

УДК 551.577.2

СЕЗОННЫЕ ОСАДКИ НА ТЕРРИТОРИИ ВОСТОЧНО-ЕВРОПЕЙСКОЙ РАВНИНЫ В ПЕРИОДЫ ТЕПЛЫХ И ХОЛОДНЫХ АНОМАЛИЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ПОВЕРХНОСТИ СЕВЕРНОЙ АТЛАНТИКИ

© 2017 г. Елена А. Черенкова

Институт географии РАН, Москва, Россия

e-mail: cherenkova@igras.ru

Поступила в редакцию 24.08.2016 г.

Аннотация. В статье исследованы изменения сезонных осадков на территории Восточно-Европейской равнины в периоды более теплой и более холодной Северной Атлантики в XX – начале XXI в. Установлено, что различия в распределении сезонных осадков на территории Восточно-Европейской равнины между противоположными фазами Атлантической мультидекадной осцилляции были статистически значимыми. Весной фазы более теплой Северной Атлантики (периоды 1926–1962 гг. и 1995–2012 гг.) ассоциировались с большим количеством осадков в целом на Восточно-Европейской равнине, чем в более холодную ее фазу (период 1963–1994 гг.). Напротив, летом в аналогичные теплые фазы на большей части Восточно-Европейской равнины наблюдались более засушливые условия. Показано, что выявленная согласованность пространственного распределения изменений сезонных осадков в теплые фазы Северной Атлантики является следствием сходства пространственной структуры полей давления на уровне моря в Атлантико-Европейском секторе в аналогичные периоды.

Ключевые слова: сезонные осадки, температура поверхности океана, атмосферная циркуляция, аномалии, изменение климата, Восточно-Европейская равнина, Северная Атлантика.

DOI: 10.7868/S0373244417050061

SEASONAL PRECIPITATION IN THE EAST EUROPEAN PLAIN DURING THE PERIODS OF WARM AND COOL ANOMALIES OF THE NORTH ATLANTIC SURFACE TEMPERATURE

Elena A. Cherenkova

Institute of Geography, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

e-mail: cherenkova@igras.ru

Received August 24, 2016

Abstract. The seasonal precipitation changes in the East European Plain in the periods of warm and cool anomalies of North Atlantic surface temperature in the 20th – beginning of the 21st century were studied in the paper. The difference between spatial distributions of seasonal precipitation in the East European Plain in the opposite phases of Atlantic Multidecadal Oscillation was found to be significant. In spring, the warm phases of the North Atlantic (1926–1962 and 1995–2012) are associated with a larger amount of precipitation in the East European Plain in general than in cool phase (1963–1994). In contrast, in summer, drier conditions were observed in the same warm phases in the most parts of the East European Plain. It was shown that the coherence of spatial patterns of seasonal precipitation changes during the warm phases of the North Atlantic caused by their response to the similarities of the sea level pressure patterns in the Atlantic-European sector in the same periods.

Keywords: seasonal precipitation, sea surface temperature, anomalies, atmospheric circulation, climate change, East European Plain, North Atlantic Ocean.

Введение. Температура поверхности Атлантического океана характеризуется значительной мультитендектной изменчивостью [18, 31], демонстрирует временную и пространственную неоднородность изменений (например, [7, 16] и рис. 1). В последние десятилетия XX в. практически во всей северной части Атлантического океана наблюдалось существенное потепление [7, 23]. При исследовании механизмов наблюдаемого потепления Северной Атлантики в 1990-х годах было установлено, что наиболее сильный рост температуры поверхности океана (ТПО) в этот период отмечался в регионе Северо-Атлантического субполярного круговорота (North Atlantic subpolar gyre, SPG) и, в особенности, в его восточной части [22, 25, 26], который совпал с замедлением океанической циркуляции в области круговорота [13]. Выявлена роль Северо-Атлантического колебания в ослаблении субполярного круговорота, связанная с резкой сменой его фазы с положительной на отрицательную фазу в 1995/1996 гг. [20]. Вместе с тем отмечается связь Атлантической мультитендектной осцилляции (АМО) с крупномасштабным меридиональным круговоротом воды в Северной Атлантике [9].

Устойчивые аномалии ТПО в северной части Атлантического океана могут инициировать серьезные климатические последствия для наземных экосистем во многих регионах мира [12, 21, 30, 32]. Эти аномалии играют важную роль и в формировании аномалий климата на территории Европы в межгодовом и междесятилетнем временном масштабе. Так, отмечается, что более теплое состояние северной части Атлантического океана в период 1931–1960 гг. по сравнению с периодом 1961–1990 гг. оказало влияние на формирование аномалий низкого давления и увеличение количества осадков над Западной Европой в летний сезон [29]. В период с середины 1970-х годов до начала XXI в. Северная Атлантика перешла от холодной к теплой фазе, что в 1990-х годах привело к изменению сезонных осадков и условий увлажнения на территории Западной и Центральной Европы. В частности, в летний период условия увлажнения изменились в сторону повышения повторяемости аномально влажного лета на территории Северной Европы, а на юге Европы – жаркого и сухого лета [30]. Об увеличении осадков зимой на территории Европы в фазу теплой Северной Атлантики свидетельствуют результаты, полученные на основе анализа наблюдений [17]. Исследование пространственной и временной структуры связи многолетних изменений зимних осадков на территории Европы с изменениями атмосферной циркуляции и температуры поверхности Северной Атлантики

во второй половине XX – начале XXI в. выявило существенный вклад Северо-Атлантического колебания и Атлантической мультитендектной осцилляции в их совместную изменчивость [6]. Влияние термического состояния северной части Атлантического океана на междукадную изменчивость зимних осадков над Евразией подтверждают и результаты численных экспериментов на климатических моделях [2].

Во втором оценочном докладе Росгидромета отмечается, что на территории Европейской России в 1979–2012 гг. наблюдалось статистически незначимое увеличение суммарных годовых осадков. Значимый тренд к увеличению осадков (со скоростью 1.9 мм/месяц/10 лет) отмечался только весной¹. Вместе с тем в работе [3] отмечается, что увеличение сумм осадков в холодный период года было статистически значимым в южной половине этого региона в период 1961–1990 гг. (по отношению к предыдущему тридцатилетию). Отмечается, что в тот же период на фоне увеличения общего количества осадков на юге региона происходило повышение как годового, так и сезонного увлажнения. В конце XX – начале XXI в. увлажнение в регионе начало понижаться, что свидетельствует о возможной смене его тенденции [1] и согласуется с оценками динамики увлажнения юга Европейской России к середине XXI в. по данным глобальных климатических моделей и региональной климатической модели ГГО им. А.И. Воейкова [4, 5].

Цель статьи состоит в исследовании регионального отклика сезонных осадков на территории Восточно-Европейской равнины в XX – начале XXI в. на аномалии температуры поверхности северной части Атлантического океана.

Материалы и методы. В исследовании рассмотрена территория Восточно-Европейской равнины, расположенная между приблизительно 24° в.д. и 57° в.д., с юга ограниченная 44° с.ш., а с севера – государственной границей РФ. Используются данные среднемесячных сумм осадков из архива CRU TS3.21 Университета Восточной Англии (University of East Anglia Climatic Research Unit). Архив создан на основе данных наземных наблюдений, полученных из национальных

¹ Второй оценочный докл. Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации / Ред. Г.В. Алексеев. 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, 2014. 1009 с.

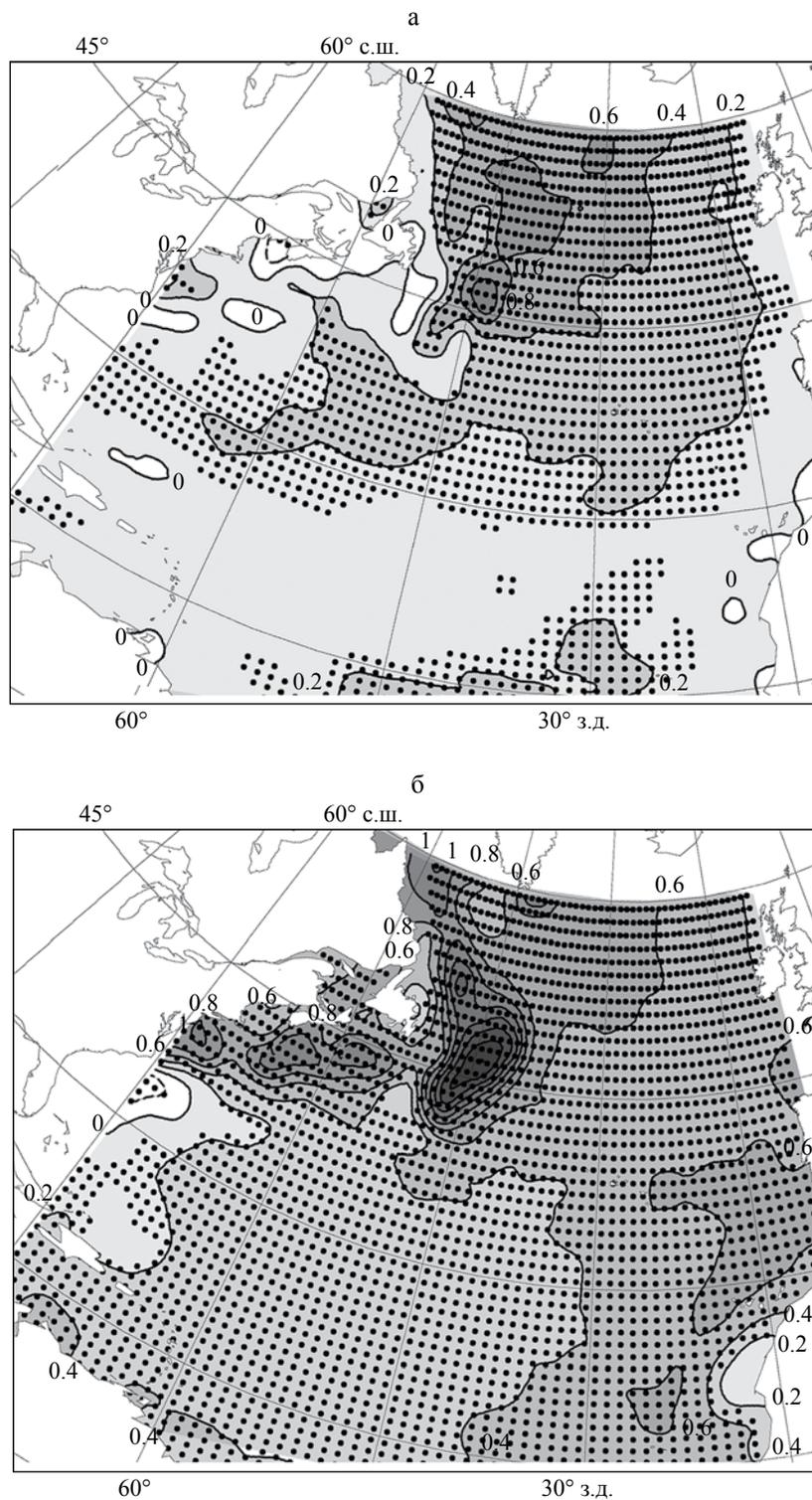


Рис. 1. Пространственное распределение изменений годовых аномалий ТПО Северной Атлантики (°С) в периоды: 1926–1962 гг. (а) и 1995–2012 гг. (б) по сравнению с 1963–1994 гг. Статистически значимые изменения показаны точками.

метеослужб и интерполированных в узлы сетки пространственного разрешения $0.5^\circ \times 0.5^\circ$. Методика создания, характеристики климатических

переменных, вопросы пространственной и временной однородности данных использованного архива описаны в [15].

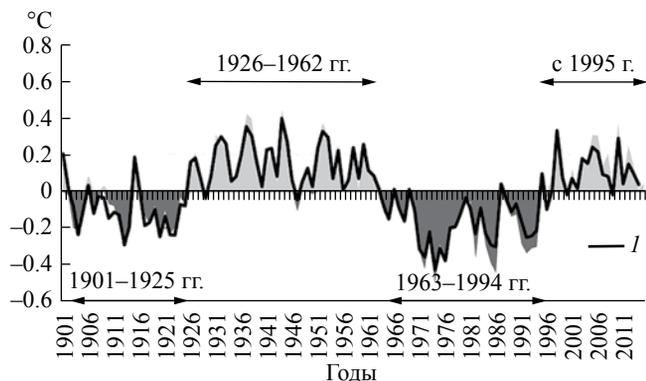


Рис. 2. Изменение годовых аномалий ТПО Северной Атлантики, осредненной в регионе 0°–75° з.д., 0°–60° с.ш. с удаленным линейным трендом (области серого цвета) и индекса АМО (1) по данным [11] в период 1901–2012 гг.

Изменения Атлантической мультидекадной осцилляции, связанной с аномалиями температуры поверхности океана и переноса океанического тепла в Северной Атлантике, исследованы по данным индекса АМО. Существует несколько подходов к определению АМО, в основном связанных учетом/неучетом влияния глобальной температуры воздуха, южного колебания ENSO, а также естественной изменчивости Тихого океана. Периодичность АМО оценивается в границах от 60 до 80 лет [9, 27]. Однако, ввиду ограниченности периода наблюдений, длина цикла все еще является предметом дискуссий. В статье использован подход, описанный в [30], согласно которому индекс АМО получен осреднением годовых аномалий ТПО Северной Атлантики в регионе 75° з.д. – 0° з.д., 0° с.ш. – 60° с.ш., в рядах которых был удален линейный тренд. Для этого были рассмотрены данные среднемесячных температур поверхности океана с пространственным разрешением 1°×1° из архива Центра Гадлея метеослужбы Великобритании, HadISST1.1 [24]. На рис. 2 видно, что колебания полученного таким образом временного ряда АМО согласуются с изменениями индекса АМО, построенного на основе данных ТПО из архива Earth System Research Laboratory NOAA [11].

Изменения крупномасштабной атмосферной циркуляции проанализированы на основе данных среднемесячных полей давления на уровне моря (ДУМ) из глобального сеточного архива Центра Гадлея метеослужбы Великобритании (пространственное разрешение 5°×5°) [8].

Положительная (или теплая) и отрицательная (или холодная) фаза АМО были определены

на основе оценки периодов с устойчивыми преобладающими значениями аномалий ТПО одного знака (см. рис. 2). При этом принято допущение, что размах экстремумов противоположного знака должен составлять около 0.5°С, аналогично подходу, использованному в работе [7]. На основе анализа данных ТПО северной части Атлантического океана и индекса АМО к более холодным периодам (или отрицательным фазам АМО) были отнесены периоды 1901–1925 гг. и 1963–1994 гг., а к более теплым периодам (или положительным фазам АМО) – периоды 1926–1962 гг. и 1995–2012 гг., что согласуется с результатами других исследователей [7, 30]. Годы перехода между противоположными фазами АМО, в которых, как правило, затруднительно точное определение фазы (положительной или отрицательной) из-за неустойчивости знака аномалии ТПО, не были исключены из рассмотрения ввиду важности сохранения непрерывности рассмотренных климатических периодов при исследовании изменений осадков.

Анализ сезонных осадков был проведен за период 1926–2012 гг., так как в более ранний период ограниченность сети метеостанций СССР, являющейся основой используемого архива данных осадков, не позволяет получить надежные оценки. Таким образом, композиты сезонных осадков (средние значения суммарных осадков за период), рассчитанные за годы каждой из положительных фаз АМО в периоды 1926–1962 гг. и 1995–2012 гг., сравнивались с аналогичными композитами, полученными в период 1963–1994 гг. отрицательной фазы АМО (изменения оценивались в %). Исследование также предполагало сравнение изменений осадков между двумя положительными фазами АМО в период до начала глобального потепления и в современный период потепления. Поэтому в статье приведены результаты анализа исходных данных, а не временных рядов, из которых был предварительно удален линейный тренд.

Отметим, что из-за неоднородности пространственной структуры аномалий ТПО Северной Атлантики в противоположные фазы АМО (см. рис. 1 а и б), трудно ожидать полностью согласованный пространственный отклик сезонных осадков на изменения ТПО.

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

Обсуждение результатов. Зимой в положительную фазу индекса АМО в период 1995–2012 гг. наиболее существенным по сравнению с предыдущей отрицательной фазой индекса АМО было

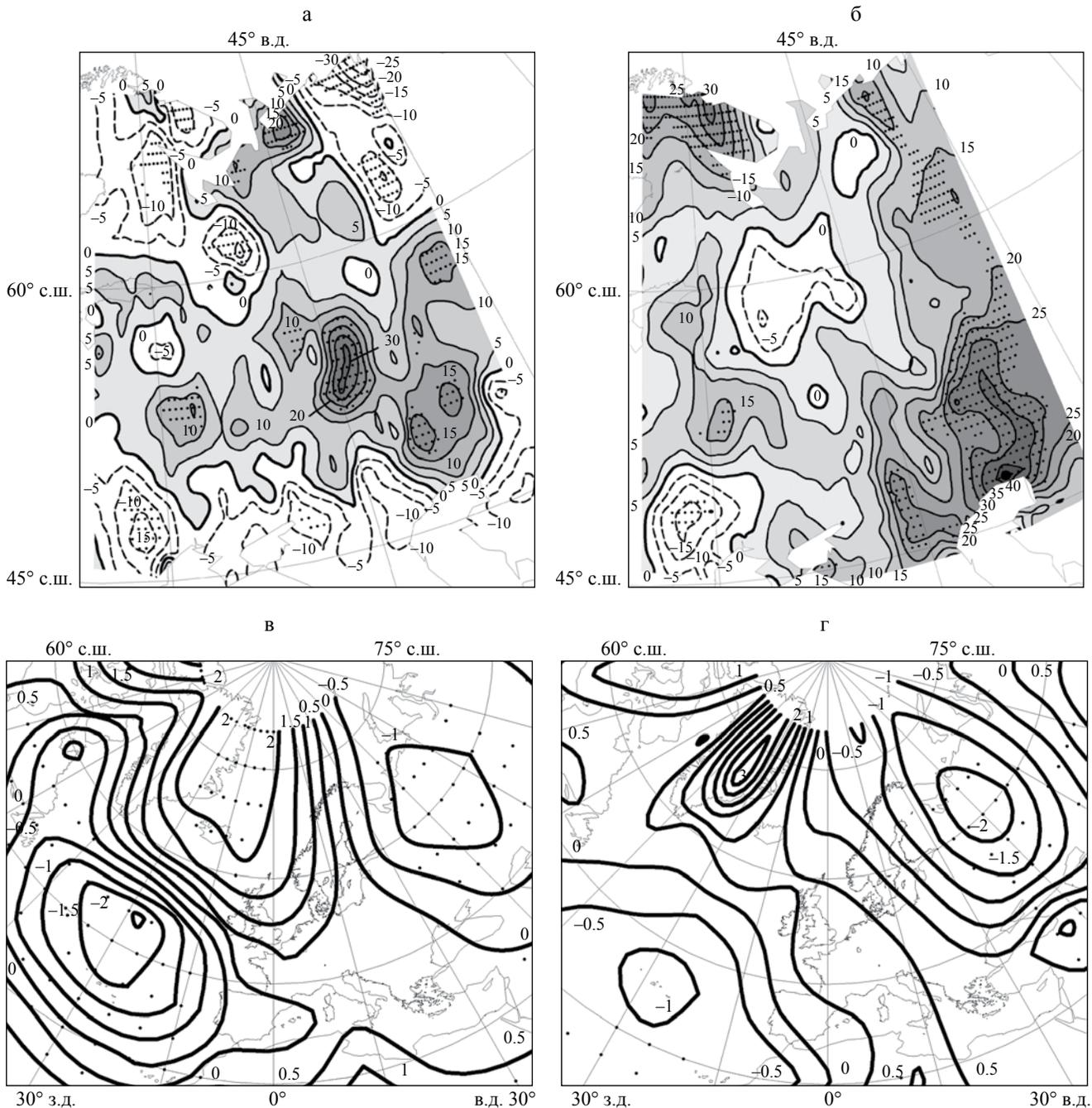


Рис. 3. Изменение весенних осадков (%) на территории Восточно-Европейской равнины и аномалии давления на уровне моря (гПа) в Атлантико-Европейском секторе весной в период 1926–1962 гг. (а, в) и в 1995–2012 гг. (б, г) по сравнению с 1963–1994 гг. Статистически значимые изменения показаны точками.

значимое увеличение суммарных осадков (на 15–20%) на северо-западе Восточно-Европейской равнины. Вместе с тем рост средних за период зимних осадков в обозначенном регионе наблюдался и в период 1926–1962 гг., и в 1963–1994 гг. Увеличение средних за период 1963–1994 гг. зимних осадков на северо-западе региона (в среднем на 10–15%) произошло в связи с активизацией

устойчивой положительной фазы Северо-Атлантического колебания в конце 1980-х – середине 1990-х годов [14].

Анализ данных весенних осадков показал, что положительные фазы индекса АМО сопровождаются бóльшим количеством осадков в целом на территории региона, чем в отрицательную фазу

индекса. Как следует из рис. 3а, в период 1926–1962 гг. по сравнению с 1963–1994 гг. наибольший рост весенних осадков наблюдался на обширной территории со статистически значимыми изменениями на западе Волго-Вятского района (до 35%), в Уральской области Казахстана и юге Оренбургской области (до 25%), а также на юге Пермской области (до 18%). Локальные области значимого увеличения осадков весной в тот же период отмечены на западе Европейской территории России (до 15%), на севере Архангельской области (до 15%) и на западе Ненецкого автономного округа (до 25–30%). Наряду с увеличением осадков в тот же период выявлены области дефицита весенних осадков, расположенные на северо-западе (до 17% на севере Карелии, до 15% на севере Мурманской области и до 19% на юго-западе Архангельской области) и северо-востоке (до 30% на северо-востоке Республики Коми), а также на юге с наибольшими значимыми изменениями до 18% в Приазовье и до 19% на территории Молдавии (см. рис. 3а). Как можно увидеть на рис. 3б, в период 1995–2012 гг. по сравнению с предыдущим холодным периодом Северной Атлантики дефицит осадков весной на Восточно-Европейской равнине практически не наблюдался. Необходимо отметить, что в современную более теплую фазу Северной Атлантики, как и в предыдущую теплую ее фазу, наибольшее увеличение весенних осадков по сравнению с периодом 1963–1994 гг. обнаружено на юго-востоке территории. Однако в период 1995–2012 гг. (см. рис. 3б) область увеличения осадков имеет большую площадь с более значительным приростом осадков по сравнению с периодом 1926–1962 гг. (см. рис. 3а), что связано увеличением влагосодержания атмосферы при потеплении. Так, на западе Оренбургской области и Казахстана, на юго-западе Башкортостана рост весенних осадков в период 1995–2012 гг. составил 25–35%, а изменения осадков в Калмыкии и на юге Волгоградской области доходили до 25–30% по сравнению с периодом 1963–1994 гг. К северу значения прироста весенних осадков в период 1995–2012 гг. уменьшались, наибольшие значимые изменения не превысили 16–18%. В тот же период отмечалось значимое увеличение весенних осадков до 30% на территории Кольского полуострова. Значимое понижение весенних осадков отмечено только на территории Молдавии.

Для того чтобы определить причину достаточного схожих изменений весенних осадков на Восточно-Европейской равнине в рассмотренные периоды более теплого океана, обратимся к анализу композитов давления на уровне моря в аналогичные периоды. Как следует из анализа рис. 3в

и 3г, в обе рассмотренные положительные фазы АМО по сравнению с отрицательной фазой индекса в Атлантико-Европейском секторе наблюдается сходство пространственной структуры полей давления весной. Так, в периоды 1926–1962 гг. и 1995–2012 гг. над Гренландией наблюдалась обширная область положительной аномалии давления на уровне моря, в то время как над Восточно-Европейской равниной располагалась ярко выраженная отрицательная аномалия давления, формирующая условия для циклонической циркуляции и выпадения осадков на территории равнины в теплые фазы океана.

Пространственное распределение изменений летних осадков в исследуемом регионе в положительные фазы ТПО Северной Атлантики по сравнению с холодной фазой океана также демонстрирует общие черты. Отметим, что направленность изменений летних осадков преимущественно противоположна изменениям осадков в весенний сезон. В обе рассмотренные теплые фазы ТПО Северной Атлантики по сравнению с ее холодной фазой на большей части Восточно-Европейской равнины наблюдались более сухие условия (рис. 4а и б). Однако эти изменения преимущественно не были статистически значимыми. Как следует из анализа результатов, представленных на рис. 4а, в период 1926–1962 гг. по сравнению с 1963–1994 гг. наибольшее значимое уменьшение летних осадков наблюдалось на юго-востоке равнины: в Уральской области Казахстана (до 35–40%), на востоке Саратовской и на юге Самарской области (до 15–20%). На Подольской возвышенности и в регионе Средней Печоры дефицит летних осадков составил 10–15%. В то же время области положительных аномалий летних осадков (не превысивших 10%) в основном сосредоточены на северо-западе региона. Отметим, что по сравнению с изменениями в предыдущую положительную фазу АМО изменения летних осадков одного знака в период 1995–2012 гг. имеют ту же структуру, но они более однородно распределены по территории. Положительные изменения летних осадков, не превысившие 15%, наблюдались на севере и северо-западе региона. Дефицит летних осадков увеличивался по мере продвижения на юго-восток. При этом, как видно на рис. 4б, область максимального значимого уменьшения осадков в период 1995–2012 гг., как и в случае с весенними осадками, занимает площадь вдвое больше, чем в период 1926–1962 гг. На этой территории наблюдалось уменьшение суммарных осадков летом на 15–20% в регионе Средней Волги и на западе Оренбургской области, а также на 25–30% в Северном Прикаспии (см. рис. 4б).

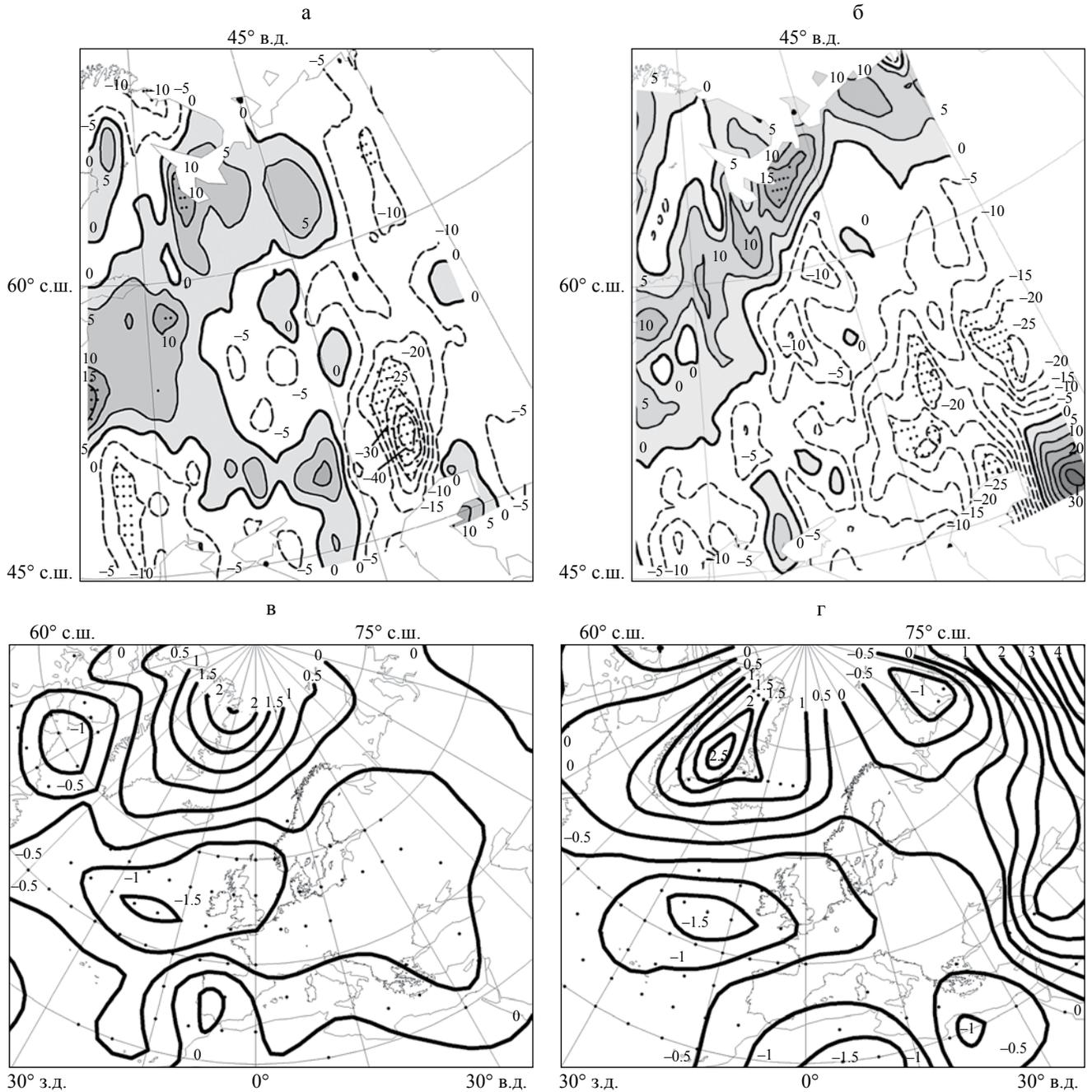


Рис. 4. Изменение летних осадков на территории Восточно-Европейской равнины и аномалии давления на уровне моря (гПа) в Атлантико-Европейском секторе весной в период 1926–1962 гг. (а, в) и в 1995–2012 гг. (б, г) по сравнению с 1963–1994 гг. Статистически значимые изменения показаны точками.

Как показано на рис. 4в и г, в летний сезон в обе рассмотренные теплые фазы океана по сравнению с холодной фазой пространственное распределение значений давления на уровне моря в Атлантическом секторе имеет сходные черты. При этом над изучаемой территорией в полях аномалий давления имеются различия, обусловившие различия летних осадков на равнине (см. рис. 4а

и 4б). Однако эти различия были бы более существенными, если бы аномалии давления на уровне моря летом над большей частью территории равнины были бы статистически значимыми.

Анализ осенних осадков в оба периода, соответствующих более теплой Северной Атлантике, по сравнению с периодом более холодной, обнаружил сходные черты в пространственном

распределении их изменений на Восточно-Европейской равнине. Детальный анализ изменений осенних осадков в статье не приводится, поскольку в современный период положительной фазы АМО эти изменения были статистически незначимы (на уровне значимости 0.95) практически на всей исследуемой территории. Отметим лишь, что в обе положительные фазы АМО по сравнению с отрицательной фазой имеются согласованные области уменьшения осенних осадков (в среднем на 8% в период 1926–1962 гг.), расположенные в западной и северо-западной частях равнины. В то же время в обе положительные фазы АМО над территорией Восточно-Европейской равнины, Скандинавией и Сибирью находится обширная область положительных аномалий давления на уровне моря с центром над Западной Сибирью. В период 1995–2012 гг. (по сравнению с 1963–1994 гг.) эта аномалия была более интенсивной, что нашло отклик в осенних осадках и в формировании более сухих условий на востоке рассматриваемого региона, чем в период 1926–1962 гг. Отметим, что полученные результаты для всех рассмотренных сезонов согласуются с выводами, сделанными для территории Западной Европы в работе [30].

Необходимо отметить, что длина рассмотренного временного интервала недостаточна для статистически значимого разделения влияния ТПО в Атлантике от других факторов долгопериодной изменчивости, таких как, например, долгопериодные изменения индексов атмосферной циркуляции (прежде всего Северо-Атлантического колебания). Кроме того, изменчивость самой АМО может рассматриваться как отклик на Северо-Атлантическое колебание [19]. Ограниченность периода инструментальных наблюдений обуславливает необходимость привлечения результатов моделирования к исследованию влияния АМО. В частности, численные эксперименты с моделями климата выявили увеличение вероятности засух в Европейской России и отсутствие положительных экстремумов увлажнения летом, что согласуется с выводами данного исследования [10, 28].

Заключение. Анализ полученных результатов позволил сделать следующие выводы.

Установлено, что различия в распределении сезонных осадков на территории Восточно-Европейской равнины в XX – начале XXI в. между противоположными фазами АМО были статистически значимыми. Весной, летом и осенью в обе фазы более теплой Северной Атлантики (в периоды 1926–1962 гг. и в 1995–2012 гг.) по сравнению с ее более холодной фазой (в период 1963–1994 гг.)

было выявлено сходство пространственного распределения осадков на территории.

Весной в периоды теплых фаз Северной Атлантики в целом на территории равнины наблюдалось большее количество осадков, чем в период холодной ее фазы. Наибольший рост весенних осадков отмечался в центре и на юго-востоке региона и составил в среднем 5% в период 1926–1962 гг. и 15% в 1995–2012 гг. В летний сезон обе теплые фазы Северной Атлантики сопровождалась дефицитом осадков практически на всей исследуемой территории по сравнению с холодной фазой. Наибольшее значимое уменьшение летних суммарных осадков наблюдалось на юго-востоке и составило в среднем 5% в период 1926–1962 гг. и 10% в 1995–2012 гг. Изменения весенних и летних осадков на юго-востоке региона были более существенными в современную теплую фазу СА по сравнению с предыдущей аналогичной фазой. Осенью в обе теплые фазы Северной Атлантики на западе и северо-западе равнины обнаружены области уменьшения осенних осадков.

Выявленная согласованность пространственного распределения изменений сезонных осадков в теплые фазы Северной Атлантики является следствием сходства пространственной структуры полей давления на уровне моря в Атлантико-Европейском секторе в аналогичные периоды.

Благодарности. Исследование проведено в рамках научной темы 0148-2014-0015, анализ связи с ТПО в высоких широтах Северной Атлантики выполнен при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект 14-17-00647).

Acknowledgments. This research was fulfilled in the framework of the scientific theme 0148-2014-0015. Analysis of the linkage with SST in the high latitudes of the North Atlantic ocean was supported by Russian Science Foundation (project no. 14-17-00647).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Золотокрылин А.Н., Черенкова Е.А.* Тенденции увлажнения зернового пояса России в начале XXI века // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. 2013. Т. XXV. С. 251–264.
2. *Мохов И.И., Семенов В.А., Хон В.Ч., Латиф М., Рекнер Э.* Связь аномалий климата Евразии и Северной Атлантики с естественными вариациями атлантической термохалинной циркуляции по долгопериодным модельным расчетам // Докл. Академии наук. 2008. Т. 419. № 5. С. 687–690.
3. *Черенкова Е.А., Золотокрылин А.Н.* Реакция границ зон увлажнения равнин России на изменения климата // Метеорология и гидрология. 2010. № 12. С. 17–25.

4. Черенкова Е.А., Золотокрылин А.Н. Модельные оценки динамики увлажнения равнин России к середине XXI века // Метеорология и гидрология. 2012. № 11. С. 29–37.
5. Черенкова Е.А. Возможное изменение условий увлажнения равнин России к середине XXI века // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. 2013. Т. XXV. С. 115–130.
6. Черенкова Е.А., Семенов В.А. Связь зимних осадков на территории Европы с изменениями ледовитости арктического бассейна, температуры океана и атмосферной циркуляции // Метеорология и гидрология. 2017. № 4. С. 38–52.
7. Alexander M.A., Kilbourne K.H., and Nye J.A. Climate variability during warm and cold phases of the Atlantic Multidecadal Oscillation (AMO) 1871–2008 // J. Mar. Syst. 2014. № 133. P. 14–26.
8. Allan R. and Ansell T.J. A new globally complete monthly historical mean sea level pressure dataset (HadSLP2): 1850–2004 // J. Clim. 2006. № 19. P. 5816–5842.
9. Delworth T.L., Zhang R., and Mann M.E. 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. 2007. P. 131–148.
10. Eliseev A.V. and Semenov V.A. Arctic climate changes in the 21st century: ensemble model estimates accounting for realism in present-day climate simulation. // Doklady Earth Sciences. 2016. V. 471. Iss. 1. P. 1183–1187.
11. Enfield D.B., Mestas-Nunez A.M., and Trimble P.J. The Atlantic Multidecadal Oscillation and its relationship to rainfall and river flows in the continental U.S. // Geophys. Res. Lett. 2001. № 28. P. 2077–2080.
12. Folland C.K., Parker D.E., and Palmer T.N. Sahel rainfall and worldwide sea temperatures 1901–85 // Nature. 1986. № 320. P. 602–607.
13. Hakkinen S. and Rhines P.B. Decline of subpolar North Atlantic circulation during the 1990s // Science. 2004. № 304. P. 555–559.
14. Hurrell J.W. Decadal trends in the North Atlantic Oscillation: Regional temperature and precipitation // Science. 1995. № 269. P. 676–679.
15. Harris I., Jones P.D., Osborn T.J., and Lister D.H. Updated high-resolution grids of monthly climatic observations – the CRU TS3.10 Dataset // Int. J. Climatol. 2014. V. 34. Iss. 3. P. 623–642.
16. Harrison D.E. and Carson M. Is the World Ocean warming? Upper-ocean temperature trends: 1950–2000 // J. Phys. Oceanogr. 2007. № 37. P. 174–187.
17. Knight J. R., Folland C.K., and Scaife A.A. Climate impacts of the Atlantic Multidecadal Oscillation // Geophysical Research Letters. 2006. V. 33. L17706.
18. Kushnir Y. Interdecadal variations in North Atlantic sea surface temperature and associated atmospheric conditions // J. Climate. 1994. № 7. P. 141–157.
19. Latif M., Böning C., Willebrand J., Biastoch A., Dengg J., Keenlyside N., Madec G., and Schweckendiek U. Is the thermohaline circulation changing? // J. Climate. 2006. P. 4631–4637.
20. Lohmann K., Drange H., and Bentsen M. A possible mechanism for the strong weakening of the North Atlantic subpolar gyre in the mid-1990s // Geophys. Res. Lett. 2009. № 36. L15602.
21. Lu R., Dong B.-W., and Ding H. Impact of the Atlantic Multidecadal Oscillation on the Asian summer monsoon // Geophys. Res. Lett. 2006. № 33. L24701.
22. Marsh R., Josey S.A., de Cuevas B.A., Redbourn L.J., and Quartly G.D. Mechanisms for recent warming of the North Atlantic: Insights gained with an eddy-permitting model // J. Geophys. Res. 2008. № 113. C04031.
23. Palmer M. D. and Haines K. Estimating oceanic heat content change using isotherms // J. Climate. 2009. № 22. P. 4953–4969.
24. Rayner N.A., Parker D.E., Horton E.B., Folland C.K., Alexander L.V., Rowell D.P., Kent E.C., and Kaplan A. Global analyses of sea surface temperature, sea ice, and night marine air temperature since the late nineteenth century // J. Geophys. Res. 2003. V. 108. № D14. 4407 p.
25. Reverdin G. North Atlantic subpolar gyre surface variability (1895–2009) // J. Climate. 2010. № 23. P. 4571–4584.
26. Sarafanov A., Falina A., Sokov A., and Demidov A. Intense warming and salinification of intermediate waters of southern origin in the eastern subpolar North Atlantic in the 1990s to mid-2000s // J. Geophys. Res. 2008. № 113. C12022.
27. Schlesinger M.E. and Ramankutty N. An oscillation in the global climate system of period 65–70 years // Nature. 1994. № 367. P. 723–726.
28. Semenov V.A., Shelekhova E.A., Mokhov I.I., Zuev V.V., and Koltermann K.P. Influence of the Atlantic Multidecadal Oscillation on settling anomalous climate regimes in Northern Eurasia based on model simulation // Doklady Earth Sciences. 2014. V. 459. Iss. 2. P. 1619–1622.
29. Sutton R.T. and Hodson D.L.R. Atlantic Ocean forcing of North American and European summer climate // Science. 2005. № 309. P. 115–118.
30. Sutton R.T. and Dong B. Atlantic Ocean influence on a shift in European climate in the 1990s // Nature Geoscience. 2012. № 5. P. 788–792.
31. Ting M., Kushnir Y., Seager R., and Li C. Forced and internal twentieth-century SST trends in the North Atlantic // J. Climate. 2009. № 22. P. 1469–1481.
32. Zhang R. and Delworth T.L. Impact of Atlantic multidecadal oscillations on India/Sahel rainfall and Atlantic hurricanes // Geophys. Res. Lett. 2006. № 33. L17712.

REFERENCES

1. Zolotokrylin A.N., Cherenkova E.A. Tendencies of moistening of grain-growth zone of Russia in the beginning of 21 century. In *Problemy ekologicheskogo monitoringa i modelirovaniya ekosistem* [Issues of Ecosystem Environmental Monitoring and Modeling], 2013, vol. XXV, pp. 251–264. (In Russ.)

2. Mokhov I.I., Semenov V.A., Khon V. Ch., Latif M., Roeckner E. Connection between Eurasian and North Atlantic climate anomalies and natural variations in the Atlantic thermohaline circulation based on long-term model calculations. *Dokl. Akad. Nauk*, 2008, vol. 419, no. 5, pp. 687–690. (In Russ.)
3. Cherenkova E.A., Zolotokrylin A.N. Reaction of boundaries of moistening zones of the Russian Plains to the climate changes. *Meteorologija i gidrologija*, 2010, vol. 35, no. 12, pp. 799–805. (In Russ.)
4. Cherenkova E.A., Zolotokrylin A.N. Model estimates of moistening conditions on the Russian plains by the middle of the 21st century. *Meteorologija i gidrologija*, 2012, no. 11, pp. 29–37. (In Russ.)
5. Cherenkova E.A. Potential change of humidification of the plains of Russia by the mid-21st century. In *Problemy ekologicheskogo monitoringa i modelirovaniya ekosistem* (Issues of environmental monitoring and modeling of ecosystems), 2013, vol. XXV, pp. 115–130. (In Russ.)
6. Cherenkova E.A., Semenov V.A. A link between winter precipitation in Europe and arctic sea ice, sea surface temperature and atmospheric circulation. *Meteorologiya i gidrologiya*, 2017, no. 4, pp. 38–52. (In Russ.)
7. Alexander M.A., Kilbourne K.H., Nye J.A. Climate variability during warm and cold phases of the Atlantic Multidecadal Oscillation (AMO) 1871–2008. *J. Mar. Syst.*, 2014, no. 133, pp. 14–26.
8. Allan R., Ansell T.J. A new globally complete monthly historical mean sea level pressure dataset (HadSLP2): 1850–2004. *J. Clim.*, 2006, no. 19, pp. 5816–5842.
9. Delworth T.L., Zhang R., Mann M.E. *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. 2007, pp. 131–148.
10. Eliseev A.V., Semenov V.A. Arctic climate changes in the 21st century: ensemble model estimates accounting for realism in present-day climate simulation. *Dokl. Earth Sci.*, 2016, vol. 471, no. 1, pp. 1183–1187.
11. Enfield D.B., Mestas-Nunez A.M., Trimble P.J. The Atlantic Multidecadal Oscillation and its relationship to rainfall and river flows in the continental U.S. *Geophys. Res. Lett.*, 2001, no. 28: pp. 2077–2080.
12. Folland C. K., Parker D.E., Palmer T.N. Sahel rainfall and worldwide sea temperatures 1901–85. *Nature*, 1986, no. 320, pp. 602–607.
13. Hakkinen S., Rhines P.B. Decline of subpolar North Atlantic circulation during the 1990s. *Science*, 2004, no. 304, pp. 555–559.
14. Hurrell J.W. Decadal trends in the North Atlantic Oscillation: Regional temperature and precipitation. *Science*, 1995, no. 269, pp. 676–679.
15. Harris I., Jones P.D., Osborn T.J., Lister D.H. Updated high-resolution grids of monthly climatic observations – the CRU TS3.10 Dataset. *Int. J. Climatol.*, 2014, vol. 34, no. 3, pp. 623–642.
16. Harrison D. E., Carson M. Is the World Ocean warming? Upper-ocean temperature trends: 1950–2000. *J. Phys. Oceanogr.*, 2007, no. 37, pp. 174–187.
17. Knight J. R., Folland C.K., Scaife A.A. Climate impacts of the Atlantic Multidecadal Oscillation. *Geophys. Res. Lett.*, 2006, vol. 33, L17706.
18. Kushnir Y. Interdecadal variations in North Atlantic sea surface temperature and associated atmospheric conditions. *J. Climate*, 1994, no. 7, pp. 141–157.
19. Latif M., Böning C., Willebrand J., Biastoch A., Dengg J., Keenlyside N., Madec G., Schweckendiek U. Is the thermohaline circulation changing? *J. Climate*, 2006, pp. 4631–4637.
20. Lohmann K., Drange H., Bentsen M. A possible mechanism for the strong weakening of the North Atlantic subpolar gyre in the mid-1990s. *Geophys. Res. Lett.*, 2009, no. 36, L15602.
21. Lu R., Dong B.-W., Ding H. Impact of the Atlantic Multidecadal Oscillation on the Asian summer monsoon. *Geophys. Res. Lett.*, 2006, pp. 33, L24701.
22. Marsh R., Josey S.A., de Cuevas B.A., Redbourn L.J., Quartly G.D. Mechanisms for recent warming of the North Atlantic: Insights gained with an eddy-permitting model. *J. Geophys. Res.*, 2008, no. 113, C04031.
23. Palmer M. D., Haines K. Estimating oceanic heat content change using isotherms. *J. Climate*, 2009, no. 22, 4953–4969.
24. Rayner N. A., Parker D.E., Horton E.B., Folland C.K., Alexander L.V., Rowell D.P., Kent E.C., Kaplan A. Global analyses of sea surface temperature, sea ice, and night marine air temperature since the late nineteenth century. *J. Geophys. Res.*, 2003, vol. 108, D14, 4407 p.
25. Reverdin G. North Atlantic subpolar gyre surface variability (1895–2009). *J. Climate*, 2010, no. 23, 4571–4584.
26. Sarafanov A., Falina A., Sokov A., Demidov A. Intense warming and salinification of intermediate waters of southern origin in the eastern subpolar North Atlantic in the 1990s to mid-2000s. *J. Geophys. Res.*, 2008, no. 113, C12022.
27. Schlesinger M.E., Ramankutty N. An oscillation in the global climate system of period 65–70 years. *Nature*, 1994, no. 367, pp. 723–726.
28. Semenov V.A., Shelekhova E.A., Mokhov I.I., Zuev V.V., Koltermann K.P. Influence of the Atlantic Multidecadal Oscillation on settling anomalous climate regimes in Northern Eurasia based on model simulation. *Doklady Earth Sciences*, 2014, vol. 459, no. 2, pp. 1619–1622.
29. Sutton R. T., Hodson D.L.R. Atlantic Ocean forcing of North American and European summer climate. *Science*, 2005, no. 309, pp. 115–118.
30. Sutton R.T., Dong B. Atlantic Ocean influence on a shift in European climate in the 1990s. *Nature Geoscience*, 2012, no. 5, pp. 788–792.
31. Ting M., Kushnir Y., Seager R., Li C. Forced and internal twentieth-century SST trends in the North Atlantic. *J. Climate*, 2009, no. 22, pp. 1469–1481.
32. Zhang R., Delworth T.L. Impact of Atlantic multidecadal oscillations on India/Sahel rainfall and Atlantic hurricanes. *Geophys. Res. Lett.*, 2006, no. 33, L17712.