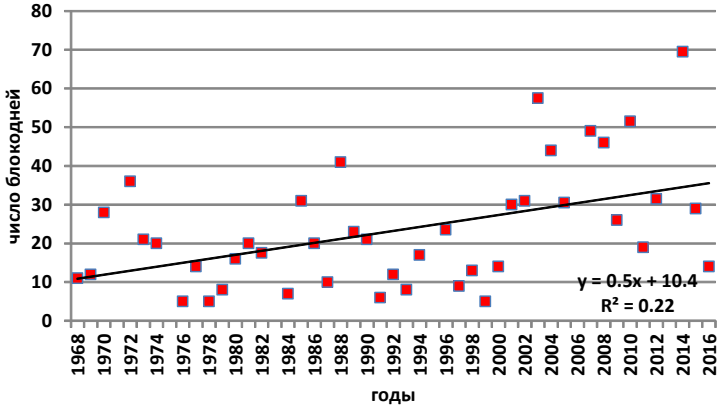


Рисунок 4. Межгодовая изменчивость числа блоко-дней в Атлантико-Европейском регионе и линейный тренд изменений весной (а) и летом (б) в период 1968 - 2016 гг.

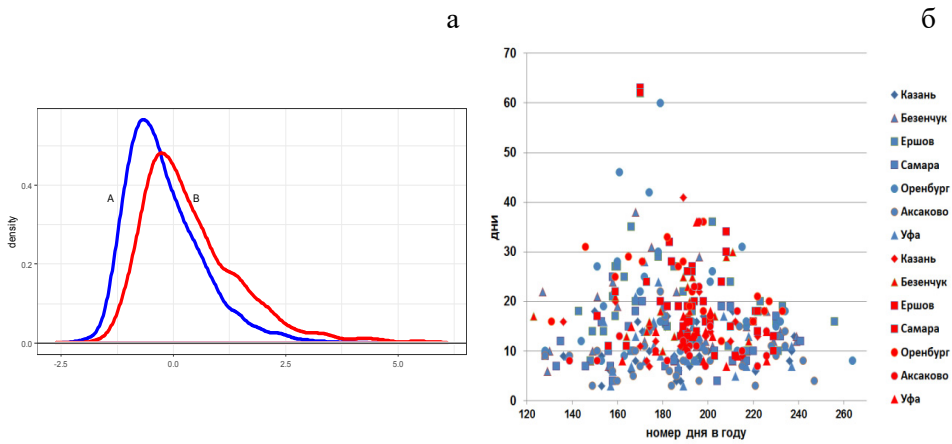


Рисунок 5. Функция распределения длительности периодов максимальной длины с температурой более 25 °С и отсутствием эффективных осадков в среднем для всех метеостанций ЕЧР южнее 57 °с.ш. в периоды 1963 - 1994 гг. (А) и в 1995 - 2014 гг.(В) (а) и изменение даты их начала на некоторых метеостанциях юго-востока ЕЧР в мае-сентябре в периоды 1963 - 1994 гг. (синие значки) и в 1995 - 2014 гг. (красные значки) (б).

Необходимо отметить, что анализ данных суточного разрешения позволяет проследить волнообразную структуру жарких бездождных периодов в средней полосе ЕЧР. Как правило, первая волна таких периодов длительностью не более двух недель приходится на май, вторая волна жарких периодов без осадков наблюдается во второй половине июня – в июле и часто из-за своей длительности переходит в разряд опасной атмосферной засухи. Третья волна может возникать уже в конце лета – начале осени, длится в среднем неделю и известна под названием «бабье лето».

Следствием современного потепления на ЕЧР во второй половине XX-го – начале XXI-го века явилось увеличение числа дней с аномально высокими температурами летом, что в свою очередь привело к статистически значимым различиям средних значений длительности периодов максимальной длины с температурой более 25 °С и отсутствием эффективных осадков для метеостанций ЕЧР летом в 1963 - 1994 гг. и в 1995 - 2014 гг. При этом изменились характеристики эмпирического распределения таких периодов в среднем для всех метеостанций ЕЧР южнее 57 °с.ш. (прежде всего, это касается значимо различающихся средних значений) (рис. 5а).

Вместе с тем, рост числа дней с аномально высокими температурами наблюдался и в мае. Однако, как проиллюстрировано на рис. 2а, количество переходов от дней с эффективными осадками к дням с их отсутствием в мае возросло на большей части ЕЧР, что явилось сдерживающим фактором для образования длительных жарких бездождных периодов. Этот вывод согласуется с результатом, отраженным на рис. 5б. На рис. 5б для нескольких метеостанций на юго-востоке ЕЧР показано, что рост длительности непрерывных периодов с температурой более 25 °С и отсутствием эффективных осадков в период 1995 - 2014 гг. происходил в основном в летние месяцы.

Если принять во внимание выявленную ранее закономерность снижения весенних осадков на ЕЧР в периоды более холодной Северной Атлантики (Черенкова, 2017), то можно предположить, что число смен дней с эффективными осадками днями с их отсутствием в мае уменьшится при переходе Северной Атлантики от современной относительно более теплой фазы к более холодной. На этом фоне при сохранении темпов современного потепления рост непрерывных периодов с аномально высокими температурами в мае («первая волна» жаркой погоды) в ряде регионов на ЕЧР увеличит риск возникновения опасных атмосферных засух уже в мае, что будет весьма неблагоприятно для сельскохозяйственной отрасли.

Исследование было проведено для относительно небольшого периода, что оставляет открытыми вопросы об устойчивости выявленных связей. Кроме того, сохраняется неопределенность сроков перехода Северной Атлантики от современной теплой фазы к последующей более холодной фазе. Возможным подходом к решению этой задачи является проведение исследования с использованием результатов продолжительных (несколько столетий) численных экспериментов с глобальными климатическими моделями. Однако ограниченность такого подхода связана с качеством воспроизведения характеристик АМО в моделях (Ba et al., 2014).

Заключение

Анализ полученных результатов позволил сделать следующие выводы. Установлено, что северная граница области наблюдения длительных периодов аномально высоких температур в период 1995 - 2014 гг. по сравнению с 1963 - 1994 гг. существенно продвинулась к северу на ЕЧР западнее 47 ° в.д. При этом в мае в период более теплой Северной Атлантики 1995 - 2014 гг., по сравнению с ее предыдущим более холодным периодом 1963 - 1994 гг., на большей части ЕЧР наблюдался рост числа переходов от дней с эффективными осадками к дням с их отсутствием, не превышающий 10 %. Летом в аналогичные периоды на ЕЧР преобладало уменьшение количества переходов в среднем на 8 - 10 %. Результаты согласуются с полученными ранее выводами, сделанными относительно различия сезонных осадков на территории Восточно-Европейской равнины в среднем за периоды более холодной и более теплой Северной Атлантики (Черенкова, 2017).

Выявленные изменения привели к увеличению повторяемости опасной атмосферной засухи в период 1995 - 2014 гг. по сравнению с 1963 - 1994 гг., а также к сдвигу дат начала ОАЗ в среднем на одну-две недели раньше на большей части территории наблюдения засухи. Наибольший рост частоты ОАЗ на 30 - 40 засух в столетие в период 1995 - 2014 гг. произошел на юго-востоке ЕЧР. Изменения происходили на фоне роста интенсивности блокирующих антициклонов в Атлантико-Европейском регионе весной и летом в период 1968 - 2016 гг. в области максимальной повторяемости блокингов в районе 30 ^{0} в.д.

Принимая во внимание результаты данного исследования, можно предположить, что число смен дней с эффективными осадками днями с их отсутствием в мае может уменьшиться при переходе Северной Атлантики от современной теплой фазы к последующей более холодной фазе. Если темпы современного потепления сохранятся, то рост непрерывных периодов с аномально высокими температурами в мае в ряде регионов на ЕЧР приведет к увеличению риска возникновения опасных атмосферных засух, что негативно скажется, прежде всего, на зернопроизводящей отрасли.

Благодарности

Исследование выполнено при поддержке РФФИ (проект № 17-05-41085).

Список литературы

Анализ условий аномальной погоды на территории России летом 2010 года. 2011. Сборник докладов совместного заседания Президиума Научно-технического совета Росгидромета и Научного совета Российской академии наук «Исследования по теории климата Земли» /под ред. Н.П. Шакиной. – ГУ «Гидрометцентр России», М., Триада, лтд, 72 с.

Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. 2014. /Алексеев Г.В. и др. – Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, СПб., Государственный научный центр Российской Федерации "Арктический и антарктический научно-исследовательский институт" Федеральной службы России по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, 1009 с.

Мохов И.И., Петухов В.К. 1997. Блокинги и их тенденции изменения. ДАН РАН, т. 337, № 5, с. 687 - 689.

Мохов И.И. 2011. Особенности формирования летней жары 2010 г. на Европейской территории России в контексте общих изменений климата и его аномалий. – Известия Российской академии наук. Физика атмосферы и океана, № 6, с. 709 - 716.

Попова В.В., Черенкова Е.А., Титкова Т.Б., Ширяева А.В. 2014. Экстремальная жара и засуха 2010 и 2012 гг. на территории России как проявление современного глобального потепления. – Сборник тезисов докладов конференции «Состояние и перспективы развития информационных технологий в гидрометеорологии. Информационное обеспечение морской деятельности». – Обнинск, ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД», с. 90 - 91 (106).

РД 52.88.699-2008. 2008. Руководящий документ. Положение о порядке действий учреждений и организаций при угрозе возникновения и возникновении опасных природных явлений. – М., 33 с.

Семенов В.А., Шелехова Е.А., Мохов И.И., Зуев В.В., Колтерманн К.П. 2014. Влияние Атлантического долгопериодного колебания на формирование аномальных климатических режимов в регионах Северной Евразии по модельным расчетам. – Доклады Академии наук, т. 459, № 6, с. 742 - 745.

Семенов В.А., Чернокульский А.В., Соломина О.Н. 2016. Влияние Атлантического долгопериодного колебания на формирование засух в Северной Евразии. – Доклады Академии наук, т. 471, № 3, с. 354 - 357.

Черенкова Е.А., Кононова Н.К. 2009. Связь опасных атмосферных засух в Европейской России в XX веке с макроциркуляционными процессами. – Известия Российской академии наук. Серия географическая, № 1, с. 73 - 82.

Черенкова Е.А. 2012. Анализ особенностей обширных атмосферных засух на юге Европейской России. – Аридные экосистемы, т. 18, № 4 (53), с. 13 - 21.

Черенкова Е.А., Кононова Н.К. 2012. Анализ опасных атмосферных засух 1972 и 2010 гг. и макроциркуляционных условий их формирования на территории европейской части России. – Труды ГГО, выпуск 565, с. 165 -187.

Черенкова Е.А., Бардин М.Ю., Золотокрылин А.Н. 2015a. – Статистика осадков и засух в противоположные фазы квазидвухлетней цикличности атмосферных процессов и ее связь с урожайностью в европейской территории России. – Метеорология и гидрология, № 3, с. 23 - 35.

Черенкова Е.А., Семенова И.Г., Кононова Н.К., Титкова Т.Б. 2015b. Засухи и динамика синоптических процессов на юге Восточно-Европейской равнины в начале XXI века. – Аридные экосистемы, т. 21, № 2, с. 5 - 15.

Черенкова Е.А. 2017. Сезонные осадки на территории Восточно-Европейской равнины в периоды теплых и холодных аномалий температуры поверхности Северной Атлантики. – Известия Российской академии наук. Серия географическая №5 (в печати).

Ba J., Keenlyside N. S., Latif M., Park W., Ding H., Lohmann K., Mignot Juliette, Menary M., Ottera O. H., Wouters B., Melia D. S. Y., Oka A., Bellucci A., Volodin E. 2014. A multi-model comparison of Atlantic multidecadal variability. –Climate Dynamics, 43, pp. 2333 - 2348.

Barriopedro D., Garcia-Herrera R., Lupo A.R. et al. 2006. A climatology of Northern Hemisphere blocking. – J. Climate, vol. 19, pp. 1042 - 1063.

Delworth T.L., Zhang R., Mann M.E. 2007. Decadal to centennial variability of the Atlantic from observations and models. Ocean Circulation: Mechanisms and Impacts. – Geophysical Monograph, Series 173. – American Geophysical Union, Washington, DC, pp. 131 - 148.

Lupo A.R., Oglesby R.J., Mokhov I.I. 1997. Climatological features of blocking anticyclones: A study of Northern Hemisphere CCM1 model blocking events in presentday and double CO_2 concentration atmospheres. – Clim. Dyn., vol. 13, pp. 181 - 195.

Mokhov I. I., Smirnov D. A. 2006. El-Nino – Southern Oscillation drives North Atlantic Oscillation as revealed with nonlinear techniques from climatic indices. – Geophis. Res. Lett., vol. 33, L03708.

Schlesinger M.E., Ramankutty N. 1994. An oscillation in the global climate system of period 65–70 years. – Nature, 367, pp. 723 - 726.

Schubert S. D., Suarez M. J., Pegion P. J., Koster R. D., Bacmeister J. T. 2004. Causes of long-term drought in the U.S. Great Plains. – J. Climate, 17, pp. 485 - 503.

Seager R., Kushnir Y., Herweijer C., Naik N., Miller J. 2005. Modeling of tropical forcing of persistent droughts and pluvials over western North America: 1856 -2000. – J. Climate, 18, pp. 4065 - 4088.

Sutton R.T., Dong B. 2012. Atlantic Ocean influence on a shift in European climate in the 1990s. – Nature Geoscience, 5, pp. 788 - 792.

Wiedenmann J.M., Lupo A.R., Mokhov I.I., Tikhonova E.A. 2002. The climatology of blocking anticyclones for the Northern and Southern Hemispheres: Block intensity as a diagnostic. – J. Climate, vol. 15, No. 23, pp. 3459 - 3473.

Статья поступила в редакцию: 28.02.2017 *После переработки: 20.03.2017*